

SZAKMAI BESZÁMOLÓ

Az OTKA szerződésben a kutatási témakörön belül azt vállaltuk, hogy az irodalomból a legújabb kutatási eredmények megismerését követően a kutatni kívánt részterületeket pontosítjuk, ill. ezekben a kutatási tevékenységet megindítjuk és az eredményeket folyamatosan publikáljuk. Már a kutatási munkatervben is említett hajtásszabályozások, mozgásszabályozás, energiakonverziók, megújuló energiaforrások és telemanipuláció című részterületeket ígéreteseknek találtuk. A kutatási eredményeket összesen 41 angol nyelvű és 3 magyar nyelvű közleményben publikáltuk. A közlemények közül 37 nemzetközi konferencia cikk, és 7 folyóiratcikk.

Az eredmények részletes leírása a közleményekben olvashatók. Az alábbiakban ezek rövid összefoglalása található.

A pályázat témájában, a változó struktúrájú, szakaszosan lineáris, nemlineáris, dinamikus, visszacsatolt rendszerek témában, a gyakorlatban megvalósított rendszerek egyebek között a teljesítmény elektronikában elterjedtek. Az egyik kutatási eredmény e rendszerek stabilitási analizisére vonatkozik és egy egyszerűbb, szemléletesebb módszert javasol. Noha ez is a szokásos, jól ismert és széles körben alkalmazott eljárás keretei között marad, nevezetesen a rendszer fix pontjához tartozó Poincaré térkép függvény Jakobi mátrixának a sajátértékeit alkalmazza a stabilitás eldöntésére, de egyrészt grafikus támogatással szemléletesebbé, egyszerűbbé teszi azt, másrészt kihasználja a struktúra, konfiguráció sorozat periodicitását és ezzel átláthatóbb, gyorsabb eljárást ad a Jakobi mátrix meghatározására, továbbá egyéb előnyöket nyújt. Az új módszer az állapotváltozók különbségét használja a Poincaré térkép függvény deriváltjai helyett és minden lépés mögé geometriai interpretációt kínál. A Poincaré térkép függvény deriváltjainak a meghatározására nincsen szükség. A módszer kulcs eleme az úgynevezett virtuális állapot vektor bevezetése, amely módot ad arra, hogy a periódikus állandósult állapothoz tartozó kapcsolási időpontokkal számoljunk még az után is, miután a rendszert a fix pontból kis mértékben kitérítettük. Ezzel el lehet kerülni, hogy minden kapcsoláskor a kapcsolási időpontot újból és újból iterációs eljárással számítsuk, ami pontosabbá teszi és jelentősen gyorsítja a számítását.

A módszer alkalmazását bemutattuk több teljesítményelektronikai rendszer kapcsán. Az egyik vizsgált teljesítményelektronikai rendszerben szimulációs és laboratóriumi mérések útján a periódikus állandósult állapot mellett quasi-periódikus, szubharmonikus és kaotikus állapotokat is kimutattunk. A módszerről az IEEE Transactions on Circuits and Systems-1-ben egy folyóirat cikkünk jelent meg. [17] (Most és a későbbiekben a szögletes zárójelben megjelenő szám a zárójelentés irodalomjegyzékének sorszáma.)

Részben ebbe a körbe tartoznak azok az eredményeink, amelyeket az általunk kifejlesztett kétcsatornás rezonáns DC-DC konverter család három tagjának, a buck a boost és a buck and boost változatoknak a stabilitás vizsgálataival kapcsolatosan értünk el. Ezekben az esetekben is a fentiekben vázolt stabilitás-vizsgálati módszerünket alkalmaztuk. Mind a három konverter esetében szabályozással ellátott egységek stabilitás vizsgálatára került sor. A többféle konverter közül a DC-DC konverterre azért esett a választás, mert a statikus villamos energia-konverterek közül messze ez a típus a legszélesebb körben alkalmazott. A három konverter esetében a kimenő feszültség szabályozó erősítési tényezője és integrálási időállandója síkján a kapcsolási frekvencia, a terhelés és a referencia feszültség paraméter mezőben számítással meghatároztuk a stabilis és a labilis tartományokat. A számírási eredményeket szimulációval ellenőriztük. Ugyancsak mind a három konverter esetében bifurkációs diagrammok készültek, amelyekben a bifurkációs paraméterek az említett szabályozó erősítési tényezője és időállandója volt. Mind a három rendszernél találtunk a paraméter mezőben periódikus és kváziperiodikus tartományokat. Az eredmények részleteiről cikkekben számolunk be (ld. publikációs jegyzék). [23,24,25,40]

