

D1) A háromfázisú vektorok módszere

3. Szimmetrikus állandósult állapot: az idővektor és a térvektor kapcsolata pozitív és negatív sorrendű áramrendszerek esetében.

E) A transzformátorok működése

E1) Bevezetés

1. Példák vasmagos és vasmentes tekercsekre. A transzformátorok jellegzetességei és alkalmazásai.
2. Növekedési törvények.

E2) Egyfázisú transzformátorok

1. Működési elv, a vasmag, a vasveszteség, a tekercselés.
2. Fő- és szórt fluxus, az indukált feszültség számítása.
3. Az ideális transzformátor, a fogyasztói pozitív irányrendszer, feszültség-egyenletek, viszonylagos egységek.
4. Mágneses Ohm-törvény, feszültség-kényszer, a gerjesztések egyensúlyának törvénye, áram-áttétel.
5. Gerjesztés- és teljesítményinvariancia, redukálási szabályok, az impedancia-elemek nagyságrendjei.
6. A térelméleti helyettesítő kapcsolás, egyszerűsített helyettesítő kapcsolások.
7. Fázorábra: üresjárási és terhelési állapot.
8. Feszültség- és áramtranszformátor.
9. A transzformátor feszültségváltozása. A transzformátor rövidzárási állapota. A drop fogalma.

E3) Háromfázisú transzformátorok

1. Származtatás, működési elv, az üresjárási áram aszimmetriája.
2. Aszimmetrikus terhelés, kiegyenlített gerjesztés, a feszültség-rendszer aszimmetriája.
3. Háromfázisú transzformátorok kapcsolásai, órajel, kapcsolási csoport.

F) Az elektromechanikai átalakítók mágneses tere (Forgó mozgás létesítése)

1. A nyomaték-képzés elve, forgó mező létrehozásának célja
2. A váltakozóáramú tekercselések elve
3. Az indukcióvektor értelmezése, körforgó mező

H1) Elektromágneses kompatibilitás (EMC)

H3) Feszültség alatti munkavégzés (FAM)

1. feszültség szintek
2. munkamódszerek
3. közép feszültségű szabadvezetéken végzett FAM tevékenységek
4. közép feszültségű alállomásokon végzett FAM tevékenységek
5. személyi védőeszközök, céljaik

D1) A háromfázisú vektorok módszere - 3. Szimmetrikus állandósult állapot:

Az állandósult pozitív sorrendű szimmetrikus állapotban az áramvektor kifejezése definíciója alapján

$$i = \frac{2}{3} [I_+ \cos(\omega t + \varphi_+) + a I_+ \cos(\omega t + \varphi_+ - 120^\circ) + a^2 I_+ \cos(\omega t + \varphi_+ - 120^\circ)]$$

A fázisáramok itt egyenlő nagyságú, egymástól időben egyező szögekkel eltolt és a választott fázissorrenddel megegyező sorrendű, tehát tiszta pozitív sorrendű szimmetrikus áramrendszert alkotnak, így a következőben + indexet alkalmazunk.

A koszinusz függvényeket exponenciális alakba átírva - amely pl. a második fázisra

$$\cos(\omega t + \varphi_+ - 120^\circ) = \frac{e^{j\omega t} e^{j\varphi_+} a^2 + e^{-j\omega t} e^{-j\varphi_+} a}{2}$$

alakú -, majd a szorzásokat elvégezve és $e^{j\omega t}$ ill. $e^{-j\omega t}$ szerint rendezve:

$$i = \frac{1}{3} I_+ [e^{j\omega t} e^{j\varphi_+} (1 + a^3 + a^3) + e^{-j\omega t} e^{-j\varphi_+} (1 + a^2 + a^4)]$$

Mivel $1 + a^3 + a^3 = 3$ és $1 + a^2 + a^4 = 0$

$$i = I_+ e^{j\varphi_+} e^{j\omega t} = I_{a+} e^{j\omega t} = \hat{I}_{a+} \quad i = I_{a+} e^{j\omega t} = \hat{I}_{a+}$$

A szimmetrikus állandósult állapotban tehát a térvektor megegyezik a komplex idővektorral, ha tetszik, az „a” fázis komplexorává fajul el.

A vektor állandó szögsebességgel forog, és végpontja kört ír le. Vetületei egy megfelelő időtengelyre az áram szinuszosan változó pillanatértékeit szolgáltatják.

Ilyenkor a térvektorok ábrái és a szokásos időbeli vektorábrák megegyeznek, és így azokat egymás helyett lehet rajzolni, ill. az egyikből a másik nyerhető.

Ez a „felcserélhetőség” azonban csak ebben a speciális üzemállapotban érvényes.

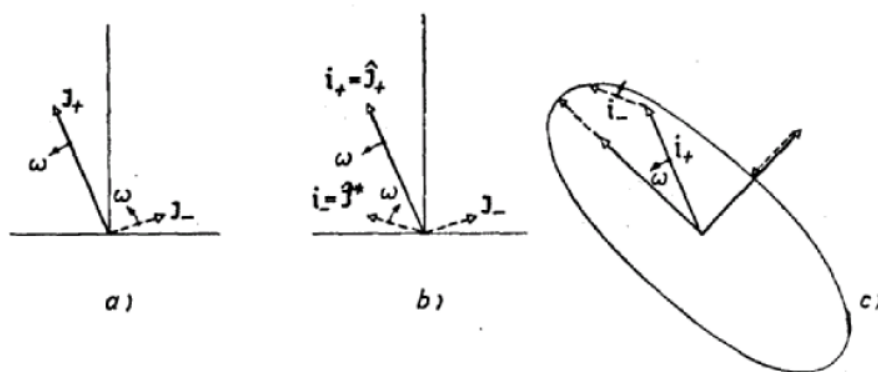
Tiszta negatív sorrendű szimmetrikus állandósult háromfázisú áramrendszer esetén a kifejezésben az ellenkező fázissorrendnek megfelelően a^2 és a helyet cserélnek, és így ebben az esetben az

$$i = I_- e^{-j\varphi} e^{-j\omega t} = I_{a-}^* e^{-j\omega t} = \hat{I}_{a-}^*$$

$$i = I_{a-}^* e^{-j\omega t} = \hat{I}_{a-}^*$$

összefüggésre jutunk. Negatív sorrendű szimmetrikus áramrendszer esetén a térvektor az a fázis negatív sorrendű idővektorának konjugáltjával egyenlő.

A térvektor így I_a^* amplitúdóval a választott forgásiránnyal ellentétes irányban állandó szögsebességgel szinkron forog körbe.



9. ábra.

- (a) A szimmetrikus áramösszetevők idővektorai,
 (b) térvektorai,
 és (c) az eredőáram térvektor végpontjának ellipszis pályája

Hangsúlyoznunk kell, hogy a pozitív, ill. negatív sorrendű mennyiségek *idővektorai* a komplex időszámsíkon egyformán pozitív irányban, tehát egyezően forognak (9a ábra), és csak a *térvektorok* komplex térszámsíkján forog a negatív sorrendű térvektor a konjugált képzés következtében a pozitív sorrendű térvektorral ellenkező, negatív irányban (9b ábra).

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 oka: a termelés–szállítás–felhasználás feszültség-és áramsztíje más és más:

Termelés: generátorok feszültség-sztíje 10 kV nagyságrendű. Ez a színt várhatóan növelhető például szupravezető generátorok kifejlesztésével és alkalmazásával.

Szállítás: a szállítási veszteségek csökkentése az áramerősség csökkentésével érhető el. Ehhez azonban a feszültségsztíje növelése szükséges.

Felhasználás: a fogyasztó védelme viszonylag kis feszültségek alkalmazását engedi meg.

Jellegzetességeik

Az energiaátviteli transzformátorok feszültség-transzformátorok, azaz feszültségkényszer hatása alatt üzemelnek.

