Elektrotechnika 3. zh-ra

by Lacee

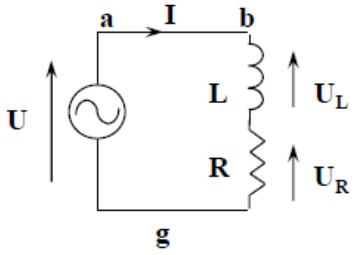
dr. Vajda István és dr. Berta István diáiból + előadásaiból

2008.12.06.

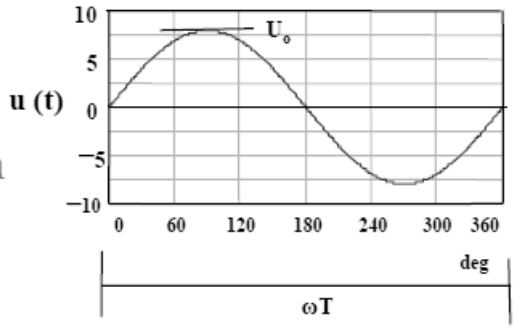
C) GYAKORLATI ÁRAMKÖR-SZÁMÍTÁSI TECHNIKÁK ÉS KONVENCIÓK: EGY- ÉS HÁROMFÁZISÚ HÁLÓZATOK SZÁMÍTÁSA

1. Az egyfázisú rendszerek áramai és feszültségei. A pozitív irányrendszer fogyasztói és generátoros teljesítményre: a feszültségek és áramok pozitív irányai.

- **Egyfázisú hálózatok komponensei:**
- Feszültség- és áramforrások
- Impedanciák (ellenállás, induktivitás, and kapacitás)
- A komponensek sorosan vagy párhuzamosan vannak kapcsolva



Az ábrán egy egyszerű hálózat látható, amelyben egy feszültségforrás (generátor) sorosan kapcsolt ellenállást és induktivitást táplál.



- **A feszültségforrás szinuszos forrásfeszültséget hoz létre**

$$u(t) = \sqrt{2}\, U_{eff} \sin(\omega t)$$

ahol: U_{eff} **a feszültség effektív értéke (V)**

ω **a szinuszosan változó feszültség körfrekvenciája (rad/sec)**

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T} \text{ rad/sec} \qquad f = \frac{1}{T} \text{ Hz}$$

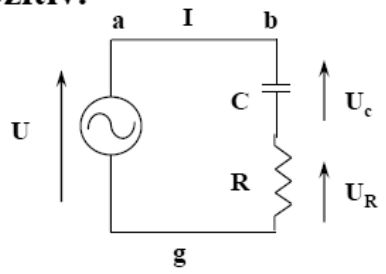
f a frekvencia (60 Hz pl. az USA-ban, 50 Hz Európában).

T a periódusidő (s).

- **A feszültség csúcs- vagy maximális értéke:** $U_0 = \sqrt{2}\, U_{eff}$

Az effektív érték számítása: $U_{eff} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T u^2(t)\, dt}$

- **A feszültség irányát a g-től az a-ba mutató vektor jelöli. Ez azt jelenti, hogy a pozitív félperiódusban az *„a”* pont potenciálja nagyobb, mint a *„g”* ponté: a feszültség-emelkedés pozitív.**



- **Az áram is szinuszos (lineáris esetben)**

$$i(t) = \sqrt{2}\, I_{eff} \sin(\omega t - \varphi)$$

ahol: I_{eff} **az áram effektív értéke.**

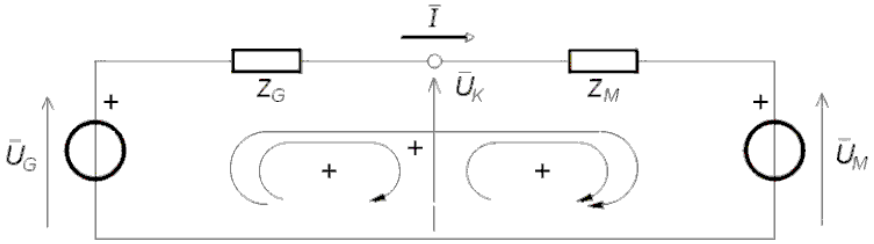
φ **az áram és a feszültség közötti fázisszög.**

- **Az áram effektív értékét az általánosított Ohm-törvény alapján számíthatjuk:**

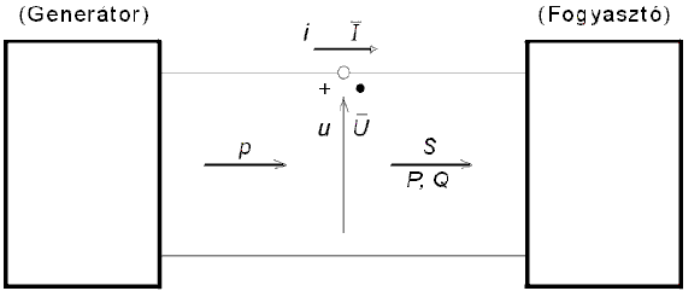
$$I_{eff} = \frac{U_{eff}}{Z}$$

ahol: Z az impedancia

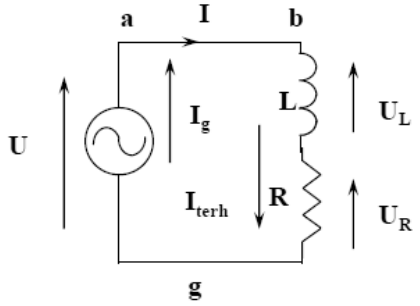
Pozitív irányrendszer
feszültségre, áramra, hurokra



Pozitív irányrendszer
fogyasztói és generátoros teljesítményre



- **A generátor árama a pozitív félperiódusban a „*g*”-től az „*a*”-ba folyik.**
- **A generátor feszültsége és árama azonos irányú.**
- **A terhelés árama a pozitív félperiódusban „b”-től „g”-be folyik .**
- **A terhelés árama és feszültsége (referencia irány szerint) ellentétes irányú: a feszültség-esés negatív.**



2. Hurokegyenletek alkalmazása. Ohmos és induktív fogyasztó komplex impedanciája, árama és teljesítménye.

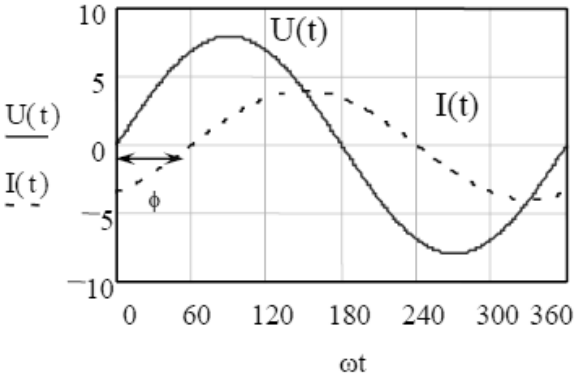
Kirchoff feszültségtörvénye: $\Sigma u_k=0$ a hurok feszültségeire = A feszültségek (fazorok) összege bármely hurokban zérus.
A hurok által kijelölt képtpólus feszültségét +-nak tekintjük, ha iránya a hurok irányával megegyező és negatívnak ha irányuk ellenkező.

Impedanciák: mértékegységük Ω=Ohm
-ellenállás R
-induktív reaktancai (tekercs): $X_L=jwL$
-kapacitív reaktancia (kondenzátor) : $X_C=1/jwC$

Ohmos teljesítmény: $P=U*I = R* I^2$

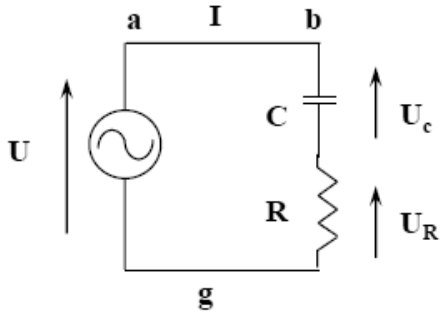
Induktív hálózat

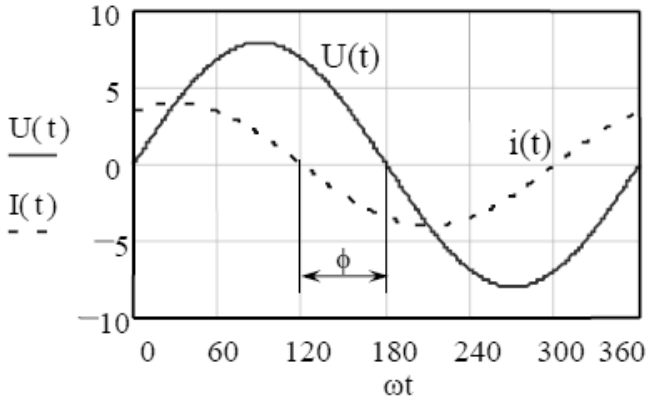
• Az áram és feszültség közötti φ fázisszög negatív.
• Az áram (szaggatott vonal) késik a feszültséghez viszonyítva.
• $U_L=L*(I_L)'$
• $P=1/2*L*I^2$



Kapacitív hálózat

• Az áram és feszültség közötti fázisszög pozitív.
• Az áram (szaggatott vonal) siet a feszültséghez képest.
• $I_c=C*(U_c)'$
• $P=1/2*C*U^2$





Sorba kapcsolt ellenállás és reaktancia impedanciák eredője:

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2}$$

Fázisszög:

$$\varphi = \operatorname{atan}\left(\frac{X}{R}\right)$$

3. Egyfázisú rendszer teljesítmény-fogalmai. Különböző típusú fogyasztók feszültség-áram fazora és teljesítménye.

Teljesítmények számítása.

A pillanatnyi teljesítmény a feszültség és áram pillanatértékeinek (időfüggvényeinek) szorzata.

$$p(t) = u(t) \times i(t) = \sqrt{2}\ U \sin(\omega t) \times \sqrt{2}\ I \sin(\omega t - \varphi)$$

ahol:

$$u(t) = \sqrt{2}\ U \sin(\omega t) \qquad i(t) = \sqrt{2}\ I \sin(\omega t - \varphi)$$

- **A hatásos teljesítmény** $P = UI \cos(\varphi)$

A pillanatnyi teljesítmény átlagértéke a hatásos teljesítmény.

Ezt a teljesítményt szolgáltatja a generátor a fogyasztónak.

- **Meddő teljesítmény.**

A meddő teljesítmény átlagértéke zérus, mivel ez lüktető (oszcilláló) teljesítmény. $Q = UI \sin(\varphi)$

a) A pozitív félperiódusban a meddő teljesítmény a generátortól a fogyasztó felé áramlik.

b) A negatív félperiódusban a meddő teljesítmény a fogyasztó felől a generátor felé áramlik.

- **Látszólagos teljesítmény**

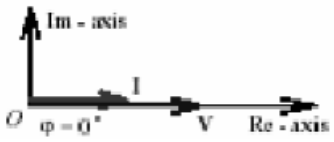
A rendszer vagy egyes komponensei (generátor, transzformátor stb) teherbíró képességét jellemzi.

A pillanatnyi teljesítmény időfüggvénye
• Kétszeres frekvenciával oszcillál
• A görbe eltolódott, a pozitív terület nagyobb, mint a negatív.
• Az átlagos átvitt teljesítmény:

$$P = \frac{1}{T}\int_0^T p(t)\ dt$$

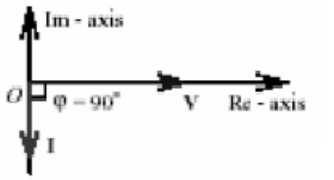
Az impedanciák (Ω=Ohm):

- **a) Ellenállás (R)**



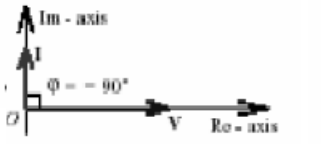
- **b) Induktív reaktancia**

$$X_L = \omega L$$

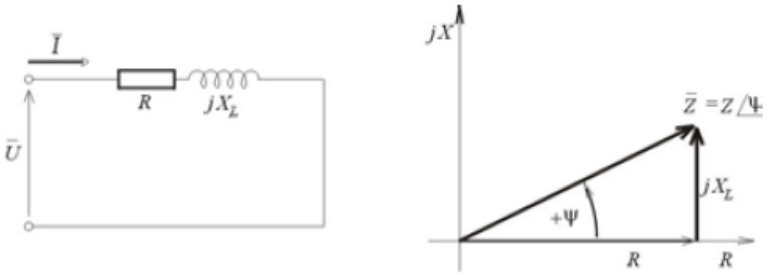


- **c) Kapacitív reactancia**

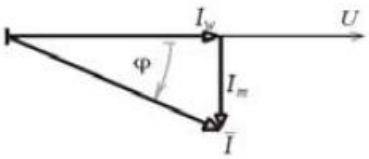
$$X_C = \frac{1}{\omega C}$$



A tipikus ohmos és induktív fogyasztó (motor) komplex impedanicája, árama és teljesítménye:



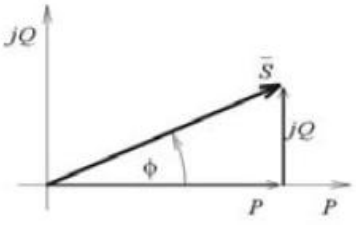
a, impedancia (Ψ szög és X_L reaktancia pozitív)



$$\bar{I} = \frac{\bar{U}}{\bar{Z}} = \frac{U}{Z \angle \Psi} = \frac{U}{Z} \angle -\Psi = I \angle \varphi$$

$$\varphi = -\Psi$$

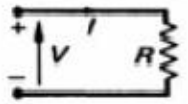
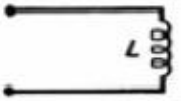
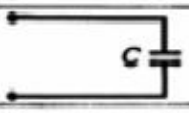
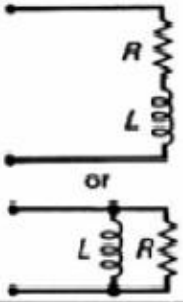
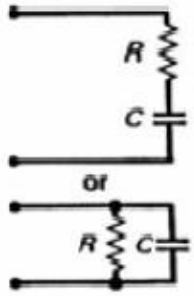
b, áram (Ψ szöge és I_m meddő komponense pozitív)



$$\bar{S} = \bar{U}\bar{I}^* = U I \angle \varphi_U - \varphi_I = U I \angle \varphi = U I \angle \phi$$

$$\phi = -\varphi = \Psi$$

c, teljesítmény (Q meddő teljesítmény és ϕ szög pozitív)

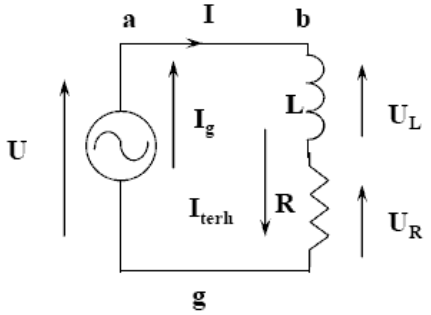
Load type	Phasor relation	Phase angle	Power absorbed by load	
			P	Q
		$\phi = 0$	$P > 0$	$Q = 0$
		$\phi = +90°$	$P = 0$	$Q > 0$
		$\phi = -90°$	$P = 0$	$Q < 0$
		$0 < \phi < +90°$	$P > 0$	$Q > 0$
		$-90 < \phi < 0$	$P > 0$	$Q < 0$

4.Generátoros és fogyasztói teljesítmény előjelek értelmezése. Teljesítmény-mérő bekötése a fogyasztói pozitív irány szerint. Generátor, távvezeték és fogyasztó rendszer áramai és teljesítménye.

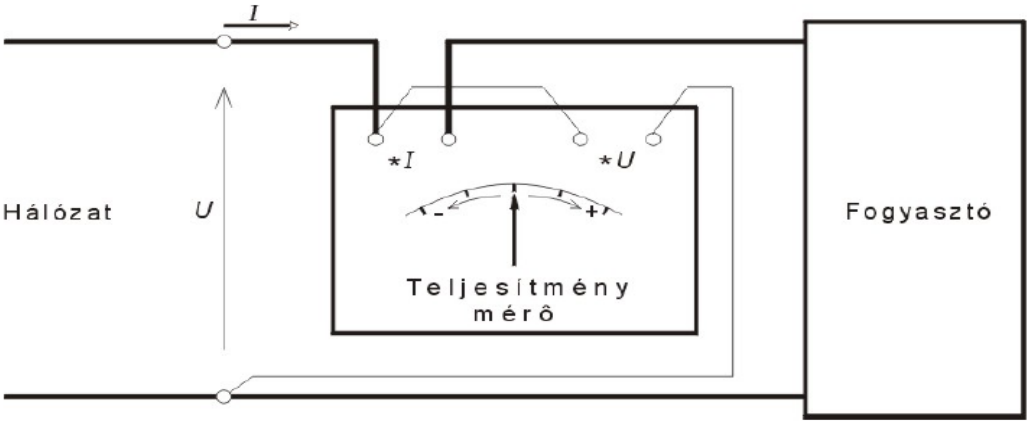
Generátoros és fogyasztói teljesítmény előjelek értelmezése:

Generátoros		Fogyasztói	
Hatásos	Meddő	Hatásos	Meddő
+P szolgáltatás	+Q szolgáltatás (kapacitív)	+P fogyasztás	+Q nyelés (induktív)
-P vételezés	-Q nyelés (induktív)	-P visszatáplálás	-Q visszatáplálás (kapacitív)

- **A generátor árama a pozitív félperiódusban a „*g*”-től az „*a*”-ba folyik.**
- **A generátor feszültsége és árama azonos irányú.**
- **A terhelés árama a pozitív félperiódusban „b”-től „g”-be folyik .**
- **A terhelés árama és feszültsége (referencia irány szerint) ellentétes irányú: a feszültség-esés negatív.**

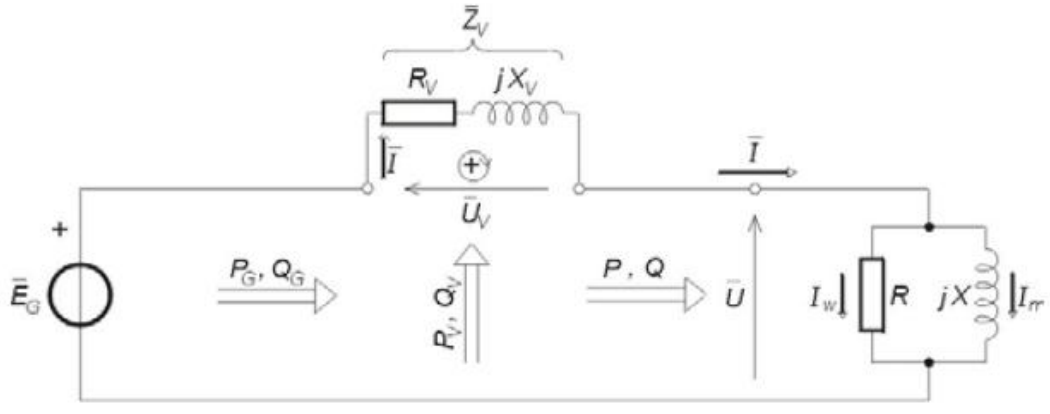


Teljesítmény mérő bekötése a fogyasztói pozitív irány szerint:



A helyettesítő (ekvivalens) egyfázisú kapcsolás egy generátort (esetleg generátorokat) tartalmaz, amely(ek) a fogyasztót egy impedancián (a távvezeték impedanciája) keresztül táplál(nak).

