



Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Gépészmérnöki Kar

Tézisfüzet

**Nemlineáris jelenségek
szakaszonként lineáris nemlineáris
mechatronikai rendszerekben**

Stumpf Péter Pál

Témavezetők
Dr. Nagy István
Dr. Ábrahám György

2013

A kutatás céljai, módszerei, az értekezés felépítése

A gépészeti és mechatronikai rendszerekben fellépő nemlinearitások számos váratlan és rendhagyó jelenséget okoznak. A mérnöki gyakorlatban fellépő nemlinearitások forrása leggyakrabban a sűrűdés, a telítődés, a hiszterézis, a holtlátás és a holtjáték. Egy másik típusú nemlinearitást okoznak a kapcsolások a teljesítményelektronikai konverterekben. Ezen berendezések egyre nagyobb szerepet játszanak a korszerű műszaki berendezésekben, a szerszámgépektől kezdve az ipari robotokon át a megújuló energiaforrásokat hasznosító rendszerekig, mivel velük költséghatékonyan megvalósítható a villamos és mechanikai energia oda-vissza történő átalakítása.

A kapcsolóüzemű konverterek váltakozó struktúrájú rendszerek, hiszen minden kapcsolás után egy másik struktúra valósul meg melyek adott számú kapcsolás után periodikusan követik egymást. Annak ellenére, hogy minden struktúrát jó közelítéssel lineárisnak tekinthetünk a teljes rendszer nemlineáris lesz. A nemlinearitás forrása, hogy a kapcsolási időpontok és így a strukturaváltások időpontjai belső állapotváltozók értékétől függenek vagy azokat nemlineáris Impulzusszélesség Modulációs (ISZM) algoritmus állítja elő.

A kutatási munkám egyik fő célja szakaszonként lineáris rendszerekben fellépő váratlan irreguláris viselkedések megértése és magyarázata. Erre példa a feszültség inverteres táplálású nagyfordulatszámú indukciós motor hajtás meghibásodása vagy a teljesítmény tényező javító (PFC) konverter bemeneti áramában fellépő áramhullámzások okának feltárása. A nemlineáris jelenségek megértése és vizsgálata elengedhetetlen a berendezések működési jellemzőinek javításához, megbízhatóságuk növeléséhez. A kutatási munkám másik fő célja az volt, hogy labilis szakaszonként lineáris rendszerek stabil tartományát kibővítssem egy új fajta módszerrel, a virtuális állapotvektorral. Erre példa a disszertáció második fejezetében bemutatott PFC konverter vizsgálata.

A disszertáció három fő fejezetre tagolódik a három fő kutatási témának megfelelően. A fejezetek felépítése mind a három esetben ugyanaz. A fő motiváció bemutatása után az adott kutatási témához kapcsolódó rövid irodalmi áttekintést következik. Ezek után az új eredmények bemutatásához szükséges elméleti háttér rövid összefoglalása kerül bemutatásra, melyet a numerikus és analitikus számításokkal, számítógépes szimulációkkal és laboratóriumi mérésekkel alátámasztott új eredmények részletes bemutatása követ. Minden fejezet végén az új tudományos eredmények összefoglalása található tézisek formájában. A fejezeteket a tézisekhez kapcsolódó publikációk és az új eredmények gyakorlati jelentőségének ismertetése zárja.

A három fő kutatási témát az alábbiakban röviden összefoglalom.

ISZM módszerek által generált egyenkomponens és szubharmonikus nagyfordulatszámú hajtásokban

Nagyfordulatszámú indukciós gép (USIM) meghibásodásai indították el ezt a kutatási témát az Impulzusszélesség Modulációs (ISZM) technikák terén. A problémák egyik fő forrása az ISZM vezérelt háromfázisú kétszintű feszültség-inverter és az indukciós gép kölcsönhatása volt.

