

# ELEKTROTECHNIKA III. ZH (2013-2014. 1. félév)

## A tanszék által a harmadik zárthelyire kiadott adott ellenőrző kérdések

### Áramütés, érintésvédelem

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

*A kisfeszültségű hálózatok (1000 V alatt) szabvány szerint földeltek. Áramütés elszenvedése lehetséges például úgy, hogy egyidejűleg érintünk egy üzemszerűen feszültség alatt álló részt, illetve egy más potenciálon levő részt (például földelt fémtárgyat). Ezt nevezzük közvetlen érintésnek. A közvetett érintés üzemszerűen feszültségmentes, ám zárlat miatt feszültség alatt álló rész érintését jelenti. Nagyfeszültség esetén nem szükséges a feszültség alatti rész érintése, elegendő átívelési távolságra megközelíteni.*

*Az elektromos áram élettani hatásai közé tartozik a hőhatása. A testhőmérsékletet jelentősen megemelheti, a fehérjemolekuláknak már 5°C-os változás is árthat. Az egyenlőtlen eloszlás miatt helyi károsodások is megfigyelhetők a bőrön (égési sérülések). A nedvességtartalom miatt az elektrolízis lehetősége is fennáll.*

*Áramütéskor elsőként egy rázásérzet alakul ki, majd az izomgörcs következtében a balesetes nem tudja elengedni az áramütést okozó eszközt. Kialakulhatnak légzési zavarok (a rekeszizom görcsbe rándul), szívkamrai fibrilláció, végső esetben pillanatos agyhalál.*

#### **2. A villámcsapások hatása az emberi szervezetre**

*Közvetlen villámcsapás esetén óriási feszültség alakul ki. Az emberi szervezetnek van elektromos ellenállása, így a feszültség nagysága miatt az áramerősség is nagy. Az áram a testbe nem hatol be, a testfelszínen azonban égési sérüléseket okozhat. A halált okozó villámcsapások legtöbbször a szív, illetve a légzés bémulását okozzák. Azonnali ellátással 50%, anélkül csupán 10% a túlélés esélye.*

*A villámcsapás súlyosan károsíthatja a szemet (gyulladásokat, szürkehályogot okozhat), illetve a bőr- és támasztószöveteket.*

#### **3. Törpefeszültség alkalmazásának indokai**

*Törpefeszültségről váltakozó feszültség esetén 50 V, egyenfeszültség esetén 120 V alatt beszélünk. A törpefeszültség alkalmazása az érintésvédelem egyik módszere. Meg lehet akadályozni, hogy a vezetők közt, illetve a földelési ponthoz képest ennél nagyobb értékek jöhessenek létre. Ezzel a módszerrel megakadályozható az emberi szervezetre veszélyes érintési feszültség kialakulása.*

*Üzemi törpefeszültséget nem érintésvédelmi célok miatt állítanak elő, hanem egyes elektromos berendezések belső áramkörének táplálására.*

#### **4. Az elektrosztatikus eredetű kisülések veszélyei az emberi szervezetre**

*Az elektrosztatikus kisülések közvetett veszélyt jelentenek az emberre. Tüzet, robbanást képesek okozni, melyek balesetekhez vezethetnek. A hétköznapi életben ez ritka, hiszen ritkán*

halmozódik fel annyi töltés, amely az emberre is veszélyes áramerősséget hozhat létre kisülés során.

## **5. Az emberi test ellenállását meghatározó tényezők**

Az emberi test belső ellenállása átlagosan 300-500  $\Omega$  körüli. A száraz, sértetlen bőr ellenállása 20-100  $k\Omega/m^2$  (pár másodperces behatás következtében néhány ohmra csökkenhet). Az ellenállás természetesen függ az áram útjától. Modellezés során külön szokás számolni a négy végtag ellenállásával, illetve egy belső ellenállással. Amennyiben az áram útja a talajon át záródik, akkor az ún. talpponti ellenállással is számolni kell, ami a cipő és a padlózat ellenállásából adódik. Számítások esetén erős közelítéssel az emberi test ellenállását 1  $k\Omega$ -ra szokás becsülni (ezt az értéket használjuk érintésvédelmi becsléseknél is).

## **6. Élettani hatások alapján megállapított érintésvédelmi határértékek**

50 Hz frekvenciájú váltakozó áram esetén az érzetküszöb nőknél 0,7 mA, férfiaknál 1,1 mA. Az elengedési áramerősség azt az áramerősség-értéket jelenti, mely felett a balesetet szenvedő nem tudja elengedni a megérintett feszültség alatti részt (a kialakuló izomgörcs miatt). Ennek értéke nőknél kb. 10,5 mA, férfiaknál megközelítőleg 16 mA. A frekvencia növekedésével ezek az értékek rohamosan nőnek.

Egyenáram esetén az érzékelési küszöb kb. 5 mA, az elengedési áramerősség kb. 75 mA.

