

## STABILITATE, BIFURCAȚIE ȘI HAOS LA CONVERTOARE DC-DC ÎN COMUTAȚIE

### Teză de doctorat – Rezumat

pentru obținerea titlului științific de doctor la

Universitatea Politehnica Timișoara

în domeniul de doctorat Inginerie electronică, telecomunicații și tehnologii informaționale

**autor ing. Mircea Gurbină**

conducător științific Prof. univ. dr. ing. Dan Lascu

luna iunie anul 2019

Elaborarea prezentei teze de doctorat pornește de la **motivația** determinată de impactul electronicii în domeniul industrial, al energiei verzi și nu numai, care impune în particular surse de alimentare performante, cu fiabilitate și randament mare, miniaturizare, tensiuni și curenti programeți, protecția consumatorului, poluare armonică redusă, compatibilitate electromagnetică, etc. Convertorale dc-dc în comutație sunt structurile indispensabile practic în orice echipament, fie că este vorba de circuite PFC, fie că ne referim la stabilizatoare în comutație, charger-e automotive, procesarea energiei fotovoltaice, instalații de electroliză sau echipamente de sudare. Marele inconvenient al convertoralelor dc-dc în comutație este că ele sunt sisteme neliniare funcționând cu cel puțin o buclă de reacție, cărora le sunt tipice fenomenele de instabilitate, bifurcație și haos. De aceea cunoașterea în profunzime a cauzelor ce pot declanșa un astfel de comportament nedorit este de mare interes.

**Importanța și actualitatea temei** este justificată de pe de o parte de valoarea echipamentelor electronice de acest tip tranzacționate pe piața produselor electronice care conform unui studiu realizat de către Worldwide Market for Power Supplies, a fost de 1125 milioane de euro în 2013, cu o prognoză spectaculoasă de 1665 milioane de euro în anul 2025. Fenomenele neliniare în electronică au început să fie studiate de-abia spre finalul secolului XX și aceste "anomalii" funcționale erau, prin incapacitatea de abordare, desemnate ca fenomene incomprehensive. Deși mulți considerau la început că acestea, ca și subiecte de studiu, se vor epuiza rapid, realitatea infirmă această concepție tocmai prin dinamica și diversitatea surselor de alimentare dc-dc. Astfel au apărut convertorale dc-dc rezonante cu randamente superioare, altele înglobează comenzi de altă natură decât cele clasice cum ar fi  $V^2$  sau  $I^2$ , COT sau FOT, dar și multe altele ce le-au modificat pe cele uzuale prin combinații de topologii, care cu siguranță vor conduce la convertorale viitorului. După o scădere a interesului pentru bifurcație și haos în electronică de putere, ultimii ani au arătat o revenire asupra acestui domeniu, concretizat în numeroase publicații, workshop-uri sau prelegeri.

**Încadrarea temei în preocupările internaționale** este argumentată prin numeroasele publicații ce abordează fenomenele de neliniaritate, bifurcație și haos: revista International Journal of Bifurcation and Chaos, Elsevier: Nonlinear Analysis, Physica D (Nonlinear Phenomena), IEEE Transactions on Power Electronics, IEEE Transactions on Industrial Electronics, etc. Pe lângă acestea au fost editate o serie de cărți, unele devenite lucrări de referință, cum ar fi: A. Aroudi, S. Banerjee, G. Verghese, "Chaos in Switching Converters for Power Management"; S. Banerjee, G. C. Verghese, "Nonlinear Phenomena in Power Electronics"; C.K. Tse, "Complex Behavior of Switching Power Converters" Z. T. Zhusubaliyev, E. Mosekilde "Dynamical Systems", etc.. De asemenea, articole pe tematică de bifurcație și haos în electronică de putere apar în toate conferințele de prestigiu din domeniu, iar interesul actual al mulțor cercetători de renume: A. Aroudi; S. Banerjee ; G. Verghese; W.

C. Y. Chan; C. K. Tse; D. Maksimović; S. Ćuk, pentru studiul fenomenele de bifurcație și haos, încadrează prezența lucrare în aceeași direcție a preocupărilor internaționale.

**Obiectivele științifice propuse** spre rezolvare au ca scop studiul fenomenelor neliniare din convertoare dc-dc în comutație la frecvență constantă, cu funcționare atât CCM cât și DCM, utilizând diferite tehnici de comandă - one cycle (OCC), comandă în curent, comandă prin sarcină – diferite tehnici de modulație – leading-edge (LE), trailing-edge (TE) triunghiulară – precum și eșantionare naturală și uniformă. S-a urmărit de fiecare dată dezvoltarea unor metode de analiză exacte, fără trunchierea seriilor Taylor și de asemenea, generale, aplicabile oricărui topologie care să permită determinarea cu precizie a valorii critice a parametrului pentru care apare fenomenul de bifurcație.

