



Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Villamos Energetika Tanszék

Elektrotechnika BMEVIVEAB00

A villamos forgógépek működési alapjainak vizsgálata mérési útmutató és elméleti segédanyag

Égető Tamás, Bacskai Péter, Kónya Benedek, Stranyóczy László

2018. szeptember 10.

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés	3
2. A mérés gyakorlati céljai	3
3. Elméleti háttér	3
4. Forgó mágneses mező	5
5. Egyenáramú gép jelleggörbéjének mérése	6
5.1. A mérés során használt eszközök	7
5.2. Egyenáramú gép alapegyenletei	7
6. Mérési feladatok	8
6.1. Forgó mágneses mező létrehozása három tekercssel	8
6.2. Fékezés állandó mágnessel	9
6.3. Forgó mágneses mező létrehozása két tekercssel	9
6.4. Forgó mágneses mező létrehozása kondenzátoros segédfázissal	10
6.5. Egyenáramú gép mérése	10
6.6. Nagy gépcsoport: adattábla leolvasása, értelmezése	10
7. Gyakorlati alkalmazások: villamos gépek	11
7.1. Aszinkron gép (indukciós gép)	11
7.1.1. Részei	11
7.1.2. Működési elve	11
7.1.3. Szlip	12
7.2. Szinkron gép	12
7.2.1. Részei	12
7.2.2. Működési elve	12
7.3. Egyenáramú gép	13
7.3.1. Részei	13
7.3.2. Működési elve	13
7.3.3. Jellemzői	13
8. Felkészülést segítő kérdések	13

1. Bevezetés

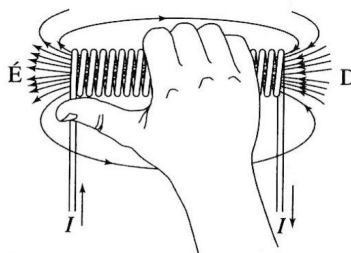
A mérési útmutató elsődleges célja, hogy a laborgyakorlat megértéséhez szükséges ismereteket adja át. Ezen kívül egy elméleti összefoglalót is tartalmaz, melynek alapos ismerte és megértése nélkülözhetetlen a labor teljesítéséhez. Az útmutatóban néhány otthoni átgondolásra szánt feladat is található, melyek (O)-val jelöltek. Ezen feladatok és az utolsó fejezet kérdései a labor gyakorlat során vissza lesznek kérdezve.

2. A mérés gyakorlati céljai

- Elektromechanikai energiaátalakítás elve
- Forgó mágneses mező létrehozása
- Villamos gépek működésének alapjai
- Villamos gépek jellemzői

3. Elméleti háttér

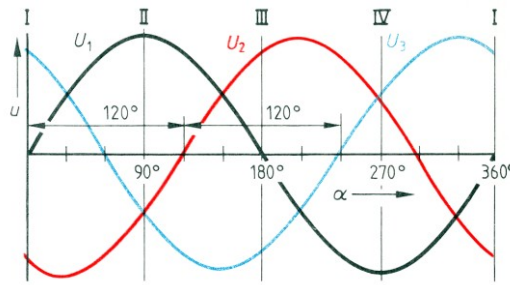
- Áramjárta vezető körül mágneses tér alakul ki a jobbkéz szabálynak megfelelően.



1. ábra. Szolenoid tekercs mágneses tere

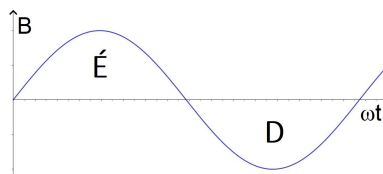
- Faraday indukciós törvénye: $U_i = -N \cdot \frac{d\phi}{dt} = -\frac{d\psi}{dt}$
 - Nyugalmi: Ha egy vezető kereten változó fluxus halad át, akkor a keretben feszültség indukálódik és a terhelő impedancia függvényében áram folyik.
 - Mozgási: Ha egy vezető keret a mágneses indukció vonalakkal nem párhuzamosan mozog (metszi azokat), akkor a keretben feszültség indukálódik.
- Lenz törvénye: Az elektromágneses indukció során indukált feszültség által létrehozott áram mágneses mezeje olyan, hogy az őt létrehozó hatást csökkentse.
- Lorentz erő: Mágneses térben mozgó áramjárta vezetőre ható erő. Iránya jobbkéz szabállyal határozható meg.
- Kirchhoff II. törvénye: Bármely zárt hurokban a feszültségek előjeles összege nulla.