Az ISZM vezérlésű feszültség inverterek egyik fő jellemzője nagyfordulatszámú hajtások esetén a kis értékű frekvencia arány $m_f = f_c/f_r$ ($m_f < 15$) a nagy f_1 alapharmonikus vagy f_r referencia frekvencia és a korlátos vívő f_c frekvencia miatt. Emiatt az állórész feszültség és áramok harmonikus tartalma sokkal kedvezőtlenebb mint a szokásos alacsonyabb f_1 frekvenciás hajtásokban. A kis értékű m_f okozta problémák nem csak nagyfordulatszámú hajtásokban, hanem nagy pólusszámú hajtások esetén is fellépnek, melyeket egyre gyakrabban használnak hibrid vagy elektromos autókban.

Többnyire a szakirodalomban azt állítják, hogy természetes mintavételezésű vívőfrekvenciás ISZM technikák esetén nem lép fel egyenkomponens az inverter kimenő feszültségében szinkronizált esetben, amikor a frekvencia arány m_f egész szám. Ugyanezt az eredményt sugallja a szakirodalomban az ISZM technikák harmonikus tartalmának meghatározására leggyakrabban alkalmazott dupla Fourier sorfejtés módszere. A disszertációmban meg mutattam: amikor m_f alacsony és egész szám jelentős egyenkomponens léphet fel természetes mintavételezésű ISZM technikák esetén ha m_f páros és nem osztható 3-mal (és $m_f < 21$). Ahogy a disszertációban bebizonyítottam az egyenkomponenst el lehet kerülni páros m_f -re, ha legfeljebb kétszer mintavételezzük a referencia jelet egy vívőperiódus alatt (Dupla Mintavételezésű ISZM).

Annak ellenére, hogy a szakirodalomban gyakran javasolják a szinkronizált ISZM technikák alkalmazását ha $m_f \leq 12 - 15$ még ha a referencia frekvencia változik is, a kereskedelemben kapható háromfázisú feszültség inverterek esetén a legtöbbször a vívőfrekvenciát csak diszkrét lépésekben (például 3-6-12-16 kHz) lehet változtatni. Ennek következtében a frekvencia arány jellemzően nem egész szám (aszinkron ISZM). Ez adja a gyakorlati jelentőségét az ISZM technikák által generált szubharmonikus feszültség komponensek hatásának vizsgálatának. Ahogy a disszertációban bebizonyítottam, annak ellenére, hogy a szubharmonikus feszültségkomponensek amplitudója kis érték, jelentős többletvesztést okozhatnak ha $m_f \leq 15$. Az eredményt annak a figyelembevételével kell értékelni, hogy számos publikáció azt állítja, hogy a szubharmonikusok hatása elhanyagolható.

Természetes mintavételezésű vívőfrekvenciás ISZM technika az egyik legkedvezőbb kis értékű m_f esetén hiszen nem okoz torzítást vagy késleltetés a referencia jelhez képest. Jelenleg is több kutatás foglalkozik a jellemzően analóg módon implementált természetes mintavételezésű ISZM technika digitális megvalósításával. Többnyire az FPGA párhuzamos számítási tulajdonságait

használják ki, hogy a mintavételek számának növelésével közelítsék a természetes mintavételezésű ISZM viselkedését. A disszertációban egy olyan módszer került bemutatásra, mellyel természetes mintavételezésű ISZM technikát lehet implementálni még kisteljesítményű mikrovezérlőben is, ahol az ISZM periféria regisztereit csak kétszer lehet frissíteni egy vívőperiódus alatt. A többi, a szakirodalomban fellelhető digitális természetes mintavételezésű módszerrel ellentétben a módszer előnye, hogy az algoritmust elegendő kétszer meghívni, illetve nem lép fel a többi módszerre jellemző többlet él generálás problémája.

Az elért eredményeket a disszertáció első fejezete tárgyalja részletesen. A három új tudományos eredmény az 1. Tézisben található. Az eredményeket számítógépes szimulációval és mérésekkel bizonyítottam.

