

VEKTORIÁLISAN SZABÁLYOZOTT SZINKRON GENERÁTOR VÁLTAKOZÓ ÁRAMÚ TERHELÉSSEL

VECTOR CONTROLLED SYNCHRONOUS GENERATOR RUNNING WITH AC-LOAD

Imecs Mária¹, Szabó Csaba², Incze János Jób³, Szőke sz. Benk Enikő⁴

Kolozsvári Műszaki Egyetem (KME), Villamosmérnöki Kar, ¹Doktori Iskola,
^{1,2,3,4}Villamos Gépek és Hajtások Tanszék, Cím: Technical University of Cluj,
Faculty of Electrical Engineering, Department of Electrical Machines and Drives,
RO-400114, Romania, Cluj-Napoca, Str. Memorandumului Nr. 28;
Tel: +40(0)264401242, Fax: +40(0)264592055,
¹maria.imecs@emd.utcluj.ro, ²csaba.szabo@emd.utcluj.ro,
³ioan.incze@emd.utcluj.ro, ⁴eniko.szoke@emd.utcluj.ro

Abstract

The paper presents the vector control of the electrically excited synchronous generator, based on the field-orientation principle. The orientation is made according to the stator flux, which is correlated to the control of the active and reactive energy of the generator. In contrast to the conventional scalar control the voltage and frequency control is made not independently, but based on the mathematical model, by coupling the two control loops, taking into account the physical phenomena in the machine. Not only the stator current is field-orientated, but also the exciting one, because it has torque producing component too. The control system is mathematically modeled based on the Park's general equations, which are suitable for implementation. The simulation and measurement results obtained on the experimental equipment are presented comparatively. It is confirmed that the vector control structure can ensure more stability and better dynamic behavior in comparison to the scalar control system.

Keywords: *electrically excited synchronous generator, vector control, field-orientation, Park-equations, phase- and coordinate transformation*

Összefoglalás

A dolgozat bemutatja az egyenárammal gerjesztett szinkron generátorok vektoriális szabályozását a mezőorientációs elv alapján. A mezőorientáció a sztátorfluxus szerint történik, mely összhangban van a meddő és hatásos energiák irányításával. A klasszikus skaláris rendszerekkel ellentétben a feszültség és a frekvencia szabályozása nem egymástól függetlenül történik, hanem a matematikai modell alapján a két szabályozási hurok összekapcsolásával, figyelembe véve a villamos gépben létrejövő fizikai jelenségeket. A mezőorientációt nemcsak az armatúra áramra alkalmazzuk, hanem a gerjesztő áramra is, ugyanis annak is van nyomatékképző hatása. A szabályozási rendszer matematikai modellezését a Park-féle általános egyenletek alapján végezzük, amelyek az implementáció alapjául szolgálnak. A szimulációs és az implementált szabályozás próbapadon végzett kísérleteinek a mérési eredményeit összehasonlítva mutatjuk be. Bizonyított a vektoriális szabályozás dinamikusabb és stabilabb viselkedése.

Kulcsszavak: *egyenárammal gerjesztett szinkron gép, vektoriális szabályozás, mezőorientáció, Park-egyenletek, fázis- és koordináta-transzformáció*

1. Bevezető

A szinkron gép a legfontosabb villamos energiaforrás, mely a mechanikai energiát alakítja át elektromos energiává. Az árammal gerjesztett (ÁG) nagy teljesítményű szinkron generátorok (SzG) klasszikusnak tekinthető szabályozása jól ismert:

- a *frekvenciát* a hatásos teljesítmény változtatásával állítják be a hajtó turbina sebességszabályozásával;
- a *feszültséget* a meddő teljesítmény által szabályozzák, amit a gerjesztő áram módosításával érnek el.

A két szabályozási hurok egymástól függetlenül dolgozik, figyelmen kívül hagyva a gépben végbemenő alapvető fizikai jelenségeket. Ezért a jelenleg alkalmazott szabályozási eljárás *skaláris* jellegűnek tekinthető. Stabilabb és dinamikusabb rendszert a mezőorientáció (MO) eljáráson alapuló *vektoriális* szabályozással (VSz) érhetünk el, melynek az ÁG-SzG-kre alkalmazott elvét 1989-ben Romániában szabadalmaztattuk [2], 1990-ben bemutattuk és közöltük angol nyelven az MIT-n megtartott ICEM nemzetközi villamosgép konferencián [3], majd 1993-ban részletesen leírva is megjelent egy kötet fejezeteként [4].

Számos szimulálási eredményt közlünk [5], [9], [10], [11], [18], mígnem a *Kolozsvári Műszaki Egyetem* Villamos Hajtások laboratóriumában sikerült felépíteni egy próbapadot, ahol a váltakozó áramú (VÁ) motorok szabályozási struktúráival kísérletezhettük [6]–[8]. Az egyik legfontosabb feltétel a VSz struktúrák implementálására a mezőorientáláshoz szükséges fluxus vektoriális becslése (identifikálása), melynek a mérhető mennyiségekből való számítása nem mentes a villamos gép paramétereinek (ellenállások és induktivitások) a hatásától. Ezek működés közben változnak, és általában nem mérhetők [12].