Itt kell megemlíteni, hogy a fent említett kétcsatornás, rezonáns konverter család ismertetéséről, viselkedéséről több további közlemény született. [26,27,40] Kiemelhetjük ezek közül az EPE Journalban megjelent folyóirat cikket, amelyben a szimulációs és a mérési eredmények verifikálták az elméleti eredményeket [40].

A kétcsatornás DC-DC buck and boost konverterek rezonáns frekvencia feletti tartományban fennálló különleges üzeméről szól az [1] és [12] cikk.

A DC-DC konverterek szabályozási kérdéseiről két cikk [2,3] jelent meg, míg a háromfázisú feszültség forrás konverterek nemlineáris dinamikájáról egy közlemény szól [43].

A szabályozott villamos hajtások között a két legnépszerűbb változat a mezőorientált szabályozású és a közvetlen nyomaték-szabályozású (Direct Torque Control=DTC). Mi a DTC rendszert választottuk vizsgálataink tárgyául. A nemlinearitás forrása itt elsősorban a fluxus és a nyomaték szabályozó körökben alkalmazott egy-egy hiszterézis függvény. Más szavakkal ezt úgy is ki lehet fejezni, hogy a nemlineáris viselkedés annak a következménye, hogy a struktúra váltások időpontjai az állapotváltozók függvényei. Első lépésben meg kellett határozni két kapcsolás között az állapotváltozók időfüggvényeit. Majd az állapotváltozók periódikus mintavételezésével képezett egymásutáni mintáiból a kapcsolási térkép függvény meghatározása következett. A kapcsolási térkép függvényből a Poincaré térkép függvényt lehetett leszámaztatni, amiből már a fix pontok, az ezekhez tartozó Jakobi mátrixok és ezek saját értékei kiszámíthatók voltak. A numerikus eredmények keretében bifurkációs diagrammot, legnagyobb Lyapunov exponenst és return térképeket számoltunk. Bifurkációs paraméternek a nyomaték

szabályozó hurok alapjelét választottuk. Periódikus, szubharmonikus, kaotikus és intermittens állapotokat lehetett kimutatni. A legnagyobb Lyapunov exponens és a return térképek segítségével a rendszer viselkedését részletesebben lehetett vizsgálni.

Az eredmények megjelenítése során elsősorban a bifurkációs és az ismétlődési diagramokat használtuk. Nemlineáris dinamikus rendszerek vizsgálata során a bifurkációs diagramot gyakran alkalmazzák. Mi is ezt tettük. Ugyanakkor az ismétlődési diagram viszonylag új ábrázolási és kiértékelési forma, ezért ezt röviden ismertetjük. Ismétlődési diagram (ID) [vagy Recurrence Plot (RP)]: ID több dimenziós, nemlineáris, dinamikus rendszerek állapotter trajektoriájának egyfajta ábrázolása. Az ID esetében a rendszer egyik állapot változójából ekvidisztáns időpontokban mintát veszünk, s e mintasorozatot használjuk ábrázolásra x - y (esetünkben i - j) koordináta rendszerben. Az $x(t)$ N dimenziós állapotter trajektória teljes dinamikája rekonstruálható az n -edik állapotváltozó $x_n(t)$ időfüggvényéből vett x_{ni} idősorozatból rekonstruált állapotvektorból, ahol i az idősorozat indexe, amelyet T_s mintavételi idővel képeztünk. Be kell vezetni még a j indexet is, ahol $j = i \pm k$ és $k = 1, 2, \dots$. Az ID diagram fehér és fekete pontokból áll az i - j négyzög alakú koordináta rendszerben. Egy i - j pont fekete lesz az ID diagramban, ha az $x_n(t)$ időfüggvényéből az i -edik időpontban rekonstruált állapotvektor megfelelően közel van a j -edik időpontban rekonstruált állapotvektorhoz, vagyis ilyenkor az i -edik állapot megismétli az j -edik állapotot. Mivel tökéletes, hibátlanul pontos ismétlődés gyakorlatilag lehetetlen, egy önkényes hiba küszöb értéket kell előírnunk. A DTC rendszer bifurkációs diagramját és a hozzá tartozó legnagyobb Lyapunov exponens változását is meghatároztuk. A bifurkációs diagram a nyomaték hibát tünteti fel a nyomaték referencia függvényében. Az Ismétlődési diagram és a bifurkációs diagram szerint egybehangzóan 1.) periodikus, 2.) szubharmónikus, 3.) kaotikus, 4.) intermittens állapotok lépnek fel a rendszerben.

