

# **Villamosgépek**

összefoglaló kivonat az Elektrotechnika III. tantárgy előadásaiból

2002.

Dr. Kloknicer Imre  
egy. adj.,  
okl. eá. vill. mérnök

## Tartalom

### 1. Bevezetés

### 2. Villamos forgógépek

#### 2.1 Egyenáramú gépek

2.1.1 Külső gerjesztésű egyenáramú gép

2.1.2 Sönt gerjesztésű, párhuzamos gerjesztésű,  
mellékáramkörű egyenáramú gép

2.1.3 Soros gerjesztésű egyenáramú gép

2.1.4 Vegyes gerjesztésű egyenáramú gép

#### 2.2 Váltakozóáramú gépek

2.2.1 Szinkrongép

2.2.2 Aszinkrongép

### 3. Transzformátorok

3.1 Különleges transzformátorok

3.2 Három fázisú transzformátorok

### 4. Összefoglalás

## **1. Bevezetés**

Ez a jegyzet (emlékeztető) az Elektrotechnika III. előadásaiból kiemeli a villamosgépek felépítését, működési elvét és fontosabb összefüggéseit.

A Közlekedésmérnöki Karon végzett mérnöknek nem feladata egy létesítmény elektromos berendezéseinek tervezése. Azonban egy villamos szakemberrel való együttműködésre fel kell készülnie ha olyan berendezést tervez, üzemeltet, melyben villamosgép is van.

Ez az írás nem helyettesíti az előadások hallgatását, de segítséget nyújthat az elhangzottak szabatos ismétléséhez.

## 2. Villamosgépek

Energia átalakítás

- mechanikai energia  $\Rightarrow$  villamos energia  
pl. generátorok
- villamos energia  $\Rightarrow$  mechanikai energia  
pl. motorok
- villamos energia  $\Rightarrow$  villamos energia  
pl. transzformátor
- mechanikai energia  $\Rightarrow$  mechanikai energia  
pl. fogaskerék áttétel

Többnyire a  $\Rightarrow$  szimbólum helyett ez a  $\Leftrightarrow$  értendő, így motor és generátor helyett célszerűbb villamosgépről beszélni és annak motor vagy generátor üzemeről. Például egy villamos hajtású jármű (daru stb.) fékezése történhet generátoros üzemben.

Ezzel nem zártuk ki azt, hogy bizonyos villamos gépek csak egyféle üzemben dolgoznak. Egy önindító nem nagyon kerülhet generátoros üzembe (kivéve a repülőgépek “starter”-jét) vagy egy erőművi szinkrongenerátor nem működhet motorként (a turbina rossznéven veszi).

Röviden foglalkozunk a továbbiakban a villamosgépek felépítésével, működési elvével, üzemeivel.

## 2.1 Egyenáramú gépek

### *Felépítés*

- állórész
  - főpólus: kiálló pólusú, egyenáramú gerjesztésű ( $2p=2,4,6 \dots$ )
  - segédpólus: főpólusok szögfelezőjében
  - kefe tartó: állórészhez rögzítve, főpólusok síkján kívül, nyomórugó
  - kefe: grafit, elektrografit, bronzgrafit, flexibilis villamos csatlakozás
  - egyéb gépészeti részek: alumínium öntvény ház, pajzsok, csapágyak stb.
- forgórész
  - lemezelt vas hornyokkal, benne váltakozó áramú tekercselés
  - kommutátor: egymástól elszigetelt réz szegmensekből álló henger, melyhez a tekercselés kivezetései hozzá vannak forrasztva

### *Működési elv*

- generátor

$$U = B \cdot l \cdot v$$

ahol

$U[V]$  az indukált feszültség

$B[V \cdot s/m^2]$  az indukció

$l[m]$  a vezető hossza

$v[m/s]$  a vezető sebessége

Ha az állórész által gerjesztett  $B$  indukciójú mezőt a forgórészen elhelyezkedő  $l$  hosszúságú vezető merőlegesen metszi  $v$  sebességgel, akkor sarkai között  $U$  feszültség indukálódik. Amennyiben kisebb szög alatt metszi, kisebb feszültség indukálódik, amikor a vezető párhuzamos az indukció vonalakkal 0, majd előjelet vált.