A fluxus becslését a kalickás indukciós motorokra (KIM) kísérleteztük ki, majd

alkalmaztuk szinkron gépekre is [13], [15]. Ezek után került sor 2013-ban a szinkron generátor VSz-nak az implementációjára [19]–[21], [23].

A VSz rendszerekben, a visszacsatolás mennyiségeinek számítása/becslése, valamint a beavatkozó változók meghatározása, a térfázor (Park-vektor) elméletén alapuló dinamikus matematikai modell (MaMo) segítségével történik, mellyel figyelembe lehet venni a gép természetes viselkedését. Ennek tulajdonítható, hogy a tranziens folyamatok alatt is biztosítható a rendszer nagyon jó dinamikus viselkedése és stabilitása, mely megközelíti az egyenáramú hajtások minőségét [1], [4], [16], [17].

2. A mágneses mezőorientáció elve

Az MO elve abban áll, hogy a VÁ gép 2 fázisú (d-q) MaMo-ját egy eredő fluxusvektor irányába orientált komplex síkba átranzformáljuk (a komplex sík valós tengelye az orientációs mágneses mező vektorának az irányába mutat). A mérhető sztátoráram vektorát a mezőorientált koordináta-rendszerben (KooR) – a valós (\mathcal{R}_e) és az imaginárius (\mathcal{I}_m) tengelyre vetítve – az úgynevezett reaktív (d – angolul „direct”), illetve aktív (q – „quadrature”) összetevőkre bontjuk, melyek a gép elektromágneses nyomatékát határozzák meg. A MO áramösszetevőkkel, melyeket alapjelként írunk elő, két szétcsatolt szabályozási hurkot lehet kialakítani [4], [16], [17].

Az ÁG szinkron gépek VSz struktúrájában a gerjesztés egy harmadik szabályozási hurkot alkot. A gerjesztőtekerceset (GT) tápláló beavatkozó áramirányító (egyenirányító vagy egyenáramú szaggató) vezérléséhez a gerjesztőáram alapjelét VSz esetén aktív és reaktív mezőorientált összetevőkkel határozzuk meg, hasonlóképpen mezőorientálva, mint az armatúra áram esetén.

A három szabályozási hurok összecsatolása a VÁ gép térfázoros MaMo-ján alapul, és a rendszer beavatkozó vezérlési

mennyiségeinek a vektoriális generalására szolgál [1] – [4], [16].

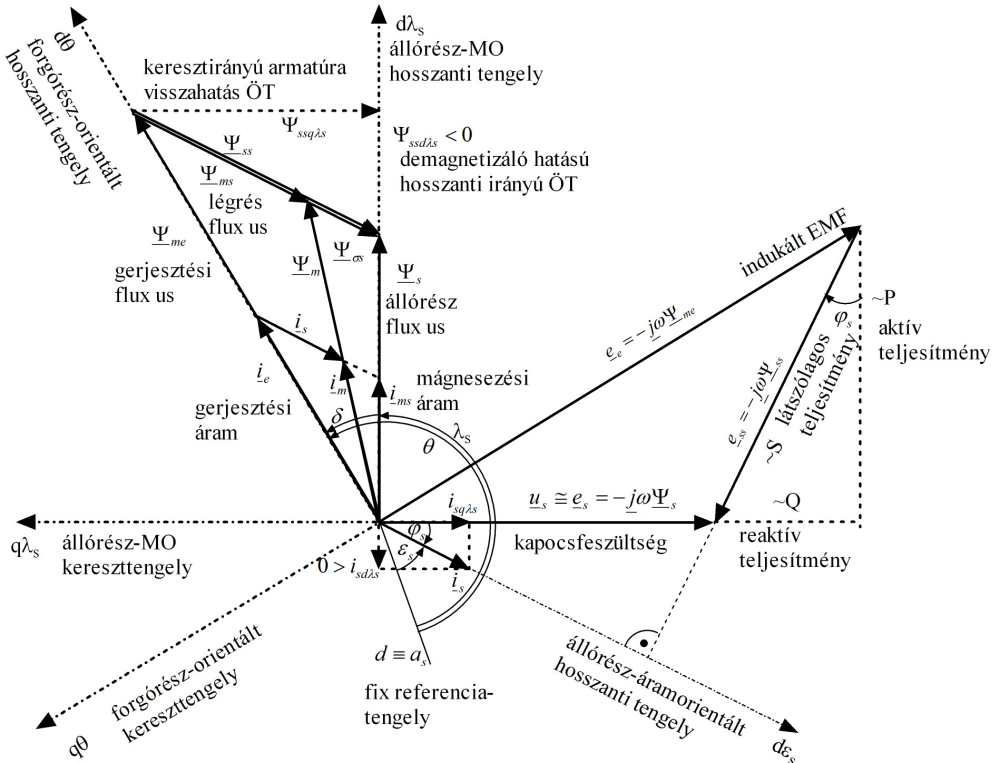
3. Sztátormező-orientáció

A KIM-ek mezőorientációja konvencionálisan a rotorfluxus szerint történik. Az ÁG szinkron gépeket előnyösebb a sztátorfluxus irányába orientálni, ez ugyanis a teljesítménytényezővel (TT) közvetlenül összefüggő áramösszetevőket eredményez, amivel a meddő energia termelését szabályozzuk [1] – [5], [9] – [11], [16] – [23].