Stabilitás vizsgálat a segéd állapotvektor segítségével

Kapcsolóüzemű teljesítményelektronikai konverterek igen gyakran használt be-
rendezések, hiszen megtalálhatóak az egyszerűbb háztartási eszközöktől kezdve
(például PFC konverter) a különböző korszerű hajtásokban (például egyen-
vagy váltóáramú motorhajtások) is. A folyamatosan növekvő, a még megbízha-
tóbb, még hatékonyabb és még olcsóbb rendszerek előállítására iránti igény miatt
elengedhetetlen az ilyen típusú változó struktúrájú konverterekről alkotott mi-
nél pontosabb matematikai leképezés és vizsgálat.

Gyakori hogy az ilyen változó struktúrájú szakaszonként lineáris nemlineáris
rendszerek stabilitásvizsgálata során egy átlagolt modellt használnak a struk-
túrák közötti kapcsolások hatását figyelmen kívül hagyva. Amíg ez a közelítő,
jellemzően lineáris modellt könnyen lehet vizsgálni a szabályozás és irányítás-
technika különböző módszereivel, addig a legtöbbször alkalmazott módszerek
képtelenek a kapcsolások hatásaként fellépő instabilitásokat figyelembe venni.
Fontos megjegyezni, hogy ameddig lineáris rendszerelmélet alapján a stabilitás-
vesztés azt jelenti, hogy az állapotváltozók minden korlát nélkül nőnek, addig
a nemlineáris rendszerek esetében a stabilitásvesztés nem jelenti az állapot-
változók határok nélküli változását. Nemlineáris rendszerek olyan labilisnak
tekintető irreguláris viselkedést is mutathatnak, mint kváziperiodikus, szub-
harmonikus vagy a kaotikus állapot.

A kutatásom célja kettős volt. Az egyik, hogy kapcsolóüzemű konverterek
stabilitásvizsgálatához az úgynevezett segéd állapotvektort használjam a külön-
böző szubharmonikus vagy kaotikus állapot kimutatásához. Másodszor, hogy
szintén a segéd állapotvektor használatának segítségével a labilis viselkedést
kompenzáljam és a stabil tartományt kibővítssem. A disszertációban két rend-
szert vizsgálatát végeztem el. Az egyik egy csúcsáram vezérelt állandó mágne-
ses egyenáramú hajtás, a másik meg egy digitálisan implementált átlagáramra
szabályozott Teljesítménytényező javító (PFC) konverter. Egy korábban pub-
likált újfajta módszert, a segéd állapotvektort használtam mind a két esetben
a stabilitásvizsgálathoz, melyet még nem alkalmaztak erre a két rendszerre.

Megmutattam, hogy a módszer alkalmas arra, hogy közvetlenül meghatározza a Jacobi mátrixot a Poincaré Térképfüggvény (PTF) meghatározása nélkül. A Jacobi mátrix sajátértékei alapján a bifurkációval kezdődő stabilitási határ egyértelműen meghatározható. A számított stabilitási határt szimulációs és laboratóriumi mérésekkel igazoltam mind a két rendszer esetén.

Az elért új eredményeket annak figyelembevételével értékelendő, hogy az irodalomban az egyenáramú hajtásra a PTF Jacobi mátrixát csak arányos szabályozóra határozták meg. Továbbá a szakirodalomban a nemlineáris dinamikát elsősorban az analóg módon implementált PFC konverterek stabilitásvizsgálatához alkalmazták és a digitálisan implementált PFC konvertereket lineáris rendszerelmélet segítségével vizsgálták.

Emellett megmutattam, hogy a vizsgálti módszer eredendően alkalmazható a stabilitási határ kibővítéséhez a vezérlőjelekhez kevert periodikus jelek segítségével. A periodikus jel paramétereit szintén a segéd állapot vektorral számítottam ki. Emellett javasoltam egy módszert, miszerint a PFC konverter esetén a stabilizáló háromszögjelet a bemenő szinuszos feszültséggel kell modulálni. A digitálisan implementált PFC konverter esetén a stabilizáló jel egyenletét levezettem a digitális tartományban is.

