

Fejlett adatrögzítő rendszerek alkalmazása a villamos gépek állapot felügyeletében és diagnosztikájában

Advanced data acquisition systems used in the condition monitoring and diagnosis devices of electrical machines

Sisteme de achiziții de date avansate utilizate în monitorizarea și diagnoza mașinilor electrice

dr. Szabó Loránd¹, dr. Kovács Ernő², dr. Biró Károly Ágoston¹
Dobai Barna Jenő^{1,3}, dr. Blága Csaba²

¹ Kolozsvári Műszaki Egyetem, Románia

² Miskolci Egyetem, Magyarország

³ National Instruments Hungary Kft, Budaörs, Magyarország

Abstract: *The uninterrupted working of the electrical machines is a very important issue. Hence there is a great interest for the faults detection of the electrical machines. A lot of diagnosis methods are applied in industry. One of the most used one is the Motor Current Signature Analysis (MCSA). This method was also applied during our research work. In our laboratory we measured the healthy induction machine and that having broken rotor bars using an advanced test bench equipped with an advanced data acquisition system. The obtained results show that the applied simple diagnosis method is an excellent tool in detecting the rotor faults of the squirrel cage induction machines.*

Rezumat: *Funcționarea fără defecțiuni a mașinilor electrice este indispensabilă în multe domenii. Din această cauză se manifestă un interes deosebit pentru sistemele de diagnoză ale mașinilor electrice. Una dintre cele mai larg utilizate metode este analiza urmei curentului de fază (MCSA –Motor Current Signature Analysis). Această metodă a fost utilizată de asemenea în activitatea noastră de cercetare. În laboratorul nostru am efectuat măsurătorile necesare atât pentru mașina fără defecte, cât și pentru cele având barele rotorice deteriorate. Pentru acest scop am elaborat un stand de încercări modern. Rezultatele obținute ne-au permis să afirmăm, că această metodă simplă de diagnosticare este un instrument deosebit de util în detectarea defectelor rotorice ale mașinii de inducție cu rotorul în scurtcircuit.*

Összefoglaló: *A villamos gépek hibamentes működése nagyon fontos követelmény. Emiatt a meghibásodásuk felismerését szolgáló eszközök iránt világszerte nagy az érdeklődés. Sokféle módszert használnak a villamos gépek diagnosztikájában. Az egyik legelterjedtebb ezek közül a fázisáram nyomának analiziseként ismert (MCSA –Motor Current Signature Analysis) módszer. Ezt a módszert alkalmaztuk kísérletezéseink során is. Laboratóriumunkban egy modern (az egyik legfejlettebb adatrögzítő rendszert is tartalmazó) próbapadon mértük mind a hibátlan, mind a megszakított forgórésű kalickás aszinkron gépet. A kapott eredmények arra engednek következtetni, hogy az alkalmazott viszonylag egyszerű módszer kitűnően alkalmas a forgórészi hibák kiszűrésére.*

Kulcsszavak: adatrögzítő rendszer, állapot-felügyelet, diagnosztika.

1. BEVEZETÉS

Az utóbbi időben az ipar egyre nagyobb figyelmet szentel olyan módszerek kidolgozására melyek segítségével a villamos rendszerek (és hangsúlyozottan a villamos gépek) állapota határozható meg. Ilyen módszereken alapuló diagnosztizáló rendszerek előrejelzési képességei fontos szerepet játszanak a hibaészlelési műveletekben, mivel figyelmeztethetik az üzemeltetőt a probléma megjelenésének lehetőségére, mielőtt a vizsgált ipari rendszerben komolyabb kár keletkezne [1].

A villamos gép egy tipikus példája azon rendszereknek, amelyekben az időszerűtlen hiba rendkívül kellemetlen, költséges és esetleg veszélyes. A gép működése közben a legkülönfélébb meghibásodásoknak van kitéve [2].

Ezeket a nem kívánt jelenségeket a szakirodalomban általában a következőképpen csoportosítják: a csapágyak hibái, az állórész tekerceinek hibái, a kalickás forgórész rúdjaiknak vagy gyűrűinek hibái, a tengely és a tengelykapcsolók hibái, a külső alkatrészek hibái, stb. [3].

Mindezek alapján kijelenthetjük, hogy a villamos gépek hibáinak időbeni diagnosztizálása elengedhetetlen, ahhoz hogy kiküszöbölhessük azon tényezőket, amelyek tönkretesznek ezeket [4].