- Háromfázisú feszültség rendszer: Három, időben szinuszosan változó, egymáshoz képest időben 120° -kal eltolt feszültség.



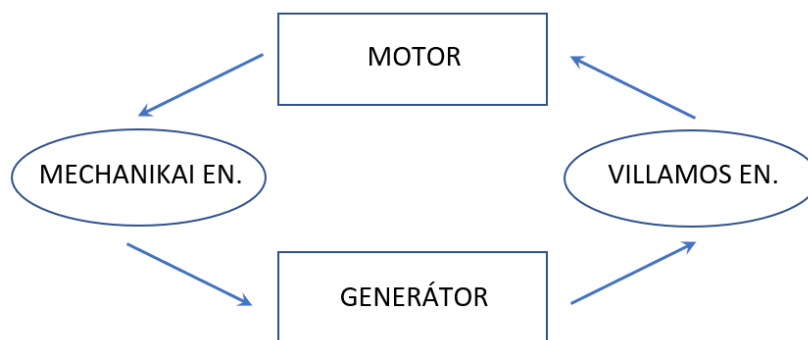
2. ábra. A három fázisú feszültségrendszer idő szerinti váltakozása

- Armátúra: A villamos gép azon része, amelyben állandósult állapotban a feszültség indukálódik.
- Pólus: A forgó mágneses mező szinusz görbéjének pozitív félperiódusát Északi, negatív félperiódusát pedig Déli pólusnak nevezzük.



3. ábra. Mágneses indukció a szögelfordulás függvényében

- Elektromechanikai energiaátalakítás: Ugyanaz a villamos gép nagy hatásfokkal (90% körüli¹) képes generátoros üzemben a mechanikai energiát villamos energiává alakítani, motoros üzemben pedig a villamos energiát mechanikai energiává.



4. ábra. Az elektromechanikai energiaátalakítás körfolyamata

¹Group press release | Zurich, Switzerland, 05 July 2017

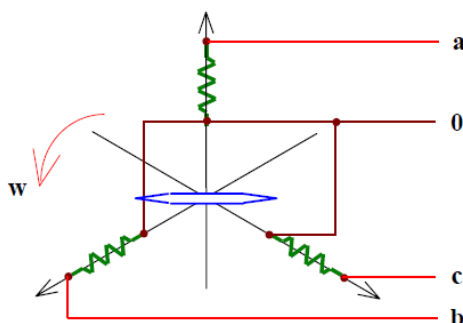
4. Forgó mágneses mező

A villamos gépek az elektromechanikai átalakítást forgás segítségével valósítják meg. A forgó mágneses mező a villamos energia és a forgó mozgás (mechanikai energia) között teremt kapcsolatot.

Milyen módon valósíthatjuk ezt meg?

Ha egy tekercset egyfázisú váltakozó árammal táplálunk meg, lüktető mágneses mezőt kapunk. Ez önmagában nem elegendő, de több tekercs lüktető mágneses mezőinek eredője már alkothat forgó mágneses mezőt. Ehhez nem csak a tekercsek számán kell változtatnunk, hanem megfelelő feszültségrendszerrel kell megtaplálni azokat.

Három tekercset térben 120° -kal elforgatva, majd azokat háromfázisú feszültségrendszerrel megtaplálva (az 5. ábrának megfelelően), a tekercsek saját lüktető mezőinek eredője egy egyenletes körfrekvenciával forgó mágneses mezőt alkot.



5. ábra. Forgó mágneses mező létrehozása három tekercssel

A [következő animáció](#) megmutatja, hogy a három pulzáló mező eredője hogyan alkot egy forgó mezőt.

A [következő videó](#) pedig a forgó mágneses mezőt szemlélteti a gyakorlatban.

1. Feladat. (O) A videóban egy hiba található. Keresse meg a Mérési Útmutató ábráinak segítségével!

Mekkora a mező fordulatszáma?