Az 1. ábrán a sztátormező-orientációs (SzMO) tengelyek ($d\lambda_s-q\lambda_s$) jelölésében a λ_s a sztátorfluxus vektorának a pozíciószöge a fix d referenciatengelytől mérve, mely

megegyezik a sztátor „ a_s ” fázistekercsének a mágnesezési irányával. Feltüntetjük a Park-féle egyenletekben alkalmazott $d\theta-q\theta$ KooR-t, melyet a forgórész hosszanti és keresztirányú szimmetriatengelyei alkotnak, valamint az eredő armatúra-/sztátor- fluxus irányába orientált ($d\lambda_s-q\lambda_s$) KooR-t. Mivel szinuszos állandósult állapotról (ÁÁ) van szó, az ábrázolt vektordiagram érvényes mind a klasszikus időfázorokra, mind a tranzien্স jelenségeket figyelembe vevő térfázorra (Park-féle térvektorra).

A feszültségdiagramban elhanyagoltuk az állórész R_s ellenállását, mely a névleges frekvencia környékén megengedhető.



1. ábra. Meddő teljesítményt szolgáltató ÁG-SzG vektordiagramja állandósult állapotban

Ebben az esetben a hatásos (P – aktív), a meddő (Q – reaktív) és a látszólagos (S)

teljesítményeknek megfelelő P - Q - S háromszög, mind az armatúra visszahatás (AV)

$\underline{\Psi}_{ss} - \underline{\Psi}_{ssd\lambda s} - \underline{\Psi}_{ssq\lambda s}$, mind az állórészarám i_s – $i_{sd\lambda s} - i_{sq\lambda s}$ háromszögével hasonló, ahol a „ $d\lambda s$ ” és „ $q\lambda s$ ” indexek a SzMO összetevőket (ÖT) jelölik.

Az állórészarám ($i_{sq\lambda s}$) és az AV-nek az orientációs fluxusra merőleges keresztirányú összetevője (KAV – $\underline{\Psi}_{ssq\lambda s}$) generátor üzemmódban előjelet vált (negatív lesz) a motorüzemmóddhoz képest, ugyanis arányos a P hatásos teljesítménnyel, melynek az átviteli iránya megfordul.

A mezőorientált állórészarám ($i_{sd\lambda s}$) és az AV hosszanti összetevője (HAV – $\underline{\Psi}_{ssd\lambda s}$), mely a Q meddő teljesítménnyel arányos, kapacitív áram esetén negatív lesz, ugyanis a generátor a hálózatnak mágnesezési energiát is szolgáltat; egységnyi (maximális) teljesítménytényezőnél ez az összetevő nulla.

Következésképpen a hatásos (aktív) és a meddő (reaktív) teljesítmények irányítását mezőorientált armatúraáram $i_{sq\lambda s}$ merőleges aktív ÖT-vel, illetve az $i_{sd\lambda s}$ hosszanti reaktív ÖT-vel valósítjuk meg.

Tehát VSz struktúrával az állórészarám SzMO kétfázisú összetevői segítségével szabályozhatjuk a hatásos és a meddő energiák termelését [2] – [4], [10], [16], [21].

4. Árammal gerjesztett szinkron generátor vektoriális szabályozása

Az ÁG szinkron gépeknek három szabályozási hurka van. A szinkron motoros hajtások esetén három alapjelet lehet előírni (sebesség/nyomaték, eredő sztátorfluxus (Ψ_s)/ mágnesezési áram (i_{ms}) és a TT/HAV), ugyanis három beavatkozási lehetőség van:

- a frekvenciaváltóval az armatúra kapocsfeszültsége (U_s) és a frekvenciája (f_s);
- a GT áramirányítójával a gerjesztés árama (i_e).

A szabályozásra szolgáló visszacsatolt mennyiségek száma is alapvetően három: az armatúra és gerjesztőáramok, valamint a sebesség [4].

A hálózatra kapcsolt SzG-nál is ugyanaz a három visszacsatolás megvan, viszont csak két lehetőség van, amivel beavatkozhatunk, mint ahogyan a **2. ábrán** is látható. Az egyik a GT egyenirányítója, a másik a turbina automata sebességszabályozója (ASSz) [16], [21].

Ezért a hálózatra kapcsolt ÁG-SzG szabályozására csak két alapjel adható meg:

- a frekvencia f_s^{Ref} névleges értéke;
- a feszültség u_s^{Ref} névleges amplitúdója.

A turbina vezérléséhez a nyomaték m_e^{Ref} alapjelét a frekvenciaszabályozási hurokban generáljuk a kaskádban csatolt armatúra áramhuroknak az aktív MO-ÖT-jének ($i_{sq\lambda s}$) a szabályozója által. Következésképpen ez lesz az aktív szabályozási hurok.

Az i_{ms}^{Ref} mágnesezési áram értékét a reaktív szabályozási hurokban határozza meg az orientációs armatúra fluxus amplitúdójának a szabályozója, melynek a Ψ_s^{Ref} alapjelét a feszültségszabályozó generálja.

A második reaktív hurkot az armatúra áram $i_{sd\lambda s}$ reaktív MO-ÖT-jének a visszacsatolása alkotja szabályozás nélkül.

A gerjesztőáram i_e^{Ref} alapjelét az i_cC tömbbel számítjuk ki három bemeneti áramból.