## **7. A kamrai fibrilláció**

A szívkamra fibrilláció a szívkamra izmainak szabálytalan, szinkronizálatlan rángása. Áramütés hatására fibrilláció alakulhat ki. Váltakozó áramnál megközelítőleg 50, egyenáramnál 120 V nagyságú feszültség érintésekor következik be. A legnagyobb rizikófaktort a mellen és a háton áthaladó áram jelenti. Értelemszerűen a test bal oldalán átfolyó áram a veszélyesebb ilyen szempontból. A legkisebb eséllyel akkor érinti a szívet az áram, ha az áramút a kezeken át záródik, mivel ilyenkor a test középső részébe nem hatol be. A javaslat szerint elektronikus eszközök érintésekor lehetőleg jobb lábon állva, jobb kézzel végezzük a rövid idejű beavatkozásokat (pl. áramtalanítás), mivel ilyenkor áramütés esetén az áram nem halad keresztül a szíven, hanem a test jobb oldalán halad végig, nagy eséllyel elkerülve a szívet.

## **8. A lépésfeszültség fogalma**

A lépésfeszültség a földben folyó áram következtében a talaj felszínén egymástól egy emberi lépésnyi távolságra levő két pont között kialakuló feszültség. Nagyfeszültségű vezetékek leszakadásakor a leszakadt vezeték környezetében nagy értékeket érhet el, és halálos áramütést okozhat. Ilyen helyzetben a lehető legjobb megoldás az, ha nagyon kis lépésekkel hagyjuk el a veszélyes területet. A földre lefeküdni nem szabad, hiszen ekkor a test két pontja között a lépésfeszültségnél is nagyobb feszültség léphet fel, mely könnyedén halálos kimenetelű lehet.

## **9. Érintésvédelmi módszerek**

Az érintésvédelmi módok nem a testek érintését hivatottak megakadályozni, hanem azt, hogy az érinthető testek tartósan veszélyes érintési feszültség alá kerüljenek. Bevert megoldás a táplálás önműködő lekapcsolásával elért védelem (védővezető érintésvédelmi módok), a villamos szerkezet elszigetelése (megerősített szigetelés), illetve a biztonsági törpefeszültségű

táplálás. Ritkábban alkalmazott érintésvédelmi módok: környezet elszigetelése, védőelválasztás, földeletlen helyi egypotenciálra hozás, állandósult érintési áram korlátozása, feszültség-védőkapcsolás. Továbbá: lsd. érintésvédelmi mérés.

## Gyakorlati áramkör-számítási konvenciók: egy- és háromfázisú hálózatok számítása

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

*Az egyfázisú, váltakozó áramú rendszerek feszültség- és áramviszonyait az alábbi összefüggésekkel fejezhetjük ki (kvázistacioner, azaz állandósult állapotban).*

$$u(t) = U_m \cdot \cos(\omega t) = \sqrt{2}U \cdot \cos(\omega t); i(t) = I_m \cdot \cos(\omega t + \varphi) = \sqrt{2}I \cdot \cos(\omega t + \varphi)$$

*$U_m$ -mel és  $I_m$ -mel jelöljük az amplitúdót,  $\omega$  a körfrekvencia,  $\varphi$  a fázisszög.*

*Az áramokat és a feszültségeket praktikusán szokás komplex csúcsértékekkel (fázorokkal) jellemezni.*

$$\bar{u} = U_m \cdot e^{j(\omega t)}; \bar{i} = I_m \cdot e^{j(\omega t + \varphi)}$$

*A feszültség kezdőfázisát szokás referenciaszintnek választani, ezért a feszültségre vonatkozó összefüggésben nem szerepel fázisszög, az áram fázisszögét a feszültséghez képest adjuk meg.*

*Két pont között a feszültség referenciáiránya önkényesen választható. Egy kisebb és egy nagyobb potenciálú pont közti feszültségkülönbséget a kisebből a nagyobbba mutató nyíllal jelöljük (éppen ellentétesen a Jelek és rendszerek 1-2 témakörében megszokott jelöléssel).*

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

*Kirchhoff II. törvénye (huroktörvény): Zárt hurokban a feszültségek előjeles összege zérus. A referenciáirányokat úgy választjuk meg, hogy a nyíl két pont között a kisebb potenciálúból mutat a nagyobb potenciálúba (Megjegyzés: A jelek és rendszerekből tanultakkal teljesen ellentétes logikával jönnek ki a helyes egyenletek).*

*Az ohmos fogyasztó az ellenállás, melyet az áramkörben egy téglalappal szokás szemléltetni. A fogyasztó ellenállását  $R$ -rel jelöljük. A komplex tartományban impedanciának nevezzük, szokás ilyenkor keresztben áthúzni, jelölve ezzel, hogy komplex mennyiségekkel számolunk.*

*Az induktív fogyasztó kifejezés arra utal, hogy váltakozó áramú áramkör esetén a tekercsnek (induktivitásnak) van ellenállása. A tekercs komplex impedanciáját reaktanciának nevezzük, jele  $X_L$ . A reaktancia és a tekercs fázisszöge pozitív. Az áram fázisszöge és meddő teljesítmény komponense negatív, a teljesítmény fázisszöge és meddő komponense viszont pozitív. Az említett mennyiségek valós komponense pozitív. A tápláló generátor teljesítményének hatásos és meddő komponense is pozitív.*