Az előállított forgó mágneses mező fordulatszámát **szinkron fordulatszám**nak nevezzük, ami függ a hálózat frekvenciájától és a pólusok számától.

$$n_s = \frac{60 \cdot f}{p}$$

n_s : szinkron fordulatszám $\left[\frac{1}{\text{min}}\right]$

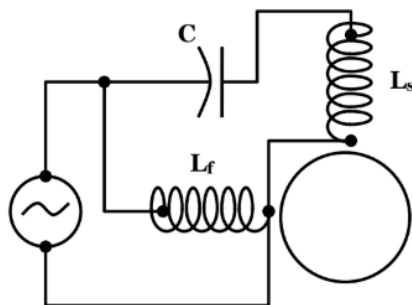
f : hálózati frekvencia [Hz]

p : póluspárok száma

2. Feladat. (O) Számolja ki egy 4 pólusú gép szinkron fordulatszámát!

Mit tegyünk, ha csak egy fázis áll rendelkezésünkre?

Ehhez az összeállításhoz szükségünk lesz két tekercsre és egy kondenzátorra. A két tekercset egymáshoz képest térben 90° -kal elforgatjuk. Az egyik tekercset közvetlenül, a másikat pedig a kondenzátoron keresztül kötjük a fázisra, a 6. ábrának megfelelően. Ekkor a kondenzátor a tekercsben folyó áram fázisszögét időben eltolja (közel 90° -kal), így forgó mágneses mezőt kapunk.



6. ábra. Forgó mágneses mező létrehozása kondenzátoros segédfázissal

Hogyan szemléltessük a létrejött forgó mágneses mezőt?

Amennyiben a tekercsek által létrehozott mezőbe egy villamosan vezető tárcsát helyezünk, akkor abban feszültség indukálódik és örvényáramok indulnak meg. Ezen örvényáramok mágneses mezeje az őket kialakító hatást csökkenteni igyekezik. Tehát a tárcsa forogni kezd a mezővel megegyező irányban. Ilyen elven forgó tárcsára gyakorlati példa az analóg fogyasztásmérő.

Forgás irány megváltoztatása:

Az összeállításban két tekercs felcserélésével, illetve két fázis megcserélésével a forgás iránya megfordul.

5. Egyenáramú gép jelleggörbéjének mérése

Az elektromechanikai energiaátalakítás nem csak forgó mágneses mezővel oldható meg, hanem álló mágneses térbe helyezett tekercssel is, ha abban megfelelő irányú áram folyik. Ezen az elven működnek az egyenáramú gépek.

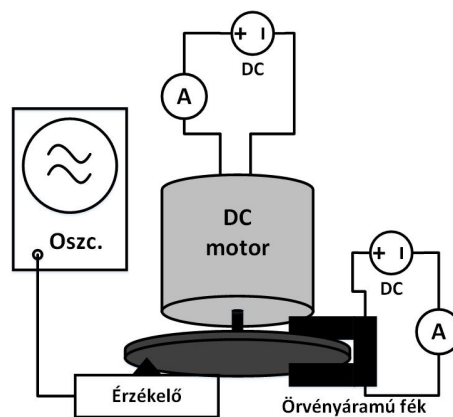
Ezen mérés célja az egyenáramú gép viselkedésének megismerése és alapegyenleteinek segítségével a terhelés és az áramfelvétel közötti függvénykapcsolat megállapítása. Ehhez terhelőnyomatékra van szükségünk, melyet egy örvényáramú fék biztosít számunkra. Az örvényáramú fék egy tekercssel gerjesztett vasmag, melynek kis légrésében forog a motor tengelyére erősített tárcsa.

3. Feladat. (O) Milyen elven működik az örvényáramú fék?

5.1. A mérés során használt eszközök

- 2db egyenfeszültségű tápforrás
- 2db ampermérő
- oszcilloszkóp
- állandómágneses egyenáramú gép
- örvényáramú fék

Az egyenfeszültségű tápforrások biztosítják a motor és a fék működését, míg az ampermérőkkel az áramfelvételt mérjük. Az oszcilloszkóp egy a tárcsát figyelő szenzor közreműködésével segít megállapítani a motor fordulatszámát. Ezen berendezéseket a 7. ábra szerint kapcsoljuk össze.



