

Hibatűrő villamos hajtásrendszerek

Fault tolerant electrical drives

Sisteme de acționare electrice tolerante la defecte

dr. Szabó Loránd¹, dr. Biró Károly Ágoston¹, dr. Fodor Dénes², Ruba Mircea¹

¹ Kolozsvári Műszaki Egyetem, Villamosmérnöki Kar, Villamosgépek Tanszék
RO-400750 Cluj, P.O. Box 358, Románia
Tel.: +40-264-401-827, Fax.: +40-264-593-117
e-mail: Lorand.Szabo@mae.utcluj.ro
web: <http://users.utcluj.ro/~szabol/index.htm>

² Pannon Egyetem, Műszaki Informatikai Kar, Automatizálás Tanszék
H-8200 Veszprém, Egyetem u. 10., Magyarország
Tel.: +36-88-624-461, Fax.: +36-88-624-545
e-mail: fodor@almos.vein.hu
web: <http://www.aut.vein.hu>

Abstract: *In industry an increasing interest for the fault tolerant electrical drives can be observed. In the case of all the three main units forming an advanced electrical drive system (the control system, the power converter and the electrical machine) fault tolerant technical solutions can be adopted. In this paper a short overview of these will be given.*

Rezumat: *Se poate observa o cerință crescândă față de sistemele de acționare electrice tolerante la defecte. La toate cele trei subunități de bază ale unui sistem avansat de acționare electrică (unitatea de control, convertizorul de putere, respectiv mașina electrică) se pot aplica soluții tehnice în vederea creșterii toleranței la defecte. În acest articol acestea sunt prezentate pe scurt.*

Összefoglaló: *A hibatűrő villamos hajtásrendszerek iránt egyre nagyobb az ipar igénye. A modern villamos hajtásrendszerek magját képező mindhárom egység (a szabályozó rendszer, a teljesítményelektronikai rendszer, valamint a villamos gép) esetében alkalmazhatunk technikai megoldásokat a hibatűrés növelésére. Cikkünk ezek rövid áttekintésével foglalkozik.*

Kulcsszavak: hibatűrő rendszerek, redundancia, újrakonfigurálható rendszerek, duplex- és triplex tekercselések.

1. BEVEZETÉS

A technológiai fejlődés, az állandóan éleződő konkurenciaharc egyre jobban megköveteli az ipari rendszerek magas rendelkezésre állását, az állandó (gyakorlatilag 7x24 órás) üzem, a biztonságos üzem és nem utolsósorban a hibatűrő működést. Ez utóbbi érdekében a szakemberek szerte a világon komoly erőfeszítéseket tesznek [1].

Az angol nyelvű szakirodalomban gyakran használt *fault tolerant* kifejezésnek számos magyar fordítása létezik: hibatűrő, hibatoleráns, zavartoleráns, stb. [2]. Definíció szerint a hibatűrő jelző olyan rendszerek leírására, amelyek rendelkeznek a működése során bekövetkező hibák észlelésének és javításának vagy kiküszöbölésének képességével [3].

Maga a fogalom nem új, a nyolcvanas évek végén jelent meg, először a számítógépek működése megbízhatóságával kapcsolatban [4], [5]. Az évek során szinte valamennyi mérnöki tudományágban megjelentek a hibatűrő rendszerek. Széleskörű elterjedését kitűnően jellemzi további két adat: a Google kereső több mint 2.100.000 (!) találatot jelez a *fault tolerant* keresésénél [6]. A világ legtekintélyesebb szakmai szervezetének, az IEEE-nek (*Institute of Electrical and Electronics*

Engineers) a keresőmotorja (*IEEE Explore*) is túlhaladja a maximálisan engedélyezett 500 találatot [7].

