

Az aszinkron gép vizsgálata és modellezése

A modern világban az elektromos autók, a magas szinten automatizált gyártási folyamatok elterjedésével a kifinomult villamos hajtások hatalmas szerepet kaptak. Ezen hajtások megtervezéséhez elengedhetetlenek a pontos motormodellek, amelyek megvalósításához a fizikai motorok precíz mérése szükséges. Erre a célra fékpadokat alkalmazunk, amelyek segítségével a motor számos tulajdonsága vizsgálható, és ezen vizsgálatok alapján a motor modellje elkészíthető és pontosítható. A fékpadok használatával emellett a motorhajtás is tesztelhető, és fejleszthető.

Ebben a cikkben egy háromfázisú aszinkronmotor vizsgálatát ismertetjük az általunk megépített fékpád segítségével, amelyet a Széchenyi István Egyetem villamos hajtások laboratóriumában hoztunk létre. Valamint levezetjük a gép nemlineáris, dinamikus matematikai modelljét, és ellenőrizzük annak pontosságát méréseink alapján.

1. BEVEZETÉS

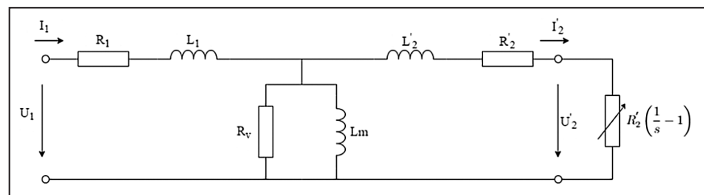
A cikkben egy 1,5 kW-os ELVEM 6SM90L4 típusú háromfázisú, kalickás aszinkronmotort vizsgálunk és modellezünk, amelynek névleges fordulatszáma 50 Hz-es hálózati feszültség mellett 1400 1/perc, névleges feszültsége csillagkapcsolásban 400 V, és névleges árama 3,45 A.

A motor üzemi tartományának vizsgálatához és nyomaték-fordulatszám görbéjének felvételéhez precízen szabályozható tengelyterhelést kell elérnünk. Erre a célra használhatunk mechanikus és örvényáramú fékezést, vagy egy másik motort. Az általunk épített fékpád egy a vizsgált motornál nagyobb teljesítményű aszinkronmotort használ, amelyet egy frekvenciaváltóról hajtunk, így pontos terhelőnyomatékot állíthatunk be. A fékpád segítségével számos vizsgálatot végezhetünk a motoron.

A cikkben először a motor koncentrált paraméterű helyettesítő kapcsolását ismertetjük, majd bemutatjuk az elkészített fékpád felépítését és a modell identifikálása, ellenőrzése, valamint a motor üzemi tulajdonságainak vizsgálata céljából elvégzett méréseket. Ezt követően levezetjük a nemlineáris, dinamikus motor modellt. Végül megvizsgáljuk a modell pontosságát a mért és a modell által szimulált eredmények összehasonlításával.

2. A MOTOR HELYETTESÍTŐ KAPCSOLÁSA

Az aszinkrongép helyettesítő kapcsolása az 1. ábrán figyelhető meg. A helyettesítő kapcsolás diszkrét, koncentrált paraméterű áramköri elemek felhasználásával írja le a motor villamos viselkedését, valamint segítségével a veszteségek is számíthatók. A kapcsolat felrajzolható a motor mindhárom fázisára, a modellezés során azonban feltételezzük, hogy a motor szimmetrikus, azaz a három fázis teljes mértékben megegyezik egymással. A kalickás motornál a forgórészvezetők villamos tulajdonságai az állórész-tekercelestől függenek, háromfázisú állórész esetén a kalicka is háromfázisúnak tekinthető.