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

Egyfázisú rendszerben a pillanatnyi teljesítmény időfüggvénye:  $p(t) = u(t) \cdot i(t)$ . A feszültség és az áram időfüggvényét behelyettesítve kapjuk a teljesítmény időfüggvényét

$$p(t) = P(1 + \cos(2\omega t)) + Q \cdot \sin(2\omega t) = P + S \cdot \cos(2\omega t + \varphi)$$

$P$ -vel jelöljük a pillanatnyi hatásos teljesítményt. Ennek átlagértéke (közéértéke) a hatásos teljesítmény, melyet a  $P = U \cdot I \cdot \cos \varphi$  összefüggés fejez ki.  $Q$ -val jelöljük a pillanatnyi meddő teljesítményt. Ennek átlagértéke a meddő teljesítmény:  $Q = U \cdot I \cdot \sin \varphi$ . A pillanatnyi látszólagos teljesítményt jelöljük  $S$ -sel. Ennek átlagos értéke  $S = U \cdot I$ .

Ezek a teljesítmények komplex összefüggésekkel is kifejezhetők.  $S = U \cdot I^*$ , ennek valós része a hatásos, képzetes része a meddő teljesítmény.

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

A generátoros és a fogyasztói irányrendszerben az áram pozitív iránya megegyezik a feltételezett teljesítményáramlás irányával. A teljesítményáramlás feltételezett iránya: a generátorból kifelé, a fogyasztóba befelé.

A fogyasztói pozitív irányrendszerben a felvett teljesítmény pozitív (a leadott negatív), az elnyelt meddő teljesítmény pozitív (a szolgáltatott negatív) A generátoros irányrendszerben a leadott teljesítmény pozitív (a felvett negatív), a szolgáltatott (kapacitív) meddő teljesítmény pozitív, az elnyelt (induktív) meddő teljesítmény negatív.

A kétféle irányrendszer miatt figyelni kell arra, hogy a teljesítménymérő az irányrendszernek megfelelően mutassa az értékeket, tehát a polaritása és a teljesítményáramlás iránya között ne ellentétes kapcsolat álljon fenn. A teljesítménymérőt úgy kell bekötni, hogy a feltételezett teljesítményáramlás irányába mutató áram az áramkapocs-pár jelölt kapcsánál lépjen be a műszerbe, a fázisvezető pedig a feszültség kapocspár jelölt pontjához csatlakozzon.

Watt-mérő esetén a pozitív hatásos teljesítmény fogyasztást, Volt- Amper-reaktív mérő esetén az induktív meddő teljesítmény felvételt jelent.

A generátor ideális feszültségforrás, a vezeték impedanciáján és reaktanciáján fellépő néhány százalékos feszültségesés után a névlegessel közel azonos feszültséget szolgáltat. A fogyasztón fellépő hatásos teljesítmény  $P=U^2/R$ , a meddő teljesítmény  $U^2/X$ .

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

A villamosenergia-előállítás, -szállítás, -elosztás háromfázisú rendszerben zajlik. A szimmetrikus háromfázisú rendszer lényege az, hogy 3 szimmetrikusan (egymáshoz képest  $120^\circ$ -kal elforgatott) elhelyezett tekercs, és ezek egymáshoz képest időben  $120^\circ$ -kal eltolt árammal való táplálása következtében létrehozható forgó mágneses mező. Ez az aszinkron motorok működésének alapja.

A rendszer szimmetriájának következtében nincs szükség nullavezetőre (negyedik fázisvezetőre), illetve veszteség még akkor sem keletkezik, ha van visszavezető (földelt csillagpontnál a föld ennek tekinthető, tehát a földvezetőken nincs veszteség, mivel nem folyik rajta áram). A szimmetrikus háromfázisú rendszer másik előnye az időben állandó teljesítmény.

A fázisok azonosítása gyakran R, S, T betűkkel történik, de szokásos az a, b, c jelölés is. A fázisfeszültségek az egyes fázisok és a föld közötti feszültségek. A fázisfeszültségek időfüggvényei, illetve komplex jellemzése:

$$u_R(t) = \sqrt{2}U_{fázis} \cdot \cos(\omega t) \leftrightarrow \overline{U}_R \angle 0^\circ$$

$$u_S(t) = \sqrt{2}U_{fázis} \cdot \cos(\omega t - 120^\circ) \leftrightarrow \overline{U}_S \angle -120^\circ$$

$$u_T(t) = \sqrt{2}U_{fázis} \cdot \cos(\omega t + 120^\circ) \leftrightarrow \overline{U}_T \angle 120^\circ$$

A fázisáramok függvényeit  $\varphi$  fázisszög hozzáadásával kapjuk. Szimmetrikus esetben a fázisfeszültségek egyenlők. A fázissorrend felcserélése következtében a forgómező forgásiránya ellentétesre változik.

Bármely két vezető között értelmezzük a vonali feszültségeket.  $U_{vonal} = \sqrt{3} \cdot U_{fázis}$ , amennyiben a rendszer szimmetrikus.  $\overline{U}_{RS} = \overline{U}_R - \overline{U}_S = \sqrt{3} \cdot \overline{U}_R \angle 30^\circ$ , hasonlóan megadható a másik két vonali feszültségre. A vonali feszültségek fázorai is szimmetrikus rendszert alkotnak.