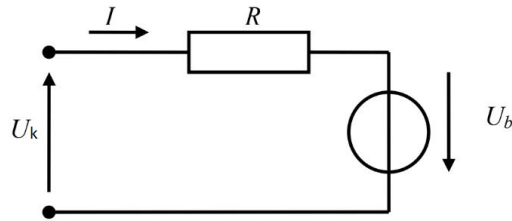
7. ábra. Az egyenáramú gép mérésének összeállítása

Annak érdekében, hogy pontos terhelési jelleggörbét mérhessünk, először üresjárásban (terhelés nélkül) felpörgetjük a gépet névleges fordulatszámára. Ezután az örvényáramú fék áramát egyenletes léptékben addig növeljük, amíg a egyenáramú gép el nem éri a megengedett maximális áramfelvételt. Minden mérési pontban leolvassuk a motor fordulatszámát, illetve a fék és a motor áramfelvételét.

Mérés közben figyeljünk arra, hogy se a motor, se az örvényáramú fék áramfelvétele ne haladja meg a megengedett határokat, mely a motor esetén 1.9 A míg a tekercsnél 2 A.

5.2. Egyenáramú gép alapegyenletei

Az állandómágneses ($\phi_a = \text{áll}$) egyenáramú gépek viselkedése könnyen érthetővé válik alapegyenleteik megismerésével, illetve a 8. ábrán látható helyettesítő kapcsolás megértésével.



8. ábra. Az egyenáramú gép helyettesítő kapcsolása

Belső feszültsége és nyomatéka rendre egyenesen arányos a szögsebességgel és az áramerősséggel:

$$U_b = k \cdot \phi_a \cdot \omega$$

$$M = k \cdot \phi_a \cdot I_a$$

U_b : belső feszültség [V]

k : gépet jellemző állandó

ϕ_a : az állórész által létrehozott fluxus [Wb]

ω : szögsebesség $\left[\frac{rad}{sec}\right]$

M : nyomaték [Nm]

I_a : armatúra áramerőssége [A]

A belső feszültség értéke a kapocsfeszültségtől eltérő. A belső feszültség az indukált feszültség, amelyet az állórész fluxusa hoz létre a forgórész tekercseiben, míg a kapocsfeszültség értékét kívülről, a kommutátoron keresztül kényszerítjük a gépre. A két mennyiség közti összefüggést Kirchhoff huroktörvényével írhatjuk fel:

$$U_k = U_b + R_a \cdot I_a$$

U_b : belső feszültség [V]

U_k : kapocsfeszültség [V]

R_a : armatúra-ellenállás [Ω]

4. Feladat. (O) A három megadott alapegyenletről fejezze ki a körfrekvenciát U_k kapocsfeszültség függvényében!

6. Mérési feladatok

6.1. Forgó mágneses mező létrehozása három tekercssel

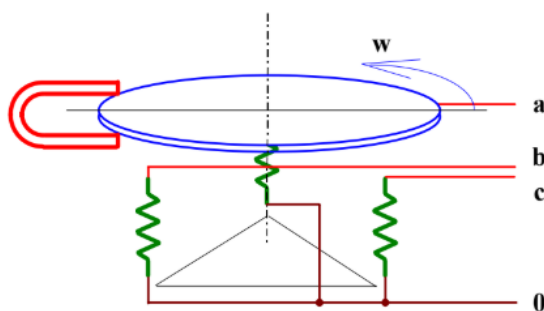
1. a tekercseket térben 120° -kal elforgatva elhelyezzük
2. a három tekercset csatlakoztatjuk a háromfázisú feszültség forráshoz
3. vezető tárcsát helyezünk a tekercsek közé

Az összeállítást lásd az 5. ábrán.

6.2. Fékezés állandó mágnessel

Ennél a feladatnál a a mágneses térben forgó tárcsát fékezzük le egy állandó mágnessel, ahogy a 9. ábrán is látható.