Fázisszám: háromfázisú rendszerek terjedtek el. Az egységeket vagy három egyfázisú, vagy egy háromfázisú transzformátorból alakítják ki.

Növekedési törvények: tendenciaszerű összefüggés van érvényben a transzformátorok egységteljesítménye és méretei között.

2. Növekedési törvények.

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

$$\Phi = \textcircled{B} \textcircled{A} \quad I = \textcircled{J} \textcircled{A}$$

○ IGÉNYBEVÉTEL

□ GEOMETRIA

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 $\dot{A}$ ára arányos a köbtartalommal, tehát:

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

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:

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

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

azaz

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

A reaktancia a mágneses vezetéssel arányos, így a szórási reaktancia viszonylagos értéke nő a teljesítménnyel.

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

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

azaz

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

Legyen két transzformátor névleges teljesítményeinek aránya:

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

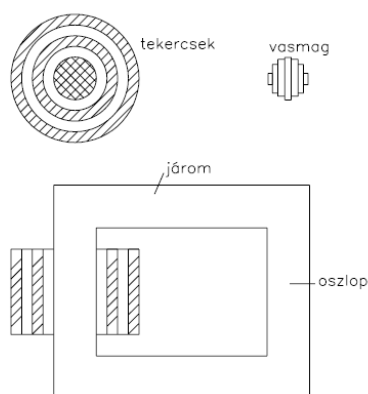
Ekkor:

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

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 lemezelte.
4. A kör keresztmetszet minél jobb közelítése érdekében lépcsőzött.

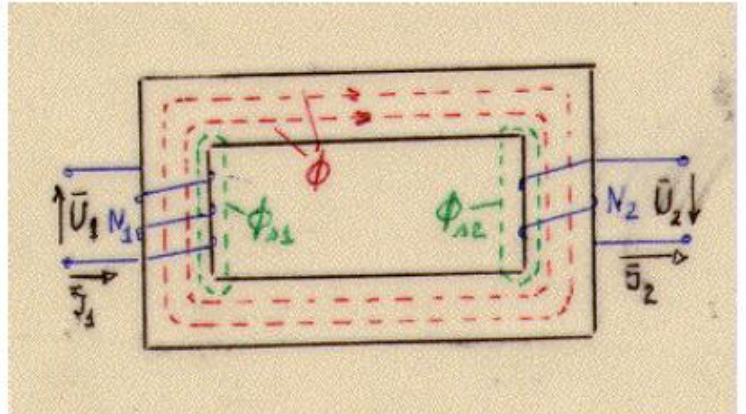
A tekercselés:

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 tekercssel kapcsolódó hasznos fluxus létesíti az energiaátvitelt, ezért azt főfluxusnak - vagy mágnesező fluxusnak - nevezzük és Φ_m -vel jelöljük. Értéke jelentősen függ a trafó vasmagjának telítési állapotától.

A vas permeabilitása a levegőének kb. 1000-szerese $\rightarrow$ 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 szórás csökkenteni törekszünk.



A transzformátor feszültség-egyenlete:

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

A főfluxus teljes időfüggvénye:

$$\overline{\Phi}_m = \overline{\Phi} e^{j\omega t} = \Phi_m e^{j\phi_\Phi} e^{j\omega t}$$

Ezzel:

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

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, N_1 és N_2 , valamint a főfluxus csúcsértéke, Φ_m segítségével:

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

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

$\neq$ feszültség - áttétel

Az indukált feszültség effektív értékét az alábbi összefüggés szerint számíthatjuk:

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

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

Fenti képletet az oszlopindukcióval kifejezve kapjuk:

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

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

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

A_o a vasmag köré írható kör keresztmetszete.

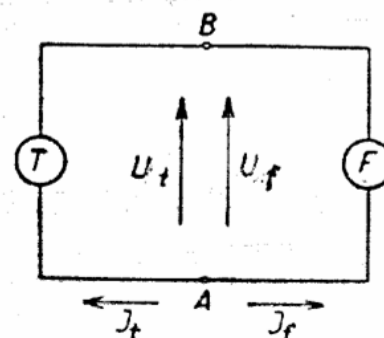
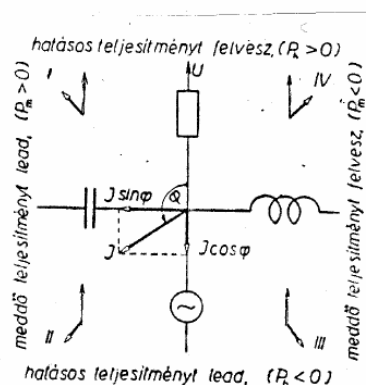
3. Az ideális transzformátor, a fogyasztói pozitív irányrendszer, feszültség-egyenletek, viszonylagos egységek.

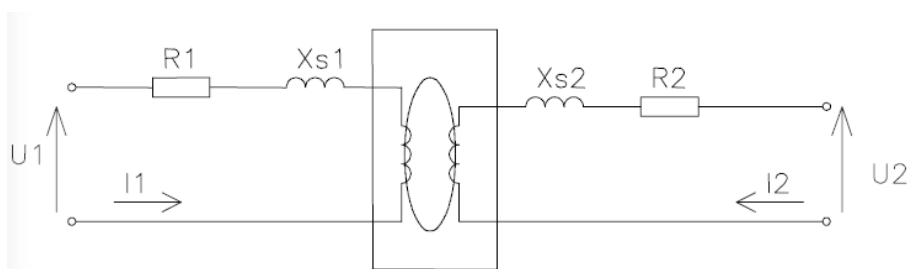
Az egyenletek felírásához pozitív irányrendszer választása is szükséges. Mi az ún. **fogyasztói pozitív** irányrendszert használjuk, amelyben a felvett teljesítmények előjele pozitív.

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:

$$\begin{aligned}\bar{U}_1 &= R_1 \bar{I}_1 + jX_{s,1} \bar{I}_1 + \bar{U}_{1,i} \\ \bar{U}_2 &= R_2 \bar{I}_2 + jX_{s,2} \bar{I}_2 + \bar{U}_{2,i}\end{aligned}$$

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 feszültség-egyenletet 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:

$$\bar{u}_1 = r_1 \bar{i}_1 + j x_{s,1} \bar{i}_1 + \bar{u}_{i,1}$$

$$\bar{u}_2 = r_2 \bar{i}_2 + j x_{s,2} \bar{i}_2 + \bar{u}_{i,2}$$

Mivel

$$u_1 = 1$$

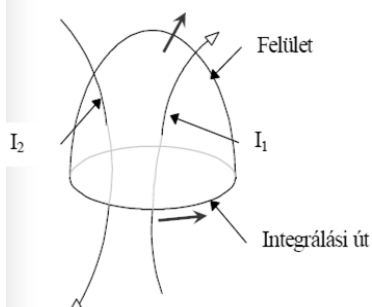
$$r_1 \approx r_2 \approx 1 \dots 2\%, \text{ ennek oka : } p_{t,1} \approx p_{t,2}$$

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

$$\text{így: } u_{i,1} \approx u_1 = 1$$

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

A mágneses Ohm-törvény



Fluxus = Mágneses
vezetőképesség $\times$
Gerjesztés

$$\Phi = \Lambda \Theta$$

$$\Theta = \sum_k I_k,$$

A tekercsfluxus:

$$\Psi = N \Phi$$

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

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

a primer és szekunder tekercs gerjesztéseinek
fazorösszege!

Mit tudunk Θ -ról?