Delta (háromszög) kapcsolás esetén az impedanciák a vonali feszültségekre vannak kapcsolva.  $\overline{I}_R = \overline{I}_{TR} - \overline{I}_{RS}$ , és hasonlóan megadható a többi vonali áram. A vonali áramok effektív értékei a szimmetria következtében megegyeznek. A deltaág árama és a vonali effektív áramok közti összefüggés:  $I = \sqrt{3} \cdot I_\Delta$ . Az delta- és a csillagkapcsolás impedanciáira az alábbi igaz:

$$Z_\Delta = \frac{U_{vonal}}{I_\Delta} = \frac{U_{vonal}}{\frac{I}{\sqrt{3}}} = \frac{\sqrt{3} \cdot U_{fázis}}{\frac{I}{\sqrt{3}}} = 3 \cdot \frac{U_{fázis}}{I} = 3 \cdot Z_y$$

## 6. Szimmetrikus háromfázisú rendszer teljesítmény összefüggései, a meddő teljesítmény értelmezése

A háromfázisú rendszer teljesítményének időfüggvényét a fázisok teljesítmény-időfüggvényeinek összeadásával kapjuk. Az egyes fázisteljesítményekre az egyfázisú összefüggéseket alkalmazva az adódik, hogy a háromfázisú teljesítményösszeg megegyezik az egyfázisú teljesítmény háromszorosával. A háromfázisú teljesítmény tehát időben állandó, nagysága az egyfázisú teljesítmény háromszorosával egyenlő (fázisszög  $\varphi$ ).

A meddő teljesítményt a hatásos teljesítményhez hasonlóan számíthatjuk. A meddő teljesítmények az egyes fázisok tekerceiben folyó áramhoz tartozó mágneses térben tárolt energiának felelnek meg. Szimmetrikus háromfázisú rendszerben a meddő teljesítmények előjeles összege minden időpillanatban nulla. A háromfázisú meddő teljesítmény az egyfázisú meddő teljesítmény háromszorososa, azaz nagysága háromszorososa az egyfázisúnak, fázisszöge egyenlő azzal ( $\varphi$ ).

*A hatásos és a meddő teljesítmények kifejezésének ismeretében belátható, hogy a látszólagos teljesítmény három fázis esetén háromszorosa az egyfázisú látszólagos teljesítménynek. Amennyiben a fázisfeszültségek helyett vonali feszültségekkel számolunk, a háromfázisú teljesítmények az egyfázisúaknak  $\sqrt{3}$ -szorosai.*

## A transzformátorok működése

*A transzformátor adott áramú és feszültségű teljesítményt más áramú és feszültségű teljesítménnyé alakít át, adott frekvencia mellett. A transzformátorokat alkalmazzák a villamosenergia- termelés, szállítás (nagy feszültségű) és felhasználás (kis feszültségű) során. Az energiaátvitel során használt transzformátorok feszültségkényszer alatt működnek. Ezek háromfázisú transzformátorok (3 egyfázisú vagy 1 háromfázisú).*

### **1. Növekedési törvények**

*A transzformátorok teljesítménye és mérete között matematikai kapcsolat áll fenn. A transzformátorok igénybevételei a mágneses fluxus és az áramerősség, melyek a méretekkel négyzetes arányban változnak. A transzformátor látszólagos teljesítménye a geometriai méreteinek negyedik hatványával arányos:  $S \sim U \cdot I \cdot L^4$ . A súly ( $G$ ), a térfogat és az ár a geometriai méretek harmadik hatványával arányos, tehát  $G \sim \text{ár} \sim L^3 \sim S^{\frac{3}{4}}$ .*

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

*A hatásfok a teljesítmény növelésével javul. A viszonylagos ellenállás a látszólagos teljesítmény  $^{-1/4}$ -edik hatványával arányos (ezzel egyidejűleg a reaktancia annak  $^{1/4}$ -edik hatványával változik). A hűtőfelület a lineáris méretek négyzetével arányos, így tehát a látszólagos teljesítmény  $^{-1/2}$ -edik hatványával. Ha tehát a teljesítményt növeljük, egyre jobban hűteni kell a transzformátort.*

### **2. Működési elv, a vasmag, a vasveszteség, a tekercselés**

*A transzformátor aktív részei a tekercsek, illetve a vasmag. Az oszlop és a járom nem aktív részek. A vasmag elősegíti, hogy minél kisebb gerjesztőárammal lehessen létrehozni mágneses indukciót. A mágneses fluxusváltozást ez közvetíti. A vasveszteség csökkentése érdekében lemezezt vasmagot szokás alkalmazni, amely a kör keresztmetszet elérése érdekében lépcsőzött.*

*Többféle tekercseléssel is megvalósítható transzformátor. A legegyszerűbb a hengeres tekercselés, melynél a tekercsek egymásba vannak tolvva (kívül a nagyfeszültségű). Ritkábban alkalmazzák a tárcsás tekercselést.*