Ezen a téren végzet kutatások jelentős része, a villamos gép által felvett áram spektrumanalízisén alapszik, amelynek csekély jelentősége abban az esetben, ha a hiba már megjelent a villamos gépben [5]. Ezzel ellentétben a hibátlan, vagy hibátlanak tűnő, villamos gépek állapotának vizsgálata jóval bonyolultabb, viszont nagyon fontos mivel a hibák még kezdeti fázisukban észlelhetőek [6].

Annak ellenére, hogy magas-rangú statisztikán (*higher-order statistics*) alapuló, új hibaészlelési módszerek is megjelentek [7], a frekvencia-térbeli spektrum analízis kevésbé számítógépes és jóval elterjedtebb diagnosztikai módszer [8].

A frekvencia spektrum összetevői révén számos hiba tünet kimutatható, mivel bizonyos hibák jól meghatározott frekvencia csúcsokon jelennek meg a spektrumban. Természetesen a hibák, és a spektrumban megjelenő csúcsok helyes viszonyának megállapítása döntő szerepet játszik sikeres diagnózis felállításában.

Komoly gondot okozhat a kis amplitúdójú szinuszos jelek időtérbeli észlelése, ha ezek egy jóval nagyobb amplitúdójú szinuszon jelennek meg a mért áramban, viszont kimagasló csúcsként jelenhetnek meg a villamos gép által felvett áram frekvencia-spektrumban. Tehát a spektrum összetevők révén diagnosztizálhatjuk a villamos gépben megjelent hibát és a hiba megjelenésének okát is.

A pontos adatfeldolgozás elengedhetetlen kelléke a hatékony adatrögzítő rendszer. Napjainkban többféle, nagyteljesítményű és viszonylag elérhető árú ilyen berendezés áll az érdeklődők rendelkezésére. Az adatrögzítő rendszerek piacának egyik legmeghatározóbb cége az austini (USA) National Instruments, amelyik termékeivel kutatócsoportunk is végezte a laboratóriumi méréseket [9].

Laboratóriumunkban gyakorlati összehasonlító vizsgálatnak vetettük alá a hibátlan és a megszakadt kalickarúdu aszinkrongépet. Az egyik legelterjedtebb diagnosztizálási módszert alkalmaztuk, a fázisáram nyomának analízisét (*MCSA –Motor Current Signature Analysis*). A különféle meghibásodások más-más hatással vannak az aszinkrongép áramának felharmonikusaira. Ennek tanulmányozására elvégeztük a mért áramok spektrumanalízisét.

Az eltört kalickarudak hatására jól meghatározható frekvenciájú oldalsávi összetevők (*sideband frequency*) hangsúlyozását figyelhettük meg a mért fázisáram spektrumában.

Ezáltal sikerült bizonyítani a diagnosztizálási módszer hatékonyságát, illetve rámutatni felhasználásának előnyeire

2. MODERN ADATRÖGZÍTŐ RENDSZEREK

Kutatómunkánk során adatrögzítésre kizárólag a National Instruments termékeit használtuk, mivel ezek sebessége és pontossága igen magas, miközben egyre mérséklődő árak csökkentik a felhasználó költségeit.

Az adatrögzítési rendszerét uraló cég a legkülönbözőbb termékcsaládot kínálja a kutatóknak. Ezek a legszélesebb körben elterjedt adatbusz-rendszerekhez (PCI, PXI, PCI Express, USB, stb.) csatlakoztathatók, valamint támogatják a leggyakrabban alkalmazott operációs rendszereket (mint például a Windows, Linux és Mac OS X, stb.) [10]. Ezek mindegyikét nagymértékben támogatja az egész világon széles körben használt LabView grafikus programozási környezet.

A vizsgált aszinkron gép áramának és feszültségének rögzítésére az 1. ábrán látható új NI CompactDAQ adatrögzítő rendszert használtuk.