Ezért szükséges a kommutátor, ami magyarul *mechanikus egyenirányító*. Pontosan akkor fordítja meg az áram irányát, amikor az előjelet vált. Így változó egyenfeszültséget kapunk.

- motor

$$F=I*B*l$$

ahol

$F[N]$  a vezetőre ható erő

$I[A]$  a vezetőben folyó áram

$B[Vs/m^2]$  az indukció

$l[m]$  a vezető hossza

Az  $l$  hosszúságú,  $I$  áram járta vezetőre,  $B$  indukciójú térben  $F$  erő hat. Az előbb említett mechanikus egyenirányító - kommutátor - segítségével a folyamat stabilizálható, azaz a főpólusok síkjában mindig ez az  $F$  erő fog hatni, míg ettől eltérő szögben kisebb, erre merőlegesen 0.

A gyakorlatban motornál a nyomatékot használjuk, amit az alábbi egyszerűsített képlettel írhatunk le:

$$M=k*\Phi*I_a$$

ahol

$M[Nm]$  a forgórész nyomatéka

$I_a[A]$  az armatúra áram

$\Phi[Vs]$  a fő- (pólus-) fluxus

$k$  gépre jellemző konstans

Egyértelmű, hogy a forgórészben váltakozó áram folyik, mind generátor mind motor üzemben, csak az egyenirányított áram ( $I_a$ ) iránya különbözik az indukált feszültséghez ( $U_i$ ) képest attól függően, hogy termelőről vagy fogyasztóról van szó.

$$U_i=c*n*\Phi$$

ahol

$U_i[V]$  indukált feszültség

c gépre jellemző konstans  
 $n[s^{-1}]$  fordulatszám  
 $\Phi[V\cdot s]$  fluxus (főpólus)

és

$$U_k = U_i \pm I_a \cdot R_a$$

ahol

$U_k[V]$  kapcsolófeszültség  
 $I_a[A]$  armatúra áram  
 $R_a[\Omega]$  armatúra ellenállás

és

+ motor  
 - generátor

### 2.1.1 Külső gerjesztésű egyenáramú gép

A gerjesztés külső áramforrásról történik, mind motor, mind generátor esetén, ami egy kicsit nehézkesé teszi az alkalmazást. Ugyanakkor a legjobb tulajdonságokkal rendelkezik:

- generátor  $\Rightarrow$  feszültségtartó, 3-6% feszültségesés van névleges terheléskor az üresjáráshoz képest
- motor  $\Rightarrow$  fordulatszám-tartó, 3-6% fordulatszám-esés van névleges terheléskor az üresjáráshoz képest

Kisebb gépeknél szokásos gerjesztésként állandó (kemény) mágnes használata.

### 2.1.2 Sönt gerjesztésű, párhuzamos gerjesztésű, mellékáramkörű egyenáramú gép

- motor  $\Rightarrow$  ua., mint előbb
- generátor  $\Rightarrow$  öngerjesztésű dinamó (Jedlik Ányos), feszültségtartó jellege nem annyira jellemző, de egyszerűbb az üzemeltetése és zárlatbiztos (zárlat esetén legerjeszti önmagát)

### 2.1.3 Soros gerjesztésű egyenáramú gép

- motor  $\Rightarrow$  *teljesítménytartó*, miután nyomatéka a fordulatszámmal közelítően fordítva arányos, különös jelentősége van a közlekedésben (nagy indító nyomaték, nagy fordulatszámon a nyomaték már kicsi, gazdaságos), váltakozó árammal is működtethető(!)
- generátor  $\Rightarrow$  kisebb jelentőségű

### 2.1.4 Vegyes gerjesztésű egyenáramú gép

- motor  $\Rightarrow$  szinte “bármilyen” nyomaték - fordulatszám jelleggörbe megvalósítható
- generátor  $\Rightarrow$  kompaund - antikompaund, ez utóbbi kiváló hegesztőgép

## 2.2 Váltakozóáramú gépek

A soros- vagy univerzálisgépnél már tettünk említést a váltakozóáramú táplálást illetően. Ebben a fejezetben az 1 és 3 fázisú motorokat, generátorokat tárgyaljuk.