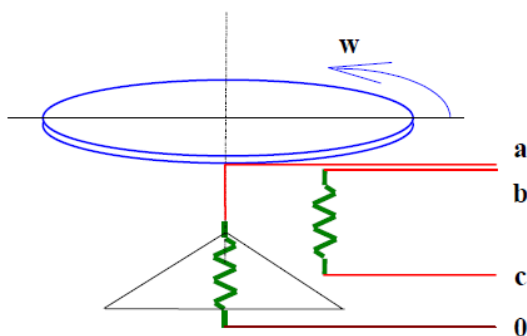
5. Feladat. (O) Gondolkodjon el azon, hogy miért fékezi az állandó mágnes a forgó tárcsát!



9. ábra. Az állandó mágnes fékező hatásának vizsgálata

6.3. Forgó mágneses mező létrehozása két tekercssel

1. a tekercseket térben 90° -kal elforgatjuk
2. az egyik tekercset fázis, a másik tekercset vonali feszültségre kapcsoljuk a 10. ábrának megfelelően
3. vezető tárcsát helyezünk a tekercsek közé



10. ábra. Forgó mágneses mező létrehozása két tekercssel

6.4. Forgó mágneses mező létrehozása kondenzátoros segédfázissal

1. a tekercseket térben 90°-kal elforgatjuk
2. az egyik tekercse közvetlenül, a másikat a kondenzátoron keresztül vonali feszültségre kapcsoljuk
3. vezető tárcsát helyezünk a tekercsek közé

Az összeállítást lásd a 6. ábrán.

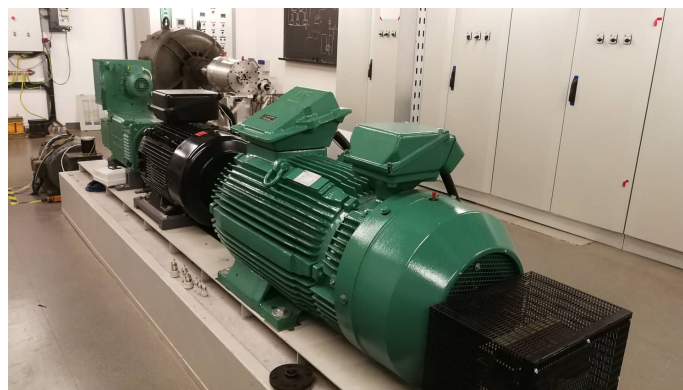
6.5. Egyenáramú gép mérése

1. A mérési berendezést összeállítjuk a 7. ábra alapján
2. A motort üresjárásban felpörgetjük névleges fordulatszámra
3. Egyenletes léptékekkel növeljük az örvényáramú fék áramát, a motor maximális áramfelvételéig
4. Minden mérési pontban leolvassuk a két berendezés áramerősségét és a motor fordulatszámát
5. $\omega = f(I_a)$ jelleggörbe felvétele

6.6. Nagy gépcsoport: adattábla leolvasása, értelmezése

A labor gyakorlat végén az 1. emeleti laborlátogatás célja a 11. ábrán látható nagy teljesítményű villamos gépek

- megismerése
- felpörgetése
- adattábláinak értelmezése.



11. ábra. Nagy teljesítményű gépcsoport

7. Gyakorlati alkalmazások: villamos gépek

7.1. Aszinkron gép (indukciós gép)

7.1.1. Részei

- Sztátor: A gép álló része. Lemezelt vastestből és a hornyaiban elhelyezkedő háromfázisú tekercselésből áll. Ez a tekercselés és a megfelelő feszültségrendszerrel való megáplálás alakítja ki a forgó mágneses mezőt. Lemezelésre azért van szükség, hogy csökkentse az örvényáram veszteséget.
- Rotor: A gép forgó része. Egyik elterjedt fajtája a kalickás aszinkron gép, melynek rotorja egy rövidre zárt vezető keret. Lásd a 12. ábrán.

Jellemzői:

- egyszerű
- nem igényel karbantartást (csapágyazáson kívül)
- robosztus
- olcsó



12. ábra. Rövidre zárt kalicka

7.1.2. Működési elve

A rotorban a Faraday törvény értelmében feszültség indukálódik, és áram folyik a kalickában. Ezen áram mágneses mezeje a Lenz törvénynek megfelelően olyan, hogy akadályozza az őt létrehozó hatást (erővonalakra párhuzamosan álljon be). Az így létrejövő forgató nyomaték hatására a rotor is forogni kezd a mezővel megegyező irányba.