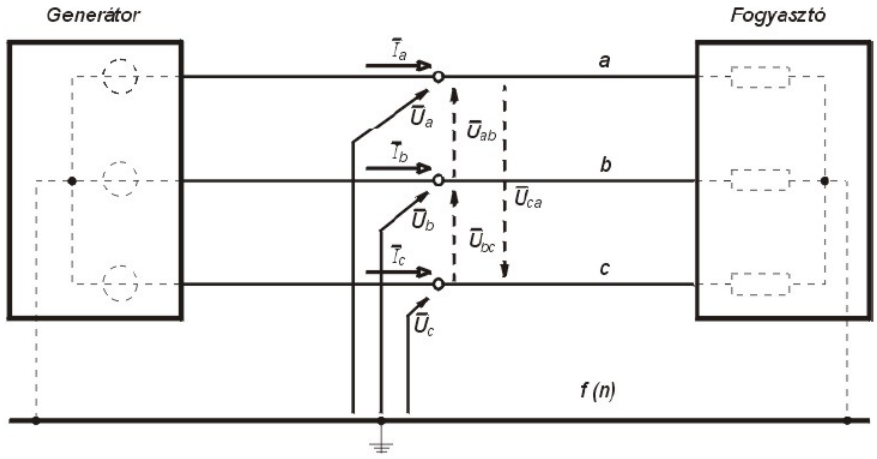
egyvonalas ábra



áramköri helyettesítés

5. Szimmetrikus háromfázisú rendszer jellemzése, áram- és feszültségviszonyai; vonali és fázismennyiségek, csillag és delta kapcsolás.

A villamos energia termelése, átvitele, elosztása és felhasználása szinte kizárólag váltakozó áramú, háromfázisú rendszerben történik. Ez alól csak a nagytávolságú, nagyfeszültségű, egyenáramú átvitel és a kisteljesítményű egyedi fogyasztók képeznek kivételt. Különleges, nem háromfázisú nagy fogyasztót jelentenek a váltakozó áramú villamos nagyvasutak is. A háromfázisú rendszer mellett szól mindenekelőtt az, hogy a térben 120 fokos irányokban elhelyezkedő, három tekercsből álló viszonylag gyszerű rendszerben - forgó mágneses mező hatására létrehozható az időben 120 fokkal eltolt háromfázisú elektromotoros-erő rendszer (szinkron generátor) - az időben 120 fokkal eltolt fázisáramok forgó mágneses mezőt eredményeznek, ami az egyszerű (aszinkron) motor alapja. A háromfázisú rendszer előnyei teljes mértékben akkor jelentkeznek, ha a rendszer szimmetrikus. Ilyen előny az átvitelnél pl. az, hogy nem kell visszavezetés (negyedik ú.n. nullavezető), illetve ha van visszavezető (földelt csillagpontú rendszereknél ennek tekinthető a föld is), abban nem folyik áram és ezért veszteség sem keletkezik. További előny az időben (pillanatértékben is) állandó teljesítmény (lásd alábbi b) pontot). A fenti előnyök kihasználására arra törekednek, hogy maga az energiarendszer és annak terhelése is gyakorlatilag szimmetrikus legyen.



a, feszültségek és áramok

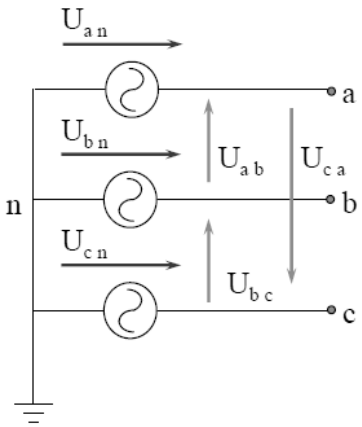
Csillag- vagy Y-kapcsolású rendszer

- A csillagpont földelt
- A fázisfeszültségek abszolút (effektív) értékei egyenlőek.
- A feszültségek között fázisszög azonos: 120-120 fok.

$$\mathbf{U}_{an} = |\mathbf{U}| \angle 0\,^\circ = U$$

$$\mathbf{U}_{bn} = |\mathbf{U}| \angle -120\,^\circ = |\mathbf{U}|\, e^{-j\,120\,\mathrm{deg}}$$

$$\mathbf{U}_{cn} = |\mathbf{U}| \angle -240\,^\circ = |\mathbf{U}|\, e^{-j\,240\,\mathrm{deg}}$$



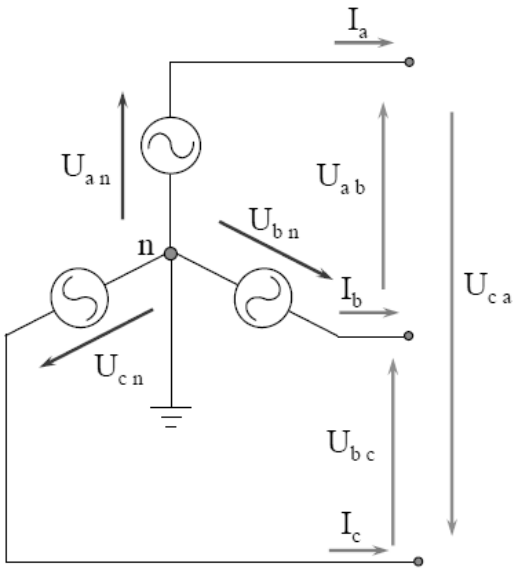
Csillag (Y) kapcsolású rendszerek

- A vonali feszültségek a fázisfeszültségek (fazorainak) különbségei

$$\mathbf{U}_{ab} = \mathbf{U}_{an} - \mathbf{U}_{bn} = \sqrt{3}\, U\, e^{j\,30\ \mathrm{deg}}$$

$$\mathbf{U}_{bc} = \mathbf{U}_{bn} - \mathbf{U}_{cn} = \sqrt{3}\, U\, e^{-j\,90\ \mathrm{deg}}$$

$$\mathbf{U}_{ca} = \mathbf{U}_{cn} - \mathbf{U}_{an} = \sqrt{3}\, U\, e^{j\,150\ \mathrm{deg}}$$



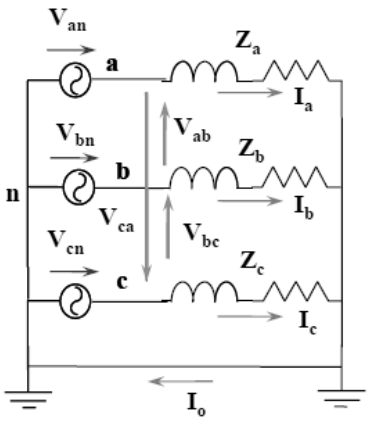
Csillagkapcsolású rendszer terheléssel

- **A terhelés impedanciái: $\mathbf{Z}_a$, $\mathbf{Z}_b$, $\mathbf{Z}_c$**
- **Minden fázisfeszültség a megfelelő impedancián áramot hajt át.**
- **A fázisáramok kifejezései:**

$$\mathbf{I}_a = \frac{\mathbf{U}_{an}}{\mathbf{Z}_a} \quad \text{és} \quad \mathbf{I}_b = \frac{\mathbf{U}_{bn}}{\mathbf{Z}_b} \quad \text{és} \quad \mathbf{I}_c = \frac{\mathbf{U}_{cn}}{\mathbf{Z}_c}$$

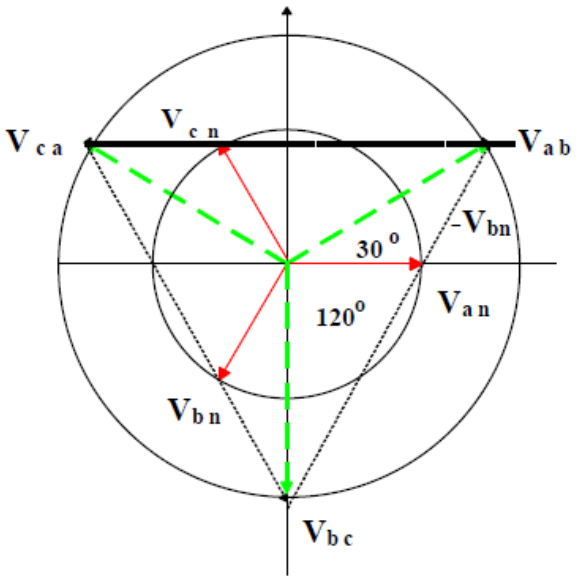
- **A negyedik (nulla)vezető ([föld]visszavezetési) árama**

$$\mathbf{I}_0 = \mathbf{I}_a + \mathbf{I}_b + \mathbf{I}_c$$

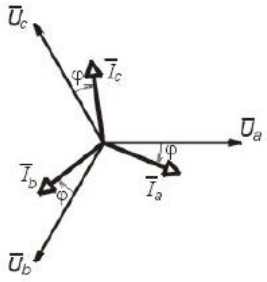


Csillag (Y) kapcsolású rendszer

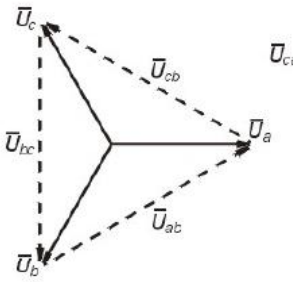
- Fazorábrát használunk a feszültségek megjelenítésére és számítására
- Az Y-kapcsolásban megjelennek a
  - **fázis- és a**
  - **vonali feszültségek.**
- A fázisfeszültségek egymáshoz képest 120-120 fokkal vannak eltolva.
- Hasonlóképpen a vonali feszültségek is egymáshoz képest 120-120 fokkal vannak eltolva.
- A vonali feszültsége 30 fokkal siet a fázisfeszültséghez képest.
- A vonali feszültség nagysága (effektív értéke) √3-szorosa a fázisfeszültségnek.

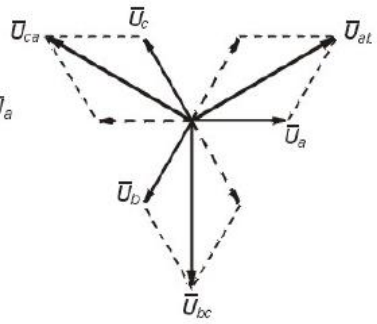


Delta (háromszög) kapcsolású fogyasztó



c, áram és fázis feszültség fazorok





d, fázis és vonali feszültség fazorok

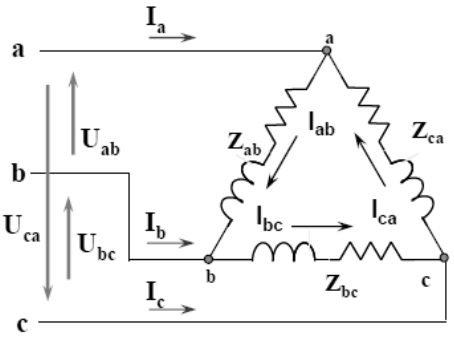
Delta- vagy háromszög kapcsolású rendszer

A vonali áramok:

$$\mathbf{I_a = I_{ab} - I_{ca}}$$

$$\mathbf{I_b = I_{bc} - I_{ab}}$$

$$\mathbf{I_c = I_{ca} - I_{bc}}$$



- **Kiegyenlített esetben:**

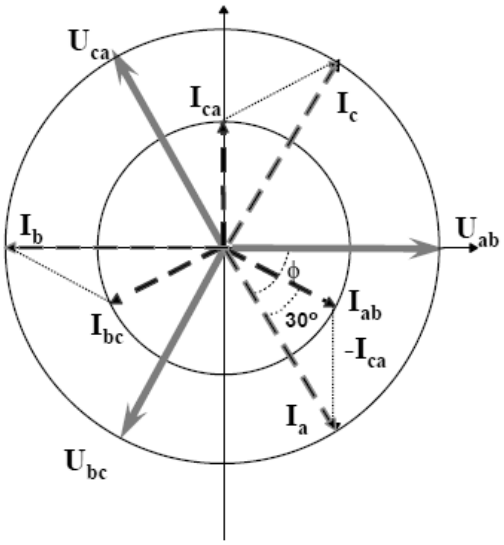
$$\mathbf{I_a} = \sqrt{3}\,\mathbf{I_{ab}}\, e^{-i\,30\deg}$$

vagy

$$\mathbf{I_{vonali}} = \sqrt{3}\,\mathbf{I_{fázis}}\, e^{-i\,30\deg}$$

Delta-kapcsolású rendszer

- **Fazorábrát használunk az áramok és feszültségek megjelenítésére és számítására.**
- **Egyféle feszültségünk van: a vonali (a fázisfeszültség ezzel megegyezik).**
- **Kétféle áramunk van:**
  - **Fázisáram és**
  - **Vonali áram**
- **A vonali feszültségek közötti fázisszög 120-120 fok.**
- **A fázisáramok 30 fokkal sietnek a vonali áramok előtt.**
- **A vonali áramok nagysága (effektív értéke) √3-szorosa a fázisáramoknak.**



6. Szimmetrikus háromfázisú rendszer teljesítmény összefüggései; a meddő teljesítmény értelmezése.

A teljesítmények számítása

- **A háromfázisú teljesítmény a fázisok teljesítményeinek összege**

$$P = P_a + P_b + P_c$$

- **Kiegyenlített terhelés esetén:**

$$P = 3\,P_{fázis} = 3\,U_{fázis} I_{fázis} \cos(\varphi)$$

- **Y-kapcsolású rendszerben:** $\mathbf{U}_{\text{fázis}} = \mathbf{U}_{\text{fn}}$, $\mathbf{I}_{\text{fázis}} = \mathbf{I}_{\text{v}}$, $\mathbf{U}_{\text{v}} = \sqrt{3}\,\mathbf{U}_{\text{fn}}$

$$P = 3\,U_{fázis} I_{fázis} \cos(\varphi) = \sqrt{3}\,U_v I_v \cos(\varphi)$$

- **Delta kapcsolású rendszerben:** $\mathbf{I}_{\text{v}} = \sqrt{3}\,\mathbf{I}_{\text{fázis}}$, $\mathbf{U}_{\text{v}} = \mathbf{U}_{\text{fázis}}$

$$P = 3\,U_{fázis} I_{fázis} \cos(\varphi) = \sqrt{3}\,V_v I_v \cos(\varphi)$$

Teljesítmények számítása

- **Csillag kapcsolású rendszerben:**

$$\mathbf{S}_{3_\text{fázis}} = 3\,\mathbf{U}_{\text{fázis}} \mathbf{I}^*_{\text{fázis}} = 3\,\overline{U}_{an}\,\overline{I_a}^* \qquad P_{3_fázis} = \mathrm{Re}\left(\mathbf{S}_{3_fázis}\right)$$

- **Delta kapcsolású rendszerben:**

$$\mathbf{S}_{3_\text{fázis}} = 3\,\mathbf{U}_{\text{fázis}} \mathbf{I}^*_{\text{fázis}} = 3\,\overline{U}_{ab}\,\overline{I_{ab}}^* \qquad P_{3_fázis} = \mathrm{Re}\left(\mathbf{S}_{3_fázis}\right)$$

Gyakorta használjuk a viszonylagos egységeket, illetve azok rendszerét a mennyiségek abszolút értékei helyett. A viszonylagos egység, melyet százalékokban vagy p.u-ban (tizedes számokkal)szokás megadni, bármely mennyiség (áram, feszültség, impedancia, teljesítmény) aránya egy választott (általában a névleges)bázismennyiséghez.

$$S_{pu} = \frac{S_{valóságos}}{S_{alap}} \qquad U_{pu} = \frac{U_{valóságos}}{V_{alap}}$$

$$I_{pu} = \frac{I_{valóságos}}{I_{alap}} \qquad Z_{pu} = \frac{Z_{valóságos}}{Z_{alap}}$$

A viszonylagos egységek használata egyszerűsíti a számításokat, például a transzformátorok kiiktathatóak a vizsgált hálózatból.

A vetítési alap a névleges feszültség és a névleges látszólagos teljesítmény. Ezekkel az impedancia alapértéke:

$$S_{névleges} = I_{névleges}\,U_{névleges}$$

E) A TRANSZFORMÁTOROK MŰKÖDÉSE

E1) Bevezetés

1. Példák vasmagos és vasmentes tekercsekre. A transzformátorok jellegzetességei és alkalmazásai.

transzformátor adott áramú és feszültségű teljesítményt más áramú és feszültségű teljesítménnyé alakít adott frekvencia mellett. Néha a fázisszám is változik. Mi a figyelmünket az *energiaátviteli transzformátorokra* koncentráljuk.

A transzformátorok alkalmazásának okai:

- A termelés–szállítás–felhasználás feszültség-és áramszintje más és más:
- Termelés: generátorok feszültség-szintje 10 kV nagyságrendű. Ez a szint várhatóan növelhető például szupravezetős generátorok kifejlesztésével és alkalmazásával.
- Szállítás: a szállítási veszteségek csökkentése az áramerősség csökkentésével érhető el. Ehhez azonban a feszültségszint növelése szükséges.
- Felhasználás: a fogyasztó védelme viszonylag kis feszültségek alkalmazását engedi meg.