A transzformátor feszültségkényszer alatt dolgozik. ezért:

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

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

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

Tehát: A feszültség-kényszer miatt a transzformátor

eredő gerjesztése a terhelési állapottól közel

függetlenül

$$\bar{\Theta}_{eredő} \approx \text{áll} = N_1 \bar{I}_1 + N_2 \bar{I}_2$$

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:

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

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

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

A vasvesztést is figyelembe véve:

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

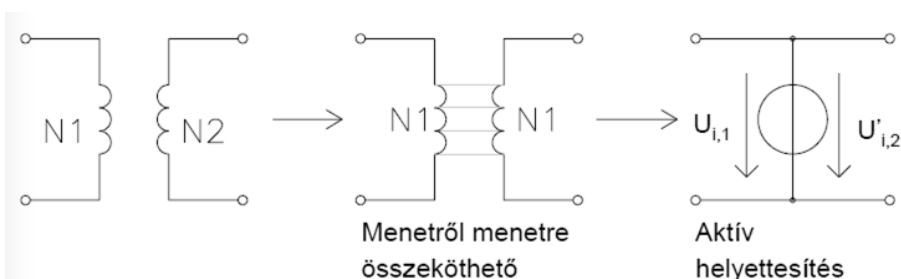
$$\overline{I}_1 + \overline{I}_2' \approx \overline{áll} = \overline{I}_{1,ij} \Rightarrow \approx 0$$

Ez a gerjesztések egyensúlyának törvénye.

A transzformátor - primer oldali - mágnesező árama 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.

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:



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

Ezzel a változtatással azonban a paraméterek is módosulnak.

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

Ez teljesül:

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

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

Láthatóan:

$$R_2' = n^2 R_2$$

$$X_s' = n^2 X_s$$

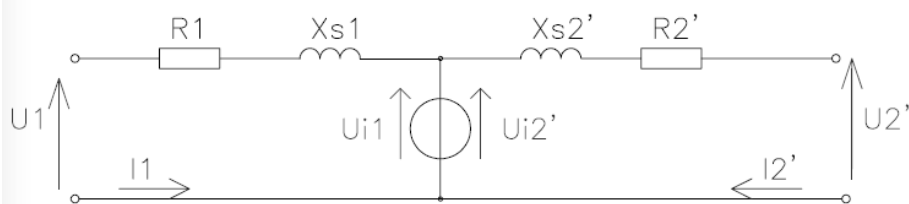
Általában:

$$Z_2' = n^2 Z_2$$

Az új változókkal a feszültség-egyenlet:

$$\begin{aligned} \bar{U}_1 &= R_1 \bar{I}_1 + jX_{s,1} \bar{I}_1 + \bar{U}_{i,1} \\ \bar{U}_2' &= R_2' \bar{I}_2' + jX_{s,2}' \bar{I}_2' + \bar{U}_{i,2}' \end{aligned} \quad \bar{U}_{i,1} = \bar{U}_{i,2}'$$

Vagyis az „aktív” helyettesítő kapcsolás:



Az impedancia elemek nagyságrendje

Az üresjárási áram viszonylagos értéke nagyságrendben:

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

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

$$p_{vas} = \frac{u_{1,i}^2}{r_v} \approx 0,01 \Rightarrow r_v \approx 100 = 10000\%$$

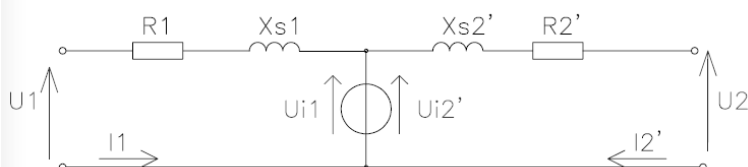
6. A térelméleti helyettesítő kapcsolás, egyszerűsített helyettesítő kapcsolások.

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.

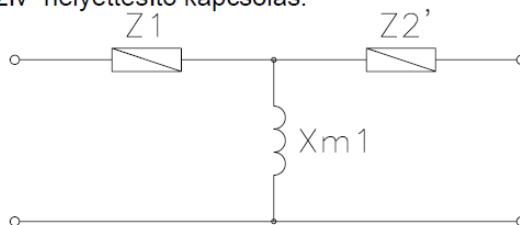
Az új változókkal a feszültség-egyenlet:

$$\begin{aligned}\bar{U}_1 &= R_1 \bar{I}_1 + jX_{s,1} \bar{I}_1 + \bar{U}_{i,1} \\ \bar{U}'_2 &= R'_2 \bar{I}'_2 + jX'_{s,2} \bar{I}'_2 + \bar{U}'_{i,2}\end{aligned} \quad \bar{U}_{i,1} = \bar{U}'_{i,2}$$

Vagyis az „aktív” helyettesítő kapcsolás:



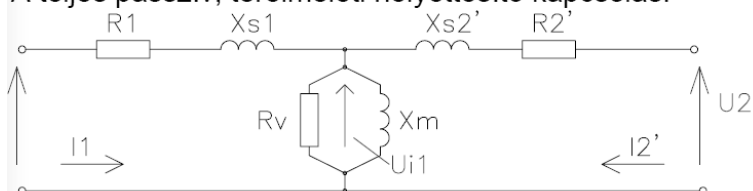
A „passzív” helyettesítő kapcsolás:



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

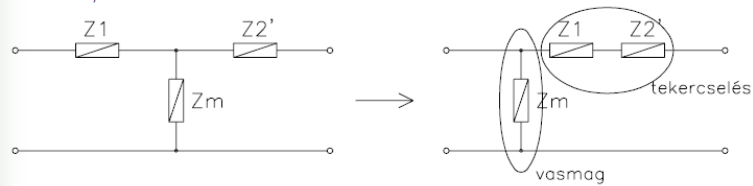
$$P_{vas} \propto B_{o,m}^2 \propto U_i^2$$

A teljes passzív, térelméleti helyettesítő kapcsolás:



Egyszerűsített helyettesítő kapcsolások:

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



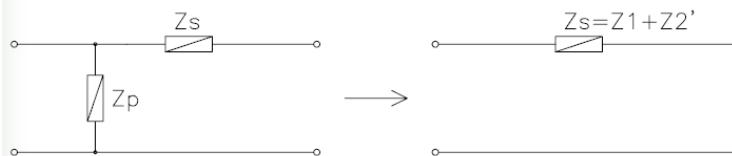
Különválasztva szerepelnek a vasmagra és a tekercselésre jellemző áramköri elemek.

Ezek mérése is igen egyszerű:

Vasmag: üresjárás

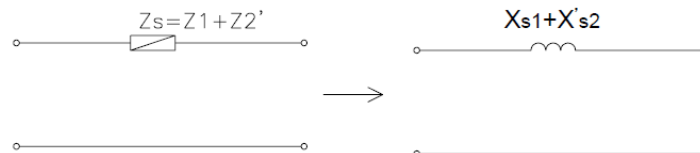
Tekercselés: rövidzáras

b) $Z_p \gg Z_1, Z_2$

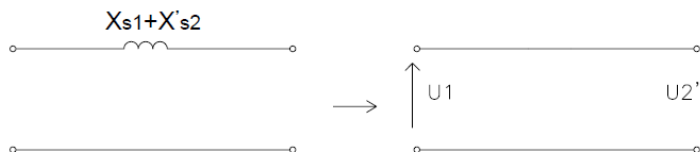


Az üresjárási áram és a vasveszteség az üzemi számításakor sokszor elhanyagolható; ha nem fontos a hatásfok számítása, ezt az egyszerűsítést szokás választani.