A tervezhetőség, kézben tarthatóság, egyszerűbb követhetőség érdekében a periodikus tartományban célszerű az üzemet beállítani és fenntartani. Végül megjegyezzük, hogy az Ismétlődési diagramot a teljesítmény elektronikába mi vezetjük be. Az eredmények részleteiről [9,22,28,35,36,44] közleményekben számoltunk be.

A megújuló energiaforrások hasznosítása témakörben kezdetként irodalomkutatást végeztünk a legújabb kutatási eredmények és trendek megismerésére. Megállapítottuk, hogy az általunk kitűzött kutatási feladatok jól illeszkednek a nemzetközi trendekhez. Az egyik legintenzívebben kutatott területek közé tartozik a megújuló energiaforrások között a napenergia hasznosítása, amelyre újszerű megoldást javasoltunk, és erre vonatkozóan vizsgálatokat végeztünk. A napenergia hasznosítás egyik leglényegesebb problémáját, a rendszerek hatásfokának növelését, illetve az ezzel szorosan összefüggő gazdaságosság javítását, a megtérülési idő csökkentését azáltal lehet elérni, ha egyrészt a kombinált energia konverzióban vagyis az együttes villamos és termikus átalakításban a hatásfok

és a gazdaságosság szempontjából előnyösebb megoldást találunk, másrészt a napsugárzásnak az eddigieknél szélesebb spektrumát hasznosítjuk. A javasolt speciális új hardver konstrukció egyesíti a napelemek és napkollektorok funkcióját az eddigiekhez képest gazdaságosabb módon, továbbá, a napsugárzás spektrumának mind a látható, mind az infravörös tartományba eső részét hasznosítja. Az elméleti és laboratóriumi vizsgálatok megerősítik a megoldás alkalmazhatóságát. A témával kapcsolatos kutatási eredményeinket 5 nemzetközi konferencián előadott publikációban tettük közzé. [4,5,6,39,42] Ezek a javasolt megoldás kutatásában elért elméleti, valamint a rendszer számítógépes szimulációjával kapcsolatos eredményeket ismertetik. A témához kapcsolódó további kutatási terület a hálózati visszahatással (EMC/EMI), valamint az elektrosztatikus kisüléssel (ESD) összefüggő kérdések vizsgálata. Ebben a témában is született egy nemzetközi konferencián előadott publikációnk [7].

