FELADATKIÍRÁS

A feladatkiírást a **tanszék saját előírása szerint** vagy a tanszéki adminisztrációban lehet átvenni, és a tanszéki pecséttel ellátott, a tanszékvezető által aláírt lapot kell belefűzni a leadott munkába, vagy a tanszékvezető által elektronikusan jóváhagyott feladatkiírást kell a Diplomaterv Portálról letölteni és a leadott munkába belefűzni (ezen oldal HELYETT, ez az oldal csak útmutatás). Az elektronikusan feltöltött dolgozatban már nem kell megismételni a feladatkiírást.



Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Villamosmérnöki és Informatikai Kar

Konzulens

BUDAPEST, 2016

Tartalomjegyzék

[Összefoglaló 5](#_Toc468347341)

[Abstract 6](#_Toc468347342)

[1 Bevezetés 7](#_Toc468347343)

[1.1 Villamos gépek osztályozás 7](#_Toc468347344)

[1.1.1 A frekvencia feltétel 7](#_Toc468347345)

[1.2 Az aszinkron gép más forgógépekhez viszonyítva 8](#_Toc468347346)

[2 Az indukciós aszinkron gép 9](#_Toc468347347)

[2.1 Fizikai felépítés 9](#_Toc468347348)

[2.2 Működési elv 9](#_Toc468347349)

[3 Aszinkron gép modellje 10](#_Toc468347350)

[3.1 Motor egyenletek 10](#_Toc468347351)

[3.2 Motor modell állandósult állapotban 10](#_Toc468347352)

[3.3 Álltalános motor modell 10](#_Toc468347353)

[3.4 Matlab szimuláció 10](#_Toc468347354)

[4 Vezérlési stratégiák 11](#_Toc468347355)

[4.1 Hálózati táplálás 11](#_Toc468347356)

[4.2 PWM technikák 11](#_Toc468347357)

[4.3 V/F vezérlés 11](#_Toc468347358)

[4.4 Fluxus 11](#_Toc468347359)

[4.5 Áram 11](#_Toc468347360)

[4.6 Szimuláció 11](#_Toc468347361)

[5 Összegzés 12](#_Toc468347362)

[Irodalomjegyzék 14](#_Toc468347363)

[Függelék 15](#_Toc468347364)

Hallgatói nyilatkozat

Alulírott **Rácz Benedek György**, szigorló hallgató kijelentem, hogy ezt a szakdolgozatot/ diplomatervet (nem kívánt törlendő) meg nem engedett segítség nélkül, saját magam készítettem, csak a megadott forrásokat (szakirodalom, eszközök stb.) használtam fel. Minden olyan részt, melyet szó szerint, vagy azonos értelemben, de átfogalmazva más forrásból átvettem, egyértelműen, a forrás megadásával megjelöltem.

Hozzájárulok, hogy a jelen munkám alapadatait (szerző(k), cím, angol és magyar nyelvű tartalmi kivonat, készítés éve, konzulens(ek) neve) a BME VIK nyilvánosan hozzáférhető elektronikus formában, a munka teljes szövegét pedig az egyetem belső hálózatán keresztül (vagy hitelesített felhasználók számára) közzétegye. Kijelentem, hogy a benyújtott munka és annak elektronikus verziója megegyezik. Dékáni engedéllyel titkosított diplomatervek esetén a dolgozat szövege csak 3 év eltelte után válik hozzáférhetővé.

Kelt: Budapest, 2016. 12. 01.

...…………………………………………….

Összefoglaló

Ide jön a ½-1 oldalas magyar nyelvű összefoglaló, melynek szövege a Diplomaterv Portálra külön is feltöltésre kerül.

Abstract

Ide jön a ½-1 oldalas angol nyelvű összefoglaló, amelynek szövege a Diplomaterv Portálra külön is feltöltésre kerül.

# Bevezetés

A villamos gépek és hajtások napjainkban a robotika és az elektromos járművek elterjedésével új dimenziót nyernek. A hagyományos gépek és vezérlési módszerek már kiforrtak, de az új követelmények, és a folyamatosan fejlődő mikro- és teljesítményelektronikai ágazatok adta új lehetőségek indokolják a téma aktualitását.