Jellegzetességeik:

1. Az energiaátviteli transzformátorok *feszültségtranszfomátorok*, azaz feszültségkényszer hatása alatt üzemelnek.
2. Fázisszám: háromfázisú rendszerek terjedtek el. Az egységeket vagy három egyfázisú, vagy egy háromfázisú transzformátorból alakítják ki.
3. Növekedési törvények: tendenciaszerű összefüggés van érvényben a transzformátorok egységteljesítménye és méretei között.

2. Növekedési törvények.

$$S \sim U \times I \sim L^4$$

a transzformátorok mágneses és villamos igénybevételei, a mágneses fluxus és a villamos áramerősség a geometriai méretekkel, L, négyzetesen változnak, így a transzformátor névleges teljesítménye, S, a geometriai méretek negyedik hatványával arányos.

A teljesítménnyel a lineáris méretek csak

$$L \sim \sqrt[4]{S}$$

arányban nőnek.

A *G* súly és a villamos gépek azzal arányos *Á* ára arányos a köbtartalommal, tehát:

$$G \sim Á \sim L^3 \sim S^{\frac{3}{4}}$$

A térfogat azonban a méretek harmadik hatványával arányos:

$$V \sim L^3$$

Ezért a fajlagos mutató, *a*, az egységteljesítmény-súly és az egységteljesítmény-ár

$$a = \frac{V}{S} \sim \frac{1}{L} = \frac{1}{\sqrt[4]{S}}$$

növekvő egységteljesítménnyel csökken.

A viszonylagos ellenállás számszerűen a százalékos tekercsveszteséggel egyenlő:

$$R = \rho \frac{l}{A} \sim \frac{1}{L} \quad \text{miatt}$$

$$r = \frac{R}{Z_n} = R \cdot \frac{I_n}{U_n} = \frac{R \cdot I_n^2}{U_n I_n} \sim \frac{1}{L} \cdot \frac{\left(L^2\right)^2}{L^4} \sim \frac{1}{L}$$

azaz

$$r \sim \frac{1}{\sqrt[4]{S}}$$

A reaktancia a mágneses vezetéssel arányos, így a szórási reaktancia viszonylagos értéke:

$$\Lambda = \mu \frac{A}{l} \sim L \quad \text{miatt}$$

$$x_s = \frac{X_s}{Z_n} = X_s \cdot \frac{I_n}{U_n} = \frac{X_s \cdot I_n^2}{U_n I_n} \sim L \cdot \frac{\left(L^2\right)^2}{L^4} \sim L$$

nő a teljesítménnyel.

$$x_s \sim \sqrt[4]{S}$$

Legyen két transzformátor névleges teljesítményeinek aránya:

$S_{n1}/S_{n2}= 10$

Ekkor:

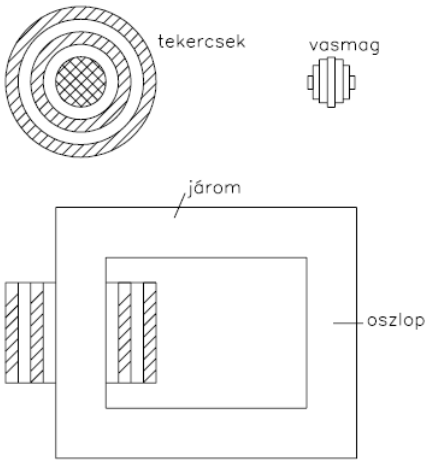
$$\frac{a_1}{a_2} = \sqrt[4]{\frac{S_{n2}}{S_{n1}}} = \frac{1}{\sqrt[4]{10}} = 0{,}56$$

Azaz a nagyobb, esetünkben tízszeres teljesítményű transzformátor fajlagos ára 44%-kal kisebb.

E2) Egyfázisú transzformátorok

1. Működési elv, a vasmag, a vasveszteség, a tekercselés.

A transzformátorok aktív részei: a tekercsek és a vasmag. A transzformátor sematikus rajza látható az alábbi ábrán.



A vasmag az alábbi feladatokat látja el:

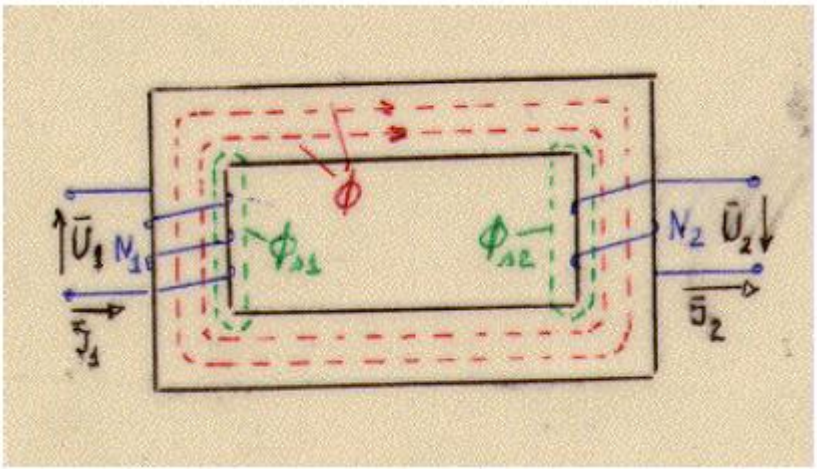
1. Elősegíti, hogy a szükséges mágneses indukciót minél kisebb gerjesztő (mágnesező) áram hozza létre.
2. Elősegíti a mágneses fluxus előírt útvonalra történő terelését.
3. A vasveszteség csökkentése érdekében *lemezelt*.
4. A kör keresztmetszet minél jobb közelítése érdekében *lépcsőzött.*

A tekercselés:

1. A legegyszerűbb az ábrán is látható hengeres tekercselés.
2. A tekercsek egymásba vannak tolva a két tekercs közötti szoros csatolás végett.
3. Kívül van a nagyfeszültségű, belül a kisfeszültségű tekercs, így könnyebb a szigetelés megoldása.

2. Fő- és szórt fluxus, az indukált feszültség számítása.

A vasmagban haladó mindkét tekercccsel kapcsolódó hasznos fluxus létesíti az energiaátvitelt, ezért azt főfluxusnak - vagy mágnesező fluxusnak - nevezzük és φ -vel, jelöljük. Értéke jelentősen függ a trafó vasmagjának telítési állapotától. -Mivel a vas permeabilitása a levegőénak kb. 1000-szerese a főfluxus sokkal nagyobb mint a levegőben záródó néhány százalékot kitevő szórt fluxus, a primer tekercs φ_{s1} szórtfluxusa. A szórt tér az energiaátalakításban nem vesz részt. Az energiaátviteli trafónál a szórást csökkenteni törekszünk.



A transzformátor feszültség-egyenlete:

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

A főfluxus teljes időfüggvénye:

$$\underline{\bar{\Phi}}_m = \bar{\Phi} e^{j\omega t} = \Phi_m e^{j\varphi_\phi} e^{j\omega t}$$

Ezzel:

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

névleges teljesítménye, S, a geometriai méretek negyedik hatványával arányos.

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, $N1$ és $N2$, valamint a főfluxus csúcsértéke, Φ_m egítségével:

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

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

$$\neq \text{feszültség - áttétel}$$

Az indukált feszültség effektív értékét az alábbi összefüggés szerint számíthatjuk:

$$U_{i,eff} = 4{,}44 f N_1 \Phi_m$$

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

Fenti képletet az oszlopindukcióval kifejezve kapjuk:

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

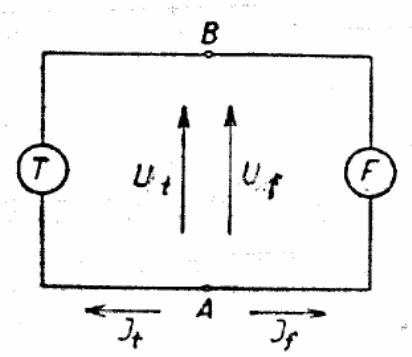
B_o az oszlopindukció csúcsértéke, $A_v = k_g k_v A_0$

A_v a vaskeresztmetszet, k_g a geomteriai, k_v pedig a vaskitöltési tényezőt

A_o a vasmag köré írható kör keresztmetszete.

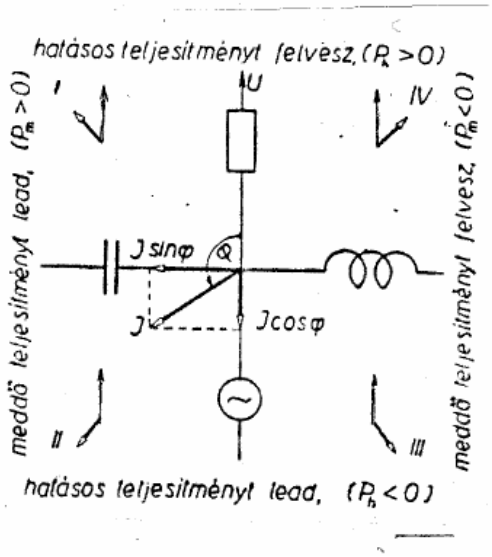
3. Az ideális transzformátor, a fogyasztói pozitív irányrendszer, feszültség-egyenletek, viszonylagos egységek.

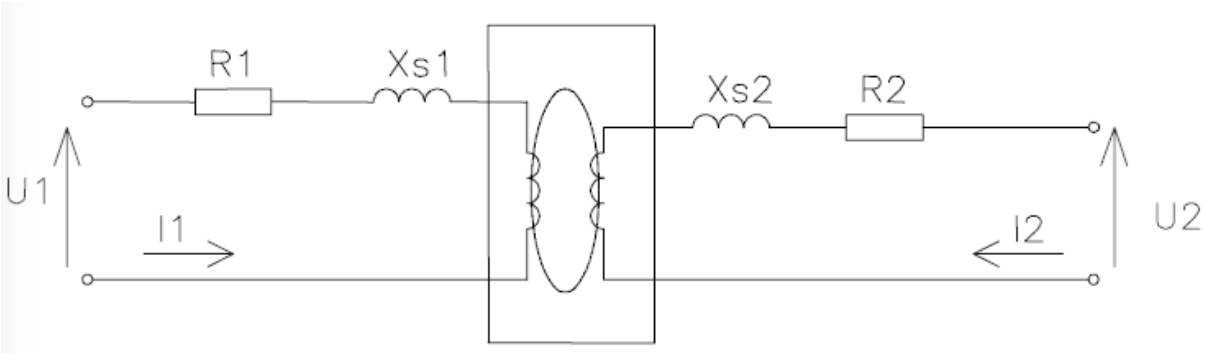
Az egyenletek felírásához *pozitív irányrendszer* választása is szükséges. Mi az ún. ***fogyasztói*** **pozitív** irányrendszert használjuk, amelyben a felvett teljesítmények előjele pozitív. Az ábra szimbolikus T termelő és F fogyasztó kétpólusa mindegyikében mind az áram mind a feszültség pozitív irányát egyformán A-tól B felé választjuk



A választott irányrendszerrel

- a felvett hatásos teljesítmény pozitív előjelű, a leadott negatív.
- a kondenzátor "leadott" meddő teljesítménye pozitív,
- az induktivitás "felvett" meddő teljesítménye negatív előjelű.





A komplex effektív értékekkel kifejezve a transzformátor feszültség-egyenlete:

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

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

Az egyenletek jól mutatják a fogyasztói pozitív irányrendszer választásának előnyét: az egyenletek szimmetrikusak, ugyanolyan alakúak mindkét tekercsre.

Az egyes komponensek nagyságrendjét sokszor *relatív egységekben*, százalékosan, p.u. szokás megadni.
Ehhez szükséges a *névleges impedancia* fogalma:

$$Z_{1,n}\Big|_{\text{fázis!}} = \frac{U_{1,n}}{I_{1,n}}\Big|_{\text{fázis!}}$$

A feszültségegyenletet átírjuk relatív egységekbe, amelyeket kisbetűkkel jelöljük:

$$\frac{U_1}{U_{1,n}} = \frac{R_1 I_1}{U_{1,n}} + j\frac{X_{s,1} I_1}{U_{1,n}} + \frac{U_{1,i}}{U_{1,n}}$$

Hasonló átalakításokkal kapjuk a feszültség-egyenlet viszonylagos egységekben kifejezett alakját:

$$\overline{u_1} = r_1 \overline{i_1} + j\, x_{s,1} \overline{i_1} + \overline{u}_{i,1}$$

$$\overline{u_2} = r_2 \overline{i_2} + j\, x_{s,2} \overline{i_2} + \overline{u}_{i,2}$$

Mivel

$u_1 = 1$

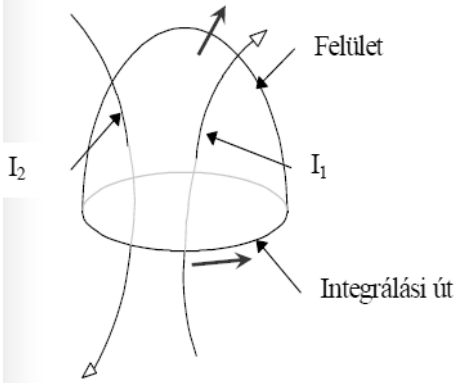
$r_1 \approx r_2 \approx 1\ldots 2\%$, ennek oka : $p_{t,1} \approx p_{t,2}$

$x_{s,1} \approx x_{s,2} \approx 2\ldots 5\%$, elméletileg általában nem választhatóak szét

Így: $u_{i,1} \approx u_1 = 1$

4. Mágneses Ohm-törvény, feszültség-kényszer, a gerjesztések egyensúlyának törvénye, áram-áttétel.

A mágneses Ohm-törvény



Fluxus = Mágneses vezetőképesség × Gerjesztés

$$\Phi = \Lambda \Theta$$

$$\Theta = \sum_k I_k ,$$

A tekercsfluxus:

$$\Psi = N \Phi$$

Ezekkel: $\overline{\Psi}_{m,1} = N_1 \overline{\Phi}_{m,1} = N_1 \Lambda_m \overline{\Theta}$

ahol $\overline{\Theta} = N_1 \bar{I}_1 + N_2 \bar{I}_2$

a primer és szekunder tekercs gerjesztéseinek fazorösszege!

Mit tudunk *Θ*-ról?

A transzformátor feszültségkényszer alatt dolgozik. ezért:

$$U_1 = áll \Rightarrow U_i \approx áll \Rightarrow \Phi \approx áll \Rightarrow B \cong áll \Rightarrow \Theta \approx áll$$

$$\Uparrow \qquad \Uparrow \qquad \Uparrow$$

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

Tehát: A feszültség-kényszer miatt a transzformátor eredő gerjesztése a terhelési állapottól közel független $\overline{\Theta}_{eredő} \approx \overline{áll} = N_1\bar{I}_1 + N_2\bar{I}_2$

Vagyis: Bármelyik áram „kicserélhető”, helyettesíthető, ha a helyettesítő tekercs menetszámát úgy választjuk meg, hogy:

$$N_i I_i = N_i' I_i'$$

Használjuk fel, hogy $\frac{U_{1,i}}{U_{2,i}} = n$

A feszültségkényszer miatt:

$$\overline{\Theta}_{eredő} \cong \overline{áll} \Rightarrow \bar{I}_{m,1} \approx \overline{áll}$$

Vagyis az eredő gerjesztés (a vasveszteség elhanyagolásával) a primer mágnesező gerjesztéssel egyezik meg.

Így: $\bar{I}_{m,1} = \bar{I}_1 + \bar{I}_2' \cong \text{áll}$

A vasveszteséget is figyelembe véve:

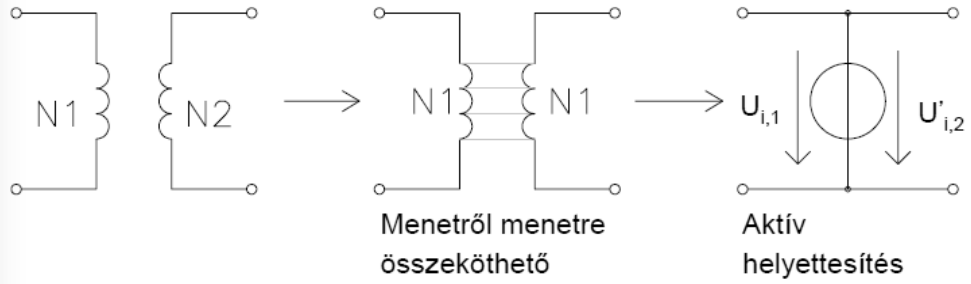
$$\overline{\Theta}_1 + \overline{\Theta}_2 \approx \overline{áll} = \overline{\Theta}_{1,üj} \Rightarrow \approx \bar{0}$$

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

Ez a gerjesztések egyensúlyának törvénye.

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.

5. Gerjesztés- és teljesítményinvariancia, redukálási szabályok, az impedancia-elemek nagyságrendjei.



1. Következtetés: az ideális transzformátor kiküszöbölését a **gerjesztések invarianciája** = változatlansága mellett oldottuk meg.

Ezzel a változtatással azonban a paraméterek is módosulnak.

A redukálás ahhoz kell, hogy a helyettesítő kép egy áramkör legyen, a szekunder oldali mennyiségeket át kell alakítani (redukálni) a primerre az alábbi összefüggések alapján:

2. Következtetés: energiaátviteli transzformátort vizsgálunk, ezért célszerű az a választás a paraméterek változására, hogy a *teljesítmény* is *invariáns* legyen.