Intenzív kutatást folytattunk a hulladékenergia hasznosítás területén. Számos helyen szükséges az energia ellátásban, az ipari folyamatokban a gőz- és gáz vezetékekben nyomáscsökkentést végezni, amit általában fojtószelepek, esetenként a kimenő nyomást automatikusan szabályzó fojtószelepek hajtanak végre. A nyomáscsökkentés során elvesző hulladékenergia visszanyerhető oly módon, hogy fojtószelep helyett nyomást csökkentő turbinát használunk, mellyel tengelykapcsolatba hozunk egy villamos generátort. A turbina által hajtott generátor termelte változó feszültségű és frekvenciájú villamos energiát egy szabályozott teljesítményelektronikai konverterláncon keresztül tápláljuk vissza a hálózatba, vagy esetleg látunk el szigetüzemben villamos fogyasztókat. A turbina-generátor egység nagy fordulatszámú, amelynek értéke gázturbina esetében 100-200 ezer fordulat/perc. A rendszerben fordulatszám szabályozás, turbina kimenőoldali nyomás szabályozó és további szabályozó körök találhatóak. A szabályozási feladatokat, továbbá a védelmi és a diagnosztikai funkciókat softveres úton végeztetjük el. A rendszer többszörösen nemlineáris pl. a villamos generátor, az indukciós gép miatt, részben pedig azért, mert a teljesítmény-elektronikai részben a kapcsolási időpontok a szabályozási körben lévő állapotváltozók függvényei. E témához szorosan kapcsolódnak a hálózat szennyezéssel, illetve a villamos teljesítmény minőségi mutatóinak javításával kapcsolatos kutatásaink. Esetünkben ez azt jelenti, hogy a hálózatoldali három fázisú inverter által a hálózata táplált villamos teljesítmény minőségi mutatóit kell egyebek között szabályozással biztosítani. A témakörben 7 angol nyelvű konferencia cikket jelentettük meg [13, 21, 29, 32, 33, 34, 41].

Kidolgoztunk egy angol nyelvű multimédiás programcsomagot, amely a nemlineáris dinamikus rendszerek elméleti alapjainak a Ph.D szintű tanítására és tanulására szolgál. A programcsomag két részből áll, melyek között elektronikusan alkalmazó barát módon könnyen és gyorsan lehet közlekedni. Az első program csomag "FOR CLASS" névre hallgat, célja hogy a tanár az előadáson kivetített formában használja. Ez oldalanként

animált színes ábrákat és/vagy diszkrét egyenleteket megoldó és animált formában megjelenítő oldalakat, zenét és hangos angol nyelvű szöveget tartalmaz. Az egyenlet-megoldó interaktív oldalakon a paramétereket, kezdeti feltételeket folyamatosan vagy diszkrétén állítani lehet, amelyek hatása az animált ábrakon online figyelhető meg.

A második rész a "FOR HOME". Ennek felépítése, alakja hasonló a színes tankönyvekhez. Itt az órán a tanár által elmondott magyarázó szöveg található általában részletesebben annál, mint amennyire egy-egy óra keretében erre lehetőség van. E témában 6 nemzetközi konferencia cikkünk jelent meg [14,18, 19,30, 31, 38].

A telemanipuláció témakörben a mester és szolga eszközök mozgásszabályozásán, pontosabban egy virtuális mester eszközön dolgoztunk. Azért nevezzük virtuálisnak a mestereszközt, mert nincs direkt fizikai kapcsolat a mester eszköz és az operátor között. Az operátor kezét két kamera figyeli, a kamerák kimenő jeleit számítógépre visszük, és a számítógép határozza meg a kézfej térbeli helyzetét a képek alapján. A kézfej pozíciójával és sebességével arányos a szolga eszköz pozíciója és sebessége. Az operátor egy monitoron kap vizuális visszacsatolást a kézfeje által generált értékekről. A kutatás eredményeit publikációkban és tudományos diákköri dolgozatban ismertettük, amely utobbi első helyezést kapott a szekciójában. Ugyancsak a telemanipuláció témában új eljárást dolgoztunk ki a gyalogosok globális közlekedési szokásainak megfigyelésére és a megfigyelt közlekedési szokások matematikai leírására. A kidolgozott módszer eredménye egy Globális Viselkedési Térkép, amelyre alapozva terveztük meg egy mobilrobot közlekedési viselkedését. A robot így alkalmazkodni tud térben mozgó emberek szokásaihoz, és a legkisebb mértékben zavarja a gyalogosok mozgását. Ezt kipróbáltuk néhány egyszerű kísérletben. A telemanipuláció témában 2 folyóirat és 3 konferencia cikk jelent meg [8,10,11,15 és 16].