Az i_e gerjesztőáram által a légrésben létrehozott Ψ_{me} fluxus az e_e pólusfeszültséget indukálja, mely az **1. ábra** alapján:

$$\underline{\Psi}_{me} = L_{md} \underline{i}_e = \underline{\Psi}_s - \underline{\Psi}_{ss}, \quad (1)$$

ahol az orientációs eredő armatúra-fluxus

$$\underline{\Psi}_s = \underline{i}_{ms} L_{md} \quad (2)$$

a vele arányos \underline{i}_{ms} mágnesezési árammal is meghatározható, és az armatúra-visszahatás

$$\underline{\Psi}_{ss} = L_{md} i_{sd\lambda s} + j L_{mq} i_{sq\lambda s} \quad (3)$$

az állórészarám MO-ÖT-ivel számítható ki.

ből történik az indukált elektromotoros feszültségének az integrálása által természetes kétfázisú d-q KooR-ben. Mivel ez az eljárás érvényes minden VÁ gépre, ezzel a módszerrel implementáltuk a kísérleti laboratóriumunkban, előzőleg a KIM és szinkron motoros hajtásokat [6], majd alkalmaztuk a VSz ÁG-SzG próbapadján [19] – [21], [23].

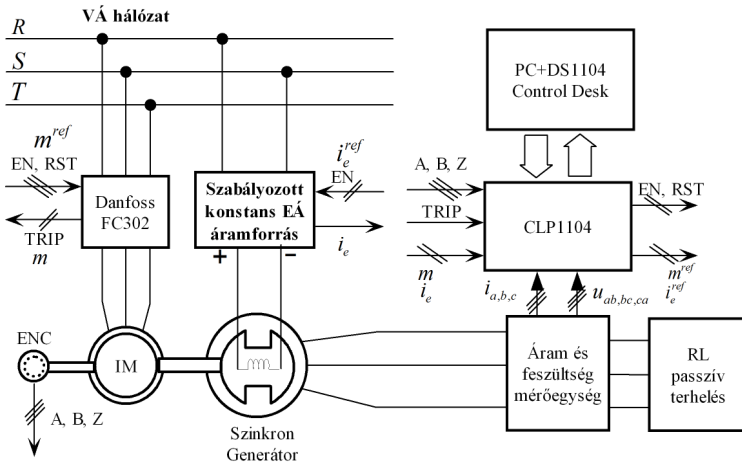
5. A rendszer implementációja

Az implementációt a VSz rendszer szimulációja előzte meg, melyet a 2. ábrán bemutatott szabályozási struktúrára végez-

tünk el MATLAB/Simulink® dinamikus szimulációs szoftver környezetben. A hálózatot helyettesítő fogyasztó passzív terhelés R-L típusú ellenállásos-induktív 3 fázisú áramkör, mint ahogyan a 3. ábrán bemutatott próbapad tömbvázlatában is látszik.

A VSz struktúra szimulációját és ennek a próbapadon implementált kísérletezését hasonló körülmények között végeztük el.

Az implementáció ugyanazon a próbapadon történt, mint az előző kísérleteknél [19]–[21], [23].



3. ábra. Passzív fogyasztóval terhelt indukciós motorral meghajtott szinkron generátor sztátormező-orientált szabályozási struktúrájának implementációjára alkalmazott próbapad tömbvázlata

A 4. ábrán a próbapad fényképe látható, melyen a gyakorlati implementációt és a kísérleti méréseket elvégeztük.

A szimulált VSz rendszer implementációja a Simulink® struktúra kompilálásával történt egy dSPACE® által kifejlesztett digitális berendezés segítségével.

A próbapad és a numerikus rendszerű berendezés közötti interfészt a dSpace® gyártmányú CLP1104 („Connector Led Panel”) kapcsolótábla valósítja meg.

Az alkalmazott szoftver összetevők a rendszert irányító számítógépbe (PC) vannak feltöltve. A PC-be helyezett DS1104 PPC („PowerPC”) digitális processzoros

jelfeldolgozó vezérlőkártya a számítógép PCI interfészen keresztül csatlakozik a rendszerhez.

A próbapadon a turbinát helyettesítő kalickás indukciós motort (IM) egy DANFOSS gyártmányú VLT FC302-es típusú 2,2 kW-os ipari frekvenciaváltó táplálja, mely automatikus motoradaptációs (AMA) funkcióval rendelkezik. A meghajtó rendszert egy úgynevezett Voltage Vector Control® (VVC⁺) szabályozza.

A kiálló pólusú szinkron gép (GtM típusú UMEB gyártmányú) névleges adatai: $P_{sN} = 800 \text{ W}$, $f_{sN} = 50 \text{ Hz}$, $U_{sN}^{eff} = 380 \text{ V}$, $I_{sN}^{eff} = 1,52 \text{ A}$, $\cos\varphi_{sN} = 0,8$ (kapacitív),

$n_N = 1500$ ford./perc, $U_{eN} = 110$ V gerjesztéssel [18] – [23].

A próbapadon a generátort meghajtó, a turbinát helyettesítő kalickás indukciós mo-

tor névleges adatai: $P_{sN} = 1,5$ kW, $f_{sN} = 50$ Hz, $U_{sN}^{eff} = 230$ V, $I_{sN}^{eff} = 3,8$ A, $n_N = 1415$ ford./perc, $\cos\phi_{sN} = 0,76$ [20].