Ez teljesül:

$$S_2 = U_2 I_2 = \left(nU_2\right)\left(\frac{I_2}{n}\right) = U_2^{'} \cdot I_2^{'}$$

Hasonlóan: $$P_{t,2} = R_2 I_2^2 = R_2\left(\frac{I_2}{n}\right)^2 n^2 = n^2 R_2 \left(I_2^{'}\right)^2 = R_2^{'}\left(I_2^{'}\right)^2$$

Láthatóan:

$$R_2^{'} = n^2 R_2$$

$$X_s^{'} = n^2 X_s$$

Általában:

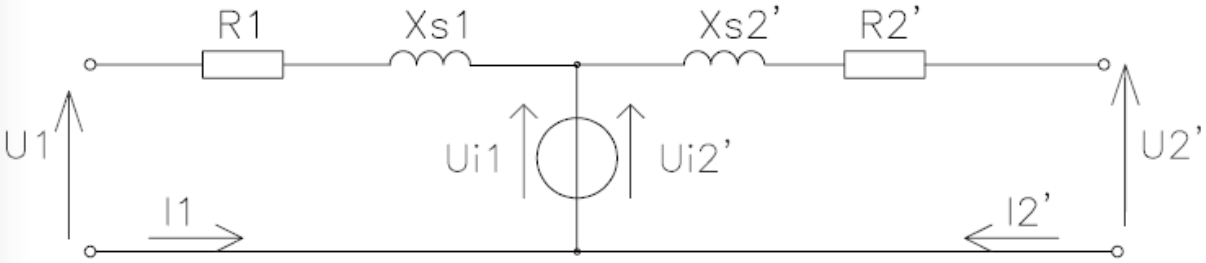
$$Z_2^{'} = n^2 Z_2$$

Az új változókkal a feszültség-egyenlet:

$$\overline{U}_1 = R_1\bar{I}_1 + jX_{s,1}\bar{I}_1 + \overline{U}_{i,1} \qquad \overline{U}_{i,1} = \overline{U}_{i,2}'$$

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

Vagyis az „aktív” helyettesítő kapcsolás:



Az impedancia elemek nagyságrendje:

Az üresjárási áram viszonylagos értéke nagyságrendben:

$$I_{1,0} \approx 0{,}1 \cdot I_{1,n} \quad \text{alapján} \quad i_{1,0} \approx 0{,}1 = 10\%$$

$$x_{1,m} \approx \frac{u_1}{i_{1,0}} \approx 10 = 1000\%$$

$$p_{vas} = \frac{u_{1,i}^2}{r_v} \approx 0{,}01 \Rightarrow r_v \approx 100 = 10\,000\%$$

6. A térelméleti helyettesítő kapcsolás, egyszerűsített helyettesítő kapcsolások.

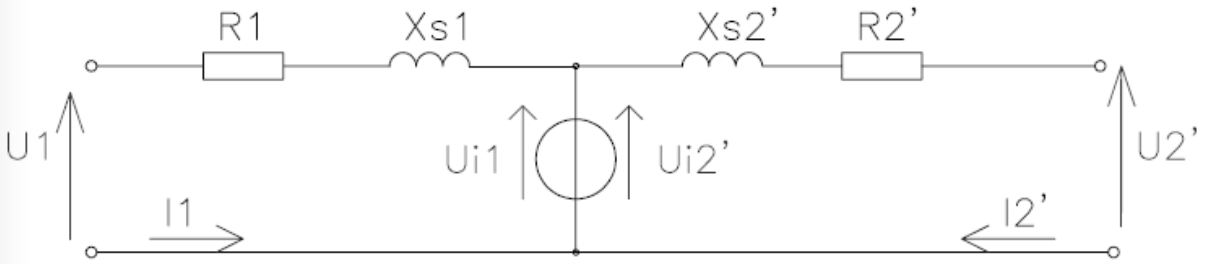
Az egyik fő hiányosság, hogy $X_{s,1}$ és $X'_{s,2}$ külön, szétválasztva szerepel, noha a szórások általában nem választhatók szét külön primer és külön szekunder szórásokra.

Az új változókkal a feszültség-egyenlet:

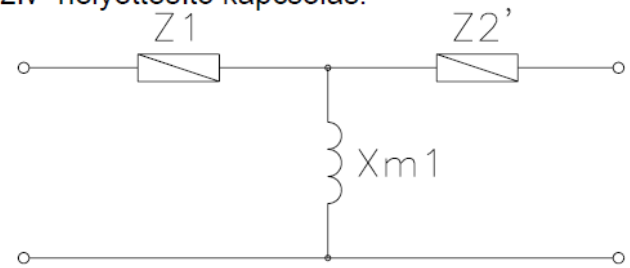
$$\overline{U}_1 = R_1\overline{I}_1 + jX_{s,1}\overline{I}_1 + \overline{U}_{i,1} \qquad \overline{U}_{i,1} = \overline{U}_{i,2}'$$

$$\overline{U}_2' = R_2'\overline{I}_2' + jX_{s,2}'\overline{I}_2' + \overline{U}_{i,2}'$$

Vagyis az „aktív” helyettesítő kapcsolás:



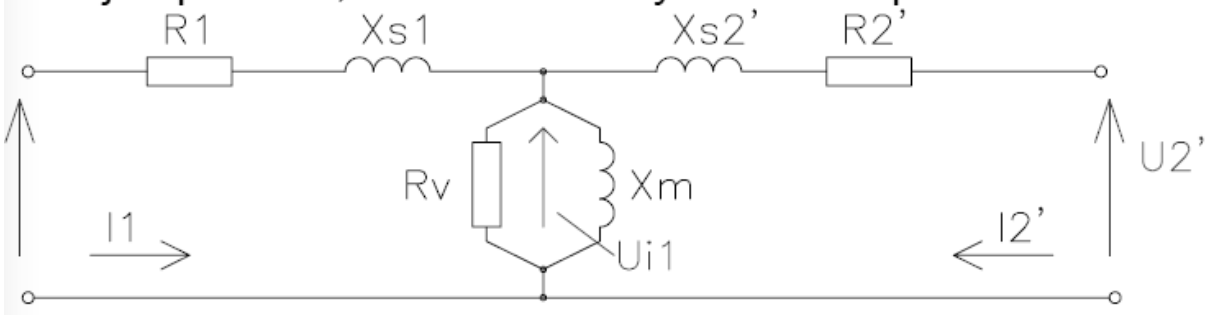
A „passzív” helyettesítő kapcsolás:



Ez a kapcsolás még nem teljes, mert vasveszteség is keletkezik. A vasveszteségek közel arányosak az oszlopindukció, és ezzel az indukált feszültség négyzetével:

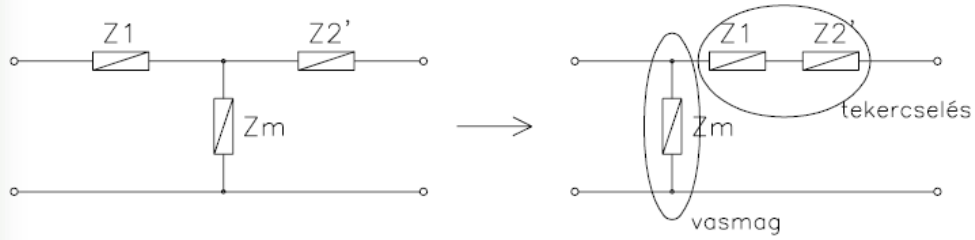
$$P_{vas} \propto B_{o,m}^2 \propto U_i^2$$

A teljes passzív, térelméleti helyettesítő kapcsolás:



<u>Egyszerűsített helyettesítő kapcsolások:</u>

a) $U_{1,i} \approx U_1$



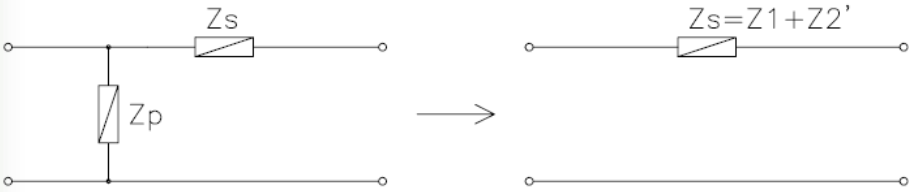
Különválasztva szerepelnek a vasmagra és a tekercselésre jellemző áramköri elemek.

Ezek mérése is igen egyszerű:

Vasmag: üresjárás

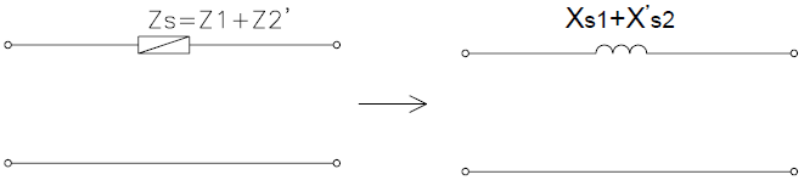
Tekercselés: rövidzárás

b) $Z_p \gg Z_1, Z_2$

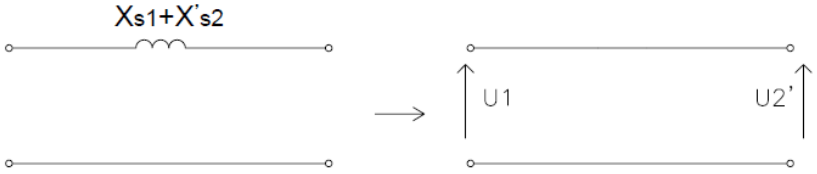


Az üresjárási áram és a vasveszteség az üzem számításakor sokszor elhanyagolható; ha nem fontos a hatásfok számítása, ezt az egyszerűsítést szokás választani.

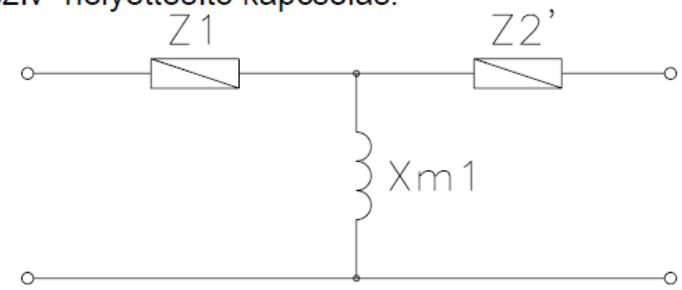
c) $R_1, R_2' < X_{s,1}, X_{s,2}'$



d) Ideális, veszteség- és szórásmentes transzformátor:



A „passzív” helyettesítő kapcsolás:



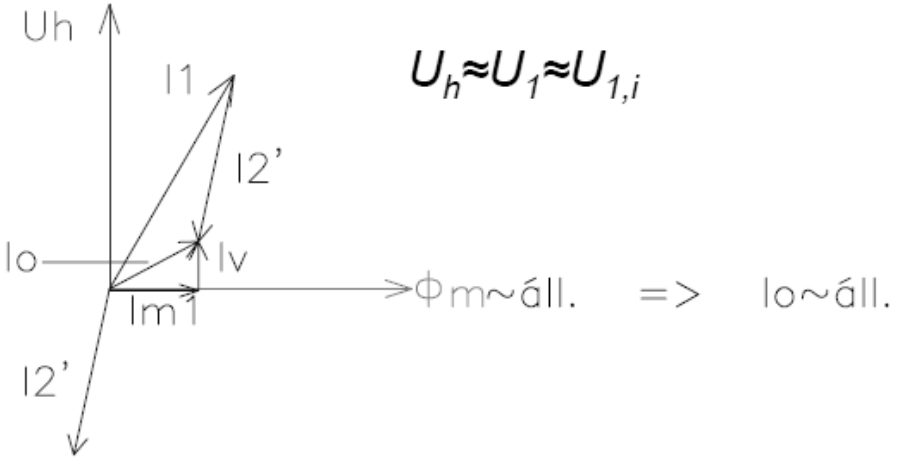
Ez a kapcsolás még nem teljes, mert vasveszteség is keletkezik. A vasveszteségek közel arányosak az oszlopindukció, és ezzel az indukált feszültség négyzetével:

$$P_{vas} \propto B_{o,m}^2 \propto U_i^2$$

7. Fazorábra: üresjárási és terhelési állapot.

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

Az $U_h = áll$ hálózati feszültségkényszer tehát a transzformátor állandó üresjárási gerjesztését írja elő.



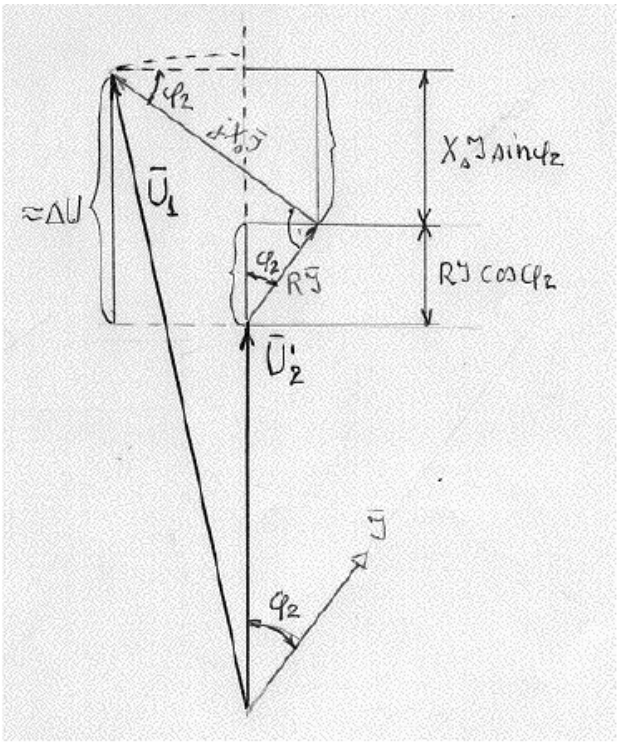
$$U_h \approx U_1 \approx U_{1,i}$$

A transzformátor **feszültségváltozása** - ami induktív terheléskor feszültségesés - a transzformátor szekunder kapocsfeszültségének megváltozása a terhelés hatására, azaz ***az üresjárási*** $U_{2,0}$ ***és terhelési*** U_2 ***szekunder kapocsfeszültségek nagyságainak különbsége az üresjárási értékre vonatkoztatva:***

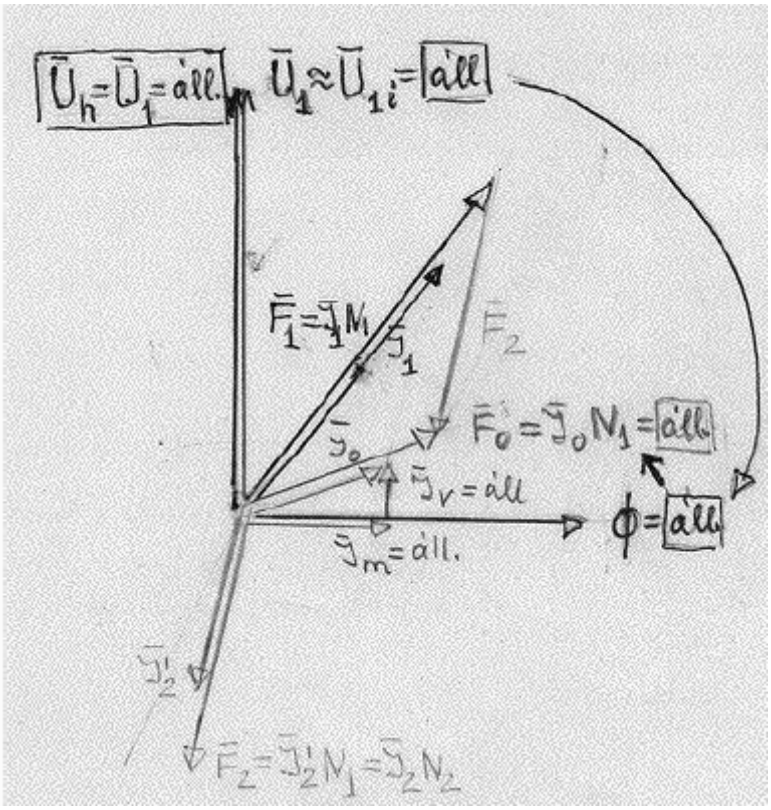
$$\frac{\Delta U}{U_{2,0}} = \frac{U_{2,0} - U_2}{U_{2,0}}$$

A szekunder feszültségeket a primerre redukálva a névleges értékkel

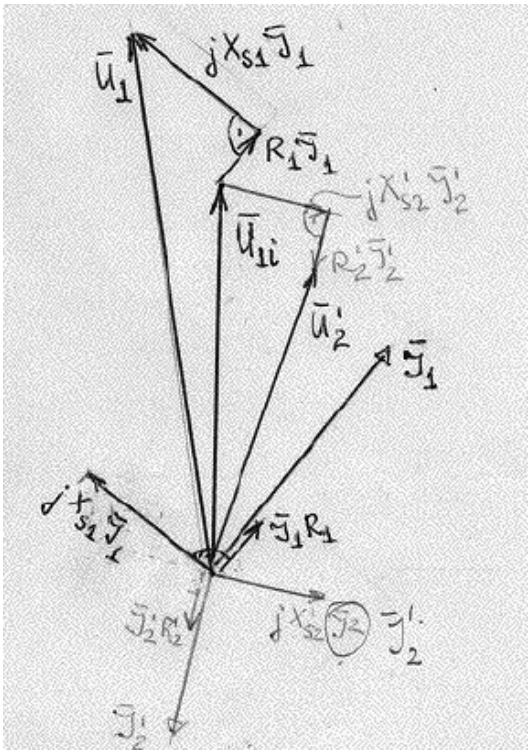
$$\frac{\Delta U}{U_{1,n}} = \frac{U_{1,n} - U_2'}{U_{1,n}}$$



Üresjárási állapot: (a méretarányok torzak)

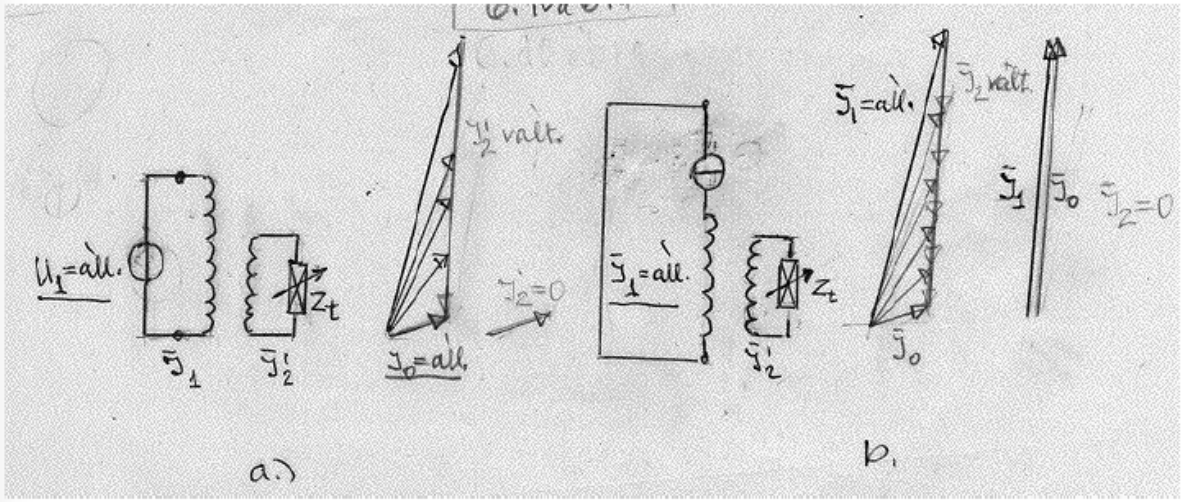


Terhelési állapot: (a méretarányok torzak)



8. Feszültség- és áramtranszformátor.

Az ábrákon *(a) feszültség- ill. (b) áramtranszformátor* kapcsolását valamint $\bar{I}'_2$ és $\bar{I}_1$ terhelésfüggő változását rajzoltuk fel Z_t állandó fázisszögét feltételezve.