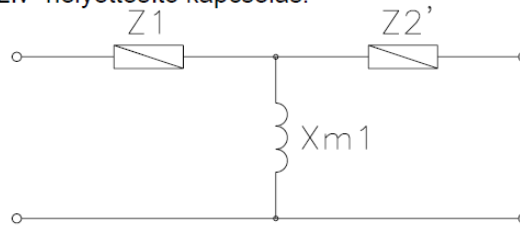
c) $R_1, R_2' < X_{s,1}, X_{s,2}'$



d) Ideális, veszteség- és szórásmentes transzformátor:



A „passzív” helyettesítő kapcsolás:



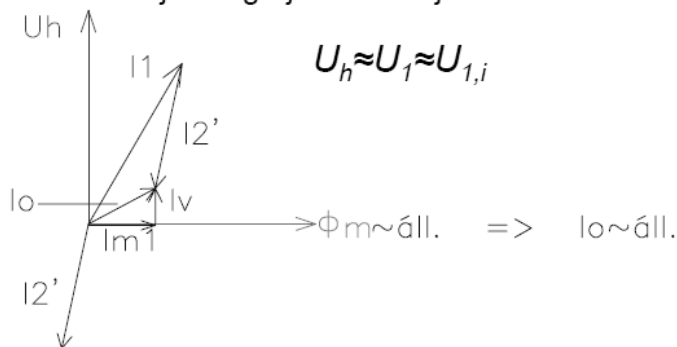
Ez a kapcsolat még nem teljes, mert vasvesztés is keletkezik. A vasvesztések közel arányosak az oszlopindukció, és ezzel az indukált feszültség négyzetével:

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

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

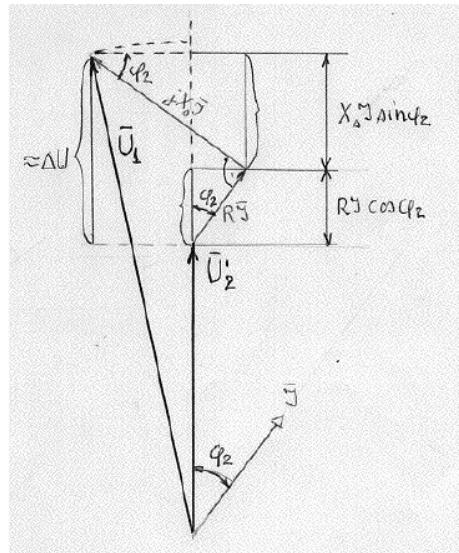


A transzformátor feszültségváltozása
- ami induktív terheléskor
feszültségesés - a transzformátor
szekunder kapocsfeszültségének
megváltozása a terhelés hatására,
azaz az üresjárási $U_{2,0}$ és
terhelési U_2 szekunder ka-
pocsfeszültségek nagyságainak
különbsége az üresjárási értékre
vonatkoztatva:

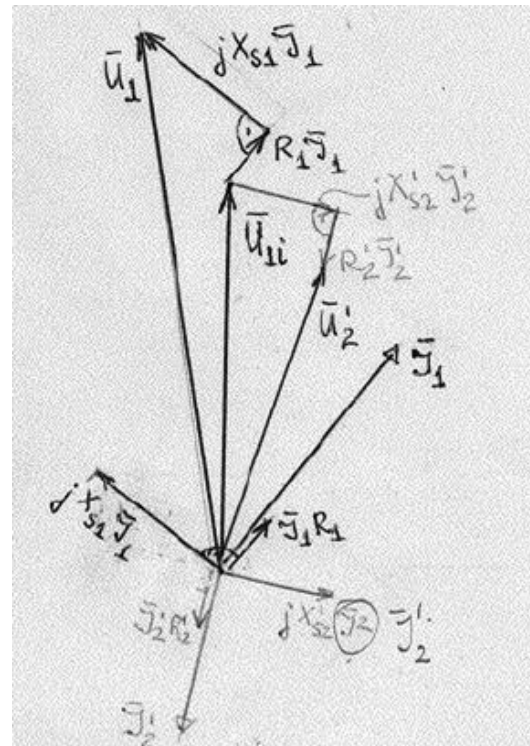
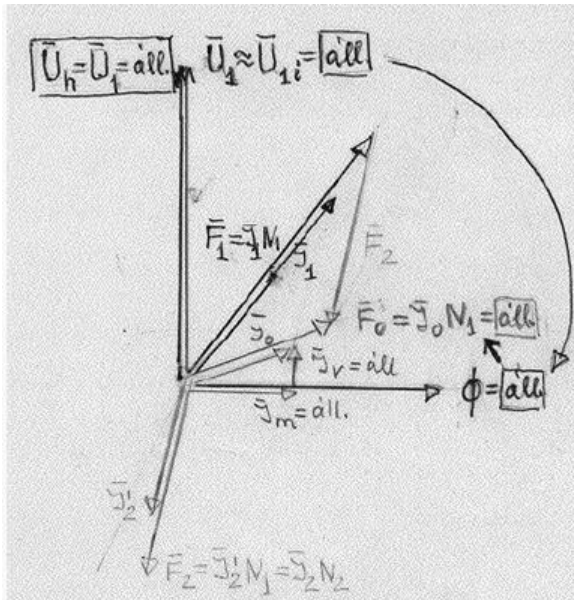
$$\frac{\Delta U}{U_{2,0}} = \frac{U_{2,0} - U_2}{U_{2,0}}$$

A szekunder feszültségeket a primerre
redukálva a névleges értékkel

$$\frac{\Delta U}{U_{1,n}} = \frac{U_{1,n} - U'_2}{U_{1,n}}$$



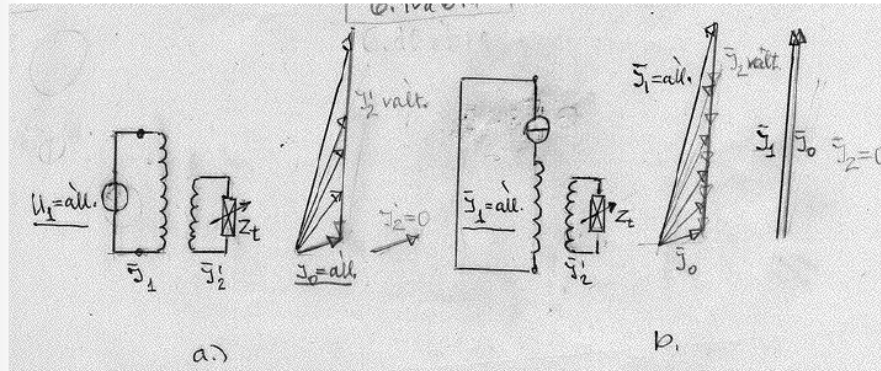
Üresjárási állapot (a méretarányok torzák)



Terhelési állapot

8. Feszültség- és áramtranszformátor

Az ábrákon (a) feszültség- ill. (b) áramtranszformátor kapcsolását valamint I_2' és I_1 terhelésfüggő változását rajzoltuk fel Z_t állandó fázisszögét feltételezve.



Az **első** esetben az $\bar{I}_0 = \text{áll}$ kényszer következtében a két áram változása a gerjesztések egyensúlya törvény szerint "összehangolt".

A **második** esetben az $\bar{I}_1 = \text{áll}$ kényszer következtében $\bar{I}_2' = 0$ -hoz $\bar{I}_1 = \bar{I}_0$ azaz pl. ≈ 20 -szoros üresjárási áram és az ahhoz tartozó - a telítést figyelembe véve is - nagy fluxus tartozik, káros hatásaival.

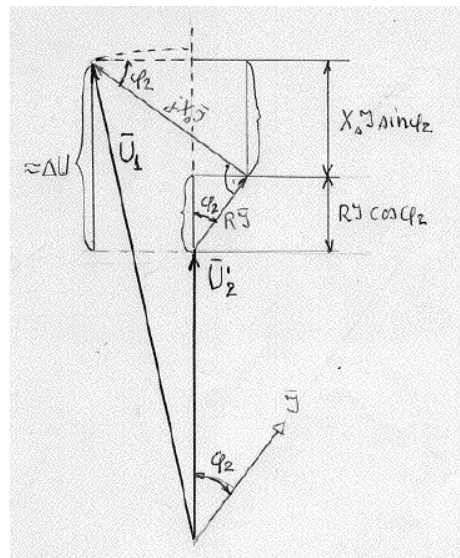
9. A transzformátor feszültségváltozása, rövidzárási állapota. A drop fogalma.