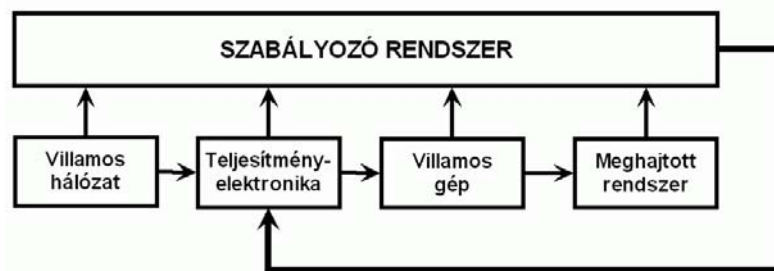
Annak ellenére, hogy a hibatűrő rendszereket elég széles körben alkalmazzák, vannak olyan területek, ahol gyakorlatilag elengedhetetlenek. Ilyenek a hosszú élettartamú alkalmazások, amelyek több éves időtartamban működnek, és általában a javításra kevés, vagy egyáltalán nem adódik lehetőség(például űrrepülés, műholdak, űrszondák, stb.). Vagy ha kritikus számításokat kell elvégezni egy viszonylag rövid időtartamra, amíg egy kritikus működési, számítási szakaszban üzemel a rendszer. Ez alatt a rendszer megbízhatósága garantáltan magas legyen (például vegyi üzemek szabályozó rendszerei, atomerőművek, stb.). Ugyancsak elengedhetetlenek azokban az esetekben is, amikor a karbantartási műveleteket igen nehéz, vagy igen költséges elvégezni (például telefonközpontokban, banki információs rendszerekben, stb.)

Cikkünk a hibatűrő villamos hajtásrendszerekkel foglalkozik, rövid, a teljesség igénye nélkül összeállított, betekintést nyújtva e relatíve új szakterület eredményeibe.

2. A HIBATŪRÓ VILLAMOS HAJTÁSRENDSZEREK

A villamos hajtásrendszereket széles körben használják a legegyszerűbb műhelyektől kedve a bonyolult, és nagy méretű biztonságkritikus üzemekig. Noha a szakemberek nagy figyelmet szentelnek biztonságos, hibamentes működésükre, nagy hányaduk már működésük első éveiben valamilyen formában meghibásodik. A bekövetkező hiba nemcsak magát a villamos hajtásrendszert érinti, hanem az ezt magába foglaló egész termelési folyamatra is igen komoly kihatással van. Az előforduló meghibásodás megváltoztatja a rendszer tulajdonságait, ezáltal a helyes működését

Az ipari alkalmazások esetén a villamos hajtásrendszerek általánosan a következő elemekből állnak: villamosenergia-ellátó (többnyire teljesítményelektronikai) rendszer, szabályozó készülék és maga a villamos gép (lásd az 1. ábrát).



1. ábra. A villamos hajtásrendszerek alapelemei

A villamos hajtásrendszerek magját képező mindhárom egység (a szabályozó rendszer, a teljesítményelektronikai rendszer, valamint a villamos gép) esetében alkalmazhatunk technikai megoldásokat a hibatűrés megnövelésére.

2.1. HIBATŪRÓ SZABÁLYOZÓ RENDSZEREK

A szabályozó rendszerekben a hibatűrő viselkedés megvalósításához leggyakrabban a hardver-, szoftver-, információs-, illetve az idő redundanciát alkalmazzák.

Általában a redundancia (*redundancy*) olyan, a rendszer funkcióinak teljesítéséhez minimálisan szükséges, ún. alapkiépítést meghaladó többlet, amelyre a megbízhatóság, azaz a működőképesség és/vagy a belsőbiztonság kívánt értékének elérése érdekében van szükség.

A hardverredundanciát leggyakrabban különböző funkciókat ellátó kiegészítő elemek beépítésével (az ún. meleg tartalékkal) valósítják meg, vagyis a kritikus szolgáltatást nyújtó berendezést többszörözik. A meleg tartalékot ki lehet használni nem kritikus tevékenységekre is, amíg nincs rá szükség. A tulajdonképpeni tartalékolásnak több szintjét különböztethetjük meg: alkatrész, fokozat, készülék, illetve rendszer szintűt.

A szoftver redundancia alkalmazásakor a hibatűrés elérése érdekében kiegészítő szoftver elemeket, ill. szoftverrel megvalósított módszereket alkalmaznak. Itt is számításba kell vennünk a

szoftvert az öntesztelés megvalósításában, valamint az ismétlődő funkciók ellátásában. E módszerekhez tartozik a szoftverfelépülés (*software recovery*) lehetőségének beiktatása. Ekkor olyan szoftverkomponenseket terveznek, melyek meghibásodás, adatvesztés esetében visszagörgethetők (*recovery, roll-back*) egy ismert, hibamentes állapotba.