Az elért eredményeket a disszertáció második fejezete tárgyalja részletesen. A három új tudományos eredmény a 2. Tézisben található. Az eredményeket számítógépes szimulációval és mérésekkel bizonyítottam.

Térvektor moduláció mintavételezésének hatása mezőorientált szabályozású hajtásokra

Mezőorientált szabályozás az egyik leggyakrabban alkalmazott módszer a három fázisú váltakozó áramú hajtások fordulatszám és fluxus szabályozására köszönhetően az elérhető kiváló dinamikai tulajdonságoknak és a félvezető technológia látványos fejlődésének mind a teljesítményelektronikában, mind a digitális technikában. A számos előnynek köszönhetően a mezőorientált szabályozott motorokat széles körben alkalmazzák az alacsony költségű lakókörnyezetben használt berendezésektől kezdve, mint például mosógépek, a korszerű, drága és kiváló minőségi követelményeket támasztó rendszerekig, mint a közlekedési eszközök vagy a gyártásautomatizálás.

A korszerű rendszerekben egyre jobban terjednek a mechanikai fordulatszám/pozíció érzékelő nélküli hajtások. Egyrészt így csökkenthetőek a költségek másrészt a megbízhatóságot növelni lehet a mechanikailag sérülékeny, rezgésre, szennyeződésre kényes mechanikai szenzorok kiváltásával. Emiatt a kutatásaim során én is egy fordulatszám érzékelő nélküli mezőorientált szabályozást vizsgáltam.

Mezőorientált szabályozásokban széles körben alkalmazott módszer a nagy pontosságú sönt ellenállások alkalmazása a motorok állórész áramának mérésére

az alacsony költség és a pontos mérés technika miatt. Leggyakrabban a sönt ellenállásokat a kétszintű feszültség inverterekben az alsó kapcsolók alá helyezik el korlátozva ezzel az áram mintavételezési frekvenciáját f_s mely így a vivőfrekvenciával lesz egyenlő ($f_s = f_c$).

Az utóbbi években növekvő figyelem irányult a nagyfordulatszámú és nagy pólusszámú motorok iránt. Annak ellenére, hogy a legmodernebb digitális eszközök órajelei már a több tíz, akár több száz MHz-es tartományban vannak a mintavételezési frekvenciát a sönt ellenállással történő árammérési módszer korlátozza. Ez azt eredményezi, hogy nagyfordulatszámú vagy nagy pólusszámú hajtások maximális fordulatszáma környékén nem csak a vivőfrekvencia és fundamentális frekvencia aránya ($m_f = f_c/f_r$), de a mintavételi frekvencia és a referencia frekvencia ($F = f_s/f_1$) aránya is alacsony szám lesz. Az F frekvencia arány alacsony értéke csökkenti a zárt hurkú mezőorientált szabályozás megbízhatóságát, teljesítményét.

A kutatási munkám során szimulációval és mérési eredményekkel is megmutattam, hogy alacsony F érték esetén a szabályozás megbízhatóságát jelentősen növelni lehet a sönt ellenállással történő árammérés esetén alkalmazott Reguláris Mintavételezés helyett - a forgórész fluxus megváltozásának megbecsülésével - a Dupla Mintavételezésű térvektoros moduláció használatával. A módszerrel a hajtás robusztusságát növelni lehet továbbá a stabilis tartomány kiterjeszhető. A szükséges többlet számítás igény csekély, ami a mikrovezérlő vagy a DSP értékes processzor idejéből csak egy kis szeletet vesz el.

Az elért eredményeket a disszertáció harmadik fejezete tárgyalja részletesen. Az új tudományos eredményt a 3. Tézis foglalja össze. Az eredményt számítógépes szimulációval és mérésekkel bizonyítottam.