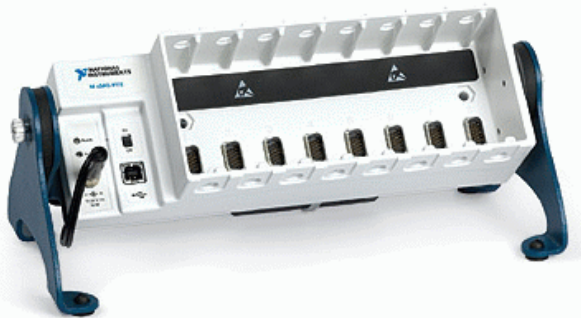


1. ábra. Az NI CompactDAQ adatrögzítő rendszer

A platform fő előnye, hogy a már megszokott rugalmas mérési alkalmazásokat egyesíti a felhasználóbarát USB csatlakoztatással.

Az új USB alapú moduláris adatrögzítő rendszer kitűnően alkalmazható a villamos gépek állapot-felügyeletében, illetve diagnosztikájában mivel alkalmas a mérőhelyi, helyszíni vagy akár gyártásközi villamos mérésekre is.

Az NI CompactDAQ rendszer egy nyolc kártyahelyes keretből áll (lásd a 2a ábrát), amelybe változatos kártyák (modulok) helyezhetők (lásd a 2b ábrát), melyek akár 256 csatornán képes villamos, fizikai, mechanikus és akusztikus jelek mérésére egy rendszerben.



a)



b)

2. ábra. Az NI CompactDAQ rendszer alkotóelemei

Az egyszerű, USB interfész (amelyik manapság már megtalálható minden korszerű elektronikai rendszerben) biztosította Plug&Play funkciónak köszönhetően a rendszer könnyen kezelhető. A moduláris ki/bemeneti egységek teljesítőképességének és rugalmasságának párosításával gyors és pontos mérést biztosít egy kis helyigényű, egyszerűen kezelhető és viszonylag olcsó rendszerben.

A kis mérete és csekély áramfelvétele miatt jól használható mobil alkalmazásoknál, akár hordozható számítógéphez is csatlakoztatható.

Minden NI CompactDAQ rendszer tartalmazza az NI-DAQmx nevű illesztő szoftvert, valamint más méréstechnikai szoftvert is. Emellett számos szoftvereszköz és interfész áll rendelkezésre a rendszer még gyorsabb és egyszerűbb kialakításához [11].

3. A TÖRÖTT KALICKARUDAK DIAGNOSZTIZÁLÁSA

A rövidrezárt forgórészű aszinkrongép eltört rúdjaianak észlelése érdekében elvégeztünk egy sor laboratóriumi kísérletet egy erre a célra összeállított intelligens próbapadon. Ennek két elemi egysége a közös alapra rögzített tesztelni való villamos gép és a fékként (terhelésként) használt egyenáramú gép [12]. A mérési rendszer alapja az előzőekben ismertetett CompactDAQ adatrögzítő berendezés volt.

Először a hibátlan aszinkrongéppel kísérleteztünk, majd forgórészét kiserelve 3, illetve 5 kalickarúdját megszakítottuk.

Mindkét esetben ismét elvégeztük a méréseket. Több terhelésnél végeztük kísérleteinket, de itt csak a névleges terhelésnél mért adatokkal foglalkozunk, mivel ekkor a legszembetűnőbbek a megszakadt kalickarudak okozta elváltozások.

Mindegyik vizsgált esetben az adatgyűjtő berendezés segítségével rögzítettük és állományokba mentettük el az állórész áramainak és feszültségeinek értékét az idő függvényében. Az így tárolt adatokat a későbbiekben jelfeldolgozó módszerek segítségével vizsgáltuk tovább.