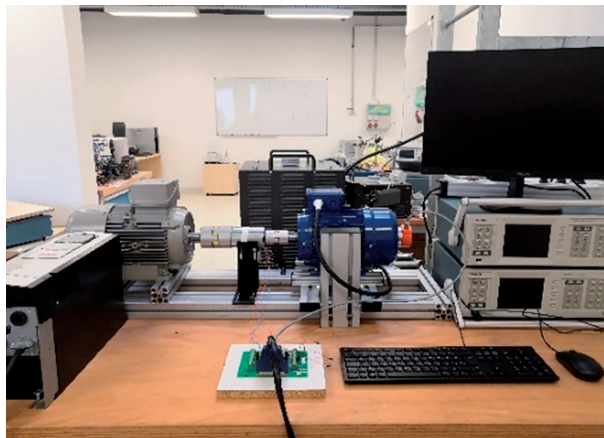


1. ábra Az aszinkronmotor helyettesítő kapcsolása

A kapcsolatban szereplő R_1 és R_2 ellenállás a primer és szekunder kör ohmos ellenállását, az L_1 és L_2 induktivitások pedig ezek szórt induktivitását reprezentálják, ahol a vesztesővel jelzett tagok az állórész oldalra vannak redukálva. R_v a vasvesztéget létrehozó ellenállás, L_m pedig a főfluxust létrehozó induktivitás. Az állórészfeszültséget és áramot U_1 és I_1 , az állórész oldalra redukált forgórész kör feszültséget és áramot pedig U_2 és I_2 jelöli. A motor forgását a szlip arányos terhelő ellenállással vehetjük figyelembe a forgórész oldalon.

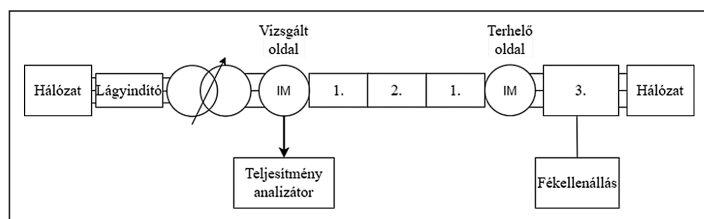
3. A MEGÉPÍTETT FÉKPAD

A motoron való mérések elvégzése céljából a 2. ábrán látható fékpádot építettük.



2. ábra A megépített fékpád

A fékpád a 3. ábrán látható blokkvázlat szerint épül fel. Két részre osztható. A vizsgált oldalon helyezkedik el a modellezni kívánt motor, amelyet egy lágyindítóval ellátott háromfázisú toroid transzformátorral táplálunk a változtatható tápfeszültség elérése céljából. A motor feszültségét, áramát és teljesítményviszonyait egy teljesítményanalizátor segítségével mérjük. A terhelő oldalon egy ABB ACS880-01-14A3 típusú frekvenciaváltóval hajtott terhelő motor található, amely segítségével a vizsgált motor számára precízen szabályozható terhelőnyomatékot tudunk szolgáltatni. Mivel a mérés közben a terhelő motor generátoros üzemmódba kerülhet a frekvenciaváltóhoz egy fékellenállást csatlakoztattunk, amelyen a visszatáplált energia disszipálódhat.



3. ábra Az épített fékpád blokkvázlata (1. tengelykapcsoló, 2. nyomaték és fordulatszám mérő, 3. frekvenciaváltó)

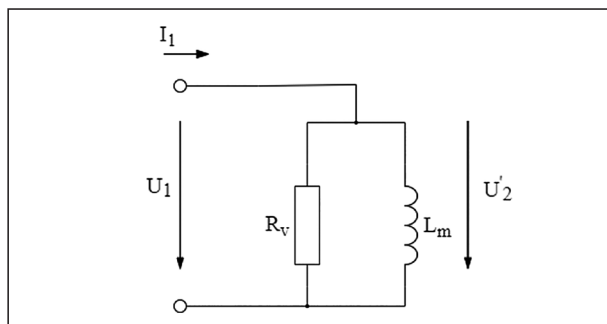
A két oldalt két körmös tengelykapcsoló és egy NTCE S-3000-100-1 típusú fordulatszám-nyomaték mérő köti össze. A fordulatszám-nyomatékmérő analóg kimenetét egy NI PCI6251 típusú analóg-digitális átalakító és a LABVIEW szoftver segítségével dolgoztuk fel.

4. MÉRÉSEK

A motor helyettesítő kapcsolása és ezáltal a modell paraméteridentifikációja céljából a motoron többféle mérést végeztünk. Ezek az üresjárási és blokkolt tengelyű mérés, valamint a mechanikai mérések.