### 2.2.1 Szinkrongép

#### *Felépítés*

- állórész
  - lemezelt vastestben három fázisú, térben szimmetrikus tekercselés (melyre időben 120 fokra eltolt szimmetrikus feszültséget kötünk és így létrehozuk a forgó mágneses mezőt)
  - egyéb gépészeti részek: alumínium öntvény ház, pajzsok, csapágyak stb.
- forgórész
  - kiálló pólusú forgórész, egyenáramú tekercseléssel
  - vagy hengeres pólusú forgórész, egyenáramú tekercseléssel
  - két csúszógyűrű az egyenfeszültség hozzávezetéseként

#### *Működési elv*

Kifordított egyenáramú gép (a forgórészen van az egyenáramú gerjesztés és az állórészen a váltakozó áramú tekercselés). Az említett forgó mágnesesmező és a forgórész állandó mágneses mezeje közötti  $\delta$  terhelési szög és nyomaték kapcsolata az alábbi képlettel írható le:



$$M = \frac{1}{2 * \pi * n} * \frac{U_k * U_p}{X_{sz}} * \sin \delta$$

ahol

$M$ [Nm] a nyomaték

$n$ [s<sup>-1</sup>] a fordulatszám

$U_k$ [V] a kapocsfeszültség

$U_p$ [V] a pólusfeszültség (nagyjából lineáris a gerjesztőárammal)

$X_{sz}$ [ $\Omega$ ] a szinkronreaktancia

$\delta$ [rad] az  $U_k$  és  $U_p$  közötti fázisszög

- motor  $\Rightarrow \cos(\varphi)$  javítás, mozgólépcső, állandó fordulatszám
- generátor  $\Rightarrow$  erőművi felhasználás (turbógenerátor), önállóan járó szinkrongép  $\Rightarrow$  aggregátor

A hálózat-ra, -ről járó szinkrongép csak egy fordulatszámon, a szinkron fordulatszámon tud üzemelni.

$$n_0 = \frac{f}{p}$$

ahol

$n_0$ [s<sup>-1</sup>] a fordulatszám

$f$ [s<sup>-1</sup>] a hálózati frekvencia

$p$  póluspár szám

### 2.2.2 Aszinkrongép

#### *Felépítés*

- állórész
  - lemezelt vastestben három fázisú, térben szimmetrikus tekercselés (melyre időben 120 fokra eltolt szimmetrikus feszültséget kötünk és így létrehozuk a forgó mágnesesmezőt)
  - egyéb gépészeti részek: alumínium öntvény ház, pajzsok, csapágyak stb.
  - elvileg nem különböztethető meg az aszinkrongép állórészétől
- forgórész

- lemezelt vastest
- rövidrezárt tekercselés
  - réz keményforrasztással
  - alumínium, kiöntve (centrifugál öntés)
- három fázisú tekercselés, csúszógyűrűs kivezetéssel (3 db csgy.)

### *Működési elv*

Az állórészen, a három fázisú szimmetrikus váltakozó áramú tekercselésben, a rákapcsolt, időben eltolt szimmetrikus három fázisú feszültség forgó mágneses mezőt hoz létre ( $f_1$ ) és ez a forgórész vezetőiben feszültséget indukál. A rövidrezárt (ellenállással lezárt) tekercselésben áramot hajt, mely forgó (!) mágneses mezőt hoz létre ( $f_2$ ). A két mágneses mező szinkron forog, de a forgórész fordulatszáma ( $n$ ) nem érheti el a szinkron fordulatszámot ( $n_0$ ). A százalékos fordulatszám különbséget szlipnek ( $s$ ) nevezzük.

Ugyanez képletekkel:

$$f_1 = n_0 * p$$

$$s = \frac{n_0 - n}{n_0}$$

$$f_2 = s * f_1 = s * n_0 * p = \frac{n_0 - n}{n_0} * n_0 * p = (n_0 - n) * p$$

Tehát, ha a forgórész fel tudna gyorsulni szinkron fordulatszámig, meg szűnne az indukált feszültség, a nyomatékot létrehozó ok.

- generátor  $\Rightarrow$  nem használjuk, mert meddő teljesítményt nem képes leadni, fékezésnél, mint üzem előfordul
- motor  $\Rightarrow$  háztartásokban leggyakrabban használt motor (1 fázisú), iparban is hasonlóan gyakran alkalmazott (3 fázisú)

### **3. Transzformátorok**

#### *Felépítés*

Lemezelt vasmagból és általában két (esetleg több) tekercsből áll. A primer tekercsen kapcsolódunk a hálózathoz (tápláláshoz), a szekunder (tercier stb.) tekercs(ek)en a fogyasztókhoz. Ez az alap eset, mert minden villamosgépre jellemző, hogy az energia folyam megfordulhat. Általában a táplálási oldalt nevezzük primernek, függetlenül attól, ez a kisebb vagy nagyobb feszültség ("fel" és "le" transzformálás).