7.1.3. Szlip

Ha a rotor fordulatszáma elérné a szinkron fordulatszámot (sztátor mágneses mezejének fordulatszámát), akkor megszűnne az erővonal metszés és így a forgató nyomaték is. Azonban a valóságban mindig megjelennek súrlódási veszteségek a tengelyen, emiatt a rotor fordulatszáma soha nem érheti el önállóan a szinkron fordulatszámot.

A forgórész és az állórész mágneses mezejének fordulatszáma közti különbsége a szlip. Azt fejezi ki, hogy a tengely fordulatszáma milyen arányban tér el a szinkron fordulatszámtól. A terhelő nyomaték növelésével a szlip is nő adott határokon belül.

$$s = \frac{n_s - n_r}{n_s}$$

n_s : szinkron fordulatszám $\left[\frac{1}{min}\right]$

n_r : rotor fordulatszáma $\left[\frac{1}{min}\right]$

s : szlip

Jellemző szlip értékek százalékosan megadva²:

- Üresjárásban: 0,02%
- Terhelés alatt: 3-6%

Az aszinkron motor működését szemlélteti a [következő videó](#).

7.2. Szinkron gép

7.2.1. Részei

- sztátor: A gép álló része. Lemezelt vastestből és a hornyaiban elhelyezkedő háromfázisú tekercselésből áll. Ez a tekercselés alakítja ki a forgó mágneses mezőt.
- rotor: Jelentős különbség az aszinkron géphez képest, hogy saját álló mágneses mezővel rendelkezik, amit külső, egyenáramú gerjesztéssel hozunk létre. Ekkor a rotor egy állandó mágnesként működik, ezért léteznek olyan szinkron gépek is, melyeknek a forgórésze egy állandó mágnes.

7.2.2. Működési elve

A szinkron gép csak szinkron fordulatszámon képes működni. Ekkor a sztátor forgó mágneses tere és a rotor álló mágneses tere összetapadnak és együtt forognak. Ezt a szinkron fordulatszámot csak külső segítséggel tudja elérni a gép, mert induláskor a sztátor mágneses tere túl gyorsan forog a rotorhoz képest.

A szinkron motor működését szemlélteti a [következő videó](#).

²https://www.engineeringtoolbox.com/electrical-motor-slip-d_652.html

7.3. Egyenáramú gép

7.3.1. Részai

- sztátor: Álló mágneses mezőt hoz létre az armatúra körül. Ez lehet tekercssel gerjesztett vasmag, vagy kisebb motorok esetén állandó mágnes.
- armatúra: A gép forgó részét nevezzük így, mert itt indukálódik a feszültség.
- kommutátor: Az armatúra vezető kereteihez csatlakozó lemezpárok. Biztosítja az armatúra áramellátását és forgás közben gondoskodik arról, hogy az egyes pólusok alatt megfelelő irányú áram folyjon (mechanikai egyenirányító)
- szénkefe: Az áramforrás és a forgórész tekercselése között, a kommutátoron keresztül biztosítja a galvanikus kapcsolatot forgás közben. Kopó alkatrész, időnként cserélni kell.

7.3.2. Működési elve

Az egyenáramú gép működését szemlélteti a [következő videó](#).

7.3.3. Jellemzői

- egyszerű egyenletek
- fordulatszám könnyen szabályozható az armatúra feszültség szintjével
- karbantartást igényel (szénkefe)
- bonyolult konstrukció

8. Felkészülést segítő kérdések

1. Milyen irányú mágneses tere van egy szolenoid tekercsnek?
2. Mitől függ az iránya egy szolenoid tekercs mágneses mezejének?
3. Milyen hatása van a mágneses térnek mozgó, illetve álló áramjárta vezetőre?
4. Milyen módon lehet előállítani forgó mágneses mezőt? (legalább 3 példa)
5. Milyen módon hat a forgó mágneses mező a bele helyezett vezető keretre/tárcsára?
6. Mi a szlip, melyik villamos gépnek fontos jellemzője?