A következőkben először röviden elhelyezném az aszinkron motorokat a többi villamos gép mellet. Majd rátérek ezen típus alapvető működési elvére. Ezután vázolnám a motor egyenleteit, modelljeit, és egy lehetséges szimulációját. Végül ismertetném a lehetséges vezérlési stratégiákat.

## Villamos gépek osztályozás

A villamos átalakítókat alapvetően két csoportra oszthatjuk. Az egyiket a transzformátorok, a másikat az elektromechanikus villamos átalakítók más néven villamos gépek alkotják.[1] Utóbbit tovább bonthatjuk forgó- és lineáris gépekre. A továbbiakban csak elektromágneses forgó gépekkel fogok foglalkozni. Léteznek elektrosztatikus gépek is, de ezeket a kis energiasűrűségük miatt csak extrém esetekben alkalmazzák.[2]

A forgó villamos gépeket csoportosíthatjuk alapvető fizikai elvük fényében, vagy a frekvencia feltétel alapján.

### A frekvencia feltétel

A frekvenciafeltétel a sztátor által gerjesztett mező (ωS), a forgórészhez képesti mágneses mező (ωR), és a forgórész mechanikai szögsebessége (ωM) között teremt kapcsolatot. [1]



Ez alapján három géptípust különböztethetünk meg. Ha ωS zérus, azaz a sztátor mágneses tere áll az egyenáramú gépeket írtuk le. Amennyiben ωR nulla, azaz a rotor állónak látja a mágneses teret megkaptuk a szinkron gépekre érvényes egyenletet. Mivel az ωM = 0 feltétel mellett nem forogna a motor, így már csak egy variáció maradt, az, amikor egyik sem nulla. Ez írja le az aszinkron gépek frekvencia egyenletét.

Villamos gépek

AC

DC

Szinkron

Aszinkron

Kefe nélküli

Kefés

Kalickás

Csúszógyűrűs

Reluktancia

Állandómágneses

…

1.1. Ábra Villamos gépek csoportosítása

## Az aszinkron gép más forgógépekhez viszonyítva

A következőkben a teljesség igénye nélkül néhány alapvető motortípussal vetném össze az aszinkron motorok tulajdonságait.

Működési elv és vezérlés szempontjából is a legegyszerűbb motorok a hagyományos egyenáramú (DC) motorok. Az ilyen gépekhez képest az aszinkronok előnye lehet, hogy nincs benne csúszó alkatrész[[1]](#footnote-1), ezáltal lassabban öregednek. A DC motorok hátránya, még hogy a kommutációnál szikrázhat. Ez veszélyes lehet, másrészt igénybe veszi mind a motort, mind a vezérlőt. Kommutációs szikrák nem lépnek fel aszinkron gépekben.

Állandómágneses szinkron gépekhez viszonyítva nincs akkora energiasűrűsége, ám – pont az állandómágnesek miatt – olcsóbb náluk, és igénytelenebb. A reluktancia elven működő motorok jó alternatívái lehetnek az aszinkron gépeknek, azonban egy álltalános előnye van az utóbbiaknak az összes szinkronnal szemben. Ez pedig pont abból adódik, hogy ha a szinkron motorokat nem a forgórésszel megegyező frekvencián tápláljuk, jobb esetben nem lesz nyomatéka a motornak, rosszabb esetben rezonanciák léphetnek fel. Az aszinkronoknál, még ha semmi információnk sincs a motor állapotáról, szöghelyzetéről, akkor is tudunk biztonsággal nyomatékot produkálni. Azaz egy egyszerű hajtáshoz nem kell visszacsatolás és szenzor sem. Ugyan ezt a tulajdonságot lehet kihasználni biztonságkritikus rendszerekben is, ha elromlik például a nyomaték szabályzó kör visszacsatolása, ha hibával is, de van esély az alapjel követésére.