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:

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

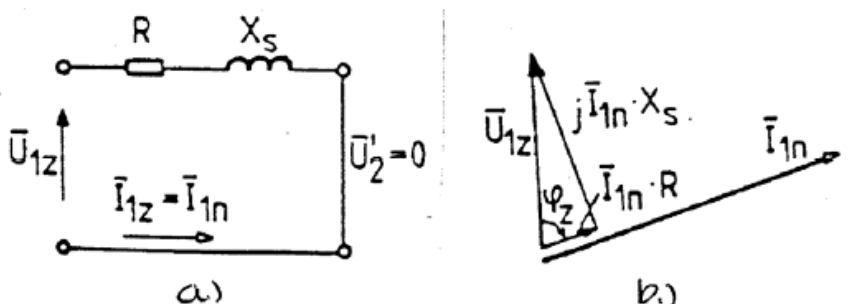
A szekunder feszültségeket a primerre redukálva a névleges értékkel

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



Megkülönböztetjük az **üzemi** és a **mérési rövidzárast**. 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 rövidzárlatkor 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 rövidzárlási feszültségének vagy dropjának:

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

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

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

Az ε -nal jelölt drop tehát nem más, mint a transzformátor rövidzárlási 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 előbbieket 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 háromszögbe kapcsoljuk. Hiba esetén ilyenkor elég egy egyfázisú transzformátort cserélni; nagy teljesítménynél a szállíthatóság írhatja elő a három különálló gépet. A háromfázisú egység ezért olcsóbb Európában, nálunk is többnyire ezt alkalmazzák.

A használatos magtípus

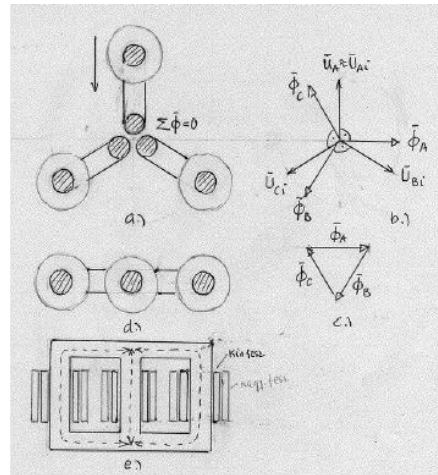
leszármaztatásához helyezzünk el három lánctípusú egyfázisú egységet szimmetrikusan, a).

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

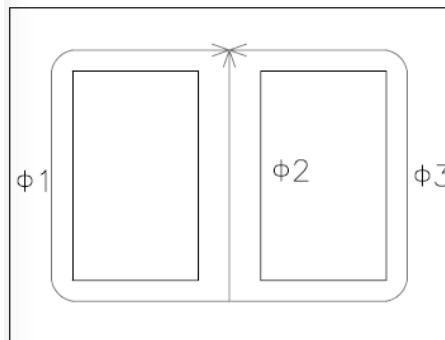
A c) ábrán látható, hogy $\sum \bar{\Phi}_k = 0$

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 magtípusú háromfázisú transzformátort látjuk.



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



A feszültség - kényszer miatt

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

A mágnesezési úthosszak :

$$l_2 < l_1 \text{ és } l_3$$

így :

$$\bar{\Theta}_2 < \bar{\Theta}_1 \text{ és } \bar{\Theta}_3$$

Ennek hatásait a továbbiakban elhanyagoljuk.

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

A háromfázisú transzformátorok fázistekercseit csillagba vagy deltába, esetleg - 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 ún. négyvezetékes rendszert nyerünk, az egyes fogyasztókat a nullvezeték és egy fáziskapocs közé kapcsolják. A fázisokat az egyes utcák, házak között osztják el. Az egyes fázisok fogyasztói csoportjai azonban nem egyformán terhelik a hálózatot, így aszimmetrikus terheléseloszlás jön létre, amely problémák forrása lehet.

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 $N_1 \bar{I}_1 = -N_2 \bar{I}_2$ -ből nyerhető kifejezésben $N_2 \bar{I}_2 = 0$, így ezeken az oszlopokon $N_1(\bar{I}_1 / 2)$ kiegyenlítő gerjesztés jelenik meg.

Kimutatható, hogy ilyen kiegyenlítő gerjesztés jelenik meg az A oszlopon is és mindhárom oszlop kiegyenlítő gerjesztése azonos fázisú. Az azonos fázisú gerjesztések három azonos irányú Φ_0 fluxust (un. zérusrendű fluxusokat) hoznak létre és azok három 90° -ra siető egyfázisú feszültséget indukálnak.

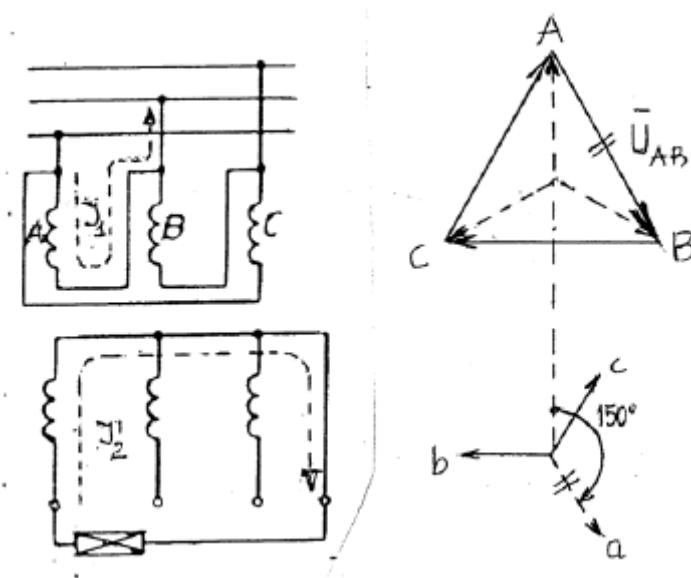
Ezeket az egyfázisú feszültségeket a transzformátor $\bar{U}_a, \bar{U}_b, \bar{U}_c$ szimmetrikus szekunder feszültség rendszeréhez hozzáadva (lásd ábra) teljesen aszimmetrikus $\bar{U}'_a, \bar{U}'_b, \bar{U}'_c$ kapocsfeszültség-rendszert nyerünk, ami a fogyasztók szempontjából megengedhetetlen (pl.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

3. Háromfázisú transzformátorok kapcsolásai, órajel, kapcsolási csoport.

Delta-csillag kapcsolás

Az ábrán látható, hogy a primer fázisáram úgy folyik vissza a hálózatba, hogy másik fázistekercsen nem megy keresztül. Így kiegyenlítő oszlopgerjesztések nem keletkeznek. A primer oldali delta kapcsolás tehát megoldotta a problémánkat.