*A vasveszteség (a vasmag ellenállásából adódik), a rézveszteség (a tekercs ellenállásából adódik) és a mágneses meddő teljesítmény a súllyal arányosak, így azok a látszólagos teljesítmény  $^{3/4}$ -edik hatványával arányosak.*

### **3. Fő- és szórt fluxus, az indukált feszültség számítása**

*Transzformátorok esetén is gyakran alkalmazzuk a komplex számítási módot. Állandósult állapotban, az időfüggvények nélkül kifejezhető az indukált feszültség fazora ( $\Phi_m$  a főmező-fluxus):*

$$\bar{U}_{i1,max} = j\omega N_1 \bar{\Phi}_m, \bar{U}_{i2,max} = j\omega N_2 \bar{\Phi}_m$$

*n*-nel szokás jelölni a menetszám-áttételt, mely az indukált feszültségek hányadosa.

Az indukált feszültség effektív értéke szinuszos áramnál:  $U_{i,eff} = 4,44f \cdot N_1 \cdot \Phi_m$ .

A mágneses jellemzők számításához a mágneses jelleggörbét szokás felvenni (hiszterézis).

#### **4. Az ideális transzformátor, a fogyasztói pozitív irányrendszer, feszültségegyenletek, viszonylagos egységek**

*A transzformátor jellemzőinek számításakor szokás az eszközt modellezni, helyettesítő kapcsolását felrajzolni. A helyettesítő kapcsolásra érvényes a szuperpozíció (linearitás), állandó paraméterű, galvanikus csatolású. A tekercsek kapacitásait elhanyagoljuk, a vasmagot lineárisnak feltételezzük. Fogyasztói pozitív irányrendszerben a felvett teljesítmények pozitív előjelűek.*

*A transzformátor feszültségegyenletei:*

$$\bar{U}_1 = R_1 \bar{I}_1 + jX_{S,1} \bar{I}_1 + \bar{U}_{1,v}, \bar{U}_2 = R_2 \bar{I}_2 + jX_{S,2} \bar{I}_2 + \bar{U}_{2,v}$$

*A fogyasztói pozitív irányrendszernek köszönhetően az egyenletek szimmetrikusak.*

*A névleges impedancia:  $Z_{1,n} = \frac{U_{1,n}}{I_{1,n}}$  (fázismennyiségekkel számolva). A feszültségegyenleteket szokás relatív mennyiségekbe átírni (a névleges feszültségekhez viszonyítva). A tekercsveszteség viszonylagos értéke éppen a tekercsellenállás viszonylagos értékével egyenlő.*

#### **5. Mágneses Ohm-törvény, feszültségkényszer, a gerjesztések egyensúlyának törvénye, áram-áttétel**

$\Phi = \Lambda \cdot \theta$  ( $\Phi$  a fluxus,  $\Lambda$  a mágneses vezetőképesség,  $\theta$  a gerjesztés).  $\theta = \sum_k I_k$ .

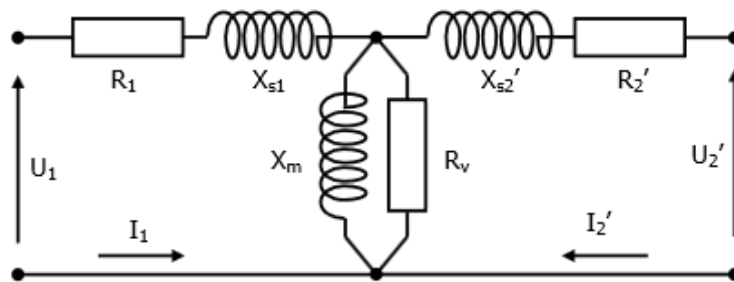
*A feszültségkényszer azt jelenti, hogy az indukált feszültség állandó. Ennek következtében a fluxus, az indukció, és így az eredő gerjesztés is közel állandó:  $\bar{\theta}_e = N_1 \bar{I}_1 + N_2 \bar{I}_2$ .*

*A tekercsfluxus:  $\Psi = N \cdot \Phi$ .*

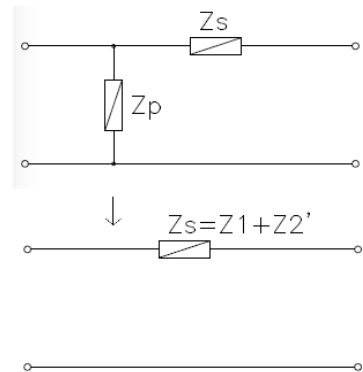
#### **6. Gerjesztés- és teljesítményinvariancia, redukálási szabályok, az impedanciaelemek nagyságrendjei**

*A gerjesztések invarianciája azt jelenti, hogy a transzformátor egy tekercse helyettesíthető egy olyan másik tekercsel, melynek a gerjesztései ugyanazok, menetszáma viszont eltérő lehet. Célszerű megtartani a teljesítményinvarianciát is. A helyettesítő impedanciák általában a menetszám áttétel négyzetével arányosak.*

## 7. A térelméleti helyettesítő kapcsolás, egyszerűsített helyettesítő kapcsolások



Ez a passzív helyettesítő kapcsolás. Az aktív helyettesítő kapcsolás esetén a közepen található tekercset és ellenállást egy feszültségforrással helyettesítjük ( $U_{i1}$  és  $U_{i2}'$  feszültségekkel). A helyettesítő kapcsolás térelméleti, gerjesztés- és teljesítményinvariáns, és érvényes rá a gerjesztések egyensúlyának törvénye.  $R_1$  és  $R_2'$  a tekercsek ellenállásai,  $X_{s1}$  és  $X_{s2}'$  a tekercsek szórását leképező induktivitások,  $R_v$  a vasvesztései ellenállás,  $X_m$  a főmező fluxust képezi le.