A fenti előnyök mellett azért is szerettem volna pont az aszinkron gépekkel foglalkozni a diplomám alatt, mert ezeknek a legbonyolultabb a gépegyenletük. Azaz, ezen gép modelljében minden olyan szerepel, ami más motoroknál előkerül.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Géptípus | DC | Szinkron | | Aszinkron |
| - | Állandómágneses | Reluktancia | - |
| Ár |  | --- | +++ | +++ |
| Teljesítménysűrűség |  | +++ |  |  |
| Igénytelenség |  |  | +++ | +++ |
| Vezérlés | +++ |  |  | +-[[2]](#footnote-2) |

# Az indukciós aszinkron gép

Ebben a fejezetben először ismertetném a gép felépítését és részeit, majd egy egyszerű kézzelfogható leírással bemutatnám a gép működésének alapjait.

## Fizikai felépítés

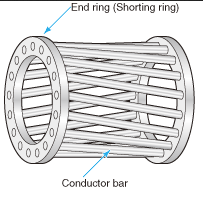
A forgó villamos gépek sztátorból (állórészből) és rotorból (forgórész) állnak. Az aszinkron motorok sztátorában helyezkednek el szimmetrikusan az állórésztekercsek. A forgórészben is tekercsek helyezkednek el, melyek kialakítása szerint két típus különböztethető meg: Kalickás forgórészű (squirrel-cage) és csúszógyűrűs (wound).[3]

A csúszógyűrűs motor rotorjában valóban tekercsek vannak, melyek kapcsai a tengelyen ki vannak vezetve csúszógyűrűkre, amint a 2.1 Ábra-n is látszik. Itt ellenállásokat lehet beiktatni a rotorkörbe, melyek a motor szabályozását teszik lehetővé. A mai teljesítmény elektronikai lehetőségek mellett nem gyakori a használatuk.



2.1 Ábra: Csúszógyűrűs motor [4]

A kalickás motor rotorjában, valójában egymenetes tekercsek helyezkednek el. Valójában egy mókuskerék alakú vezetőkeret. Innen ered az angol elnevezés is. Igy a rotortekercsek kapcsai rövidre vannak zárva, és a rotorellenállás megegyezik a vezetőkeret ellenállásával.



2.2 Ábra: Kalickás rotor [5]

## Működési elv

Egy tekercs a saját tengelyével azonos irányú mágneses teret hoz létre a benne folyó árammal arányosan.[[3]](#footnote-3) A sztátor tekercsek tereit összeadva tetszőleges, a motor tengelyére merőleges irányú teret hozhatunk létre. Hozzunk létre egy forgó mágneses mezőt, gyorsabbat, mint amilyen gyorsan a rotor forog. Ezáltal a rotor szempontjából egy változó mágneses mező látható. Ez feszültséget indukál a rotortekercsekben, ami áramot hoz létre bennük. A sztátor és rotor áramok mechanikai erőt, forgatónyomatékot fognak eredményezni.

Már most látható, hogy a rotor szempontjából, állandósult állapotban két dolog érdekes: a forgó mágneses tér nagysága, és szögsebessége a rotorhoz képest. Minél nagyobb a sebességkülönbség annál nagyobb áramokat gerjeszt a rotortekercsekben.

# Aszinkron gép modellje

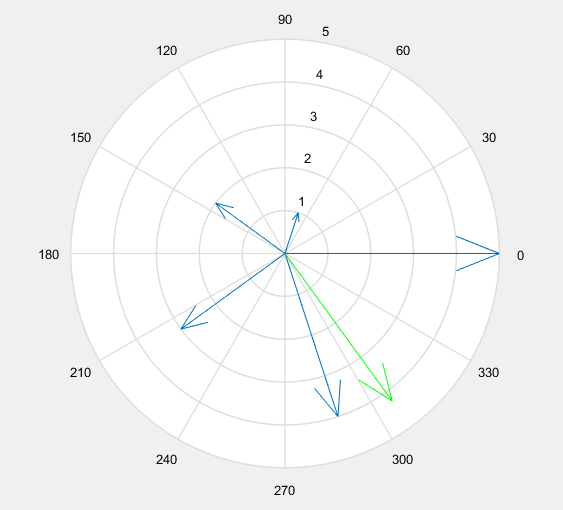
Ebben a fejezetben a 2.2 pontban, nagyvonalakban ismertetett elvek alapján, a motor alapegyenleteitől kezdve levezetném a motor állandósult állapot béli, majd tranziensekre is érvényes modelljét. Végül ez utóbbiból készült szimulációmat mutatnám be.