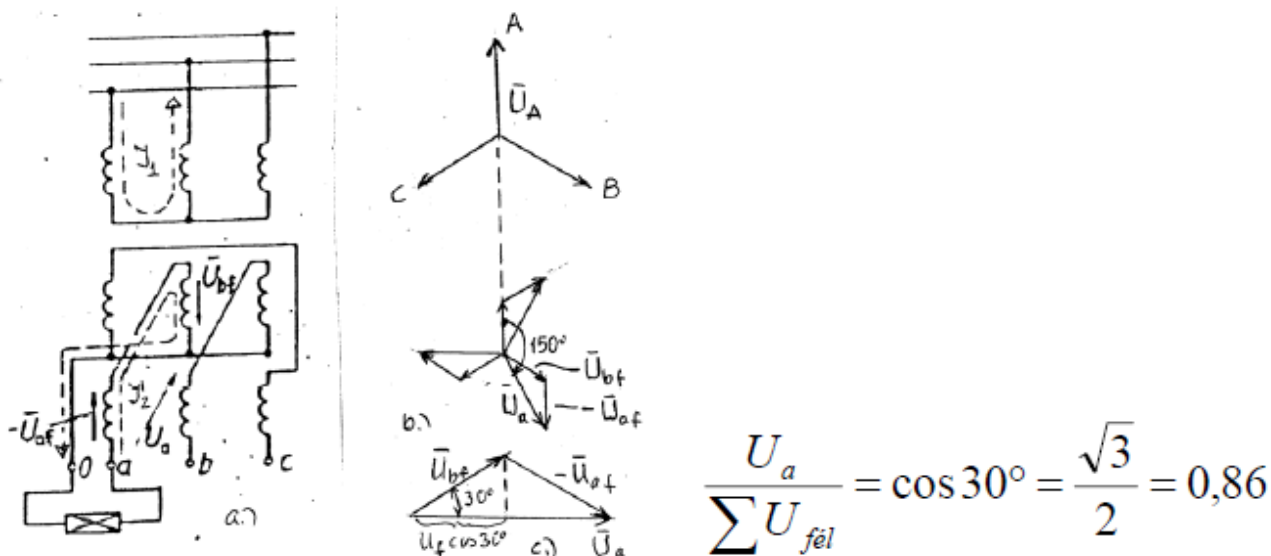
A primer delta kis teljesítmény és nagy primer feszültség esetén előnytelen, mert sokmenetű primer tekercset kell készíteni drága, vékony vezetőből, drága technológiával. Ilyenkor pl. a szekunder oldali zeg-zug kapcsolás lehet a megoldás, bár a hálózati mérnökök, ha lehet, ezt kerülik.



Csillag-zug-zug kapcsolás

Minden szekunder tekercset két féltekercsre osztunk és azokat az ábra szerint kapcsoljuk össze úgy, hogy eltérő oszlopokon elhelyezkedő féltekercsek képezzenek egy fázist - emiatt mindkét oszlopon kiegyenlített gerjesztéseket találunk.

A szekunder fázistekercsek kihasználását a féltekercs-feszültségek közötti 60 fokos fáziseltolás rontja, az eredő feszültségek és a részfeszültségek összegének (ez szabja meg a menetszámot) aránya ugyanis a c) - vízszintesen rajzolt – ábrából leolvashatóan:



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

A szögnek megfelelő óra az ún. jelölőszám. Így egy kapcsolás jele a primer kapcsolás nagybetűjéből, a szekunder kisbetűjéből és a jelölőszámból áll. A kis o index a csillagpont kivezetést, a nulla (negyedik) vezetékét jelöli. A bemutatott kapcsolások sorrendjében ezek rendre: Yy00, Dy05, Yz05

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)**1. A nyomaték-képzés elve, forgó mező létrehozásának célja**

BME VET

Definíció

A következőkben az elektromechanikai átalakítók működésével fogunk megismerkedni.

Látni fogjuk, hogy a villamos gépekben a mágneses teret a forgó (haladó) mozgás létesítésére használjuk.

Ezért ebben a fejezetben azokat az ismereteket foglaljuk össze, amelyek a mágneses tér és a forgó mozgás kapcsolatát mutatják be.

Vajda István: Forgó mozgás létesítése
2
Elektrotechnika, BME VIK, 2010 ősz

BME VET

Nyomaték létesítése

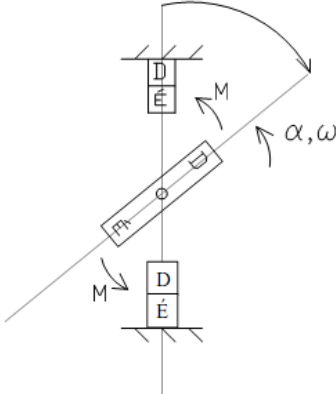
Két állandó mágnes vagy gerjesztett tekercs egymásra hatása azonos pólusszám esetén, lásd ábra.

Az elrendezés HETEROPOLÁRIS (váltakozó pólusú).

A két mágnes közötti nyomaték

$$M \propto \sin \alpha$$

arányos a mágnesek tengelyei közötti szög szinuszával.



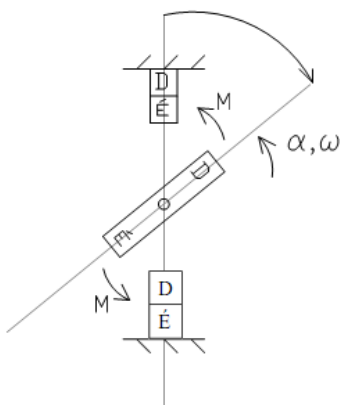
Vajda István: Forgó mozgás létesítése
3
Elektrotechnika, BME VIK, 2010 ősz

BME VET

Nyomaték létesítése

Következtetés:
 $M = \text{áll}$ eléréséhez $\alpha = \text{áll}$ szükséges.
 Ez úgy érhető el, hogy mindkét mágnes: vagy *áll*, vagy azonos szögsebességgel *forog*.
 Ez utóbbi esetet úgy is szoktuk jellemezni, hogy a mágnesek *relatív nyugalomban* vannak.

A SZOKÁSOS MEGOLDÁS:
 az egyik (álló vagy forgó) tekercsrendszer áramait $\Rightarrow$ mágneses terét a másik (forgó vagy álló) tekercsrendszer hozza létre



4

Vajda István: Forgó mozgás létesítése Elektronika, BME VIK, 2010 ősz

2. A váltakozóáramú tekercselések elve

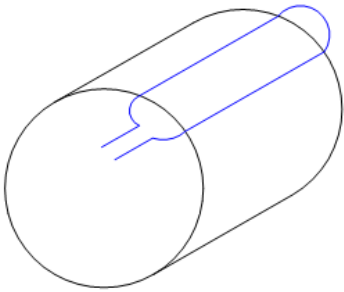
BME VET

Váltakozó áramú tekercselés

A váltakozóáramú tekercselések mindig **heteropoláris** felépítésűek.
 A tekercsek elhelyezése:

A tekercsoldalakat a hengeres álló- vagy forgórész palástfelületén helyezzük el.

A tekercsoldalakat a henger egyik homlokoldalán tekercsfejek segítségével kötjük össze így jönnek létre a menetek, illetve a sokmenetű tekercsek.



5

Vajda István: Forgó mozgás létesítése Elektronika, BME VIK, 2010 ősz

Váltakozó áramú tekercselés

A tekercsek szimbolikus jelölése:



A tekercsek tengelye egybeesik a tekercsek mágneses tengelyével, azaz a tekercsekben folyó áramok által létesített mágneses tér (indukció) térbeli irányával.

Az áramok és az általuk létesített mágneses tér irányát a *jobbcsavar szabály* segítségével határozhatjuk meg.

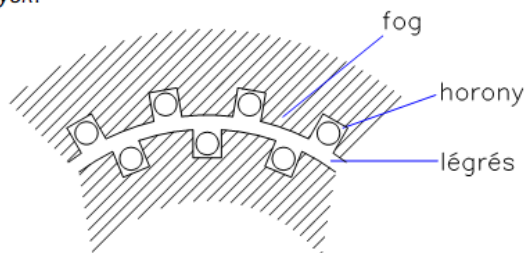
Vajda István: Forgó mozgás létesítése

6

Elektrotechnika, BME VIK, 2010 ősz

Váltakozó áramú tekercselés

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



A tekercsek hornyokban történő elhelyezéssel csökkenthető az álló- és a forgórész közötti *légrés*.