4. ábra. A próbapad fényképe

6. Szimulációs és gyakorlati kísérletek és eredmények

A gyakorlati kísérletek alatt a rendszer viselkedését vizsgáltuk, indítás során, állandósult állapotban (ÁÁ), valamint átmenti tranzienis üzemmódokban. Az indítás pillanatában az armatúra-feszültség amplitúdó U_s^{Ref} és a frekvencia f_s^{Ref} alapjelei megfeleltek az ÁG-SzG névleges értékeinek [19] – [21], [23].

Az ÁÁ beállta után, újabb tranzienis állapot alatt vizsgáltuk a rendszer viselkedését: egy bizonyos idő elteltével módosítottuk a két előírt referenciát egyazon pillanatban, miközben a 3 fázisú R-L passzív terhelés változatlan maradt [19] – [21].

Eben a dolgozatban az eredmények arra a megzavart esetre vonatkoznak, amikor a már ÁÁ-ban működő generátor R-L passzív terhelésében az ellenállás értéke hirtelen megváltozik.

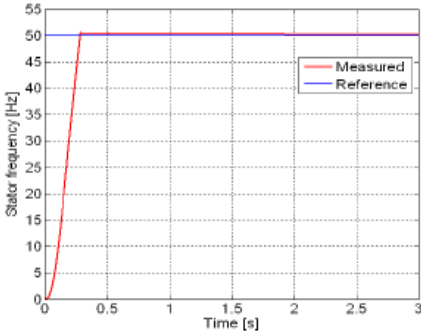
7. Szimulációs és mérési eredmények

Az implementációs mérési eredményeket és a szimulálási eredményeket az 5–9. ábrákban mutatjuk be.

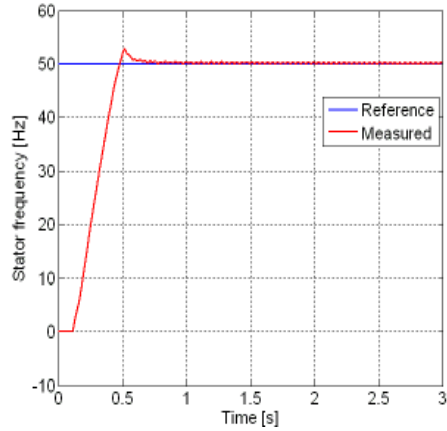
A 6–9. ábrákon a rendszer megzavarása a szimuláció esetén az 1,25s, illetve a próbapadon az 1s pillanatában történt az R-L terelés ellenállásának hirtelen a felére (lépcsőugrásszerű) csökkentésével [19] – [21], [23].

8. Következtetések

Ha az ÁG-SzG egyenáramú hálózatot táplál, akkor a termelt VÁ villamos energiát egyenirányítjuk, amit diódás egyenirányítóval gyakorlatilag meddő energiatermelés nélkül is meg lehet oldani, ezért a mezőorientált armatúra-visszahatás hosszanti ÖT-je ($\Psi_{sd\dot{s}}$), illetve a sztátoráram direkt komponense ($i_{sd\dot{s}}$) közel nulla lesz [5], [9], [11], [16], [22].

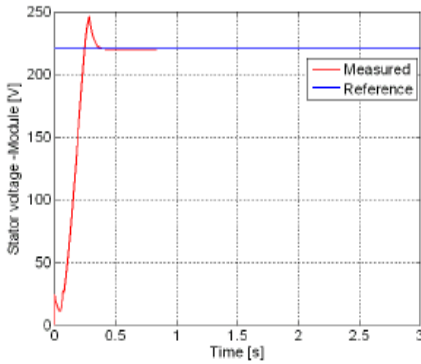


Szimulációs eredmény

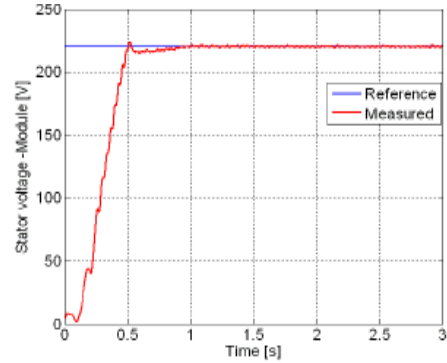


Implementációs mérés

a) A frekvencia alapjele és a generátor sebessége egy póluspárra átszámítva ford./s-ben mérve



Szimulációs eredmény



Implementációs mérés

b) A generátor armatúra kapocsfeszültségének effektív értéke

5. ábra. Indításkor a szabályozási hurkok válasza egységugrászerű alapjelváltására

A szimulálásra alkalmazhatunk generátor MaMo-t, illetve motor MaMo-t. Mint ismeretes, mindkét matematikai modellel szimulálni lehet mindkét üzemmódot. A kétféle MaMo-ban a bemenő és a kimenő armatúra villamos mennyiségek felcserélődnek. A motor MaMo-nál a statorfeszültségek bemenő és a statoráramok a kimenő jelek, melyeket integrálással számítottunk ki. A generátor MaMo-nál viszont a stator A VSz struktúrában a csillapítórudak MaMo-jának figyelembevételével

csökkenthetők a tranziens üzemmódban fellépő lengések azokhoz képest, amikor a vezérlő mennyiségek és alapjelek kiszámításánál ezt elhanyagoljuk [23].