Tézisek

1. Tézis

1.a

Vivőfrekvenciás ISZM technikák esetén a $V_{DC,x}$ egyenkomponens pontos értéke meghatározható a $v_{ref,x}$ referencia jel α_i kapcsolási időpontokban érvényes értékének összegeként:

$$V_{DC,x} = \frac{1}{4m_f} \left(\sum_{i=1}^{2m_f} v_{ref,x}(\alpha_i) \right) V_{DC}$$

ahol x az alkalmazott modulációs technikát jelöli.

Egyfázisú rendszerben nem keletkezik egyenkomponens természetes mintavételezésű vivőfrekvenciás ISZM technika esetén, ha a frekvencia arány páratlan. Túlmintavételezett vivőfrekvenciás ISZM technika alkalmazása során csak akkor lép fel egyenkomponens ha a mintavételek száma egy vívőjel periódusa alatt $n \geq 4$. Egyenkomponens keletkezik Reguláris Mintavételezésű harmadik harmonikus moduláció és térvektoros moduláció esetén ha a frekvencia arány $m_f = 3$ illetve $m_f = 3, 5, 7, 9, 15, 21, \dots$. Háromfázisú rendszerben a fázisonkénti egyenkomponensek kioltják egymást és káros hatást nem okoznak ha a frekvencia arány a három többszöröse vagy Reguláris Mintavételezésű ISZM kerül alkalmazásra. A holtidő csökkenti az egyenkomponens nagyságát.

1.b

Annak ellenére, hogy a vivőfrekvenciás ISZM technikák által generált szubharmonikus feszültségkomponens kis érték, a szubharmonikus fluxus és áram komponens meglepően és károsan nagy lehet a nagyon kis értékű szubharmonikus frekvencia miatt. A szubharmonikus fluxus és áram jelentős többlet állórész és forgórész körüli réz veszteséget okoz. A nagyfordulatszámú indukciós gép speciális paraméterei tovább erősítik a szubharmonikus komponens káros hatását.

1.c

Természetes mintavételezésű vivőfrekvenciás ISZM technikák viselkedését kellő pontossággal közelíteni lehet nyílt hurkú vezérlés esetén digitális mikrovezérlőbe implementált, a referencia jel és a vívőjel metszéspontjait valós időben kiszámító algoritmus segítségével.

A tézisponthoz kapcsolódó folyóiratcikkek: [J1, J2, J4]

A tézisponthoz kapcsolódó konferencia közlemények: [P4, P5, P7, P8, P9]

2. Tézis

2.a

A csúcsáram vezérelt állandó mágneses egyenáramú motor Poincaré Térkép-függvényének (PTF) Jacobi mátrixa közvetlenül a PTF előállításával nélkül meghatározható a segéd-állapotvektor segítségével PI típusú sebességszabályozás esetén.

2.b

A digitálisan megvalósított átlag áram szabályozott teljesítménytényező javító (PFC) konverter kritikus szöge, amelyet követően az áramjelben hullámzások jelennek meg, meghatározható a segéd-állapotvektor segítségével amikor a számítási holtidő modellezéséhez másod rendű Padé közelítést alkalmazunk és figyelembe vesszük a zérussorendű tartó és a nemideális áramköri elemek hatását.

2.c

Mind az egyenáramú hajtás, mind a PFC konverter esetén a stabilis periódus-1 állapot kiterjeszthető a vezérlőjelekhez kever háromszög jel segítségével, melynek paramétere a segéd-állapotvektor segítségével határozható meg. A PFC konverter esetén a stabilizáló háromszögjelet a bemenő szinuszos feszültséggel kell modulálni.

A tézishez kapcsolódó folyóiratcikkek: [J3]

A tézishez kapcsolódó konferenciaközlemények: [P1, P2, P10, P11, P12]

3. Tézis

3.