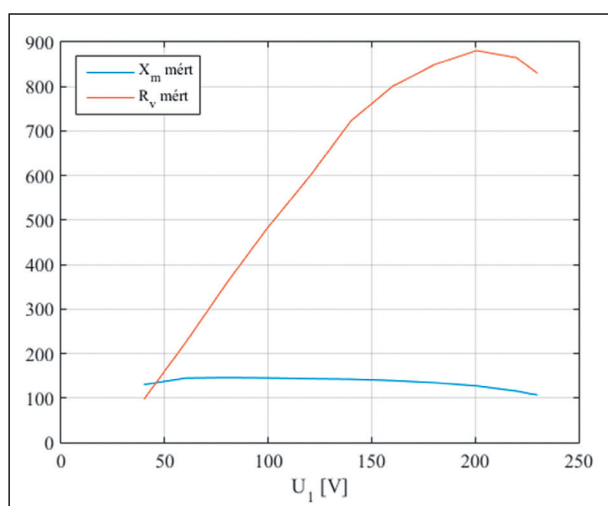
4.1. Üresjárási mérés

Az üresjárási mérés célja a vasmag viselkedését reprezentáló R_v és L_m alkatrészek értékének meghatározása. A mérés során a motort a fékpad segítségével szinkron fordulatszámon forgattuk, így a mechanikai veszteségek elhanyagolhatóak és mivel R_v és L_m értékek lényegesen nagyobbak, mint az álló- és forgórész körüli elemek a helyettesítő kapcsolást a 4. ábrán látható alakra egyszerűsíthettük.



4. ábra Az egyszerűsített helyettesítő kapcsolás üresjárásnál

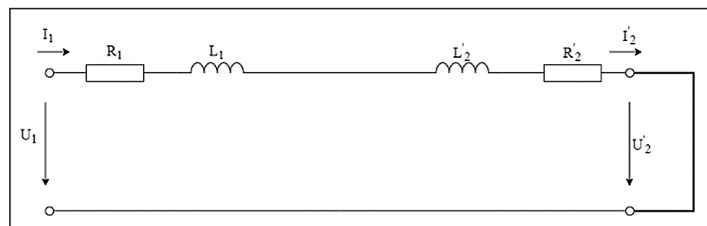
Az R_v és L_m értékeket villamosságtani alaptörvények segítségével számoltuk a mért eredmények alapján. Megfigyeltük, hogy ezen értékek a tápfeszültség függvényében változnak (lásd 5. ábra). Ez a motor vasmagjának telítődési karakterisztikája miatt történik.



5. ábra A nemlineáris R_v és L_m értékek

4.2 Rövidzárási mérés

A rövidzárási mérés során a motor tengelyét rögzítettük és a tápfeszültséget változtattuk ügyelve, hogy a primer áram ne haladja meg túlzottan a névleges értéket. Ezen állapotban a motor helyettesítő kapcsolása a 6. ábrán látható módon egyszer-



6. ábra Az egyszerűsített helyettesítő kapcsolás rövidzárásnál

rűsödik, mivel R_v és L_m lényegesen nagyobbak, mint az álló- és forgórész körüli elemek. Ekkor az álló- és forgórész ohmos ellenállása R_1 és R_2 , valamint szőtt inductivitása L_1 és L'_2 meghatározható. Ezen értékeket a tápfeszültség változtatása nem befolyásolja, értékeik névleges áramon az 1. táblázatban láthatók.

1. táblázat Az álló- és forgórész körüli értékek névleges áramon

I_1 [A]	$R_1 = R_2$ [Ω]	$X_1 = X_2$ [Ω]	$L_1 = L'_2$ [mH]
3,45	4,949	5,485	17,46

4.3. Mechanikai mérés

A motor mechanikai tulajdonságainak meghatározásához két mérést kell elvégeznünk [15]. A lassulási mérés során a motort szabadon hagyott tengely mellett névleges feszültségen üresjárási fordulatszámra gyorsítjuk, majd lekapcsoljuk a tápfeszültséget, és mérjük a motor lefutási idejét és sebességét. Ebből a mérésből a motor tehetetlensége és a csapágsúrlódásból fakadó fékező nyomaték hányadosa határozható meg a mechanikai differenciálegyenlet átrendezésével.

A progresszív indítási mérés során a motor terheletlen állapotba mellett a tápfeszültséget nulláról lassan növelni kezdjük, mind addig, míg a motor épphogy mozogni kezd. Ekkor a motor forgási sebessége jó közelítéssel nullának tekinthető és a tápfeszültség kicsi, ezért a forgási és vasvesztés elhanyagolható és a csapágsúrlódás a felvett hasznos teljesítményből számolható.

A mérések során meghatározott mechanikai tulajdonságok a 2. táblázatban láthatóak.