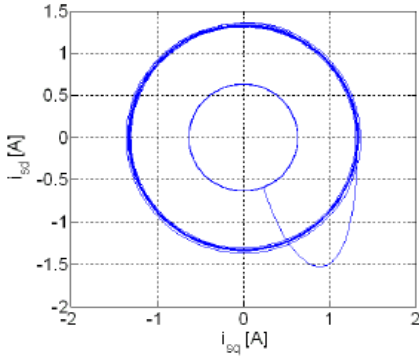
Sztatorfeszültségek a kimenő, míg a statoráramok a bemenő jelek, melyeket deriválni kell [10], [18].

A motor MaMo-t azért választottuk a szabályozás szimulálására, mert ez a modell felel meg a fizikai jelenségeknek, azaz gyakorlatilag a feszültség generálja az áramot. Ezért az implementációra, mely a szimulá-

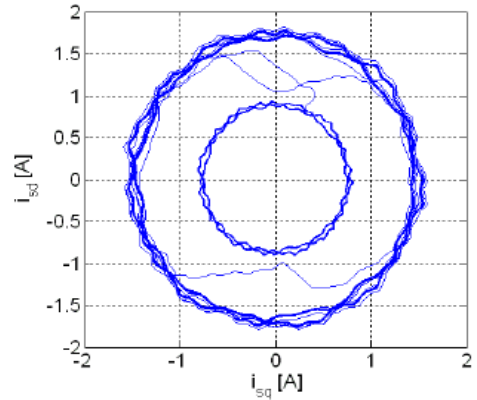
ciós struktúra kompilálása alapján történik, a motor MaMo-t lehet alkalmazni, melyre a feszültségbemeneti változók a jellemzők.

A gerjesztőáram mérésével, illetve az alapjelének a kiszámított értékével lehetőség adódik az orientációs fluxusnak az árammodell alapján való identifikációjára a feszültségmodell integrálása helyett.

Ennek az eljárásnak a legfőbb előnyei abban állnak, hogy kis számításigényű, mentes az integrátorok okozta nehézségektől, és alacsony sebességtartományban megbízhatóbb a feszültségmodellnél [13] – [15].

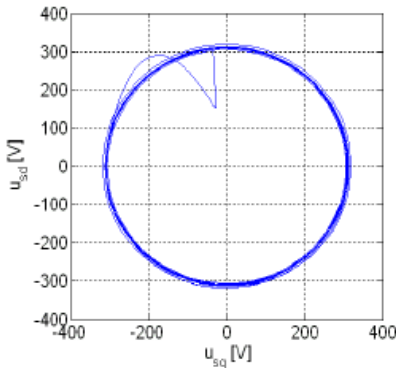


Szimulációs eredmény

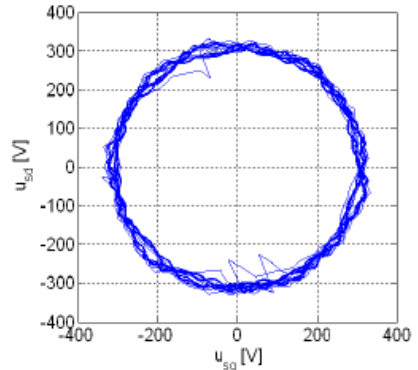


Implementációs mérés

a) Az állórészáram térfázor diagramjai



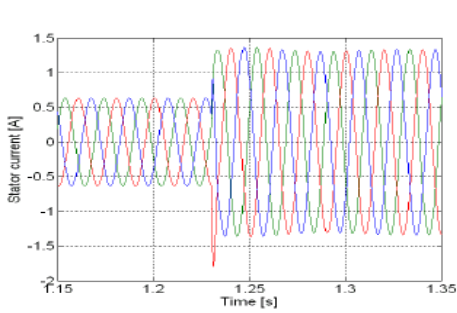
Szimulációs eredmény



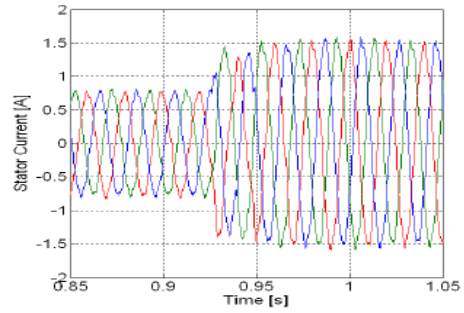
Implementációs mérés

b) Az állórészfeszültség térfázor diagramjai

6. ábra. Térfázor diagramok a terhelés ellenállásának lépcsőugrásszerű változtatására.