Egyszerűsíteni is lehet a helyettesítő kapcsolást. Ennek első lépése, hogy az impedanciákat és a hozzájuk tartozó reaktanciákat összevonjuk (T-helyettesítő kép). Ezután összevonhatjuk a tekercselési impedanciákat, majd végül elhanyagolhatjuk a vasmag impedanciáját, hiszen ez jóval nagyobb a tekercsekétől, így egyetlen impedanciával helyettesíthetjük a transzformátort (egyetlen tekercssel is megoldható ugyanez).

## 8. Fazorábra: üresjárási és terhelési állapot

A transzformátor állandó frekvenciájú és feszültségű rendszer. A hálózati feszültségkényszer a transzformátor állandó üresjárási gerjesztését írja elő.

## 9. Feszültség- és áramtranszformátor

Feszültségtranszformátor (áramtranszformátor): a primer oldali tekercs egy feszültségforrással (áramforrással) sorosan kapcsolva, a szekunder oldalon egy impedancia van sorosan kapcsolva a tekercssel.

## 10. Háromfázisú transzformátorok származtatása, működési elve, az üresjárási áram szimmetriája

Háromfázisú transzformátort három darab egyfázisú transzformátorból úgy származtathatunk, ha a primer és a szekundertekercseket csillagba vagy deltába kapcsoljuk. A csillagkapcsolásnál középre került tekercsek ekkor fluxusmentesek, így elhagyhatók. Az egyik oszlopot a másik kettő közé betolva aszimmetrikus magtípusú transzformátor jön létre. A középső oszlop üresjárási árama kisebb, így a rendszer aszimmetrikus. Ezt a hatást azonban el szokás hanyagolni.

Négyvezetékes fogyasztóknál a szekunder oldalon szokás alkalmazni a zeg-zug kapcsolást.



## 11. Aszimmetrikus terhelés, kiegyenlített gerjesztés, a feszültségrendszer aszimmetriája

A csillagba kapcsolt tekercsek közös pontjának földelésével négyvezetékes rendszert nyerünk (földvezeték). A fogyasztókat a nullavezeték és az egyes fázisok közé sorolják. Az egyes fázisok fogyasztói nem egyformán terhelik a hálózatot, így aszimmetrikus terheléelosztás jön létre.

Tételezzük fel, hogy csak egy fázisban van terhelés (mindkét oldalon csillagkapcsolás). Így két fázisban csak a primeroldalon folyik áram. Kimutatható, hogy a gerjesztés mindhárom oszlopon azonos fázisú, kiegyenlített. Ezek egyaránt  $90^\circ$ -kal siető feszültségeket indukálnak, melyek hozzáadódnak a szekunderfeszültségekhez, aszimmetrikus kapocsfeszültség-rendszert létrehozva ezzel. Ez a fogyasztók szempontjából megengedhetetlen. A gerjesztések egyensúlyának minden oszlopon fenn kell állnia.

## 12. Háromfázisú transzformátorok kapcsolásai, órajel, kapcsolási csoport

A gerjesztések egyensúlyának tehát minden oszlopon fenn kell állnia. Ez elérhető például csillag-háromszög kapcsolással, így nem keletkeznek kiegyenlített oszlopgerjesztések. Háromszög-csillag kapcsolást a nagy anyagköltség miatt ritkán alkalmaznak. A másik lehetőség a csillag-zeg-zug kapcsolás, melynek lényege az, hogy a szekundertekercsre két féltekercsre osztjuk, és az eltérő oszlopokon elhelyezkedő összekapcsolt tekercsek képeznek egy fázist. Itt fellép fáziseltolódás, mely a szekundertekercsek kihasználását rontja.

A kapcsolási csoportok jelölésére három karaktert alkalmazunk. Az Y csillag-, a D delta-, a Z zeg-zugkapcsolást jelent. Nagybetűvel jelöljük a nagyfeszültségű, kisbetűvel a kisfeszültségű oldal kapcsolását. A jelölés harmadik karaktere egy szám, ez az óraszám, amely a megfelelő primer- és szekunderoldali fázisfeszültségek közti eltérést adja meg (ez  $30^\circ$  egész számú többszöröse). Pl.: Yz5 – A nagyfeszültségű oldalon csillag, a kisfeszültségű oldalon zeg-zug kapcsolás, és a fáziseltolás mértéke  $150^\circ$ .

Párhuzamosan csak olyan transzformátorokat lehet kapcsolni, melyeknek a szekunder feszültségrendszere azonos nagyságú és fázishelyzetű fázisfeszültségekből áll.