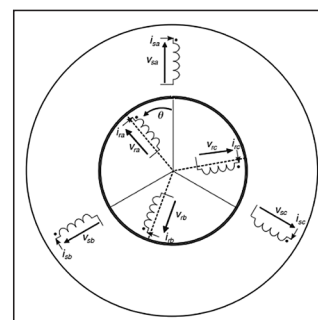
2. táblázat A motor mechanikai tulajdonságai, ahol T_d a csapágsúrlódást, D a ventilációs veszteséget, J a motor tehetetlenségét jelöli

T_d [Nm]	D [Nms/rad]	J [kgm ²]
0,22517878	0,006120169	0,003884226

5. A NEMLINEÁRIS, DINAMIKUS MODELL

A motormodell levezetéséhez a 7. ábrán látható háromfázisú elrendezésből indulhatunk ki, ahol megfigyelhető a háromfázisú állórész tekercselés, valamint a háromfázisú forgórész tekercselésként értelmezhető kalicka.

Felírhatjuk a feszültség egyenleteket az állórész és a forgórész körre is,



7. ábra A motor felépítéséből fakadó háromfázisú elrendezés

$$[u_{sabc}] = [R_s][i_{sabc}] + \frac{d}{dt} [\Phi_{sabc}][i_{sabc}],$$

$$[u_{rabc}] = [R_r][i_{rabc}] + \frac{d}{dt} [\Phi_{rabc}][i_{rabc}],$$

ahol az u, i, Φ , és R mátrixok a három fázis feszültségét, áramát, fluxusát és ellenállását tartalmazzák, s az állórész, r pedig a forgórész körre utal.

A feszültség egyenletekben szereplő fluxusok a következő módon számolhatók,

$$\Phi_{sabc} = [L_{os}][i_{sabc}] + [M_{osr}][i_{rabc}],$$

$$\Phi_{rabc} = [L_{or}][i_{rabc}] + [M_{osr}][i_{sabc}],$$

ahol L_{os} az állórész fázisok ön- és kölcsönös indukcióját L_{or} a forgórész fázisok ön- és kölcsönös indukcióját tartalmazzák. M_{osr} pedig az álló- és forgórész fázisok közötti kölcsönös induktivitást.

A motor mechanikai viselkedését a mechanikai egyenlet segítségével számolhatjuk, amely

$$\frac{d\omega_m}{dt} = \frac{T_{em} - D\omega_m - T_d - T_L}{J}$$

ahol ω_m a motor fordulatszáma rad/sec-ban, D a motor forgórészének és hűtő ventilátorának légellenállása, T_d a súrlódási veszteség, T_L a motor terhelése, T_{em} pedig az elektromágneses nyomaték, amely a következő módon számolható,

$$T_{em} = \frac{\partial W_{mag}}{\partial \theta}$$

ahol θ a tengely pozíciója, és W_{mag} a mágneses energia,

$$W_{mag} = \frac{1}{2} ([i_{sabc}]^T [\Phi_{sabc}] + [i_{sabc}]^T [\Phi_{rabc}])$$

Mivel a fluxus egyenletekben szereplő induktivitások erősen függenek a rotor pozíciójától, valamint a kalickás motor forgórészének fázisai közötti induktivitás értékeket nem tudjuk megmérni koordináta transzformációt alkalmazunk, így az egyenletek egyszerűsödnek.

Az általunk használt koordináta transzformáció az úgynevezett Clarke transzformáció, melynek lényege, hogy a motor háromfázisú forgó áram, vagy fluxus térvektora leírható egy kétfázisú derékszögű koordináta rendszerben is, amely matematikailag a Clarke transzformációs mátrixszal való szorzással érhető el. (lásd [15])

A Clarke transzformáció elvégzése és matematikai átalakítások után a modell a következő differenciálegyenlet rendszerként írható le [17],

$$\frac{di_{sa}}{dt} = \frac{1}{\sigma L_s} \left(\frac{R_r}{L_r} \Phi_{sa} + \omega_r \Phi_{s\beta} - \frac{R_s L_r + R_r L_s}{L_r} i_{sa} \right) - \omega_r i_{s\beta} + \frac{1}{\sigma L_s} u_{sa},$$

$$\frac{di_{s\beta}}{dt} = \frac{1}{\sigma L_s} \left(\frac{R_r}{L_r} \Phi_{s\beta} - \omega_r \Phi_{sa} - \frac{R_s L_r + R_r L_s}{L_r} i_{s\beta} \right) + \omega_r i_{sa} + \frac{1}{\sigma L_s} u_{s\beta},$$

$$\frac{d\Phi_{sa}}{dt} = -R_s i_{sa} + u_{sa},$$

$$\frac{d\Phi_{s\beta}}{dt} = -R_s i_{s\beta} + u_{s\beta},$$

$$\frac{d\omega_r}{dt} = \frac{3N^2}{2\theta} (i_{s\beta} \Phi_{sa} - i_{sa} \Phi_{s\beta}) - \frac{D}{\theta} \omega_r - \frac{N}{\theta} T_L,$$

ahol a használt értékek és a helyettesítő kapcsolás értékei közötti kapcsolat,

$$R_1, R_r = R'_2, L_m = L_m, L_s = L_1 + L_m, L_r = L_2' + L_m.$$

Látható, hogy R_v értéke nem szerepel a modellben, ebből kifolyólag a modell elhanyagolja a vasvesztéseket.