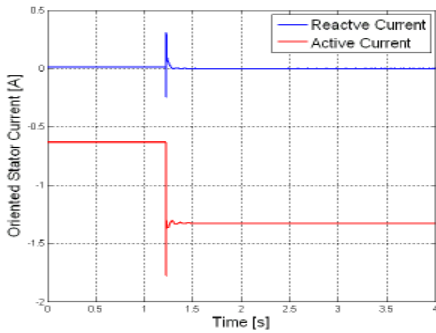


Szimulációs eredmény

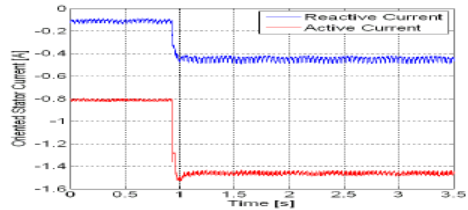


Implementációs mérés

7. ábra. Az állórész 3 fázisú feszültségeinek időbeli lefolyása a terhelés ellenállásának lépcsőugrásszerű változtatására

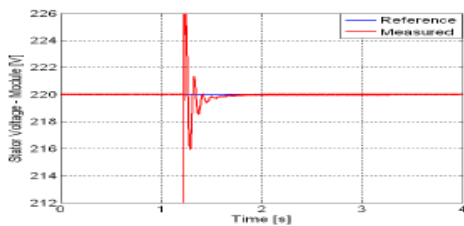


Szimulációs eredmény

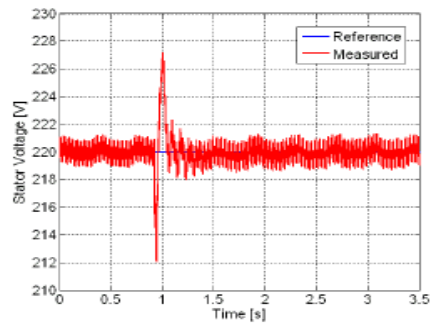


Implementációs mérés

8. ábra. Az armatúra-áramvektor szabályozott aktív és reaktív összetevőinek az időbeli lefolyása a terhelés ellenállásának lépcsőugrásszerű változtatása esetében



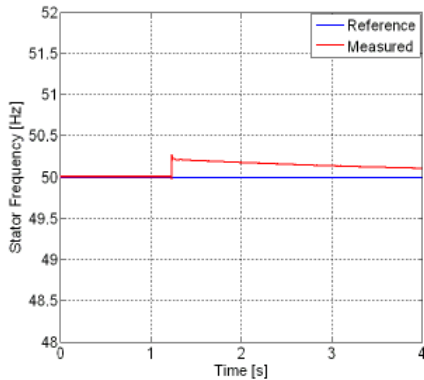
Szimulációs eredmény



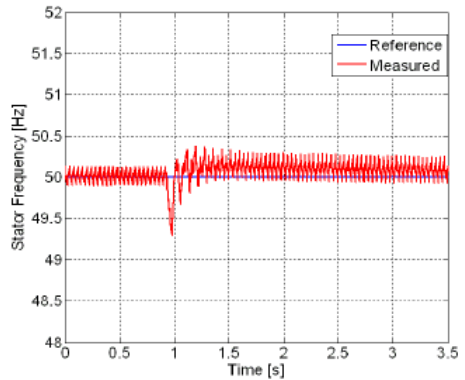
Implementációs mérés

a) Az állórészfeszültség amplitúdójának az időbeli változása

9a. ábra. Eredmények a terhelés ellenállásának lépcsőugrásszerű változtatása esetében



Szimulációs eredmény



Implementációs mérés

b) Az állórészfeszültség frekvenciájának az időbeli változása

9b. ábra. Eredmények a terhelés ellenállásának lépcsőugrásszerű változtatása esetében

9. Jövőbeli kutatási célok

A passzív terhelés helyett a vektoriálisan szabályozott ÁG-SzG EÁ hálózatra való kapcsolását tűztük ki, egy egyenirányító segítségével, mely impulzusszélesség-modulációval (ISzM) vezérelt aktív szűrővel van ellátva. Ennek a rendszernek a szimulációs eredményeit már előzőleg bemutattuk [5], [9], [11], [22].

Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Á. Kelemen, Maria Imecs: *Analogy between DC- and synchronous machine for field-oriented control*, Beijing Internat. Conference on Electrical Machines BICEM '87, China Academic Publishers, 1987.
- [2] Kelemen Arpad, Imecs Maria: *Metodă și sistem de reglare automată vectorială a puterii active și reactive a generatoarelor sincrone*, Brevet de invenție, Romania, Nr. 104278, 30.10.1989.
- [3] Kelemen Arpad, Imecs Maria: *Vector control system for frequency and voltage of synchronous generators*, 9th Internat. Conference on Electrical Machines IECM'90, Cambridge, Massachusetts, USA, 1990, 416–421 old.
- [4] Kelemen Árpád, Imecs Mária: *Vektor Control of AC Drives*. Vol. 1, OMIKK Publisher, Budapest, 1991, Vol. 2, Ecriture Publisher, Budapest, 1993, ISBN 963 593 140 9.
- [5] Imecs Maria, Incze I. I., Szabo Cs.: *Ecological power system with local distribution DC-line for AC-drive consumers*, IFAC Workshop ICPS'07, Cluj-Napoca, 2007, ISBN: 978-973-713-180-5, 71-76 old.
- [6] Incze J. J., Imecs Mária, Mátis I. Szabó Cs.: *Korszerű kísérleti próbapad szabályozott váltakozó áramú villamos hajtások fejlesztésére*, VI. ENELKO, Kolozsvár 2005, Kiadó: EMT, 2005, ISSN 973-7840-06-2, 62-68 old.
- [7] Incze J. J., Szabó Cs. Mátis I., Imecs Mária, Zoltán E.: *Váltakozóáramú villamos hajtások vezérlésének kísérleti implementációja*, VI. ENELKO, Kolozsvár, 2005, Kiadó: EMT, 2005, ISSN 973-7840-06-2, 69–75 old.
- [8] Incze I. I., Szabó Cs., Imecs Mária, Mátis St., Szőke Enikő: *„Computer controlled up-to-date experimental equipment for ac drive development”*, 6th International Symposium of Hungarian Researchers on Computational Intelligence, *HUCI 2005*, 2005, Budapest, ISBN .963 7154 43 4, 355–365 old.
- [9] Imecs Maria, Incze I. I., Szabo Cs.: *Control of the energy flow in a DC distribution line, autonomous synchronous generator and AC grid by means of power electronic converters: modeling and simulation*, 9th International Carpathian Control