Sebesség érzékelő nélküli mezőorientált indukció motoros hajtás stabilis tartománya kiterjeszhető a térvektoros moduláció referencia jeleinek újraszámolásával a vivőjel negatív csúcsánál (Dupla Mintavételezésű moduláció) a forgórész fluxus megváltozásának megbecslése révén. Ilyenkor az állórész áram mérése az inverter negatív oldali kapcsolóival sorba kapcsolt sönt ellenállással történik, míg emiatt az áram mintavételezés, a fordulatszám és a forgórész fluxus becslése, a szabályzójelek számítása csak a vivőjel pozitív csúcsánál és közvetlenül utánuk kerül sorra.

A tézishoz kapcsolódó konferenciaközlemények: [P3, P6]

A tézispontokhoz közvetve kapcsolódó publikációk: [R1, R2, R3, R4, R5, R6, R7, R8, R9]

Folyóiratcikkek

- [J1] **P. Stumpf**, R. K. Járdán, and I. Nagy, „Analysis of the impact of space vector modulation techniques on the operation of ultrahigh speed induction machines,” *Mathematics and Computers in Simulation, Elsevier*, vol. 90, pp. 132–144, 2013.
- [J2] **P. Stumpf**, R. K. Járdán, and I. Nagy, „Subharmonics generated by space vector modulation in ultrahigh speed drives,” *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 59, no. 2, pp. 1029–1037, 2012.
- [J3] **P. Stumpf** and I. Nagy, „Motor drive stabilization in its chaotic region,” *Transactions on Electrical Engineering*, vol. 1, no. 1, pp. 19 – 25, 2012.
- [J4] R. K. Járdán, **P. Stumpf**, P. Bartal, Z. Varga, and I. Nagy, „A novel approach in studying the effects of subharmonics on ultrahigh-speed ac motor drives,” *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 58, no. 4, pp. 1274–1281, 2011.

Nemzetközi konferencia kiadványban megjelent lektorált cikk

11 cikk angol és 1 cikk magyar nyelven

- [P1] **P. Stumpf**, A. Lőrincz, and I. Nagy, „Stability of digitally controlled PFC boost converter with auxiliary state vector,” in *2013 IEEE International Symposium on Industrial Electronics (ISIE), Taipei, Taiwan*, pp. 1–6, IEEE, 2013.
- [P2] **P. Stumpf**, A. Lőrincz, and I. Nagy, „Analysis and compensation of oscillations in digitally controlled pfc converter,” in *IECON 2013-39th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society, Wien, Austria*, pp. 8348–8353, IEEE, 2013.
- [P3] **P. Stumpf**, R. J. Kalman, and I. Nagy, „Digitally implemented naturally sampled svm applied in speed sensor-less field oriented controlled induction motor drive,” in *Proceedings of the 12th Brazilian Power Electronics Conference (COBEP2013), Gramado, Brazil*, pp. 793–800, SOBRAEP, 2013.
- [P4] **P. Stumpf**, R. K. Járdán, and I. Nagy, „Comparison of naturally sampled pwm techniques in ultrahigh speed drives,” in *2012 IEEE International Symposium on Industrial Electronics (ISIE), Hangzhou, China*, pp. 246–251, IEEE, 2012.
- [P5] **P. Stumpf**, R. K. Járdán, and I. Nagy, „DC components and subharmonics generated by naturally sampled pwm techniques,” in *IECON 2012-38th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society, Montreal, Canada*, pp. 327–332, IEEE, 2012.
- [P6] **P. Stumpf**, R. K. Járđan, and I. Nagy, „Effect of sampling space vector modulation in speed control loops of ultrahigh speed drives,” in *2012 15th International Power Electronics and Motion Control Conference (EPE/PEMC), Novi Sad, Serbia*, pp. LS6a–3, IEEE, 2012.