A motor üresjárásnál tapasztalt nemlineáris viselkedését az R_v és L_m paraméterekkel tudjuk figyelembe venni. Ehhez az üresjárási mérésnél felvett feszültség függő karakterisztikát egy-egy negyedfokú polinommal közelítjük és a két érték eredő impedanciájára egy feszültség függő nemlineáris $Z_{vm}(U)$ függvényt tudunk felírni. A helyettesítő kapcsolásra felírva a hurok és csomóponti egyenleteket és a $Z_{vm}(U)$ nemlineáris impedanciát felhasználva a következő egyenlethez juthatunk,

$$0 = \frac{U_1}{Z_1} Z_{vm}(U) - \left(\frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2'} \right) U Z_{vm}(U) - U,$$

ahol Z_1 az állórész kör elemek eredője, Z_2' pedig a forgórész kör elemek és a forgást reprezentáló szlip függő ellenállás eredője. Ezen egyenlet megoldásával U értéke, és ezzel Z_{vm} értéke meghatározható. Amiből a modellben szereplő L_m érték megkapható.

A nemlineáris viselkedés a vasmag hiszterézis karakterisztikájának felvételével és közelítésével is figyelembe vehető. Erre például a Jiles–Atherton-módszer használható [9].

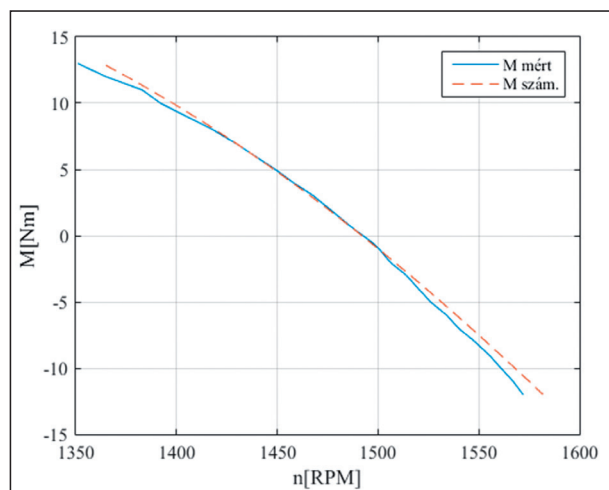
6. A MODELL ELLENŐRZÉSE

A modell pontosságának ellenőrzése céljából a fékpad segítségével terheléssel mérést végeztünk, amely segítségével a motor üzemi tulajdonságai vizsgálhatók és felvehető a motor fordulatszám-nyomaték görbéje. Az elvégzett mérést a modell segítségével szimuláltuk MATLAB környezetben és a szimulált és mért eredményeket összehasonlítottuk.

Fontos kiemelni, hogy a modell dinamikus, így a motor dinamikus viselkedését és tranziens jelenségeit is képes lenne szimulálni, a mérések során azonban csak a statikus állapotokat mértük, így a modellel is ezt szimuláltuk.

A motor fordulatszám-nyomaték görbéje kiválóan írja le annak üzemi tulajdonságait. A 8. ábrán látható, hogy a modell jó pontossággal képes ezt közelíteni. A fékpad segítségével sajnos nem voltunk képesek a teljes görbe lemérésére, mivel a terhelő motor nem volt képes a vizsgált motor billenő nyomatékánál nagyobb terhelést kifejteni, az üzemi tartományt azonban meg tudtuk vizsgálni.

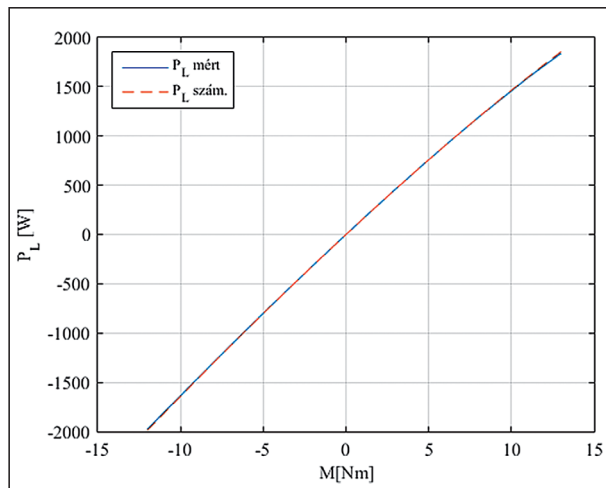
A 9. ábrán látható, hogy a modell jó pontossággal közelíti a motor tengelyteljesítmény-nyomaték görbéjét. A motor névle-