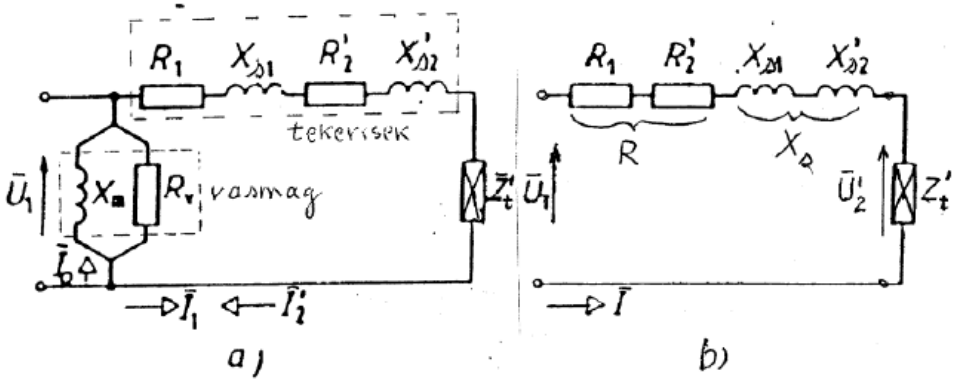


Az **első** esetben az $\bar{I}_o = \overline{áll}$ kényszer következtében a két áram változása a gerjesztések egyensúlya törvény szerint "összehangolt".

A **második** esetben az $\bar{I}_1$ =áll. kényszer következtében $\bar{I}_2'$ =0-hoz $\bar{I}_1 = \bar{I}_o$ azaz pl.≈20-szoros üresjárási áram és az ahhoz tartozó - a telítést figyelembe véve is - nagy fluxus tartozik, káros hatásaival.

9. A transzformátor feszültségváltozása. A transzformátor rövidzárási állapota. A drop fogalma.

Korábban megmutattuk, hogy a kis primer feszültségesésnek megfelelően gyakran közelítésként az áthidaló ágat a primer impedancia elé kapcsoljuk és így nyerjük az a) ábrán látható ún. "egyszerűsített helyettesítő kapcsolást", amelynek számos elvi és gyakorlati előnye van. A két párhuzamos ággal különválasztottuk a vasmag és tekercselés helyettesítő áramköreit. Az előbbi impedanciája 5%-os üresjárási áram és névleges állapot esetén utóbbiénak hússzorosa. Hálózati vizsgálatoknál ezért csak a b) ábrán látható ún. "soros" ágat vesszük figyelembe.

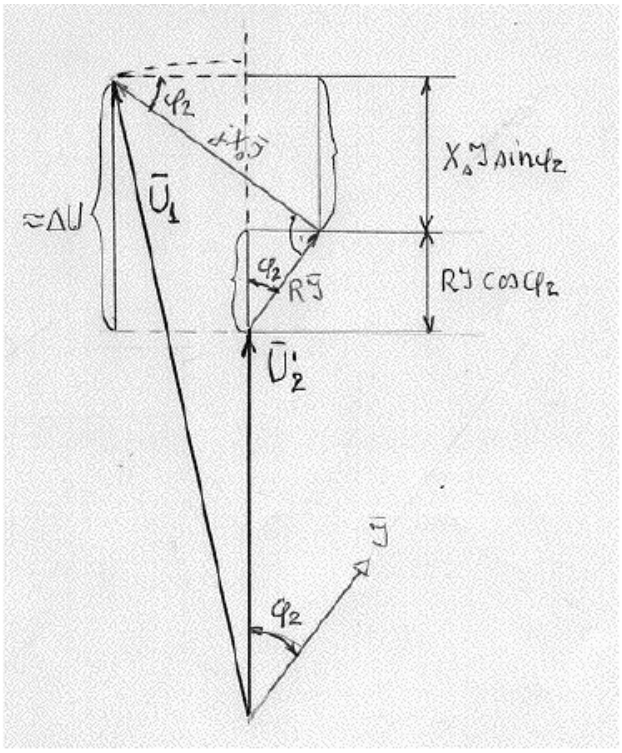


A transzformátor **feszültségváltozása** - ami induktív terheléskor feszültségesés - a transzformátor szekunder kapocsfeszültségének megváltozása a terhelés hatására, azaz ***az üresjárási*** $U_{2,0}$ ***és terhelési*** U_2 ***szekunder kapocsfeszültségek nagyságainak különbsége az üresjárási értékre vonatkoztatva:***

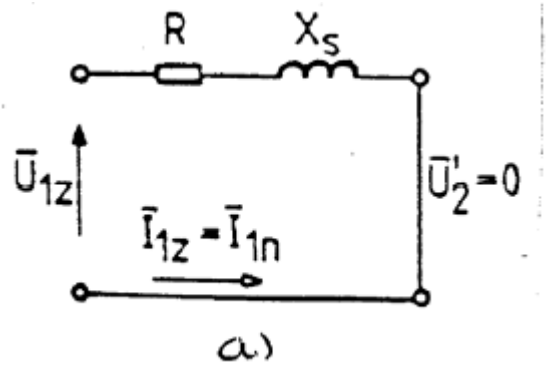
$$\frac{\Delta U}{U_{2,0}} = \frac{U_{2,0} - U_2}{U_{2,0}}$$

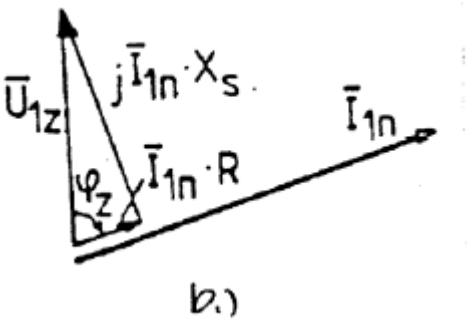
A szekunder feszültségeket a primerre redukálva a névleges értékkel

$$\frac{\Delta U}{U_{1,n}} = \frac{U_{1,n} - U_2'}{U_{1,n}}$$



Megkülönböztetjük az **üzemi** és a **mérési rövidzárást**. Előbbinél a névleges primer feszültségre kapcsolt transzformátor szekunderjének rövidzárásakor, ha a transzformátor névleges feszültségesése 5%, akkor 20-szoros állandósult áram keletkezik 400-szoros erő- és hőhatással. Ezt még megelőzi egy nagyobb átmeneti áramcsúcs. Az üzemi rövidzárlattal nem foglalkozunk. A zárlati mérés segítségével a transzformátorok egyik alapvető jellemzője, a *drop* határozható meg.
A mérési rövidzárlathoz tartozó helyettesítő kapcsolás a) és a vektorábra b):





Mérési rövidzáráskor az a) ábra szerint a rövidrezárt transzformátor primer feszültségét addig növeljük, míg abban a névleges áram folyik. Ennek a feszültségnek a névleges értékre vonatkoztatott - rendszerint százalékban megadott - értéket nevezzük a transzformátor rövidzárási feszültségének vagy dropjának:

$$\frac{\overline{U}_{1,z}}{U_{1,n}} = \frac{\bar{I}_{1,n}R}{U_{1,n}} + j\frac{\bar{I}_{1,n}X_s}{U_{1,n}}$$

A bevezetett jelölésekkel: $\bar{\varepsilon} = \varepsilon_R + j\varepsilon_x$

$$\left|\bar{\varepsilon}\right| = \varepsilon = \sqrt{\varepsilon_R^2 + \varepsilon_X^2} = \text{DROP}$$

Az ε–nal jelölt drop tehát nem más, mint a transzformátor rövidzárási feszültségesése százalékos (viszonylagos) értékben megadva. Szokásos nagysága a transzformátor terhelésétől függően 5–15%; nagyobb névleges teljesítményhez általában nagyobb drop tartozik a zárlati áramok korlátozása érdekében.

A drop a transzformátor fontos jellemzője. Megszabja a rövidzárlati áram nagyságát, az előbbiek szerint a feszültségesést és a transzformátorok párhuzamos kapcsolásakor is szerepe van.

E3) Háromfázisú transzformátorok

1. Származtatás, működési elv, az üresjárási áram aszimmetriája.

Háromfázisú transzformátort legegyszerűbben úgy nyerünk ha 3 darab egyfázisú transzformátor primer és szekunder tekercseit láncoljuk pl. csillagba vagy áromszögbe kapcsoljuk.
Hiba esetén ilyenkor elég egy egyfázisú transzformátort cserélni illetve nagy teljesítménynél a szállíthatóság írhatja elő a három különálló gépet. Mindjárt látjuk, hogy a háromfázisú egység olcsóbb ezért Európában, nálunk is, többnyire ezt alkalmazzák.

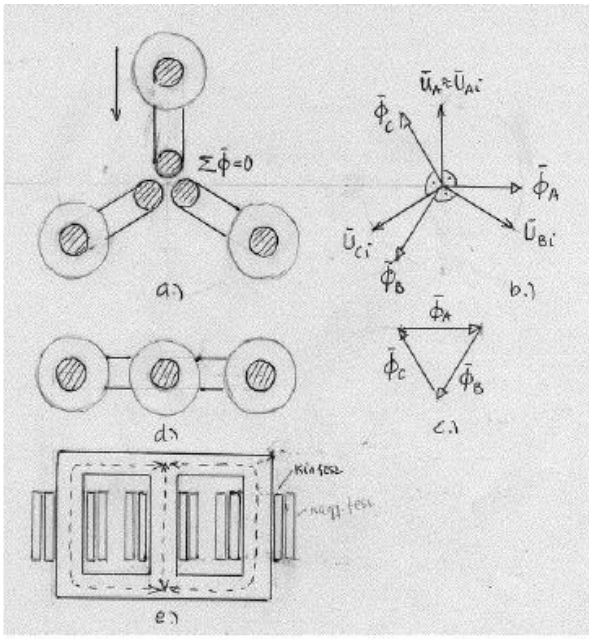
A használatos **magtípus** leszármaztatásához helyezzünk el három lánctípusu egyfázisú egységet szimmetrikusan, a).

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

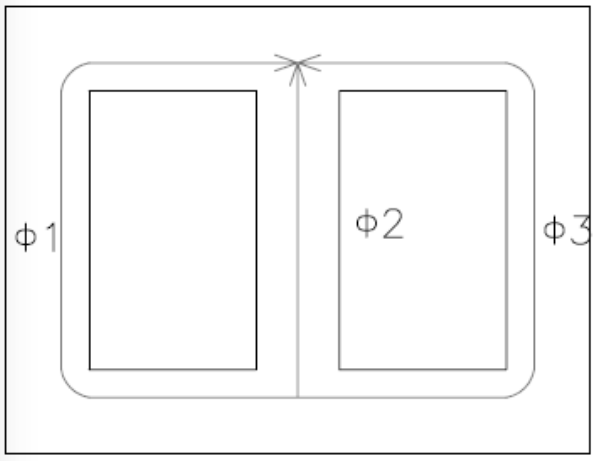
A c) ábrán látható, hogy $\sum \overline{\Phi}_k = \overline{0}$

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.



A középső oszlop rövidebb mágnesútja annak kisebb üresjárási áramát igényli, így az a háromfázisú üresjárási áramrendszer aszimmetriáját idézi elő.



A feszültség - kényszer miatt

$$\overline{\Phi}_1 = \overline{\Phi}_2 = \overline{\Phi}_3$$

A mágnesezési úthosszak :

$$l_2 < l_1 \quad \text{és} \quad l_3$$

így :

$$\overline{\Theta}_2 < \overline{\Theta}_1 \quad \text{és} \quad \overline{\Theta}_3$$

Ennek hatásait a továbbiakban elhanyagoljuk.

2. Aszimmetrikus terhelés, kiegyenlítetlen gerjesztés, a feszültség-rendszer aszimmetriája.

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. Problémát elsősorban az egyfázisú kommunális fogyasztók (lakások, irodák, stb.) okoznak. A kivezetett csillagponttal un. négyvezetékes rendszert nyerünk (l. ábra a következő dián) 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 bajok forrása.

A csillag-csillag kapcsolásában tételezzük fel az aszimmetria szélső, legrosszabb és legáttekinthetőbb esetét, amikor csak egy fázisban van terhelés. (A másik kettőben mindenki nyaral.)

Látható, hogy a B és C fázisokban csak a primer oldalon folyik áram. Így az üresjárási gerjesztés elhanyagolásával $N_1\overline{I_1} = -N_2\overline{I_2}$ -ből nyerhető kifejezésben $N_2\overline{I_2} = 0$, így ezeken az oszlopokon $N_1(\overline{I_1}/2)$ kiegyenlítetlen gerjesztés jelenik meg.

Kimutatható, hogy ilyen kiegyenlítetlen gerjesztés jelenik meg az A oszlopon is és mindhárom oszlop kiegyenlítetlen gerjesztése azonos fázisú. Az azonos fázisú gerjesztések három azonos irányú $\overline{\Phi_o}$ fluxust (un. zérussorrendű fluxusokat) hoznak létre és azok három 90°-ra sietı egyfázisú feszültséget indukálnak.

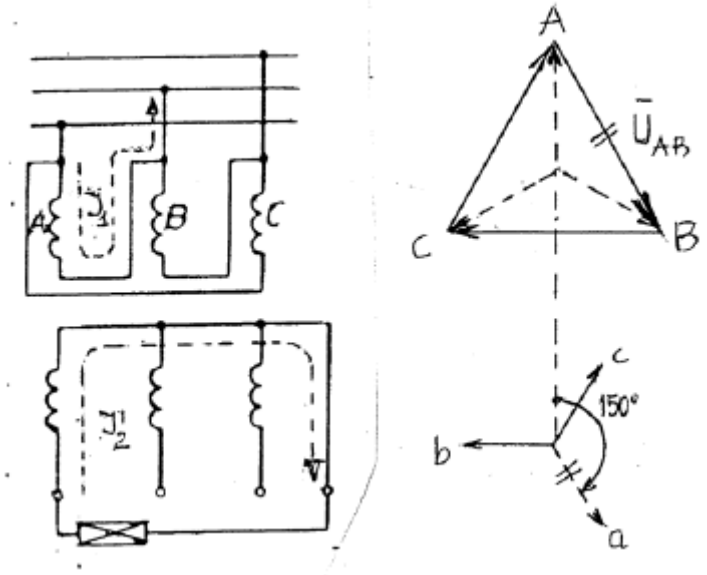
Ezeket az egyfázisú feszültségeket a transzformátor $\overline{U_a}, \overline{U_b}, \overline{U_c}$ szimmetrikus szekunder feszültség rendszeréhez hozzáadva (lásd ábra) teljesen aszimmetrikus $\overline{U_a}', \overline{U_b}', \overline{U_c}'$ kapocsfeszültség-rendszert nyerünk, ami a fogyasztók szempontjából megengedhetetlen (pl. megnövelt feszültségnél az égők kiégnek, a csökkentnél alig világítanak).

3. Háromfázisú transzformátorok kapcsolásai, órajel, kapcsolási csoport.

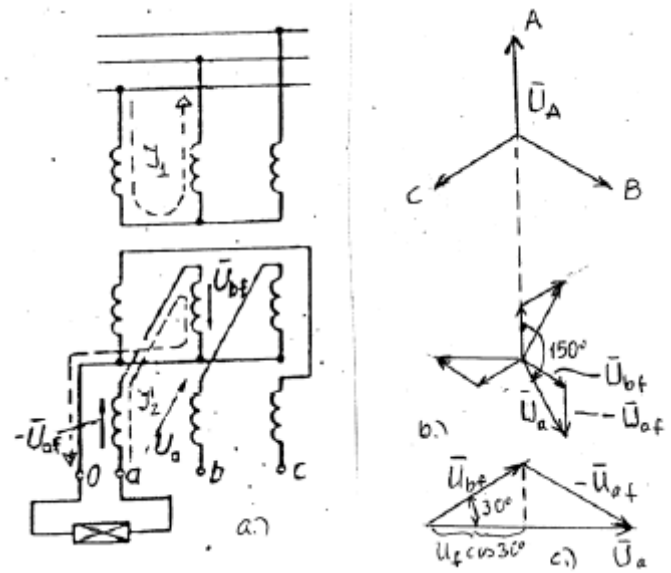
Háromszög-csillag kapcsolás

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, kerülik.