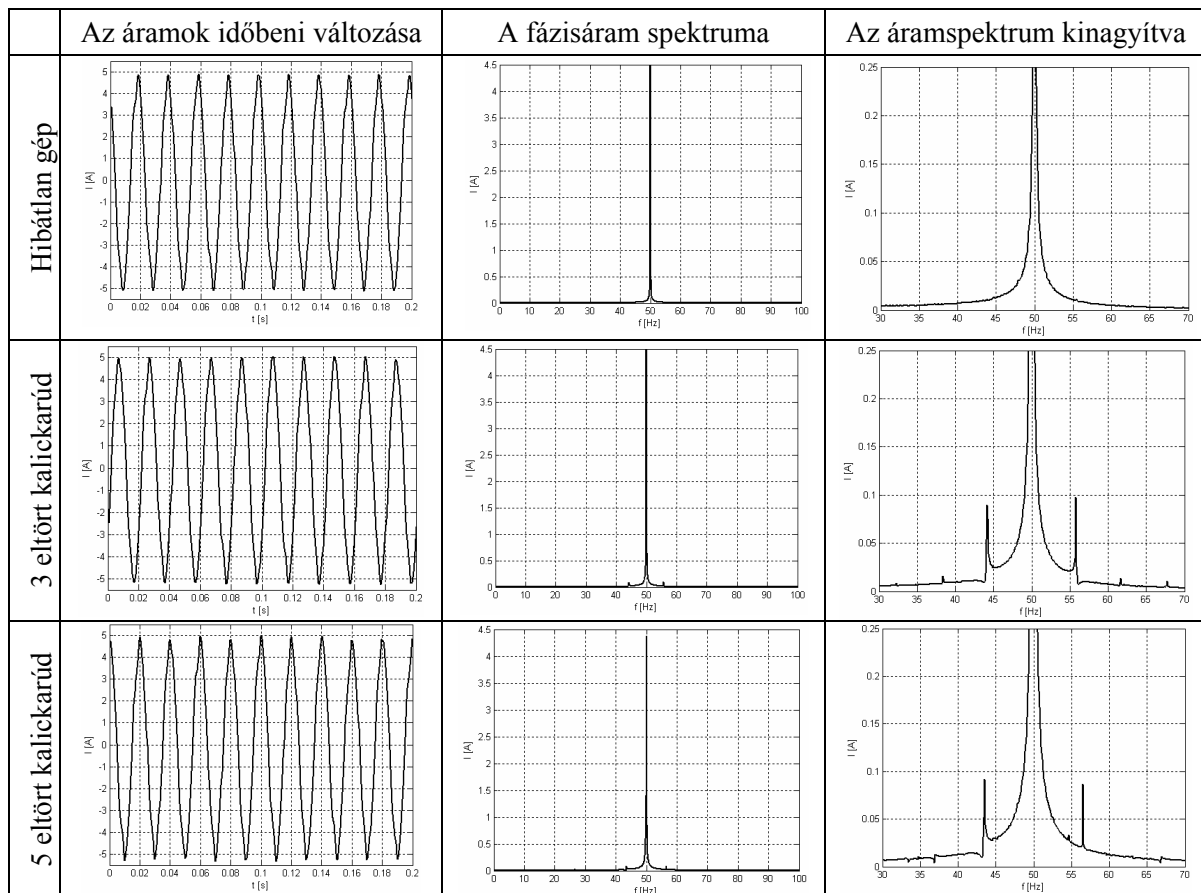
Az aszinkrongépek aszimmetriái által okozott változások kimutatása érdekében a kapott eredményeket fel kell dolgozni, és ki kell értékelni. Ez a vizsgálat az időtartományban is elvégezhető a mai korszerű számítástechnikai eszközökkel, azonban sokkal szemléletesebb, sokszor sokkal gyorsabb, eredményesebb lesz a munkánk, ha a vizsgálatot a frekvencia tartományban végezzük el, megvizsgálván a szimmetrikus, illetve aszimmetrikus aszinkrongép fázisáramának harmonikus tartamát [13].

Ennek érdekében a mért időjelet a frekvenciatartományba kell transzformálnunk. Erre a legelterjedtebben használt módszer a Fourier-transzformáció. A transzformáció eredményeképpen az időjel frekvenciatérbeli ábrázolását kapjuk.

A mért adatok feldolgozása során az első, R , fázis áramával dolgoztunk minden esetben. Szimmetria okokból nyilvánvaló, hogy az eredmények hasonlóak abban az esetben is, ha a másik két fázison mért áram adatait dolgozzuk fel.

A számítógépre rögzített adatokat MATLAB környezetben dolgoztuk fel [14]. A jobb kiértékelés érdekében a mért fázisáram spektrumanalízisének eredményeit különböző módon ábráztuk.

Az 3. ábrán láthatjuk a legfontosabb eredmények grafikus ábrázolását.



3. ábra. A kapott eredmények grafikus feldolgozása

A szakirodalom szerint a villamos gépek hibáinak megjelenésével bizonyos jól meghatározható frekvenciájú oldalsávi felharmonikusok (*sideband components*) észrevehetően megnőnek [15].