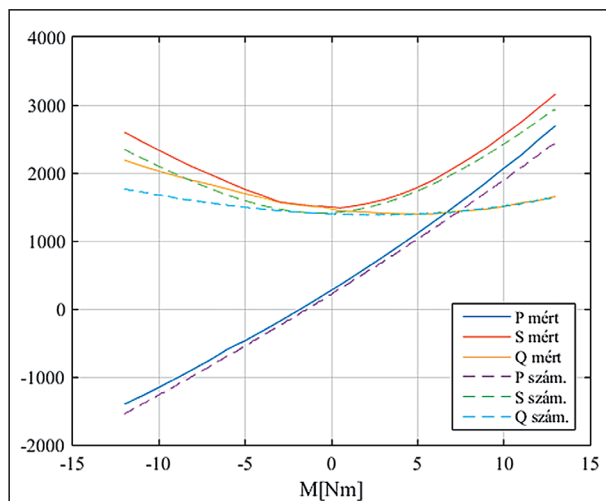
8. ábra A motor fordulatszám-nyomaték görbéje

ges tengelyteljesítménye az adattáblán szereplő 1,5kW. Az ábráról leolvasható, hogy ezen az értéken a motor kb. 10Nm-t ad le, ez a motor névleges nyomatéka. A fordulatszám-nyomaték görbén látható, hogy a motor ezen a nyomatékon az adattábláról leolvasható névleges 1400 1/perc-es fordulaton forog.

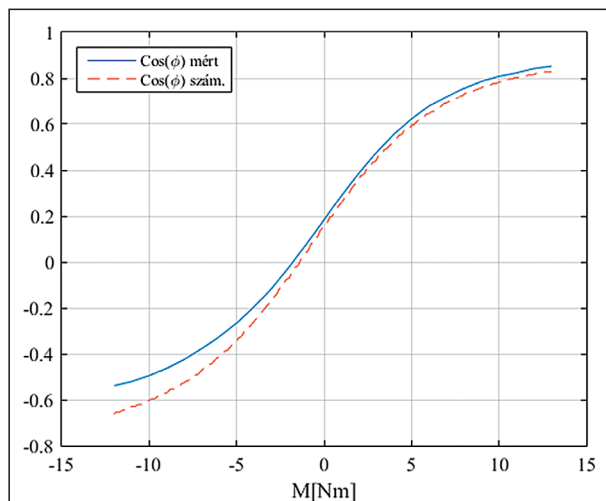
A 10. ábrán látható, hogy a modell a motor teljesítményviszonyait is jól közelíti. A pontatlanságok a vasvesztés elhanyagolásából fakadhatnak. A motor negatív terhelés esetén



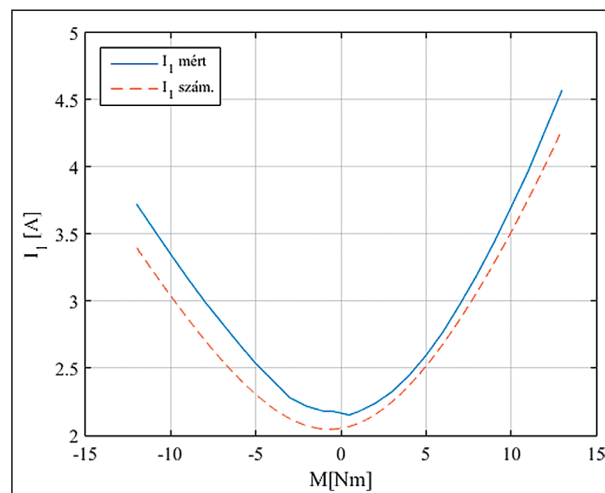
9. ábra A motor tengelyteljesítmény-nyomaték görbéje



10. ábra A motor teljesítményviszonyai a terhelés függvényében



11. ábra A motor teljesítmény tényezőjének alakulása



12. ábra A motor árama a terhelő nyomaték függvényében

generátoros üzembe lép és a hasznos teljesítmény is negatív, tehát a motor hasznos teljesítményt termel a hálózat felé. A hasznos teljesítmény és a terhelő nyomaték nem ugyanakkor váltanak előjelet, mert ahhoz, hogy a motor generátoros üzembe tudjon kerülni, át kell lépnie a szinkron fordulatszámot, és a veszteségek legyőzéséhez nyomatékra van szüksége.