Az alábbiakban felsoroljuk azokat az előadásokat, amelyeket a konferencia előadásokon kívül Amerikában, Ázsiában és Európában tartottunk az elmúlt 4 évben a kutatás eredményeiről:

1. I.Nagy "**Nonlinear Phenomena in Power Electronics**" The lecture was delivered for Prof. P.K.Jain's the invitation at the Queen's University, Kingston, Ontario, Canada, 28, January 2008.
2. **I. Nagy "Nonlinear Dynamics of Variable Structure Systems in Power Electronics"** The lecture was delivered for Prof. Ching-Tszi Pan's invitation at the Center for Advanced Power Technologies, National Tsing Hua University, Taiwan. 13, Nov 2007
3. **I. Nagy "Application of Nonlinear Dynamics in Power Electronics"** Key-note presentation. ICIEA'07 IEEE, Harbin, China, 23 May, 2007
4. **I.Nagy "Recent Trends in Power Electronics Focused to Nonlinear Dynamics"** Nagoya Institute of Technology, Japan, 31, March 2007

5. **I Nagy, "Recent Trends in Power Electronics Focused in Nonlinear Dynamics"** The lecture was delivered for Prof Kasa's invitation at the Okayama University of Science, Japan on 20 Nov 2006
6. **I. Nagy, "Nonlinear Dynamics in Power Electronics"** The Lecture was delivered for Dr. K. T. Chau's invitation at the Hongk-Kong University, Hong-Kong, 16. December, 2005
7. **I. Nagy, "Nonlinear Dynamics in Variable Structure Systems"**. The lecture was delivered for the invitation of Prof. David Howe, Head of Department of Electrical Machines and Drives Group, Electronic & Electrical Engineering, University of Sheffield, U.K., 28, October, 2005.
8. **I. Nagy, "Nonlinear Dynamics in Variable Structure Systems"**. The lecture was delivered for the invitation of Prof. Greg Asher, Head of School, The University of Nottingham, U.K., 27, October, 2005.
9. **I. Nagy, "Nonlinear Phenomena in Power Electronics"** The lecture was delivered for Dr. Kan Akatsu's invitation at the Tokyo University of Agriculture and Technology, Tokyo, Japan, April, 2005.
10. **I. Nagy, "Nonlinear Phenomena in Power Electronics"** The lecture was delivered for Prof. Shoji Nishikata's invitation at Tokyo Denky University, Tokyo, Japan, April, 2005.
11. **I. Nagy, "Bologna Declaration and the European Higher Education System"** The lecture was delivered for Prof. Shoji Nishikata's invitation at Tokyo Denky University, Tokyo, Japan, April, 2005.
12. **I. Nagy, "Teaching and Learning Power Electronics and Nonlinear Dynamics by Multimedia"** Invited speaker in Round Table discussion at the International Workshop on Power Electronics New Wave, Tokyo, Japan, 11., April, 2005. Invitation came from Prof. Miromichi Ohashi.
13. **I. Nagy, "Power Electronics Enriched by Nonlinearity"**, 60th Anniversary celebration of the Faculty of Electrical Engineering of Silesian University of Technology, Gliwice, Poland 24.09.2004.
14. **I. Nagy, Education and Research at Budapest University of Technology and Economics"**, The lecture was delivered by the invitation of Mr. Yumura, Head of Department in Mitsubishi Advance Technology Research Center, Osaka, Japan 2004.
- 15-17. **I. Nagy, "Nonlinear Dynamics in Power Electronics"**, The lecture was given by the invitation of
 - Mr. Yumura Head of Department, Mitsubishi Advance Technology Research Center, Osaka, Japan 2004.
 - Professor Mutoh, Tokyo Metropolitan Institute, Tokyo, Japan 2004.
 - Professor Hori, The University of Tokyo, Tokyo, Japan 2004.
- 18-19. **I. Nagy, "Nonlinear Behaviour of DC-DC Boost Converter Used for Power Factor Correction"**. The lecture was given by the invitation of
 - Professor Shinohara, Kagoshima University, Kagoshima, Japan 2004.
 - Professor Ninomiya, Kyushu University, Fukuoka, Japan, 2004.