Csillag-zeg-zug kapcsolás
Minden szekunder tekercset két féltekercsre osztunk és azokat az ábra szerint kapcsoljuk össze úgy, hogy eltérő oszlopokon elhelyezkedő féltekercsek
képezzenek egy fázist. Az ábrán látható, hogy emiatt mindkét oszlopon kiegyenlített gerjesztéseket találunk.
A szekunder fázistekercsek kihasználását a féltekercsfeszültségek között 60 fokos fáziseltolás rontja, az eredő feszültségek és a részfeszültségek összegének (ez szabja meg a menetszámot) aránya ugyanis a c) - vízszintesen rajzolt - ábrából
leolvashatóan:



$$\frac{U_a}{\sum U_{fél}} = \cos 30° = \frac{\sqrt{3}}{2} = 0{,}86$$

A bemutatott kapcsolásoknál a primer és szekunder fázisfeszültségek között fázisszög eltérés van. A szimmetria viszonyokból kitűnik, hogy e fáziseltolás csak 30 º többszöröse lehet, ezért az óraszámlappal

jellemzik.
A szögnek megfelelő óra az ún. jelölőszám. Így egy kapcsolás jele a primer kapcsolás nagybetűjétől a szekunder kisbetűjéből és a jelölőszámból áll. A bemutatott kapcsolások sorrendjében ezek rendre: A kis o index a csillagpont kivezetést, a nulla (negyedik) vezetéket jelöli.

$Yy_0 0$, $Dy_0 5$, $Yz_0 5$

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.

F) AZ ELEKTROMECHANIKAI ÁTALAKÍTÓK MÁGNESES TERE (FORGÓ MOZGÁS LÉTESÍTÉSE)

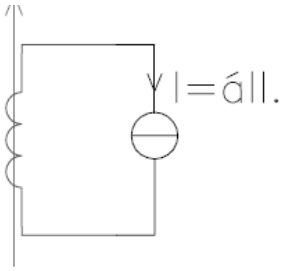
F1) Villamos gépek mágneses mezői

1. Állandó, lüktető és forgó mezők.

Mezőtípusok:

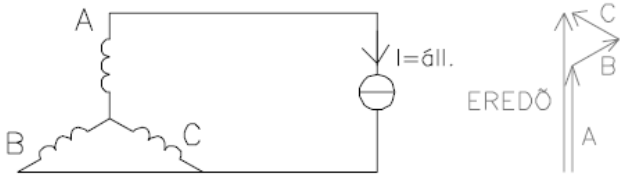
-állandó mező:

a) Egy tekercs egyenárammal gerjesztve.



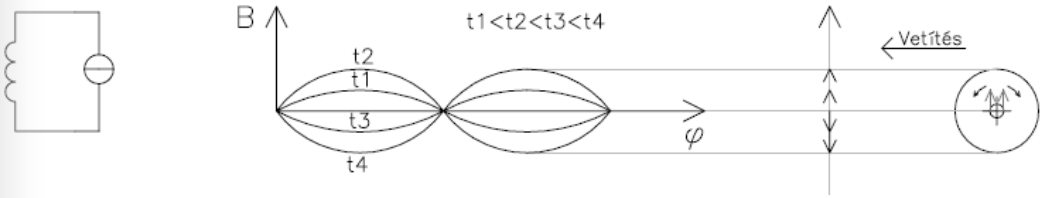
b) Több tekercs, térben háromfázisúan elhelyezve és egyenárammal gerjesztve.

$B_{eredő} = 1{,}5 \times B_A$, ez is állandó



-lüktető mező:

Egy tekercs, egyfázisú váltakozóárammal gerjesztve.



A lüktetőmező *térbeli állóhullám,* lineáris esetben összetehető két forgó mezőből.

FERRARIS TÉTELE: a lüktető mező felbontható két, egymással ellentétes irányban, azonos szögsebességgel forgó mezőre, amelyek amplitudója (hossza) a lüktető mező amplitudójának fele.

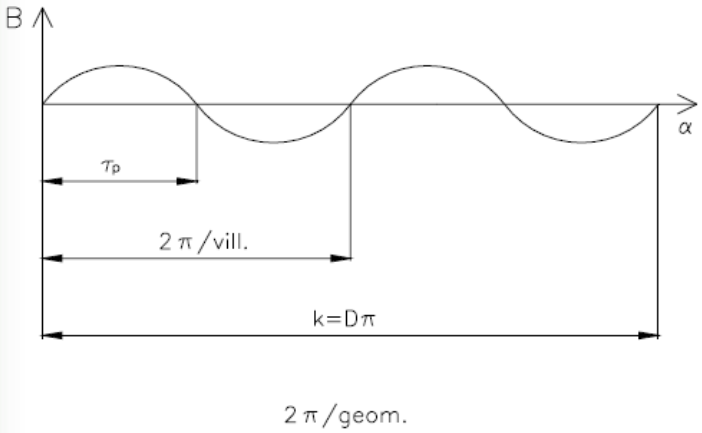
-forgó mező:

A forgómező létrehozásához:

Többfázisú tekercsrendszer

Többfázisú áram- (gerjesztés-) rendszer

} SZÜKSÉGES



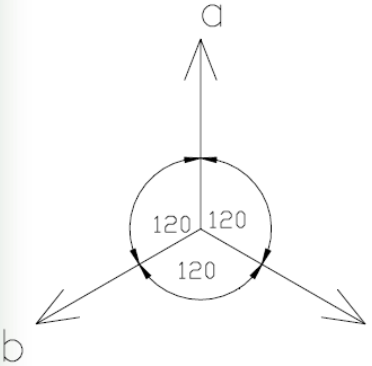
$$\tau_p = \frac{D\pi}{2p}$$

pólusosztás

$$\alpha_v = p \cdot \alpha_g$$

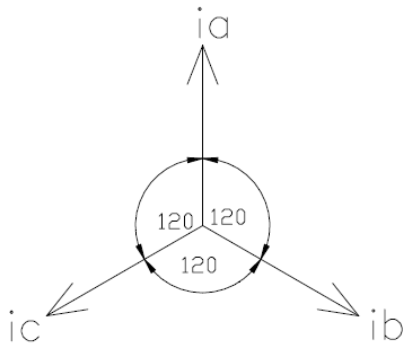
a villamos és a geometriai szög kapcsolata

TEKERCSEK TENGELYEI A TÉRBEN



A TÉRBEN „ELŐRE”

A TEKERCSEK ÁRAMAI AZ IDŐBEN

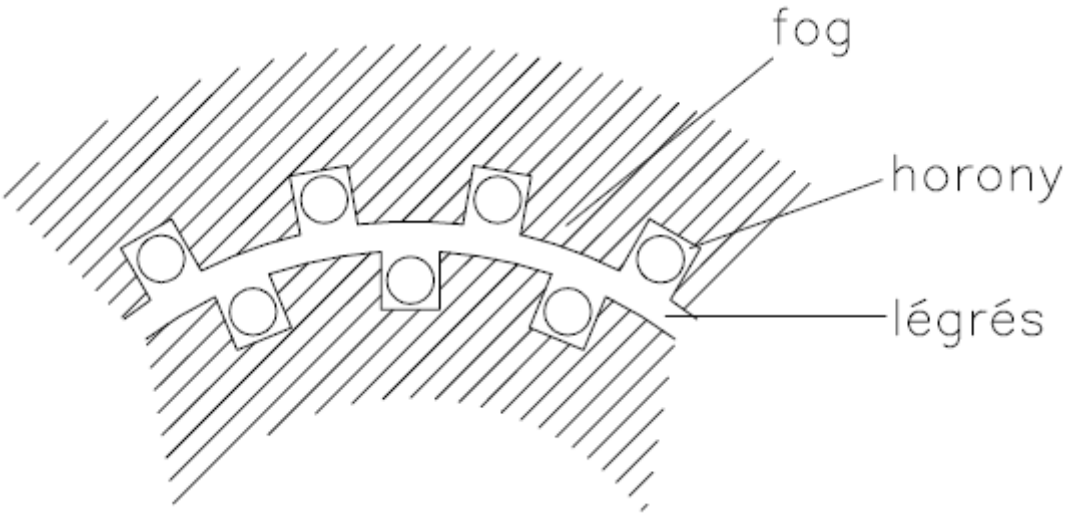


AZ IDŐBEN „HÁTRA”

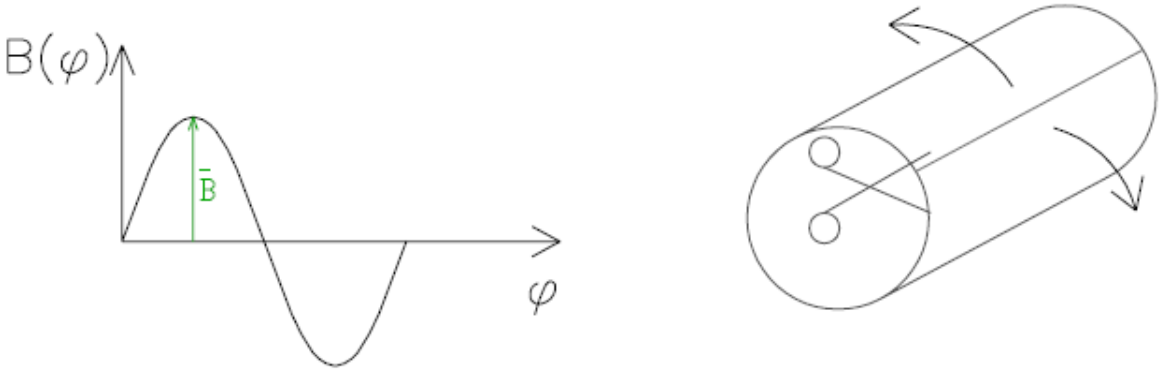
2. Forgó mező létrehozása többfázisú tekercsrendszerrel.

A SZOKÁSOS MEGOLDÁS:
az egyik (álló vagy forgó) tekercsrendszer áramait mágneses terét a másik (forgó vagy álló) tekercsrendszer hozza létre
Váltakozó árammal táplált tekercs lüktető mágneses teret hoz létre, aminek intenzitása és polaritása időben az áramnak megfelelően – időben szinuszosan – alakul. Ha térben egymáshoz képest 120°-ra elfordított 3 tekercset időben 120°-al – a periódus idő 1/3-ával – eltolt árammal táplálunk, akkor a térben és időben is eltolt 3 lüktető mező eredőjeként egy egyenletes szög sebességgel forgó mágneses teret – mágneses pólusrendszert – kapunk. Tetszőleges két tekercs táplálásának felcserélése – a fázissorrend változtatása – az eredő mező forgásirányának változásához vezet. Hasonló forgó mezőt kapunk, ha térben 90°-al elfordított 2 tekercset időben 90°-kal – a periódus idő 1/4-ével – eltolt árammal táplálunk.
Ferromágneses anyagból készült lemezt mágneses térbe helyezve az igyekszik beállni a fluxusvonalak irányába. Ha a fluxusvonalak – a mágneses tér – iránya változik, a ferromágneses lemez követi ezt a változást, jelen esetben forgó mozgást végez.

A tekercsoldalak rögzítésére szolgálnak a *fogak* és a *hornyok*:



A tekercsek hornyokban történő elhelyezével csökkenthető az álló– és a forgórész közötti *légrés.*
Mindig arra törekszünk, hogy villamos gépeinkben a térbeli indukcióeloszlás, valamint a feszültségek és áramok időbeli jelalakja a legjobban közelítse a szinuszfüggvényt.



A szinuszosság követelménye abból az ismert villamosságtani törvényszerűségből származik, hogy a **többfázisú, színuszos, kiegyenlített rendszerek villamos teljesítménye állandó.**

3. A forgómező tulajdonságai.

Az *i*-ik fázis indukcióhullámának kifejezése:

$$B_i = B_i(x,t) = B_i(t) \times T_i(x)$$

ahol $B_i(t)$ az időfüggvény, $T_i(x)$ a térbeli eloszlást leíró függvény.

Térbeli eloszlás

$$T_a(x) = \cos\left(\frac{x}{\tau_p}\pi - 0 \times \frac{2\pi}{3}\right)$$

$$T_b(x) = \cos\left(\frac{x}{\tau_p}\pi - 1 \times \frac{2\pi}{3}\right)$$

$$T_c(x) = \cos\left(\frac{x}{\tau_p}\pi - 2 \times \frac{2\pi}{3}\right)$$

A forgó mező matematikai leírása

A részletszámításokat elhagyva:

$$B_{\text{eredő}}(x,t) = B_a(x,t) + B_b(x,t) + B_c(x,t)$$

HÁROM FÁZIS ESETÉN:

$$B_{\text{eredő}}(x,t)\big|_3 = \frac{3}{2} B_m \cos(\omega_1 t - \frac{x}{\tau_p}\pi)$$

Tetszőleges *m* FÁZIS ESETÉN

$$B_{\text{eredő}}(x,t)\big|_m = \frac{m}{2} B_m \cos(\omega_1 t - \frac{x}{\tau_p}\pi)$$

Az eredő mező amplitudója általánosságban:

$$B_{\text{eredő,max}} = \frac{m}{2} B_{1f,\max}$$

I. Kerület mentén állandó szögsebességgel haladó hullám.

Ha ω_1 = áll, akkor a maximum-hely:

$$\omega_1 t = \frac{x}{\tau_p}\pi$$

$$x = R\omega_0 t$$

$$\tau_p = \frac{2R\pi}{2p} = \frac{R\pi}{p}$$

$$\omega_1 t = \frac{R\omega_0 t}{\frac{R\pi}{p}}\pi$$

$$\omega_1 = p\omega_0$$

$$\omega_0 = \frac{\omega_1}{p}$$

ω_1 a hálózati körfrekvencia

ω_0 *a mező szögsebessége*

R a forgó– vagy állórész sugara

ω_0 = szinkron szögsebesség

II ω_0 nem függ a fázisszámtól

Az „m" és „n" fázisú rendszerek ekvivalensek, ha

$$\frac{m}{2}B_{m,\max} = \frac{n}{2}B_{n,\max}$$

LINEÁRIS ESETBEN $m N_m I_m = n N_n I_n$

Ebből m/n állórész/forgórész fázisszám esetén:

$$n_U = \frac{N_m}{N_n}\left(\frac{\xi_m}{\xi_n}\right) \rightarrow U_2' = n_U U_2$$

$$n_I = \frac{m\ N_m}{n\ N_n}\left(\frac{\xi_m}{\xi_n}\right) \rightarrow I_2' = \frac{I_2}{n_I}$$

ξ a tekercselési tényező

III. A nyomatékképzés feltétele az álló és a forgórész pólusszám egyezése.

A két mezőnek, B_{st} és B_{rot} relatív nyugalomban kell lennie:

$$\omega_{0,st} = \omega_{0,r}$$

$$\Downarrow$$

$$p_{st} = p_{rot}$$

Ez a nyomatékképzés szükséges feltétele „gerjesztett" tekercsrendszerekben.

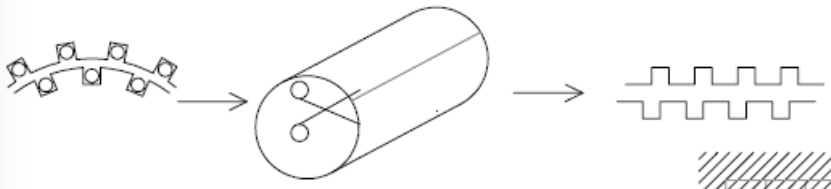
$$\omega_{st}\big|_B = \omega_{rot}\big|_B + \omega_{mech}$$

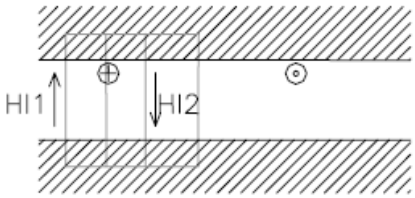
Ez az ún. **frekvenciafeltétel**

Ahol $\omega_{st}\big|_B$ a státor illetve $\omega_{rot}\big|_B$ a rotor mező szögsebessége a státorhoz illetve a rotorhoz képest.

4. Szinuszos mezőeloszlás létrehozása.

A számítás egyszerűsítése érdekében a hengeres álló– és forgórészt egy képzeletbeli ollóval a hengerpalást–felület egyik alkotója mentén felvágjuk, és a síkban kiterítjük.

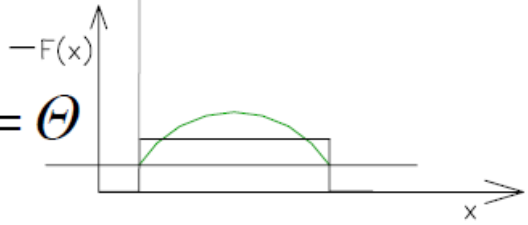




Alkalmazzuk a gerjesztési törvényt!

$$\operatorname{rot}\mathbf{H}=\mathbf{j}$$

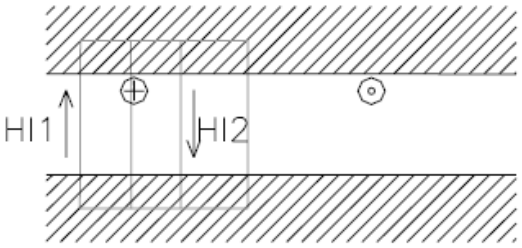
$$\sum_i U_{mag,i}=\oint \mathbf{H}\,d\,\mathbf{l}=\sum_k I_k=\Theta$$

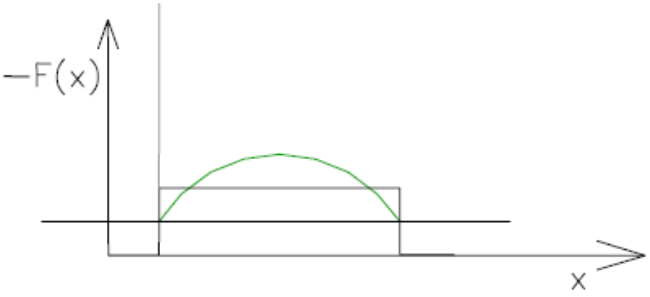


Alkalmazzuk a gerjesztési törvényt!

$$\sum_i U_{mag,i}=\oint \mathbf{H}\,d\,\mathbf{l}=\sum_n H_n l_n=\sum_k I_k=\Theta(x)$$

A légrésen, valamint az álló– és forgórész-vastesten át záródó integrálási útvonalakat felvéve, és elhanyagolva a vastestre eső mágneses feszültségeket ($\mu_{vas}=\infty$ közelítés), kapjuk a gerjesztés kerület menti eloszlását., esetünkben egy ún. *lépcsős görbét.*





A lépcsős görbe Fourier-sora adja meg a gerjesztéseloszlás, valamint – lineáris esetben – a légrésindukció–eloszlás alapharmonikusát és felharmonikusait.

$$B_1 = \frac{4}{\pi} B_m$$

az alapharmonikus indukció,

$$q = \frac{Z}{2pm}$$

a fázisonkénti és pólusonkénti horonyszám.