A 11. ábrán megfigyelhető, hogy a modell a motor teljesítménytényezőjének alakulását is viszonylag jól közelíti. A pontatlanság a vasvesztés elhanyagolásából fakad.

A motor árama nő a nyomaték abszolút értékének növekedésével. A 12. ábrán látható, hogy a modell a névleges terhelő nyomaték mellett (kb 10 Nm) veszi fel a motor adattábláján szereplő 3,45A-es áramot, a mért értékek azonban ezt kicsit meghaladják.

7. KONKLÚZIÓ

A cikkben bemutatott az aszinkronmotor vizsgálatához megépített fékpád felépítését és a mérési módszereket. Láthattuk, hogy a fékpád segítségével a motor helyettesítő kapcsolása identifikálható, és üzemi tulajdonságai vizsgálhatók.

Felírtuk a motor dinamikus modelljét, melynek segítségével jó pontossággal tudtuk szimulálni a motor üzemi viselkedését. A modell segítségével különféle hajtási módszerek valósíthatók meg a motor számára, valamint mérési feladatokat helyettesíthetünk.

Tervünk a fékpád további fejlesztése, a terhelő motor cseréje nagyobb teljesítményű motorra, a mérési folyamatok automatizálása LABVIEW segítségével és a mérés mintavételezésének növelése, amellyel a motor dinamikus viselkedése és akár a motorhoz kapcsolt hajtási kör tulajdonságai is vizsgálhatók. Emellett tervezzük még a motor modell további pontosítását, további paraméterek figyelembevételével a motor viselkedésének pontosabb szimulálása céljából.

„Az Innovációs és Technológiai Minisztérium ÚNKP-21-1-I-SZE-58 kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból finanszírozott szakmai támogatásával készült.”

Felhasznált irodalmak

- [1] L. Keviczky, Szabályozástechnika, Széchenyi University Press, Győr, 2011
- [2] J. W. Lewis, Modeling Engineering Systems, Newnes, 2013
- [3] A. Frigyes, L. Schnell, I. Szita, R. Tuschák, Elektrotechnika, Tankönyvkiadó, Budapest 1961
- [4] J. Liska, Villamos gépek, I. Transzformátor, Tankönyvkiadó, Budapest 1967
- [5] J. J. Cathey, Electric Machines: Analysis and Design Applying Matlab, McGraw-Hill Higher Education, 2001

- [6] **I. H. Teke, Y. Özüpak, M. S. Mamiş**, Electromagnetic Field and Total Loss Analysis of Transformers by Finite Element Method, International Journal Of Engineering And Computer Science, Vol. 8, No. 1, pp. 24451-24460, 2019
- [7] **S. C. Bell, P. S. Bodger**, Power Transformer Design Using Magnetic Circuit Theory and Finite Element Analysis – A Comparison of Techniques, AUPEC, Perth Western Australia, 9-12 December, 2007
- [8] **T. Orosz, D. Pánek, P. Karban**, FEM Based Preliminary Design Optimization in Case of Large Power Transformers, Applied Sciences, MDPI, Vol. 10, 1361, 2020
- [9] **A. Iványi**, Hysteresis Models in Electromagnetic Computation, Academic Press, Budapest, Hungary, 1997
- [10] **M. Kuczmán**, Ferromagnetic Hysteresis in Electromagnetic Field Computation, DSc Dissertation, Hungarian Academy of Sciences, Budapest, 2014
- [11] MaxWhere website. <https://www.maxwhere.com/>
- [12] **B. Berki**, Desktop VR as a Virtual Workspace: a Cognitive Aspect. Acta Polytechnica Hungarica, Vol. 16, No. 2, 2019, pp. 219-231
- [13] **M. Kuczmán, T. Budai**, Linear State Space Modeling and Control Teaching in MaxWhereVirtualLaboratory, ActaPolytechnica Hungarica, Vol. 16, No. 6, pp. 27-39, 2019
- [14] **Dr. Kuczmán Miklós**. Válogatott mérések Villamosságtanból, Győr 2009
- [15] **Fouad Giri**: AC Electric Motors Control, Advanced Design Techniques and Applications, University of CaenBasse-Normandie, France 2013
- [16] IEEE Standard Test Procedure for Polyphase Induction Motors and Generators, IEEE Std 112, 2004