- [P7] **P. Stumpf**, Z. Varga, R. J. Kalman, and I. Nagy, „Analysis of space vector modulation techniques applied in voltage source converters of ultrahigh speed induction motor drives,” in *Proceedings of the 2011-14th European Conference on Power Electronics and Applications (EPE 2011), Birmingham, UK*, pp. 1–10, IEEE, 2011.
- [P8] **P. Stumpf**, D. T. Sepsi, R. K. Jardan, and I. Nagy, „Space vector modulation techniques applied in voltage source converters of ultrahigh speed induction machines,” in *2011 IEEE International Symposium on Industrial Electronics (ISIE), Gdansk, Poland*, pp. 402–407, IEEE, 2011.
- [P9] **P. Stumpf**, Z. Varga, T. Sepsi, R. K. Járdán, and I. Nagy, „Ultrahigh speed induction machine overheated by subharmonics of pwm inverter,” in *IECON 2010-36th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society, Glendale, USA*, pp. 1754–1759, IEEE, 2010.
- [P10] **P. Stumpf**, Z. Sütő, and I. Nagy, „Unexpected test results with variable structure nonlinear systems and their theoretical background,” in *PEIA 2011 Workshop on Power Electronics in Industrial Applications and Renewable Energy, Doha, Qatar*, pp. 39 – 44, IEEE, 2011.
- [P11] **P. Stumpf** and I. Nagy, „Állandó mágneses egyenáramú hajtás kaotikus viselkedése (magyarul),” in *OGÉT XIX. Nemzetközi Gépészeti Találkozó, Csíksomlyó, Románia*, pp. 335 – 338, 2011.
- [P12] **P. Stumpf**, A. Lorincz, and I. Nagy, „Analysis and compensation of chaotic response in DC motor drive,” in *3rd International Students Conference on Electrodynamics and Mechatronics, Opole, Poland*, pp. 83 – 88, 2011.

A tézispontokhoz közvetve kapcsolódó publikációk

- [R1] **P. Stumpf** and I. Nagy, „Study of doubly fed induction generator for wind power application,” in *International Conference on Clean Electrical Power (ICCEP), Alghero, Italy*, pp. 403–410, 2013.
- [R2] Z. Varga, **P. Stumpf**, R. K. Járdán, and I. Nagy, „Application of ultra-high speed induction machine for waste or renewable energy recovery,” *International Journal of Renewable Energy Research (IJRER)*, vol. 1, no. 4, pp. 200–211, 2012.
- [R3] **P. Stumpf**, Z. Sütő, and I. Nagy, „Phenomena discovered in development phase in variable structure systems and their explanations, (pleanáris előadás),” in *The 3rd Power Electronics, Drive systems and Technologies Conference (PEDSTC), Tehran, Iran*, 2012.
- [R4] **P. Stumpf**, D. T. Sepsi, R. K. Jordan, and I. Nagy, „Comparative analysis of ICEVs and different types of EVs,” in *ELECTRIMACS, Paris, France*, pp. 1–6, 2011.
- [R5] Z. Varga and **P. Stumpf**, „Villamos hajtások (magyarul),” *ElektroNet*, vol. 20, no. 2, pp. 12–15, 2011.
- [R6] **P. Stumpf**, „Multimedia material for teaching and e-learning in non-linear dynamics and power electronics,” in *2010 IEEE International Symposium on Industrial Electronics (ISIE), Bari, Italy*, pp. 3906–3911, IEEE, 2010.
- [R7] **P. Stumpf**, R. K. Jordan, and I. Nagy, „Dynamics of different speed controls of ultra high speed induction generator using approximate and accurate model,” in *2010 International Symposium on Power Electronics Electrical Drives Automation and Motion (SPEEDAM), Pisa, Italy*, pp. 1024–1029, IEEE, 2010.
- [R8] **P. Stumpf**, R. K. Járdán, and I. Nagy, „Speed control of ultrahigh-speed turbine-generator set with nonlinear control-loop applied for waste and renewable energy recovery,” in *European Control Conference ECC, Budapest, Hungary*, pp. 4193–4198, 2009.

- [R9] G. Sziebig, P. Korondi, Z. Sütő, **P. Stumpf**, R. Jordan, and I. Nagy, „Integrated e-learning projects in the european union,” in *IECON 2008. 34th Annual Conference of IEEE Industrial Electronics, Orlando, Florida*, pp. 3524–3529, IEEE, 2008.