- Conference ICC 2008, Sinaia, 2008, ISBN 978-973-746-897-0, 255–258 old.
- [10] Imecs Mária, Incze J. J., Szabó Cs.: *Stator-field oriented control of the synchronous generator: numerical simulation*, 12th IEEE INES 2008, Miami, Florida, USA, ISBN: 978-1-4244-2083-4, IEEE Catalog Number: CFP08IES-CDR, Library of Congress: 2008900450, 93–98 old.
- [11] Imecs Maria, Szabó Cs., Incze I. I.: *Modelling and simulation of a vector controlled synchronous generator supplying a DC energy distribution line coupled to the AC grid*, 19th SPEEDAM 2008, Ischia, IEEE ISBN: 978-1-4244-1664-6, Library of Congress: 2007936381, 538–543 old. Cat. Nr. CFP 0848 A-CDR,
- [12] Szabó Cs., Incze J. J., Imecs Mária: *Szinkronmotor fluxusának áram-modellen alapuló identifikációja*, IX. ENELKO, Csíksomlyó 2008, EMT kiadó Kolozsvár, ISSN 1842-4546, 64–69 old.
- [13] Incze I. I., Szabó Cs., Imecs Maria: *Flux identification for vector control of the synchronous motor drives*, AQTR 2008 (THETA 16), Cluj, Volume II, pp. 105–110, CD-ROM, IEEE Catalog Nr: CFP08AQT.
- [14] Szabó Cs., Incze J. J., Imecs Mária: *Szinkronmotor fluxusának áram-modellen alapuló identifikációja*, ENELKO 2008, Csíksomlyó, Kiadó: EMT, ISSN 1842-4546, pp. 64–69.
- [15] Incze I. I., Szabo Cs., Imecs Maria: *Voltage-model-based flux identification in synchronous machine drives*, 10th International Carpathian Control Conference ICC 2009, Zakopane, 2009, 253–256 old.
- [16] Imecs Mária: *Vector control of the current-excited synchronous generators*, 2nd MACRO 2010, Tg. Mures SAPIENTIA Univ., Scientia Publishing House, Cluj-Napoca, 2010, ISBN 978-973-1-970-39-4, 143–154 old.
- [17] Imecs Mária: *A villamos gépek modern szabályozási módszerei a térfázor elmélet alapján*, XVI. Fiatal Műszaki Tudományos Ülésszaka, FMTÜ 2011, Kolozsvár, Műszaki Tudományos Füzetek, EME, Kolozsvár, ISSN 2067-6 808, XIX–XLIV (26) old., <http://eda.eme.ro/handle/10598/13994>
- [18] Imecs Mária, Rus D. C., Szabó Cs., Incze J. J.: *Skalárisan szabályozott szinkron generátor matematikai modelljeinek vizsgálata numerikus szimuláció útján*, XIII. ENELKO 2012, Gyulafehérvár, EMT kiadó Kolozsvár, ISSN: 1842-4546, 90–95 old.
- [19] Rus D. C., Incze I. I., Imecs Maria, Szabo Cs.: *Vector control implementation for a wound-excited synchronous generator neglecting the damping effect*, ELECTRO-MOTION Journal, Vol. 20, Nr. 1–4, 2013, Cluj-Napoca, ISSN 1223-057X, 178–182 old.
- [20] Rus D. C.: *Practical Implementation of Vector Control Strategy for an Electrically Excited Synchronous Generator* (román ny.), PhD Disszertáció, témavezető Imecs Mária, Kolozsvári Műszaki Egyetem, 2013.
- [21] Imecs Mária, Rus D. C., Szabó Cs.: Incze J. J., Szőke sz. Benk Enikő: *Vektoriálisan szabályozott szinkron generátor numerikus szimulációja és implementációja*, XVI. ENELKO, Arad 2015, EMT kiadó, Kolozsvár, ISSN 1842-4546, 63–68 old.
- [22] Imecs Mária, Szabó Cs., Incze J. J., Szőke (sz. Benk) Enikő: *Egyenáramú hálózatra kapcsolt vektoriálisan szabályozott szinkron generátor szimulációja*, XVI. Műszaki Tudományok Ülésszaka MTÜ 2015, Erdélyi Múzeum Egyesület Műszaki Tudományos Szakosztálya, Kolozsvár, 2015,
- [23] Imecs Mária, Szabó Cs.: Szőke sz. Benk Enikő, Incze J. J., Rus D. C.: *Kiálló pólusú csillapító-rudas szinkrongenerátor vektoriális szabályozása*, XVII. ENELKO, Kolozsvár 2016, EMT kiadó, Kolozsvár, ISSN 1842-4546, 65–71 old.