- [17] **Kuczmán Miklós, Horváth Krisztián**: Design of Feedback Linearization Controllers for Induction Motor Drives by using Stator Reference Frame Models, IEEE 2021



Horváth Tamás

Villamosmérnök, BSc-hallgató
Széchenyi István Egyetem
htamas109@gmail.com

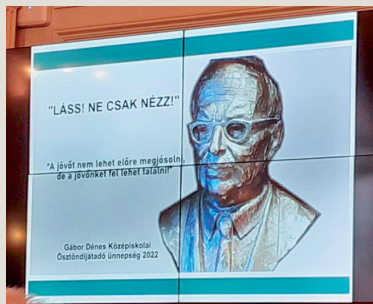


Dr. Kuczmán Miklós

Egyetemi tanár
Széchenyi István Egyetem
kuczmán@maxwell.sze.hu

HÍREK

„LÁSS! NE CSAK NÉZZI!” Középiskolai Tanulmányi Ösztöndíj 2022



A NOVOFER Alapítvány a Műszaki-szellemi Alkotásért kuratóriuma középiskolások részére tanulmányi ösztöndíj elnyerésére hirdetett pályázatot Gábor Dénes Nobel-díjas mérnök, fizikus, társadalmi gondolkodó emlékére.

A villamosmérnöki diplomát szerzett Gábor Dénes többek között a plazmajelenések elmélete foglalkoztatta és egy plazmalámpát is szabadalmaztatott. 1933-34 között a TUNGSRAM kutatójaként dolgozott, majd érdeklődése végleg az elektronoptika felé fordult. 1947-ben alkotta meg a holográfiát, melyben elért eredményeiért 1971-ben fizikai Nobel-díjjal jutalmazták.

A pályázati munkák kidolgozására váró kérdésekből egy-egy kérdéskört kiválasztva várta a kiíró Tanács a leleményes, bátor és jól alátámasztott látomásokat és ajánlásokat, hiszen Gábor Dénes elhíresült mondása szerint: *A jövőt nem lehet megjósolni, de a jövőnket fel lehet találni.*

Témakörök, amelyből választhatott a lelkes pályázó:

„Milyen szenzorokkal, mit és hol kellene mérni (feldolgozni, tárolni), hogy később megoldásokat kaphassunk életminőségünk javítására, a Föld erőforrásaival történő hatékony gazdálkodásra és környezetünk, életterünk megőrzésére?

Milyen megoldást javasol az energiaigény mérhető- és érzékelhető csökkentésére a háztartásokban, a közlekedésben és az ipari termelés területén?

Milyen módon lehetne rávenni a fogyasztókat, hogy csak akkor használjanak villamosenergiát, amikor kellő mértékű a megújuló forrásból származó termelésük?”

A pályázat célja:

A természettudományi ismeretek magas szintű elsajátításának ösztönzése a középiskolai oktatásban résztvevő tanulók körében.

A 22. évi Gábor Dénes Ösztöndíjak ünnepélyes díjátadásra 2022. június 2-án került sor a Magyar Tudományos Akadémia Felolvasótermében.

Ösztöndíjat nyertek:

PILLA729 **Kékes-Szabó Boglárka**, Szegedi SZC Vasvári Pál Gazdasági és Informatikai Technikum
KAGAMI0410 **Torma Viola**, Toldy Ferenc Gimnázium
Energy2022 **Borbély Zsolt Zoltán**, Debreceni Fazekas Mihály Gimnázium
PO266L62D **Fülöp Levente**, Budapesti Német Iskola – Thomas Mann Gimnázium
FÉNY123 **Aradi Hanna Adelina**, Egri Dobó István Gimnázium



Oklevéllel elismert diákok

A legjobb pályaművek kidolgozói minimum 50.000, maximum 250.000 forint összegű egyszeri tanulmányi ösztöndíjat és oklevelet, az OTDT által kiállított „Tehetségútlevelet” kaptak, továbbá a támogatók által felajánlott tárgyjutalmat, szakmai- vagy kulturális programokon való részvételt és táborozási lehetőséget, egyéb fejlesztő csomagot nyerhetnek.

A nyilvános eredményhirdetés alkalmával az erre előzetesen felkért diákok, egy 5-10 perces előadás keretében mutathatták be vagány és kritikus prezentációjukat a fenntarthatóság jegyében. 13 fiatal könyvjutalomban részesült.

A bemutatott ötletgazdag, színvonalas munkákról tanúskodnak a mellékelt felvételek.

Tóth Éva
Felvételek: Tóth Éva