Vajda István: Forgó mozgás létesítése

7

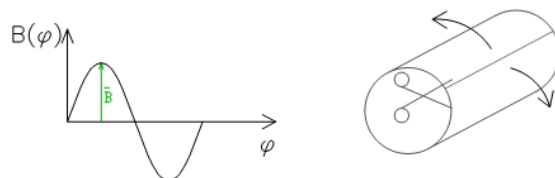
Elektrotechnika, BME VIK, 2010 ősz

3. Az indukcióvektor értelmezése, körforgó mező

BME VET

Az indukcióvektor értelmezése

Mindig arra törekszünk, hogy villamos gépeinkben a térbeli indukcióeloszlás, valamint a feszültségek és áramok időbeli jelalakja a legjobban közelítse a szinuszfüggvényt.



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

Vajda István: Forgó mozgás létesítése

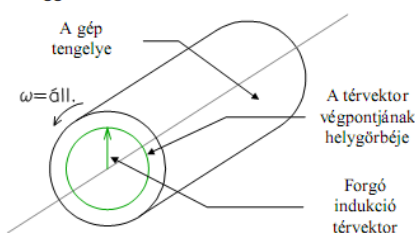
8

Elektrotechnika, BME VIK, 2010 ősz

BME VET

Az indukcióvektor értelmezése

Hogyan jellemezhető az indukció-vektorral a kerület mentén egyenletes sebességgel haladó hullám?



Következtetés: Ha a mágneses tér (indukció) kerület menti eloszlása szinuszos, valamint a többfázisú áramok időbeli változása (időfüggvénye) is szinuszos, akkor a villamos gép kapcsain leadott többfázisú villamos teljesítmény, illetve a villamos gép tengelyén leadott nyomaték (mechanikai teljesítmény) az időben **állandó**.

Vajda István: Forgó mozgás létesítése

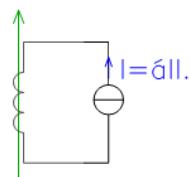
9

Elektrotechnika, BME VIK, 2010 ősz

BME VET

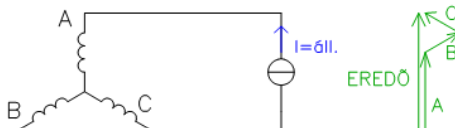
Mezőtípusok: állandó mező

- a) Egy tekercs egyenárammal gerjesztve.



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

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



Vajda István: Forgó mozgás létesítése

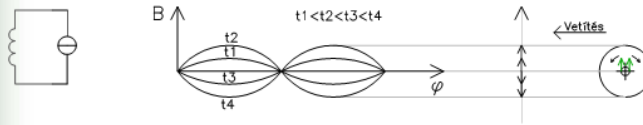
10

Elektrotechnika, BME VIK, 2010 ősz

BME VET

Mezőtípusok: 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 amplitúdója (hossza) a lüktető mező amplitúdójának fele.

11

Vajda István: Forgó mozgás leírása

Elektrotechnika, BME VIK, 2010 ősz

BME VET

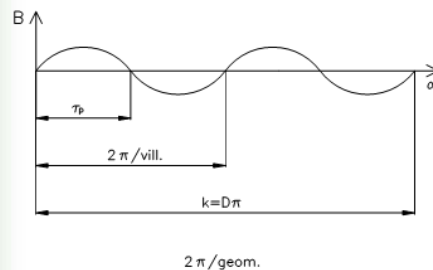
Mezőtípusok: forgó mező

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

12

Vajda István: Forgó mozgás leírása

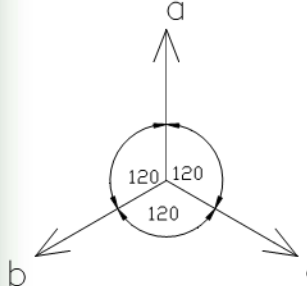
Elektrotechnika, BME VIK, 2010 ősz

BME VET

Mezőtípusok: forgó mező

TEKERCEK TENGELEI

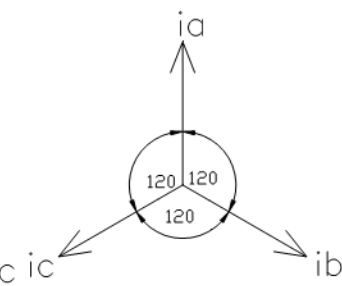
A TÉRBEN



A TÉRBEN
„ELŐRE”

A TEKERCEK ÁRAMAI

AZ IDŐBEN



AZ IDŐBEN
„HÁTRA”

13

Vajda István: Forgó mozgás leírása

Elektrotechnika, BME VIK, 2010 ősz

A forgó mező matematikai leírása

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

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

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

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

14

Vajda István: Forgó mozgás leírása

Elektrotechnika, BME VIK, 2010 ősz

A forgó mező matematikai leírása

Időfüggvények: $B_a(t) = B_m \cos\left(\omega_1 t - 0 \times \frac{2\pi}{3}\right)$

$$B_b(t) = B_m \cos\left(\omega_1 t - 1 \times \frac{2\pi}{3}\right)$$

$$B_c(t) = B_m \cos\left(\omega_1 t - 2 \times \frac{2\pi}{3}\right)$$

EULER tétele

$$\cos \alpha = \frac{e^{j\alpha} + e^{-j\alpha}}{2}$$

A koszinusz függvényeket exponenciális alakba átírva pl. a második, b fázisra:

$$\cos\left(\omega_1 t - 2 \times \frac{2\pi}{3}\right) = \frac{e^{j\omega_1 t} e^{-j\frac{4\pi}{3}} + e^{-j\omega_1 t} e^{j\frac{4\pi}{3}}}{2}$$

15

Vajda István: Forgó mozgás leírása

Elektrotechnika, BME VIK, 2010 ősz

A forgó mező matematikai leírása

A részletszámításokat elhagyva:

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

HÁROM FÁZIS ESETÉN:

$$B_{\text{ered.}}(x, t) \Big|_3 = \frac{3}{2} B_m \cos\left(\omega_1 t - \frac{x}{\tau_p} \pi\right)$$

Tetszőleges m FÁZIS ESETÉN

$$B_{\text{ered.}}(x, t) \Big|_m = \frac{m}{2} B_m \cos\left(\omega_1 t - \frac{x}{\tau_p} \pi\right)$$

Az eredő mező amplitúdója általánosságban:

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

16

Vajda István: Forgó mozgás leírása

Elektrotechnika, BME VIK, 2010 ősz

A forgó mező tulajdonságai

I. Kerület mentén állandó szögsebességgel haladó hullám.

Ha $\omega_f = \text{áll}$, akkor a maximum-hely:

$$\begin{aligned}\omega_1 t &= \frac{x}{\tau_p} \pi & \omega_1 & \text{a hálózati körfrekvencia} \\ x &= R \omega_0 t & \omega_0 & \text{a mező szögsebessége} \\ \tau_p &= \frac{2R\pi}{2p} = \frac{R\pi}{p} & R & \text{a forgó- vagy állórész} \\ & & & \text{(légrés közepes) sugara} \\ \omega_1 t &= \frac{R \omega_0 t}{\frac{R\pi}{p}} \pi & \omega_1 &= p \omega_0 \\ & & \omega_0 &= \frac{\omega_1}{p} \quad \omega_0 = \text{szinkron szögsebesség}\end{aligned}$$

Vajda István: Forgó mezők leírása

17

Elektrotechnika, BME VIK, 2010 ősz

A forgó mező tulajdonságai

II ω_0 nem függ a fázisszámtól

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

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

$$\text{LINEÁRIS ESETBEN} \quad m N_m I_m = n N_n I_n$$

Ebből m/n állórész/forgórész fázisszám esetén:

$$\begin{aligned}n_U &= \frac{N_m}{N_n} \left(\frac{\xi_m}{\xi_n} \right) \rightarrow U'_2 = n_U U_2 \\ n_I &= \frac{m}{n} \frac{N_m}{N_n} \left(\frac{\xi_m}{\xi_n} \right) \rightarrow I'_2 = \frac{I_2}{n_I}\end{aligned}$$

ξ a tekercselési tényező
(lásd később)

Vajda István: Forgó mezők leírása

18

Elektrotechnika, BME VIK, 2010 ősz

A forgó mező tulajdonságai

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

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

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



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

Ez a nyomatékképzés szükséges feltétele „gerjesztett” tekercszrendszerekben.