Megkülönböztetünk *lánc, mag és köpeny* típusú transzformátorokat.

A tekercselés általában *hengeres* vagy *tárcsás*.

Megkülönböztetünk *száraz* és *olaj* transzformátorokat.

#### *Működési elv*

A primer tekercsre időben váltakozó feszültséget kötünk, mely időben váltakozó fluxust hoz létre, ami feszültséget indukál mindkét (!) tekercsben. A feszültség a menetszámmal (is) arányos.

$$U_i = 4.44 \cdot f \cdot N \cdot \Phi$$

ahol

$U_i$ [V] az indukált feszültség

$f$ [Hz] a frekvencia

$N$  a menetszám

$\Phi$ [Vs] a fluxus

Amennyiben a szekundert megterheljük, áram folyik, mágnesesmező jön létre, mely Lenz törvényének értelmében az őt létrehozó hatást gátolja, azaz csökkenti a fluxust. Azonban szemügyre véve a fenti képletet a fluxus nem csökkenhet, mert  $U_i$  egyensúlyt tart a hálózattal (állandó) és természetesen  $f$  és  $N$  is állandó. Így fel kell venni a primeren egy akkora áramot, mely a fluxus állandóságát visszaállítja. Egyébként várható volt, hogy a szekundert terhelve az energia egyensúlynak primer áram felvételével kell visszaállnia.

Drop  $\Rightarrow$  rövidzárási feszültség arány (százalékos is lehet)

$$\varepsilon = \frac{U_z}{U_n} = \frac{I_n}{I_z}$$

$U_n, I_n$  névleges értékek

$I_z$  a zárlati áram (nem mérhető)

$U_z$  Rövidzárási feszültség, melyet úgy kell megválasztani, hogy akkora legyen, melynek hatására a rövidrezárt szekunderen a névleges áram folyjék.

### 3.1 Különleges transzformátorok

A transzformátorok elsősorban teljesítményben különböznek egymástól (W..MW). A nagy teljesítményű transzformátorokat erőátviteli transzformátoroknak nevezzük.

Különleges funkciójú, üzemű transzformátorok

- mérő transzformátorok
  - feszültségváltó  $\Rightarrow$  üresjárás
  - áramváltó  $\Rightarrow$  rövidzár
- indukciós kemencék
  - vas veszteség (csak vas ötvözet, lehet szilárd is)
  - tekeres veszteség (bármilyen fém, csak olvadt állapotban)
- takarékos kapcsolású transzformátorok (nincs galvanikus leválasztás a hálózatról !)
  - megcsapolt (diszkrét szekunder)
  - toroid (analóg szekunder)
  - kaszádok (nagy-, próbafeszültség olcsó előállítás)
- hegesztő transzformátorok
  - szórás növeléssel a rövidzárási áram drasztikus csökkentése

### 3.2 Három fázisú transzformátorok

Többnyire 3 vagy ritkábban 5 oszlopos kivitelben készülnek.

Nagyobb beruházást igényel, de később megtérül 4 db egy fázisú transzformátorból 3 használata és 1 tartalékként való szerepeltetése. Egy 3 fázisú tartalék transzformátor luxus, tartalék nélkül kockázatos. Tekintettel az erőátviteli transzformátorok méretére szállítása az 1 fázisúaknak nyilván könnyebb.

#### **4. Összefoglalás**

Nagyon fontosnak tartjuk a megfelelő villamos forgógép kiválasztását egy bizonyos hajtáshoz.

Mind dinamikailag, mind gazdaságilag döntésünknek megalapozottnak kell lennie.

A hálózattól való függés vagy a lokalizáció szükségessége befolyásolhatja döntésünket, hogy melyik villamos forgógépet választjuk.

A transzformátoros fejezet teszi kerekké a villamosgépekről alkotott képünket.

Úgy gondoljuk, hogy ez az áttekintés segítséget fog nyújtani vizsgájuk, de főképp munkájuk során.