## Motor egyenletek

Mind a sztátor mind a rotor tekercsekre felírható az alábbi összefüggés:



Ahol U a tekercs kapocsfeszültségét i az áramát, R a tekercs ohmos ellenállását, és ψ a tekercsfluxust jelöli. Amennyiben a tekercsek merőlegesek a motortengelyre, a mágneses térnek nem lesz azzal párhuzamos komponense, azaz egy kétdimenziós koordinátarendszerben ábrázolható. Egy ilyen példa látható a 3.1 Ábra-n. Így, ez a tekercsenkénti egy egyenletből álló egyenletrendszer redukálható összesen két rotor és két sztator egyenletre. Ugyan így a feszültségek és áramok is ábrázolhatóak ebben a rendszerben a Park-vektorok segítségével.[6]



3.1 Ábra: öt tekercs mennyiség (fluxus, áram, feszültség) összege polár koordináta rendszerben

Lineáris anyagokat, azaz ideális, nem telítődő vasat feltételezve egyszerű, lineáris transzformációval megtehető a redukálás. Álltalános esetben a következő mátrix érvényes:



3.2 Ábra: Fázismennyiségekből a d-q rendszerbe való transzformálás mátrixa

Ahol: φ = 2π/n és n a fázisok száma.

Három fázisra a következő mátrix használható:



3.3 Ábra: Transzformációs mátrix három fázisra

## Motor modell állandósult állapotban

## Álltalános motor modell

## Matlab szimuláció

# Vezérlési stratégiák

## Hálózati táplálás

## PWM technikák

## V/F vezérlés

## Fluxus

## Áram

## Szimuláció

# Összegzés

Irodalomjegyzék

1. BME-VIK-VET: A villamos gépek alaptípusai, <https://vet.bme.hu/drupal/sites/default/files/tantargyi_fajlok/VillGepekKiegV10.pdf> (2016. nov.)
2. BME-VIK-VET: Korszerű villamos gépek és hajtások, <https://vet.bme.hu/sites/default/files/tantargyi_fajlok/sze%2C%202016/03/30%20-%2013%3A18/KVGH_Ch1%20ElMechElm%202016%20tavasz.pdf> (2016. nov.)
3. Wikipedia: Induction motor, <https://en.wikipedia.org/wiki/Induction_motor> (2016. nov)
4. Kép: Csúszógyűrűs motor, <http://2.bp.blogspot.com/_h6Rnyooa-s4/S19wgnkuZBI/AAAAAAAAAC0/BWOsIUKu_i4/s320/B_WOU1.jpg> (2016. nov.)
5. Quora: Kalickás rotor, <https://qph.ec.quoracdn.net/main-qimg-2bd11901ce5362393e93c178b42dc083?convert_to_webp=true> (2016. nov.)
6. BME-VIK-VET: A HÁROMFÁZISÚ VEKTOROK MÓDSZERE, <https://vet.bme.hu/sites/default/files/oktatashirek/parkvektor.pdf> (2016. nov.)
7. Levendovszky, J., Jereb, L., Elek, Zs., Vesztergombi, Gy.: Adaptive statistical algorithms in network reliability analysis, Performance Evaluation - Elsevier, Vol. 48, 2002, pp. 225-236
8. National Istruments: LabVIEW grafikus fejlesztői környezet leírása, <http://www.ni.com/> (2010. nov.)
9. Fowler, M.: UML Distilled, 3rd edition, ISBN 0-321-19368-7, Addison-Wesley, 2004
10. Wikipedia: Evaluation strategy, <http://en.wikipedia.org/wiki/Evaluation_strategy> (revision 18:11, 31 July 2012)

Függelék

1. Vannak csúszógyűrűs aszinkron gépek is. [↑](#footnote-ref-1)
2. Igénytelen vezérlés egyszerű, precízen szabályozott, jó hatásfokú vezérlés bonyolult. [↑](#footnote-ref-2)
3. A vas telítését és más parazita hatásokat elhanyagolva. [↑](#footnote-ref-3)