Az információs redundancia azt jelenti, hogy a rendszer működési biztonság növelése érdekében többletinformációt, többletbiteket használnak fel. Ezáltal a hibák érzékelésére és/vagy tolerálására kerülhet sor. Tipikus megoldások a paritásbitek, hibadetektáló kódok, hibajavító kódok, ellenőrző összegek (*check sum*) használata. A hibajavító kódok nemcsak detektálásra, hanem tolerálásra, vagyis a hiba elfedésére, hatásának megszüntetésére is alkalmasak.

Az idő redundancia alkalmazásakor a szükségesnél hosszabb feldolgozási időt engedélyeznek a rendszer számára. A legelterjedtebb megoldás a feldolgozás, a számítások ismételt lefolytatása, az eredmények összehasonlításával egybekötve. Ezzel elérhető az, hogy a hardverben fellépő átmeneti hibát, amely az egyik végrehajtás alatt érvényesült, egy újabb végrehajtással ki lehessen ejteni [8].

Az ezeket a módszereket alkalmazó szabályozási rendszerek komoly hibák esetében is nagyfokú rendelkezésre állást biztosítanak.

Magasabb szintű hibatűrő képességet a diagnosztizált hibák alapján magukat adaptív módon, dinamikusan újrakonfiguráló rendszerek telepítésével lehet elérni.

2.2. HIBATŪRÓ TELJESÍTMÉNYELEKTRONIKAI BERENDEZÉSEK

A teljesítményelektronikai berendezések hibatűrése növelését szintén két síkon (hardver, illetve szoftver) valósíthatjuk meg.

Ebben az esetben is alkalmazzák a hardver-redundanciát. Ennek legtipikusabb esete az ún. tandem áramirányító. Ez gyakorlatilag két párhuzamosan kapcsolt áramirányítót tartalmaz. Az egyik egy nagyobb teljesítményű, impulzus-amplitúdó modulációs (*PAMPulse Amplitude Modulated*) áramforrás jellegű inverter, míg a másik egy kisebb teljesítményű impulzus-szélesség modulációs (*PWMPulse Width Modulated*) feszültségforrás jellegű áramirányító. Az első meghibásodása esetén a második részben át tudja venni a másik funkciót [9], [10].

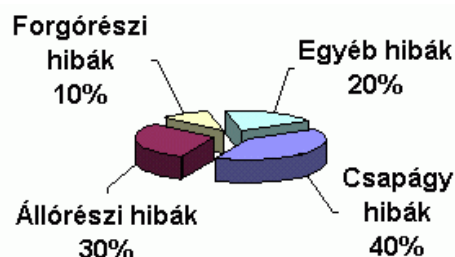
Másik módszer a teljesítményelektronikai berendezések vezérlése hibatűrésének növelése. Kiemeljük azt az elgondolást, hogy az áramirányítók vezérlésekor kettős impulzus-szélesség modulációs stratégiát alkalmaznak, gyakorlatilag megduplázván a konverter vezérlőrendszerét. Az egyik legérdekesebb ilyen rendszer két külön térvektor modulációt használ az "egészséges" és a "hibás" működésre való kapcsoláshoz [11].

2.3. HIBATŪRÓ VILLAMOS GÉPEK

A villamos gépek tervezésekor is igyekeznek a szakemberek olyan konstrukciókat kidolgozni, amelyek megfelelnek a hibatűrő rendszerek követelményeinek.

Ebben az esetben is a redundancia elvét érvényesítik, azaz a tekercsüket duplázzák-triplázzák meg (duplex-, illetve triplex tekercselések). A párhuzamosan elhelyezett tekercsrészeket legtöbbször külön-külön táplálják a teljesítményelektronikai berendezések szinkronba hozása mellett.

Az említett módszer alkalmazásával kiküszöbölhetők a többnyire a villamos gép állórészén elhelyezett tekercsek hibái. Ez magában nagymértékben megnöveli a villamos gépek hibatűrését, mivel az állórészi hibák teszik ki az összes meghibásodások 30 százalékát (lásd 2. ábrát) [12], [13].



2. ábra. A villamos gépek hibáinak statisztikája

A szakirodalomban az állandó mágnesű gépek [14], [15] és a kapcsolt reluktanciájú motorok (*SRMSwitched Reluctance Motor*) [16] hibatűrő változatáról olvashatunk. Ez utóbbiak a legkönnyebben megvalósíthatók, mert koncentrált tekercselésük könnyen többszörözhető.

Egy hibatűrő kapcsolt reluktanciájú motorról kutatócsoportunk tagjai kimutatták, hogy képes névleges nyomatékának közel a felét leadni még két megszakadt fázis esetében is [17].

3. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ez a publikáció a "Magyar–román kormányközi TÉT együttműködés 2006-2007" részét képező "*Indukciós gépek modell alapú hibadiagnosztikája*" című (szerződésszám: OMFB-00760/06, projektazonosító: RO-47/05) kutatási projekt keretében elvégzett kutatómunka eredményei alapján készült. A szerzők ez úton mondanak köszönetet a kutatási munka finanszírozásáért.

4. IRODALOM

- [1] Szabó L., Biró K.Á., Dobai J.B., "Az aszinkron gépek hatékony üzemelését segítő diagnosztizáló berendezésekről," *ENELKO '2002, az Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság Energetikai és Elektrotechnikai Konferenciája*, Kolozsvár, pp. 127-134.
- [2] "Fault tolerant szócikk," Internet Értelmező Szótár, URL: http://szotar.mconet.biz/index.php?word_id=4469.
- [3] "Fault tolerant szócikk," PC Fórum Szótár, 2006.
URL: <http://pcforum.hu/szotar/?term=fault%20tolerant&tm=mi>.
- [4] Pradhan, D.K., "*Fault-tolerant Computing*," Prentice-Hall, 1986.
- [5] Johnson, B.W., "*Design and Analysis of Fault-Tolerant Digital Systems*," Addison-Wesley, 1989.
- [6] URL: <http://www.google.ro/search?hl=hu&q=fault+tolerant&btnG=Keres%C3%A9s&meta=>
- [7] URL: <http://ieeexplore.ieee.org/search/searchresult.jsp?SortField=Score&SortOrder=desc&ResultCount=25&maxdoc=500&coll1=ieejrns&coll2=ieejrns&coll3=ieeenfs&coll4=ieecnfs&coll5=ieeestds&coll6=preprint&coll7=books&coll8=&srchres=9390&isonlybook=yes&history=yes&queryText=%28+fault+tolerant%3Cin%3Emetadate+%29&oldqrytext=%28+fault+tolerant%3Cin%3Emetadate+%29&imageField.x=33&imageField.y=12&imageField=%28+fault+tolerant%3Cin%3Emetadate+%29&radiobutton=cit>
- [8] Heckenast, T., "*Biztonságkritikus rendszerek*," Széchenyi István Egyetem, 2002.
URL: <http://www.sze.hu/~heckenas/okt/swmin2.pdf>.
- [9] Imecs M., Trzynadlowski, A.M., Incze I.I., Szabó Cs., "Vector control schemes for tandem-converter fed induction motor drives," *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 20 (2005), no. 2, pp. 493-501.
- [10] Vásárhelyi J., Szabó Cs., "Rendszer rekonfiguráció," *ENELKO '2003, az Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság Energetikai és Elektrotechnikai Konferenciája*, Kolozsvár, 2003, pp. 235-240.
- [11] Cecati, C., Rotondale, N., "A Double PWM-Strategy for Improved Electric Drive Reliability," *Proceedings of the Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion SPEEDAM '2002*, Ravello (Olaszország), CD-n: 345.pdf. 2002.
- [12] 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.
- [13] Szabó L., "A villamos gépek tipikus meghibásodásai és diagnosztizálásuk," *XV. Diagnosztika Konferencia és Szakkiállítás*, Lajosmizse, 2005, pp. 19-33.
- [14] Abolhassani, M.T., "A novel multiphase fault tolerant high torque density permanent magnet motor drive for traction application," *Proceedings of the 2005 IEEE International Conference on Electric Machines and Drives (IEMD '2005)*, pp. 728-734, 2005.
- [15] Krautstrunk, A., "Remedial Strategy for a Permanent Magnet Synchronous Motor Drive," *Proceedings of the 7th European Conference on Power Electronics and Applications (EPE '99)*, Lausanne (Svájc), 1999.
- [16] Sanchez, J.A., Andrada, P., Blaque, B., Torrent, M., Perat, J.I., "Post-fault performance of a fault-tolerant switched reluctance motor drive," *Proceedings of the European Conference on Power Electronics and Applications (EPE '05)*, Toulouse (Franciaország), CD-n, 2005.
- [17] Ruba, M., Anders, M., "Fault Tolerant Switched Reluctance Machine Study," *Proceedings of the International Conference on Power Electronics, Drives and Motion (PCIM '2008)*, Nürnberg (Németország), 2008, nyomtatásban.