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

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

Vajda István: Forgó mezők leírása

19

Elektrotechnika, BME VIK, 2010 ősz

H1) Elektromágneses kompatibilitás (EMC)

Mivel foglalkozik?

- 1) Erőterek biológiai hatásai (rák, szaporodás/fejlődés, neurobiológiai hatások)
- 2) Elektromágneses kompatibilitás

Feszültség → elektromos erőter

Áram → mágneses erőter

LFI: kisfrekvenciás hatások (0-2000 Hz)

Tipikus példák: generátor és fogyasztó közötti tér, háztartási fogyasztók terei

A távvezeték rossz antenna, $\frac{1}{2}$ hullámhossz = 3000 km (@ 50 Hz) → nincs ekkora kiterjedésük!

A kisfrekvenciás mágneses erőterek jellemző értékei:

távvezeték alatt (fejmagasság): 3,5 μ T

vasúti vontatásnál (peronon): 35 μ T

transzformátor felett 1 m-rel: 1-90 μ T

háztartási gépeknél, 1cm-re: 10-2500 μ T

Határtérték: 100 μ T emberre

1.26 μ T gépekre (pl. monitor)

5-10 T-nál már vannak pozitív kísérletek (főleg rákkeltést vizsgálják)

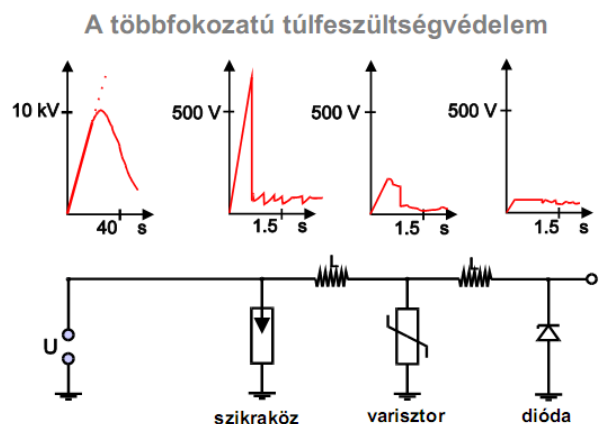
EMP: elektromágneses impulzusok

Villám: óriási áram (40-100+ kA), kis idő (ms) → nem hatol be a szervezetbe, nagy a gradiens

Villámcsapás hatásai:

- bőr és támasztószövetek károsodása (villámrajzolat, égési sérülések)
- kontrakcióból eredő sérülések nincsenek
- olvasztó/gyújtó hatás, dinamikus erőhatás, túlfeszültség
- közvetlen, életveszélyes áramütés

Nyílt terepen ne kiemelkedő terep-/műtárgyak (fa, kilátó, stb.) alá álljunk, hanem azoktól 5-10 méter távolságra helyezkedjünk el, minél közelebb a földhöz (ülő-/fekvő pozíció)!



Villámvédelem: emberi élet és vagyontárgyak védelme a villámcsapás káros hatásai ellen

Gazdaságossági kérdés: csak azt védjük, ami emberi életre káros, vagy villámcsapás esetén az eszköz javítása többbe kerül, mint a villámvédelem kiépítése

Primer (külső) védelem: villámhárító (ne csapjon be a villám)

Szekunder (belső) védelem: másodlagos hatás (elektromágneses villámimpulzus) ellen. Az

Alkalmazott védelmek zónánként:

Közvetlen villámcsapásnak kitett helyen (antenna, távvezeték): földelés direkt/szikraközön keresztül

Nincs közvetlen villámcsapás, de az e.m. erőter csillapítatlanul létrejön (földkábel): varisztorral

Az e.m. erőter csillapítva lehet, az áram korlátozva van: szupresszor dióda

További zónák: még kisebb megengedhető áramerősség/e.m. erőter: egyéni megoldások

Villámcsapás közvetlen veszélye:

- látás- és hallászavarok (erős fény és hanghatás) → még ha eszméleténél is van, akkor is nekünk kell elvezetni a helyszínről (nem hordoz töltést, nyugodtan hozzá lehet érni!)
- áramjegy (be- és kilépési ponton faág alakú égési seb)
- csonttörés: csak ha leesett valahonnan
- kisagyi bénulás = halál!
- **tüdő-/szívbénulás → azonnali újraélesztés+gyors orvosi segítség** a 10-20%-os túlélési esélyt 50-60%-ra növeli!

ESD: elektrosztatikus erőterek és kisülések hatásai

Elektrosztatikus feltöltődés:



Elektrosztatikus szikrakisülések → félvezető eszközök tipikus roncsolódásának oka

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

RFI: rádiófrekvenciás erőterek hatásai

(orvosi diagnosztikai eszközök, távközlő eszközök: rádiótelefon, stb.)

H3) Feszültség alatti munkavégzés (FAM) és munkabiztonság

Időbeni kialakulás: FAM csak váratlan üzemzavar esetén → tervezett FAM

Előnyök:

- zavartalan ellátás = üzenet az ügyfeleknek/fogyasztóknak
- korszerűbb technológia, anyagok, szerszámok és gépek + szakképzettebb, gyakorlottabb emberek = kevesebb baleset

Magyarországon 25 éves múlttal rendelkezik a FAM.

FAM: üzemi szabályzat enged bizonyos meghatározott munkavégzéseket feszültség alatt is.

Olyan villamos szerelési tevékenység speciális eszközökkel és kötött technológiával, melyet csak komplex nemzeti előírás alapján lehet végezni. A szabályzat mindenkire hatályos.

FAM-tevékenységhez összefoglaló dokumentáció és FAM-engedély szükséges!

<1000 V → kiefeszültség 1000V-35kV → közepfeszültség 35 kV< → nagyfeszültség

Munkamódszerek:

- távolból végzett munka (szigetelő rudakkal)
- érintéssel végzett munka (elektrotechnikai gumikesztyű)
- az előző 2 kombinációja
- potenciálon végzett munka

Kiefeszültségen végzett nemzetközi technológiák: kábel/szabadvezeték munkák, mérés+felügyeleti eszközök létesítése

Közepfeszültségen végzett nemzetközi technológiák

- *Szabadvezetéken*: zsírozás, tisztítás, idegen tárgy eltávolítás, sodrony javítás, szigetelő elemek javítása, felsővezeték csere/létesítés, madárvédők telepítése, ideiglenes kapcsolók/alállomások létesítése, oszlop elemeinek cseréje
- *Alállomásban*: tisztítás, olaj utántöltés trafóba+kábelbe, megszakítók oltóanyagának töltése, biztonsági távolságok mérése

Eszközök előkészítése FAM-ra: felépítés+állapot, ellenőrzés, különleges rendelkezések, környezeti viszonyok megfeleltetése

Zivatar közeledtekor a FAM-munkát abba kell hagyni, a munkaterület pedig elhagyni.

Elmaradó hálózatfejlesztés+rendszerközi torlódások = **üzemzavarok** = túlfokozott reakció
Kiváltó okok főként az extrém éghajlati terhelés, + a berendezések meghibásodása (~ Σ 75%).

Üzemzavar kialakulása:

1-2 üzemzavart elbír a robosztus rendszer, de többet nem

Egy elem meghibásodik → terhelés újraelosztás, túlterhelődések kaszkád jelleggel → összeomlás