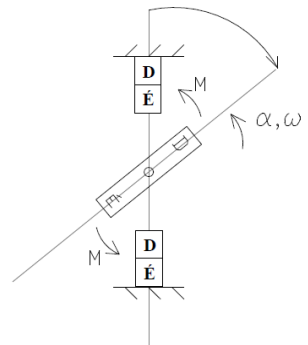
## Az elektromechanikai átalakítók mágneses tere (Forgómozgás létesítése)

### 1. Nyomatékképzés forgógépekben

- A nyomatékképzés elve, forgó mező létrehozásának célja

A villamos gépekben a mágneses tér az energiaátalakítás munkaközege, ugyanis ezt használjuk fel forgómozgás létesítésére.

A heteropoláris (váltakozó pólusú) elrendezést alkalmazzuk. A két mágnes közti nyomaték arányos a mágnesek tengelyei közti szög szinuszával. Állandó forgatónyomaték eléréséhez állandó szögsebesség szükséges. Ez kétféleképpen lehetséges: mindkét mágnes áll, vagy mindkettő azonos sebességgel forog (relatív nyugalomban vannak). A leggyakoribb megoldás az, hogy az egyik tekercsrendszer áramait, és így mágneses terét a másik tekercsrendszer hozza létre.



### - A váltakozó áramú tekercselések elve

*A váltakozó áramú tekercselések mindig heteropolárisak (váltakozó pólusúak), és igaz ez fordítva is: a heteropoláris gépek mindig váltakozó áramúak. A tekercseket a hengeres forgórész palástján helyezzük el. Tekercsfejek segítségével meneteket hozunk létre. A tekercs fizikai tengelye egybeesik a tekercs mágneses tengelyével (az áramok által létesített mágneses indukció irányával). Az áramok és a mágneses indukció irányát a jobbkéz-szabállyal állapítjuk meg. A tekercsoldalak rögzítésére szolgálnak a fogak és a hornyok. Amennyiben a tekercseket hornyokban helyezzük el, csökkenthető az álló- és forgórész közötti légrés.*

### - Az indukcióvektor értelmezése, körforgó mező

*Az általános cél az, hogy a villamos gépekben a térbeli indukcióeloszlás és a feszültségek, áramok időbeli jelalakja közelítse a szinuszfüggvényt. Ez azért praktikus, mert a többfázisú, szinuszos, kiegyenlített rendszerek teljesítménye állandó.*

## 2. Villamos gépek mágneses mezői

### - Állandó, lüktető és forgó mezők

*Az állandó mágneses mező legegyszerűbb esete egy tekercs egyenárammal történő gerjesztése (áramforrás és tekercs sorba kapcsolva) során létrejövő mező. Ennek valamivel bonyolultabb esete több tekercs (térben háromfázisúan elhelyezve, csillagkapcsolásban) gerjesztése egyenárammal. Ilyenkor az eredő indukció az egy fázishoz képest másfélszeres (vektoriális összegzés).*

*A lüktető mező térbeli állóhullám. Ferraris-tétel: A lüktető mágneses mező felbontható két, egymással ellentétes irányban, azonos szögsebességgel forgó mezőre, amelyek amplitúdója a lüktető mező amplitúdójának a fele. Lüktető mágneses mezőt váltakozó árammal táplált tekercssel lehet létrehozni.*

### - Forgó mező létrehozása többfázisú tekercsrendszerrel

*Forgó mágneses mező létrehozásához többfázisú tekercs- és áramrendszer szükséges. A tekercseket térben, az áramokat időben egymáshoz képest  $120^\circ$ -ra helyezzük el. Az egyfázisú, váltakozó árammal táplált tekercsek lüktető mezőt hoznak létre. Szimmetrikus elrendezés és táplálás mellett a három lüktető mező eredőjeként forgó mágneses mező jön létre.*

### - A forgó mező tulajdonságai

*A forgó mező a kerület mentén állandó szögsebességgel haladó hullám. A mező szögsebessége nem függ a fázisszámtól. A nyomatékképzés feltétele az, hogy az álló- és forgórész pólusszáma megegyezzen, ezek mágneses mezői pedig egymáshoz képest nyugalomban legyenek.*

### - Szinuszos mezőeloszlás létrehozása

*A gerjesztési törvény:  $\text{rot}\vec{H} = \vec{j}$*

### - Indukált feszültség számítása, a tekercselési tényező

*A tekercselési tényező megmutatja, hogy a tekercselés elosztottsága következtében milyen mértékben csökken az indukált feszültség. Jele:  $\zeta$ .*

### 3. A frekvencia-feltétel és alkalmazása

#### - A frekvencia-feltétel kifejezése és fizikai tartalma

A frekvenciafeltétel kimondja, hogy a villamos forgógépekben az állórész (státor) forgó mágneses mezejének szögsebessége előáll a forgórész (rotor) szögsebességének és a forgórész mágneses mezejének szögsebességének (a forgórészre vonatkoztatjuk) összegeként. Képlettel:

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

#### - Gépfajták származtatása a frekvencia-feltétel alapján

Ha a forgórész szögsebessége 0, akkor egyenárammal tápláljuk. A gép átlagos nyomatékot csak az állórész mezejének fordulatszámán képes elérni (szinkron fordulatszám). Az ilyen gépet szinkron gépnek nevezzük, ebben az esetben az álló- és a forgórész akár helyet is cserélhet.