A kalickás aszinkronmotorok forgórészi hibáinak hatására az alábbi összefüggés által kiszámítható frekvenciájú felharmonikusok nőnek meg:

$$f_b = (1 \pm 2ks)f_1, \quad k = 1, 2, 3 \dots \quad (1)$$

ahol f_1 a szinkronfrekvencia és s az adott terhelésnél mért szlip.

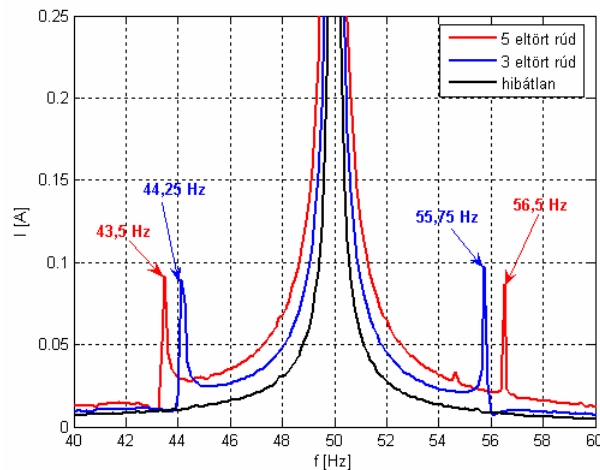
Ezek megjelenését észlelhettük a hibás aszinkrongép fázisáramai spektrumanalízisének valamennyi eredményét tanulmányozva az 3. ábrán.

Ismerve az aszinkrongép sebességét mindegyik tanulmányozott esetben könnyen kiszámolhattunk azokat a frekvenciákat, amelyek az alkalmazott módszer szerint a forgórészi hibákra utalnak. A kapott frekvenciákat az 1. táblázatban tüntettük fel.

	Mért sebesség [ford/perc]	Szlip [-]	Oldalsávi felharmonikusok	
			f_{b1} [Hz]	f_{b2} [Hz]
3 eltört kalickarúd	1413	0,058	44,25	55,75
5 eltört kalickarúd	1403	0,065	43,5	56,5

1. táblázat. A meghibásodások nyomán megjelent oldalsávi felharmonikusok frekvenciái

A következőkben megvizsgáltuk, hogy a fenti táblázatban megadott frekvenciák megjelennek-e a mért eredményeinkben. Összehasonlításként együtt ábráztuk mindhárom esetben a kapott



4. ábra. A hibátlan és a hibás forgórésű kalickás aszinkrongép fázisárama spektrumának összehasonlítása

spektrumok minket érdeklő részét (lásd a 4 ábrát).

Az ábrát tanulmányozva tisztán kivehetők az oldalsávi felharmonikusok frekvenciái a hibás forgórésű aszinkrongépek esetében. Pontosabban leolvasható az ezeknek megfelelő frekvenciaértékeket megállapíthatjuk, hogy nagyon közeliek az elméletileg kiszámított értékekhez, amelyeket az 1. táblázatból olvashattunk le. Jól látható, hogy amint megnő az eltört kalickarudak száma és nagyobb lesz a szlip is, az oldalsávi felharmonikusok egyre jobban eltávolodnak az alapharmonikustól.

Megfelelő diagnosztikai berendezéssel érzékeltetni lehet ezen oldalsávi felharmonikusok megjelenését, és a berendezés kijelzeni képes a meghibásodást, illetve akár le is állíthatja a gép működését [16].

4. KÖVETKEZTETÉSEK

A Fourier-transzformáció segítségével kapott frekvenciatartománybeli eredmények kiváló képet adnak a mért jelek harmonikus komponenseiről, amit nagyszerűen hasznosítani lehet a villamos gépek diagnosztikájában, illetve állapot-felügyeletében.

Cikkünkben bemutattuk a laboratóriumban mért adatok feldolgozása nyomán rögzített spektrumokat. A kapott eredmények felharmonikus tartalmát elemezve első látásra világosan kitűnt,

hogy a forgórészi hibák megjelenésével fázisáram harmonikus tartalma megváltozott. Ennek a meghibásodásnak megfelelő, jól meghatározható frekvenciájú oldalsávi felharmonikusok számottevően megnőnek.

Végül megállapíthatjuk, hogy az elméleti sejtéseket sikerült a laboratóriumi mérések eredményei alapján bizonyítani. Ehhez arra volt szükség, hogy a jól megalapozott elmélet találkozzon a pontosan elvégzett mérésekkel, illetve a fejlett adatfeldolgozási technikákkal.

5. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ez a publikáció a "Magyar–román kormányközi TÉT együttműködés 2006-2007" részét képező "Lineáris és forgó gépes villamos hajtások állapot-felügyelete fejlett adatfeldolgozó eszközök segítségével" című, RO-12/2005 számú kutatási projekt keretében elvégzett kutatómunka eredményei alapján készült.

A szerzők ez úton mondanak köszönetet a kutatási munka finanszírozásáért.

6. IRODALOM

- [1] Péczely Gy., "A karbantartás korszerű irányzatai," A.A. Stádium Kft., Szeged, URL: <http://www.aastadium.hu/Szakcikkek/karbir.html>.
- [2] Syggeridou, O.A., Ioannides, M.G., "Diagnostic Methods for AC Electric Motors, *Power and Energy Systems*, 2004, pp.33-47.
- [3] Nandi, S., Toliyat, H.A., "Condition Monitoring and Fault Diagnosis of Electrical Machines – A Review," *Proceedings of the IEEE-IEMDC'99 Conference*, Seattle (USA), 1999, pp. 219-221.
- [4] Szabó L., "A villamos gépek tipikus meghibásodásai és diagnosztizálásuk," *XV. Diagnosztika Konferencia és Szakkiállítás*, Lajosmizse, 2005, pp. 19-33.
- [5] Thorsen, O.V., Dalva, M., "Methods of Condition Monitoring and Fault Diagnosis for Induction Motors," *ETEP*, vol. 8 (1998), no. 5, pp. 383-395.
- [6] Zanardelli, W.G., Strangas, E.C., Khalil, H.K., Miller, J.M., "Comparison of wavelet-based methods for the prognosis of failures in electric motors," *Power Electronics in Transportation*, pp. 61-67, 2002.
- [7] Arthur, N., Penman, J., "Inverter fed induction machine condition monitoring using the bispectrum," *Proceedings of the IEEE Signal Processing Workshop on Higher-Order Statistics*, 1997, pp. 67-71.
- [8] Awadallah, M.A., Morcos, M.M., "Application of AI tools in fault diagnosis of electrical machines and drives-an overview," *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol. 18, no. 2 (June 2003), pp. 245-251.
- [9] "LabVIEW a mérés-automatizálás és irányítástechnika minden területén," National Instruments Inc, Austin (USA), 2006. URL: http://digital.ni.com/worldwide/bwcontent.nsf/web/all/71F542A06F34899E8025711000409A5D?OpenDocument&node=200871_hu.
- [10] "Az új NI-DAQmx- és LabVIEW 8-eszközök időt és rendszertelepítési költséget takarítanak meg," National Instruments Inc, Austin (USA), 2006. URL: http://digital.ni.com/worldwide/bwcontent.nsf/web/all/4EC5A355FD1AF9438025711000465BC9?OpenDocument&node=200871_hu.
- [11] "Új USB alapú adatrögzítő rendszerrel jelenik meg a piacon a National Instruments," National Instruments Inc, Austin (USA), 2006. URL: http://digital.ni.com/worldwide/bwcontent.nsf/web/all/47FE3CD1DBE96C8580257165004D1B67?OpenDocument&node=200871_hu.
- [12] Szabó L., Bíró K.Á., Dobai J.B., "Non-Invasive Rotor Bar Faults Diagnosis of Induction Machines Using Virtual Instrumentation," *Oradea University Annals, Electrotechnical Fascicle*, 2003, pp. 313-320.
- [13] Ferrah, A., Bradley, K.J., Asher, G.M., "An FFT-Based Novel Approach to Noninvasive Speed Measurement in Induction Motor Drives," *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 41, no. 6, pp. 797-802.
- [14] Szabó L., "Medii de programare uzuale în ingineria electrică – MATLAB," Mediamira Könyvkiadó, Kolozsvár, 2003.
- [15] Benbouzid, M.H., "A Review of Induction Motors Signature Analysis as a Medium for Fault Detection," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 47 (2000), no. 5, pp. 984-993.
- [16] Szabó L., Bíró K.Á., Dobai J.B., "Az aszinkrongépek hatékony üzemelését segítő diagnosztizáló berendezésekről," *ENELKO '2002, az Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság Energetikai és Elektrotechnikai Konferenciája*, Kolozsvár, pp. 127-134.