Mi történik q > 1 választás esetén?

MEZŐ

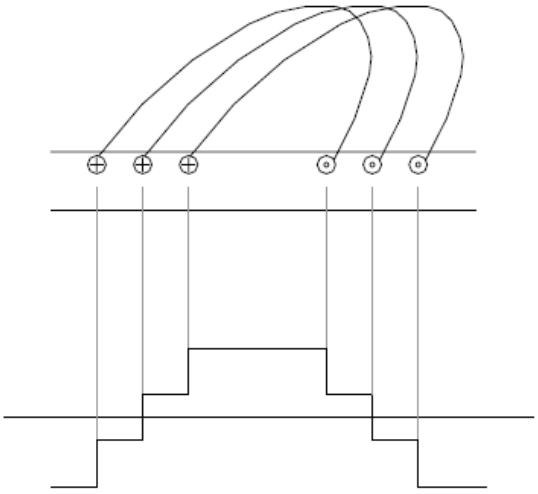
Szinuszosabb térbeli eloszlás

Előnyös

INDUKÁLT FESZÜLTSÉG:

Kisebb, mert az egyes tekercsoldalakban fázisban eltolt feszültségek indukálódnak, amelyek vektorösszege kisebb, mint a részfeszültségek abszolút értékeinek összege (a fázis-feszültség nagysága).

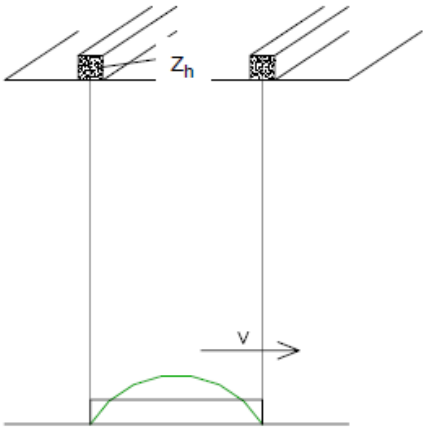
Hátrányos



5. *Indukált feszültség számítása. A tekercselési tényező.*

$$N_1 = \frac{z_1}{2}$$

N_1 = menetszám/fázis
z_1=összes sorbakötött vezetőszám/fázis, $z_h = z_1/Z$



$$u_i(t) = b(x)\, l_i \cdot v \cdot z_1$$

$$U_{i,eff} = \frac{U_{i,\max}}{\sqrt{2}} = \frac{1}{\sqrt{2}} B_{\max} \cdot l_i \cdot v \cdot z_1$$

$$B_{köz} = \frac{2}{\pi} B_{\max} \quad \text{szinuszos esetben!}$$

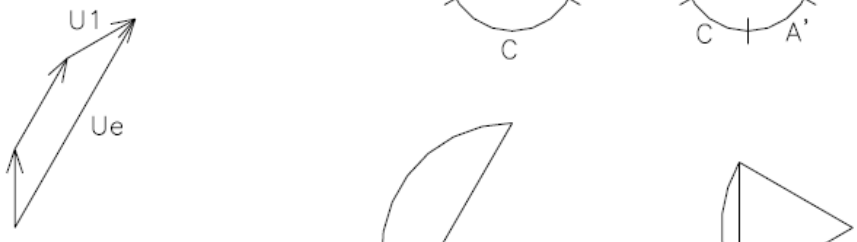
$$v = R\omega_0 = \frac{p\tau_p}{\pi} \cdot \omega_0 = \frac{\tau_p}{\pi} \omega_0 p = \frac{\tau_p}{\pi} \cdot \omega_1$$

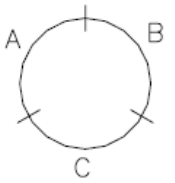
$$U_{i,eff} = \frac{U_{i,\max}}{\sqrt{2}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \left(\frac{\pi}{2} B_{köz} \right) \cdot l_i \cdot \left(\frac{\tau_p}{\pi} \cdot 2\pi f_1 \right) (2N_1) = \frac{4\pi}{2\sqrt{2}} f_1 N_1 B_{köz} l_i \tau_p = 4{,}44 f_1 N_1 \Phi_{\max}$$

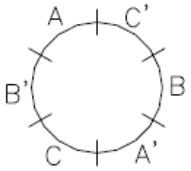
Ha $q \neq 1$ $\qquad U_{i,eff} = 4{,}44 \cdot f_1 \cdot N_1 \cdot \xi_1 \cdot \Phi_{\max}$

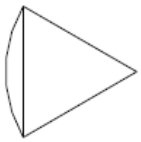
A bal oldali ábra mutatja az eredő indukált feszültség szerkesztését q=3 esetén.

A középső és a jobb oldali ábra q=∞ feltételezéssel készült. A középső ábrán a fásissáv szélessége 120° (nem szokásos), míg a jobb oldali ábrán a fázissáv a szokásos 60°.









$$\xi_{e,1} = \frac{U_e}{\sum_i |U_i|} \qquad \xi_{e,1} = \frac{\text{húr}}{\text{ív}} \qquad \xi_{e,1} = \frac{1}{\left(\frac{\pi}{3}\right)} = \frac{3}{\pi}$$

Tehát ***a tekercselési tényező megmutatja, hogy a tekercselés elosztottsága következtében milyen mértékben csökken az (alapharmonikus) indukált feszültség.***

F2) A frekvencia-feltétel és alkalmazása

1. A frekvencia-feltétel kifejezése és fizikai tartalma.

A nyomatékképzés feltétele az álló és a forgórész pólusszám egyezése.

A két mezőnek, B_{st} és B_{rot} relatív nyugalomban kell lennie:

$$\omega_{0,st} = \omega_{0,r}$$

$$\Downarrow$$

$$p_{st} = p_{rot}$$

Ez a nyomatékképzés szükséges feltétele „gerjesztett” tekercsrendszerekben.

$$\omega_{st}\big|_B = \omega_{rot}\big|_B + \omega_{mech}$$ Ez az ún. **frekvenciafeltétel**

Ahol $\omega_{st}\big|_B$ a státor illetve $\omega_{rot}\big|_B$ a rotor mező szögsebessége a státorhoz illetve a rotorhoz képest.

2. Gépfajták származtatása a frekvencia feltétel alapján:

a) szinkron gépek

Gépfajták származtatása #1: ω_r=0

Ha ω_r=0, akkor a forgórészt egyenárammal tápláljuk.

Ezzel: $$\omega_m = \omega_s$$

A γ szög mindig a terhelőnyomaték nagyságának megfelelően áll be.

A gép átlagos nyomatékot *egyetlen fordulatszámon*, az állórészmező fordulatszámán, az ún. szinkron fordulatszámon képes csak kifejteni.

Innen a neve: ***szinkrongép***. Az álló- és forgórész, mint láttuk korábban, helyet is cserélhet.

Az ún. indukciós gépek forgórészében indukált rotoráramok körfrekvenciája az ω_s szögsebességgel forgó állórészmező és az ω_m szögsebességgel forgó forgórész közötti szögsebesség-különbségnek megfelelően

$$\omega_s - \omega_m$$

ami pontosan kielégíti a frekvenciafeltételt. *Az indukciós gép tehát a frekvenciafeltételt minden mechanikai fordulatszámon kielégíti, és véges rotorellenállással átlagos nyomaték képzésére képes a szinkron fordulatot kivéve.* ω_m és ω_s relatív értékeiktől függően lehet motor, generátor vagy fék.

Az indukciós motorok állórészére – egyes áramirányítós hajtásoktól eltekintve - a hálózati feszültséget kényszerítjük. Az indukálás révén a forgórészre is feszültségkényszer hat, amely terhelésfüggő. Mivel az álló- és forgórész-tekercselések általában szimmetrikus felépítésűek, és normális körülmények között a feszültségrendszer is az, az álló- és forgórészáramok is szimmetrikus áramrendszereket alkotnak.

A nyomatékképzéshez normális felépítésű indukciós motornál még véges forgórész-ellenállás szükséges. Ezt még a következőképpen is érzékeltethetjük. A forgórész áramok időbeli fázisát és így az árameloszlás térbeli helyzetét az indukált feszültség, ill. az indukáló fluxushoz képest a forgórész ellenállás/reaktancia viszonya szabja meg. A reaktancia nagysága arányos a forgórész frekvenciával (és így a szlippel). Az áramkiszorítás elhanyagolásával az ellenállás független a szliptől. A térben szinuszos indukcióeloszlás és ugyancsak szinuszos árameloszlás kölcsönös térbeli helyzetétől függ az egyes forgórészvezetőkre ható erők nagysága és iránya.

Ha a forgórész impedancia tisztán reaktív - tehát az ellenállás zérus -, akkor az egyes vezetőkre ható ellentétes irányú erők éppen kiegyenlítik egymást és az eredőnyomaték zérus. Tisztán ohmos forgórész esetén az erők mind egyirányban hatnak, és a nyomaték maximális. A valóságos esetekben, amikor a forgórésznek
ellenállása és - szlipfüggő - reaktanciája is van, a kettő arányától függően (ez az arány a szliptől függ) alakul az eredőnyomaték nagysága az egyes vezetőkre ható nyomatékok összegeként.

b) aszinkron gépek

Gépfajták származtatása #2: ω_r=var

Az indukciós motorok állórészére - egyes áramirányítós hajtásoktól eltekintve - a hálózati feszültséget kényszerítjük.

Az indukálás révén a forgórészre is feszültségkényszer hat, amely terhelésfüggő.

Mivel az álló- és forgórész-tekercselések általában szimmetrikus felépítésűek, és normális körülmények között a feszültségrendszer is az,

az álló- és forgórészáramok is szimmetrikus áramrendszereket alkotnak.

c) egyenáramú gépek

Gépfajták származtatása #3: $\omega_s = 0$

Az egyenáramú gépben az **álló- és forgórész egyenáramú táplálásával a frekvenciafeltételt nem lehet kielégíteni**. Ezt hidaljuk át a kommutátorral, amely a $0 \rightarrow \omega_r$ frekvencia átalakítást minden fordulatszámon elvégzi és így az $\omega_s = 0$ -hoz tartozó

$$\omega_m = -\omega_r$$

frekvenciafeltétel kielégítését **minden fordulatszámon** biztosítja.

A ***kommutátor frekvenciaátalakító marad akkor is, ha a keféket váltakozóárammal tápláljuk***, ekkor, a frekvenciaváltozás változatlanul egyenlő a kommutátor forgási sebességével. Az

$$\omega_s = \omega_1$$

$$\omega_r = \omega_1 - \omega_m$$

frekvenciákkal ***a frekvenciafeltétel automatikusan kielégül minden mechanikai fordulaton.***

Ez az alapja a váltakozóáramú kommutátoros gépek működésének.

3. A reluktanciamotor működési elve.

Forgórészük az aszinkron motorok kalickás forgórészére emlékeztet, de a reluktancia nyomaték keletkezése érdekében a forgórészt kiálló pólusokkal látták el azáltal, hogy kb. a pólusok felének megfelelő részeken a légrést a fogak kimarásával megnövelték. A kimarások helyét és a forgórész hornyait alumíniummal öntik ki, amit a homlokoldalakon gyűrűk kötnek össze. Ilymódon egyrészt kialakult a kiképzett pólusú (nem állandó légrésű) forgórésztest, másrészt indítókalicka is keletkezik . Indításuk a kalickák révén aszinkron motorként történik. Az ωszinkron szögsebesség közelébe gyorsulva a forgórész a reluktancia nyomaték hatására „beugrik” a szinkronizmusba. Az aszinkronos billenőnyomaték nagyobb, mint a szinkron (reluktancia) billenőnyomaték. Szinkron üzemben az indítókalickák lengéscsillapító hatásúak. Ha a tehelőnyomaték nagyobb lesz, mint a szinkron billenőnyomaték, a motor kiesik a szinkronizmusból. Ekkor esetleg aszinkronos üzemmód keletkezik, de ez tartós működésre nem használható.)

A reluktancia-nyomaték: Állandó légrésű gépben tehát csak hengeres nyomaték keletkezik, amelynek nagysága az álló- és forgórészmező tengelyei által bezárt γ szög szinuszával változik (*a* ábra). Gerjesztetlen kiálló pólusú gépnek csak reluktancianyomatéka van (*b* ábra), amely az állórészforgómező és a pólusok tengelye közötti szög kétszeresének szinuszával változik. Az eredő nyomaték a *c* ábrán látható. Mind az álló-, mind a forgórészen van tekercs, mindkettő elektromágnes, vagyis a pólusok a gép mindkét oldalán kényszerítettek. A két tekercs egybeeső tengelyével, a γ =0-val jellemzett helyzetben a teljesen szimmetrikus, megbolygatatlan erővonalkép erővonalai aztmutatják, hogy a nyomaték zérus. Az egyensúlyi állapot stabilis. Ugyanez a helyzet a γ =180°-kal jellemzett félfordulat után beálló labilis egyensúlyi helyzetben. A γ = 90°-hoz, a két tekercs merőleges helyzetéhez a maximális nyomaték tartozik. Az erőteljesen megbolygatott erővonalkép megnyújtott erővonalai rövidülni kívánnak.

.

4. A hiszterézismotor működési elve.

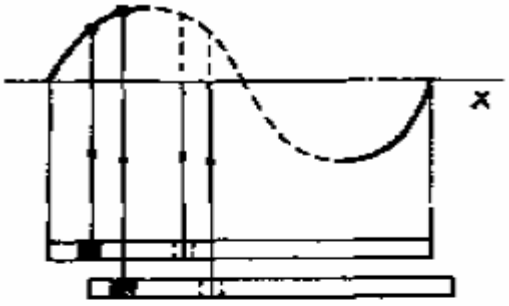
A hiszterézis nyomaték: A hiszterézis jelensége a hengeres és reluktancianyomatékon kívül egy harmadik nyomatékfajtát, a hiszterézisnyomatékot hozza létre. Ez lemezelt vasmagú gépben kicsi és csak permanens mágneses vasanyag esetén jelentős fajlagos értékű. Elsősorban törpe és kis gépekben
hasznosítják. Helyezzük a lemezelt lágyvasas hengerre húzott kemény mágneses anyagból készült, egyelőre lefogott gyűrűt szinuszos térbeli eloszlású, kétpólusú forgó mágneses térbe. A szemléletesség növelése céljából helyettesítsük először a
forgómezőt - az állórészt – egyenárammal gerjesztett mechanikusan forgatott pólusokkal.

Az indukció legyen a gyűrűben radiális irányban változatlan Btang≈0, és csak váltakozó átmágnesezést tételezzünk fel, forgót nem. Ez a felépítés a számítások céljaira szolgáló idealizált modell. A gépek valóságos kialakítása nagyon változatos.
Az állandómágnes gyűrű minden térfogateleme a mező - a pólusok - minden fordulatakor egyszer teljesen átmágneseződik és ezalatt abban egy hiszterézis hurok területtel arányos Wh1 hő keletkezik. Az ehhez szükséges Wm1 külső mechanikai munka a pólusrendszerből származik. Ha az örvényáram veszteséget - pl. porvasmag finom szemcsézése miatt - egyelőre elhanyagoljuk, a külső munka teljes egészében hiszterézisveszteséggé alakul:

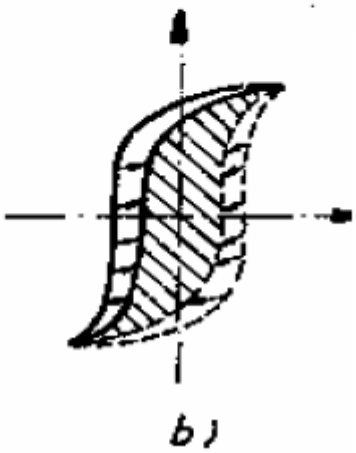
Wm1= Wh1

Feltettük, hogy a maximális indukció és így a hiszterézishurok területe a forgórész felgyorsulása közben állandó marad. Álló állapotban 50 Hznél 50 huroknak megfelelő területtel jellemezhető hiszterézisveszteség keletkezik, alakul hővé. Fél fordulatszámon már 25 hurokterület vész el, a légrésteljesítmény többi része mechanikai teljesítménnyé alakul. Szinkron fordulatszámon a hiszterézisveszteség zérus. Az aszinkron felfutás alatt a nyomatékot és ezzel a mechanikai teljesítményt az szolgáltatja, hogy a forgórész a hiszterézis hurok mentén fel van mágnesezve. Van tehát egy az állórészforgómezővel nyomatékot képező forgórész-pólusrendszer.
Ez az indukcióhullám - a forgórész kerületének felmágnesezettségi állapota - a közönséges aszinkronmotor forgórészmezejéhez hasonlóan körbefut a forgórészgyűrűhöz képest, de az egyes elemek adott pillanatban felmágnesezett permanens mágnesek. Ez a mező - a mechanikai fordulattal együtt - az állórészmezőhöz képest szinkron forog, de térben ϕ 1 állandó szöggel el van tolva
ahhoz képest, és így keresztmágnesező komponens állandó lévén, állandó nyomatékot eredményez. A közönséges aszinkron géphez képest csak az a különbség, hogy a forgórészmezőt nem a „villamosan indukált” forgórészáramok hanem a „mágnesen indukált” „elemi köráramok” hozzák létre.

A két összetapadt pólusrendszer tehát itt is megtalálható és hasonlóan viselkedik, mint az indukciós gépben. A forgórész „permanens mágneses” mező állandó
alakú és az állórészmezőhöz képest állandó térbeli szögű, de a forgórész egyes elemeihez képest körbe fut, így azokat a hiszterézishurok mentén a relatív fordulatszámnak megfelelő gyakorisággal átmágnesezi, így hiszterézisveszteséget okoz.