Az indukciós gép a frekvenciafeltételt minden fordulatszámon (kivéve szinkron-) kiegyenlíti, és véges rotoellenállással átlagos nyomaték készítésére képes.  $\omega_s$  az állórész mezejének fordulatszáma,  $\omega$  a forgórész fordulatszáma. Amennyiben  $\omega < \omega_s$ , úgy motorról beszélünk, ha  $\omega > \omega_s$ , akkor generátorról, ha pedig a két szögsebesség előjele ellentétes, fékről.

Egyenáramú gépeknél a frekvenciafeltételt nem lehet kielégíteni kétoldali egyenáramú táplálással. Ekkor ugyanis az állórész mágneses mezejének fordulatszáma nulla. Ilyenkor alkalmazzuk a kommutátort, mely biztosítja az  $\omega = -\omega_{rot}$  frekvenciafeltételt. A kommutátor váltakozó áramú táplálás esetén is frekvencia-átalakító marad, a frekvenciaváltozás a kommutátor forgási sebességével egyenlő. Segítségével a frekvenciafeltétel minden fordulatszámon igaz lesz.

### Alapvető elektromechanikai átalakítók működési elvei

#### 1. Szinkron gépek

Szinkron forgógép esetén a forgórészt egyenárammal tápláljuk. Az elnevezés onnan ered, hogy állandó nyomatékot a gép egyetlen fordulatszámon, az ún. szinkron fordulatszámon képes kifejteni (ez megegyezik az állórész mezejének fordulatszámával).

#### - Háromfázisú szinkron gép felépítése és működési elve, állandósult nyomaték kialakulásának feltétele, a szinkron fordulatszám

Amennyiben a szinkron gép háromfázisú tekercsrendszerét a hálózatra kapcsoljuk, a légrésben szinkron fordulatszámú forgómező jön létre. A forgórész egyetlen tekercsét egyenárammal tápláljuk, így ehhez képest a forgórész mezeje áll (egymáshoz rögzítettek). Ebből pedig az következik, hogy a forgórész mezejének az állórész mezejével együtt kell forognia. Állandósult, szimmetrikus állapotban a forgórész unilaterális: indukció csak egy irányban van, nevezetesen a forgórész indukál az állórészbe.

A szinkron gépek a hálózattal általában párhuzamosan vannak kapcsolva. A párhuzamos kapcsolás (szinkronozás) előtt meg kell győződni, hogy a következő feltételek fennállnak-e: azonos fázissorrend, frekvencia, feszültségamplitúdó, illetve zérus fázisszög a megfelelő fázisfeszültségek között.

## 2. Aszinkron gépek

*Az aszinkron gép (indukciós motor) egyszerű, olcsó, ezért nagyon elterjedt. Az ipar mellett pl. vasúti vontatásban is alkalmazzák.*

- **Háromfázisú aszinkron gép felépítése és működésének elve, állandósult nyomaték kialakulásának feltétele, szlip, szlipfrekvencia, kalickás és csúszógyűrűs forgórész**

*A háromfázisú állórész a hálózatra van kötve. A forgórész tekercselt vagy (rövidre zárt) kalickás. Üzemi állapotban a forgórész mindig rövidre zárt. A forgórész kapcsait indításkor külső ellenállások beiktatására csúszógyűrűkön át vezetik ki (csúszógyűrűs gép). A kalickás forgórészt vizsgálatok során gyakran helyettesítik háromfázisú, rövidre zárt tekercseléssel.*

*A motor feladata a forgatás. A nyomatékot a forgó mező létesíti. Az állórész forgó mágneses mezeje a forgórész vezetőiben áramot indukál. Az indukált áramok a forgómezővel hozzák létre a nyomatékot. A gép nem érhet el szinkron fordulatszámot, hiszen ebben az esetben nem történik indukció (mert egymáshoz képest nyugalomban vannak a mezők). A gép tehát csak aszinkron üzemre képes.*

*Szlipnek (csuszamlásnak) nevezzük a forgórész fordulatszáma és az állórész mágneses mezejének fordulatszáma közötti különbséget.*

$$s = \frac{n_1 - n}{n_1}$$

*Az állórész és a forgórész pólusszáma megegyezik. A szlipfrekvencia:*

$$f_2 = s \cdot f_1, n_2 = s \cdot n_1$$

*A forgórész együtt forog az állórész mezejével.*

## 3. Egyenáramú gépek felépítése és működési elve

*Egyenáramú gépeknél a frekvenciafeltételt nem lehet kielégíteni az álló- és forgórész egyenáramú táplálásával. Ezt hidaljuk át a kommutátorral (frekvenciaátalakító). Az egyenáramú gép valójában egy rendszer, amely áll egy szinkron gépből, mechanikai átalakítóból és vezérlésből.*