Az „álló” hiszterézishurok tehát a nyomaték létrejöttének oka, a felfutás alatti relatív elmozdulás pedig a hiszterézisveszteség okozója. Szinkron állapotban csak az előbbi, aszinkronban mindkettő fellép. A szinkron fordulatszámon átmágnesezés
már nincs, a mágnesezettség a kerülethez mintegy rögzítve „megáll”. A hiszterézishuroknak megfelelő b értékek rögzítve vannak az egyes forgórészgyűrűpontokhoz, annak a helyzetnek megfelelően, amikor az állórészmező „megállt” a forgórészhez képest. Az állórészmező a



forgórészmező és a forgórész így együtt forognak. A két mező tengelye között állandó szög van, és ennek megfelelő nagyságú a nyomaték. A kerület pontjai már nem futják be a hiszterézishurkot, így hiszterézisveszteség sem keletkezik. A szinkron állapoton belül a terheléssel a nyomaték változik, és ezt a változást a
fentebbi formula minőségileg helyesen írja le. A bonyolult jelenségek fizikája kb. a következő. Ha pl. a terhelőnyomaték csökken, a forgórész átmenetileg gyorsul, és a gyűrű egyes elemei az állórész más helyére kerülnek (a ábra), le, ill. felmágneseződnek. (b ábra.)

G) AZ ALAPVETŐ ELEKTROMECHANIKAI ÁTALAKÍTÓK MŰKÖDÉSI ELVEI (SZÁRMAZTATÁSA FREKVENCIA-FELTÉTELBŐL)

G1) Szinkron gépek

5. Háromfázisú szinkron gép felépítése és működési elve.

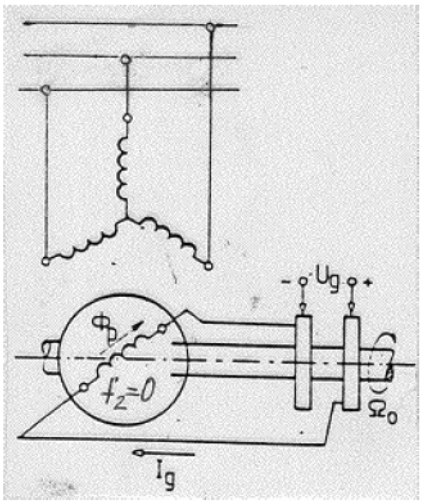
Láttuk, hogy váltakozó áramú gépeink működésének alapja két szinkron forgó forgómező, képletesen ét összetapadt, együttfutó pólusrendszer. Tengelyeik között - a terhelő nyomaték hatására - szögeltérés, szögelfordulás előáll, de állandósult állapotban fordulatszám-eltérés nem lehetséges. A szinkron gép állórészének a hálózatra kötött háromfázisú tekercselése a légrésben szinkron fordulatszámú forgómezőt hoz létre.

Az egyetlen forgórész tekercset egyenárammal tápláljuk. (Kis gépeknél lehet állandó mágneses.)

A forgórész mező így a forgórészhez képest áll, nyugalomban van (állandó mező), ahhoz rögzített, "hozzá van ragasztva":

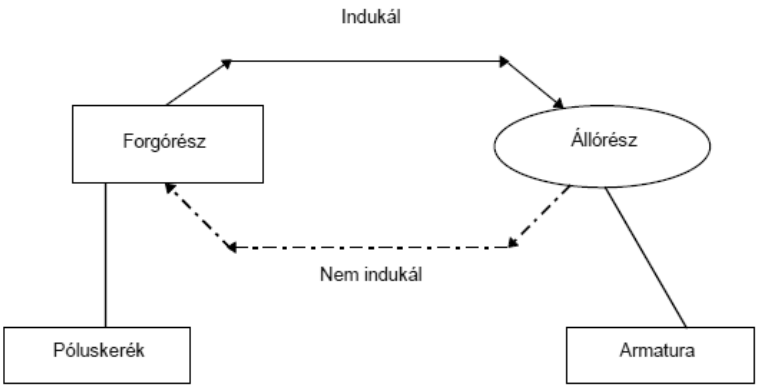
$$f_r = 0 \rightarrow n_r = 0$$

Ebből következik, hogy a forgórésznek az állórész mezővel együtt, azzal szinkron kell forognia



$$n = n_s = n_0 = n_1$$

A szinkron gép állandósult, szimmetrikus állapotban
UNILATERÁLIS = *indukálás csak egy irányban van*: a forgórész indukál az állórészbe.



A szinkron gép lengőképes, lengésre hajlamos rendszer. Az indukció vonalak rugalmas gumiszalagokként viselkednek. Az aszinkron gép lengését a kalicka - a rövidrezárt szekunder - indukált áramai fékezik. Hasonló hatások szinkron gépben is fellépnek. Ugyanakkor mivel a forgórész áramok révén "saját" mágneses tere van - azt nem a hálózatból felvett áramkomponensnek kell
létesíteni - a szinkron gép képes meddő - kapacitív meddő - teljesítményt szolgáltatni, azaz úgy viselkedni mint egy kondenzátor telep. Szokásos a rögzített pólusokkal ellátott forgórészt póluskeréknek, mezejét pólusmezőnek nevezni. Az állórész háromfázisú tekercselésének neve armatúra tekercselés, mezeje az armatúra mező. Armatúra tekercselésnek azt nevezzük, amelyben állandósult szimmetrikus állapotban feszültség indukálódik. A később megismerendő indukciós gépnél mindkét oldal ilyen így ott ez a megnevezés nem használatos.
Bár az armatura- és a pólusmező a szinkron gép légrésében egyetlen eredő mezővé tevődik össze és csak ez mérhető, azonban a két részmező - az azokat létesítő áramok – itt egymástól függetlenül változtathatnak célszerű a szinkron gépnél a két részmezőben gondolkodni. A szinkron gép elsősorban mint áramszolgáltató nagy generátor fontos. Míg az indukciós motor "hajtja a világ iparát", belátható időn belül a villamos energia döntő részét továbbra is szinkron generátorok szolgáltatják. A következőkben ezért általában a szinkron gép generátoros állandósult állapotát fogjuk vizsgálni. A hajtógép gőz-, víz vagy gázturbina. A nagy gőzturbinás generátorok 2-4 pólusúak, a vízturbinások gyakran nagy pólusszámúak, lassú fordulatszámúak.
Az állórész tekercselés háromfázisú, elviekben ugyanolyan, mint az indukciós gépeké. Miután a vas igénybevétele a fogak telítődése miatt nem növelhető, a nagy gépek áramsűrűségét, a kerületi áramot kell növelni, amihez erőteljes hűtés: lég-, hidrogén- ill. vízhűtés szükséges. Az állórész lemezelt. A forgórész két alaptípusa a hengeres és a kiálló pólusú változat az utóbbi az ábrán két és négypólusú változatban (b és c.). Szimmetrikus állandósult állapotban a forgórész együtt fut az állórész mezővel így abban indukálás, átmágnesezés nincs. Így, főleg a nagy röperő ellen, a hengeres változat lehet tömör.

6. Állandósult nyomaték kialakulásának feltétele. A szinkron fordulatszám.

Állandó nyomaték csak a két pólusrendszert állandó mágnesek együttfutásakor, azonos fordulatszámok esetén lehetséges.

A terhelő nyomaték hatására közöttük szögelfordulás keletkezik – az erővonalak megnyúlnak - de fordulatszám-eltérés nem lehetséges, mert akkor csak zérus középértékű un. lüktető nyomaték keletkezik. E kép alapján az együttforgás feltétele az álló- és forgórész pólusszámok egyezése is. A gép tehát csak egyetlen fordulatszámmal, az n0 szinkron fordulatszámmal képes forogni. Ha fordulatszáma ettől eltér, tehát "kiesik" a szinkronizmusból, akkor üzemképtelenné válik. Minden *relatív fordulateltérés* alatt a teljes, zérus középértékű nyomatékgörbét befutva csak lengő nyomaték keletkezik és a gép a hálózatra nézve gyakorlatilag rövidzárlatot jelent.
A forgórész mező a forgó mező "legegyszerűbb" alakja, nevezhetnénk „forgatott forgó mezőnek”, mechanikailag forgatott mezőnek, miután egy állandó mező mechanikai forgatásával jött létre.
Az elmondottakból következik, hogy a szinkron gép nem tud indulni. A *generátort* a hajtó gép - pl. a turbina – forgatja névleges fordulatra, a *motort* kalickával indukciós motorként vagy a tápláló inverter nulláról növekvő frekvenciájával kell a szinkron fordulat közelébe juttatni. A szinkron fordulat elérésekor mind a generátort, mind a motort - mint később látjuk - megfelelő módon kell a hálózatra kapcsolni, szinkronizálni kell.

H) ELEKTROTECHNIKAI KÖRNYEZETVÉDELEM

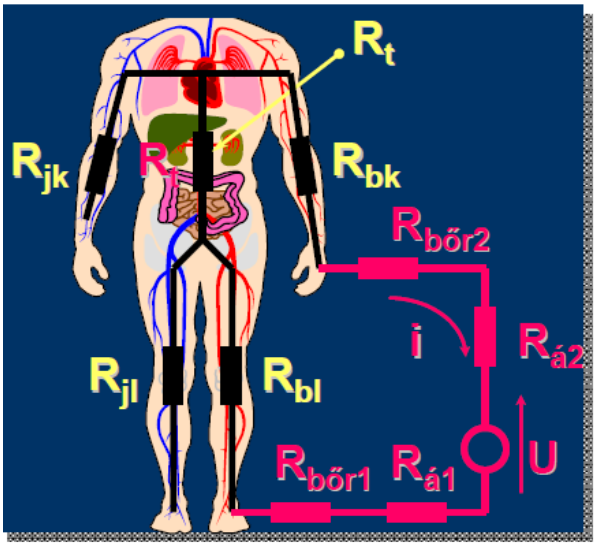
H2) Élettani hatások

1. A háztartásban és az iparban fellépő áramütések veszélyei az emberi szervezetre.

Áramütés akkor következik be, ha az ember (állat) teste áramkörbe kerül, az emberi (állati)testen áram halad át. Az áramütés veszélyessége függ:
a.) az áram erősségétől
b.) a behatás időtartamától
c.) az áram útjától
d.) a frekvenciától
e.) az áramkörbe került személy egyéni adottságaitól és aktuális állapotától

Áramütés létrejötte:
1) Fázis-föld érintés
2) Fázis-fázis érintése
3) Lépésfeszültség áthidalása

Kisülés energiája	Emberi testre gyakorolt hatás
$W_{ki}<10^{-3}J$	Nem érzékelhető
$10^{-3}\ J<W_{ki}<0{,}05J$	Szúró érzés
$0{,}05J<W_{ki}<1\ J$	Ütő érzés
$1\ J<W_{ki}<10J$	Égető érzés
$10J<W_{ki}<50$	Izomgörcs
$50J<W_{ki}$	Halál



$$R_e = R_{belső} + R_{bőr1} + R_{bőr2}$$

$$R_{belső} = R_{bl} + R_t + R_{bk}$$

Elhanyagolás:

$$R_{á1} = R_{á2} = 0$$

Érintésvédelmi méretezés: az emberi test ellenállása: **Re = 1 kΩ**

Az áram élettani hatásai:

Hőhatás
- fehérjemolekulák - testhőmérséklet + 5 o C
- egyenlőtlen eloszlás - helyi károsodás

Elektrolízis
- DC
- AC (alacsony frekvencia)

Ingerhatások
- Pszichológiai és elettani hatások fokozatai
- érzetküszöb (rázásérzet)
- elengedési áram (izomgörcs)

- légzési zavarok (görcs a rekeszizomban)
- szívkamralebegés (fibrilláció)
- pillanatos agyhalál

H3) Villamos biztonságtechnika és érintésvédelem

2. Törpefeszültség alkalmazásának indokai.

Testzárlat esetén se léphessen fel az érintési feszültség megengedett határértékénél nagyobb érintési és / vagy lépésfeszültség, és egyidejűleg gondoskodnak a törpefeszültségnél nagyobb feszültségű rendszerekből történő feszültség áthatolás veszélyének elhárításáról is. A törpefeszültség elhárítására leggyakrabban biztonsági transzformátort, ill. biztonsági tápegységet használnak

3. Az emberi test ellenállását meghatározó tényezők.

száraz vagy nedves bőrfelület, a ruházat, izzadtság, az idegállapot, a test hőmérséklete, felületi sérülés (akár a mikro sérülések is), érintési nyomás, testsúly, fizikai erőnlét, érzékenység, ittasság

4. Élettani hatások alapján megállapított érintésvédelmi határértékek.

Érzetküszöb
f=50 Hz:
Nők: I=0.7 mA
Férfiak: I=1,1 mA

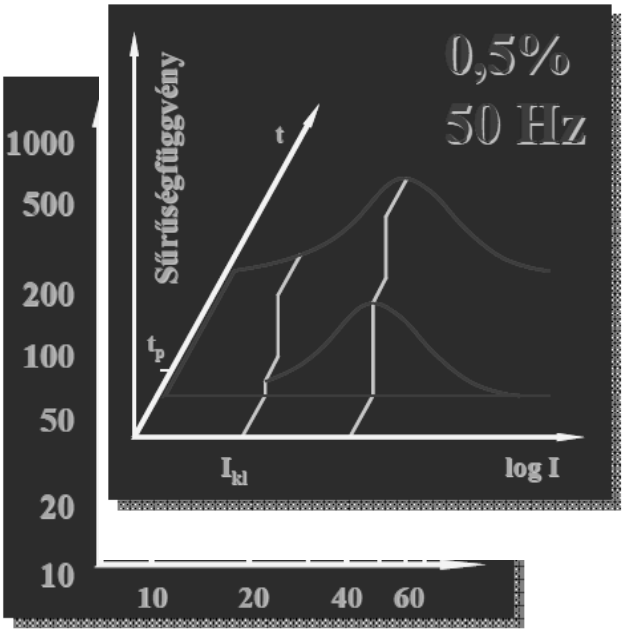
Egyenáram esetén: férfiaknál I=5.0 mA

Elengedési áramerősség:
f=50 Hz:
nők: I=10.5 mA
férfiak: I=15,9 mA

egyenáram esetén: férfiaknál: I=74.0 mA

5. A kamrai fibrilláció. = Szívkamralebegés:

Áramütés esetén, egy szívperiódusnál (a szívverés frekvenciája percenként 60 - 120, tehát egyszívperiódus 0,5-1 sec.-ig tart) hosszabb idő alatt, a szív leállhat vagy szívkamraremegés(fibrilláció) állhat be



Ugrás a szív priódusidejénél (t_p)

Emberre vonatkozó kutatások:

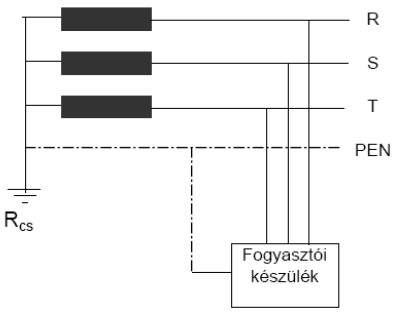
$t > t_p$

- kísérletek
- térszámítási modellek

U_L= 120 V (DC)

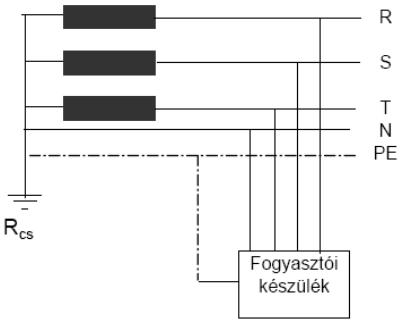
6. Érintésvédelmi módszerek.

Ha a közvetlenül földelt közműhálózatot üzemeltető áramszolgáltató ehhez hozzájárul, akkor a nullavezetőt védővezetőként is szabad felhasználni, ez a nullázás, nemzetközi jelölése TNrendszer. (Hazánkban az áramszolgáltatói hálózatok több mint, 90%-a nullázott). Ebben a kétbetűs jelölésben, a második betű a testhez kötött nullavezetőt jelöli. Elvben ennek három megoldása van:



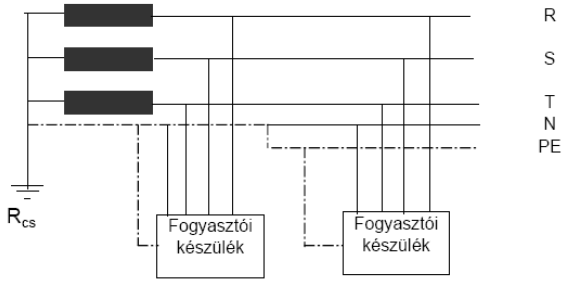
TN-C

sehol sem építenek ki külön védővezetőt, az egyfázisú üzemiáramok vezetésére szolgáló nullavezetőt (jelölése N=neutral) kötik minden fogyasztó készülék testére



TN-S

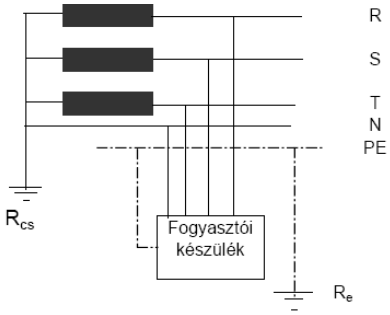
a védővezetőt mindjárt a tápláló transzformátortól kezdve külön választják az egyfázisú üzemi áramokat vezető nullavezetőtől



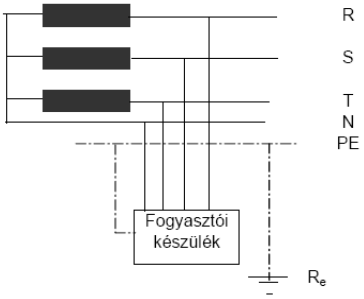
TN-C S

egy darabig közös az üzemi nullavezető és a védővezető (ez tehát a PEN vezető), majd egy ponton szétválnak

TT



IT



A tápláló transzformátor csillagponti kivezetésénél - üzemi okokból – közvetlenül (impedancia beiktatása nélkül) leföldelik, a fogyasztó-berendezések testjeit védővezetőn át ugyancsak földelik	Védőföldelés közvetlenül nem földelt rendszerben, IT jelölés a táptranszformátor szigetelt (I=isolated, szigetelt), vagy nagy impedancián keresztül földelt csillagpontjára utal, míg a második helyen álló T betű a testek védőföldelését jelenti