**Metodele de cercetare abordate** sunt de manieră tradițională în electronica de putere, bazate pe identificarea problemei, modelarea matematică a conceptului teoretic, simularea acestuia pentru o primă validare, optimizarea conceptului, proiectarea lui și în final realizarea experimentului ca modalitate de validare finală.

În cadrul tezei s-au utilizat abrevieri și notații care sunt în deplină concordanță cu cele acceptate la nivel internațional, adoptându-se în mare măsură denumirile provenite din literatura anglo-saxonă.

**Capitolul 1** face o prezentarea a stadiului actual în domeniul și a aparatului matematic specific. Plecând de la ecuațiile clasice ale sistemului lui Lorenz și ecuația lui Feigenbaum, sunt analizate sistemele dinamice sub aspectul stabilității lor prin definirea regimurilor de lucru și a metodelor utilizate, atât analitic – liniarizarea, exponentii Lyapunov, cât și grafic – secțiunea Poincaré, pentru a putea fi înțelese mai bine fenomenele ce sunt relevante pentru diverse tipuri de convertoare DC-DC în capitolele ce urmează. S-a sintetizat o clasificare a bifurcațiilor, cu menționarea scenariilor sau rutelor ce conduc spre bifurcație și haos.

**Capitolul 2** face o analiză a comenzi OCC neideale demonstrând faptul că pentru cazul real al convertorului buck cu comandă OCC la care descărcarea condensatorului de integrare se face printr-o rezistență nenulă, sistemul este guvernă de ecuații de tip Lambert, putând deveni instabil și prezintând o bifurcație cu dublarea perioadei. Se demonstrează că stabilitatea nu depinde pe parametrii absoluci ci de valorile lor normalize și de asemenea, se arată că stabilitatea nu depinde de sarcină. Toate considerațiile teoretice au fost validate de simulare și experimente.

**Capitolul 3** își propune extinderea analizei comenzi OCC la convertoare de ordinul 4 ideale: Ćuk, Sepic și Zeta. Analiza utilizează o tehnică bazată pe considerații geometrice, asemănătoare analizei comenzi în curent. Analiza de detaliu s-a făcut pe convertorul Zeta, arătându-se ulterior cum aceasta poate fi extinsă la convertoarele Ćuk și Sepic. Se demonstrează că în acest mod de comandă aceste convertoare sunt necondiționat instabile.

**Capitolul 4** începe cu dezvoltarea unei noi metode de analiză generală și exactă convertoarelor dc-dc cu două stări topologice. Relațiile dezvoltate sunt date în formă vectorială sub forma unei relații de recurență și a unei constrângeri reprezentată de comandă. Liniarizarea acestor relații permite investigarea stabilității locale, fiind data expresia vectorială a Jacobianului, precum și sistemul transcendent care permite găsirea valorilor vectorului de stare și a factorului de umplere aferente stării staționare. Această tehnică se poate aplica nu numai oricărei topologii, ci și în tandem cu orice metodă de comandă, tehnică de modulație sau tip de eșantionare. Se exemplifică acestea începând cu aplicarea metodei la convertoare dc-dc cu comandă proporțională și modulație pe front ridicător și pe front coborător cu purtătoare rampă și eșantionare naturală. Atât în cazul în care parametrul de bifurcație este tensiunea de referință dar și când acesta este tensiunea de alimentare se arată că instabilitatea apare cu bifurcație de tip Neimark-Sacker. Apoi este reinvestigat de manieră pur analitic convertorul buck cu comandă OCC și resetare neideală a integratorului, relevându-se bifurcația cu dublarea perioadei la modificarea tensiunii de referință, confirmată de simulare.

și experiment. În finalul capitolului sunt analizate convertoarele cu comandă prin sarcină demonstrându-se și validându-se prin simulare și experiment fenomenul de bifurcație cu dublarea perioadei.

**Capitolul 5** este unul eminentamente teoretic, propunând o metodă de analiză a fenomenelor de instabilitate pentru convertoare cu trei stări topologice. Metoda este una exactă și generală, aplicabilă oricărei topologii. Sunt furnizate ecuațiile generale ale relației de recurență și ale celor două strângeri, modul de determinare a punctului static de funcționare, al Jacobianului și pașii care trebuie parcursi în aplicarea tehnicii propuse. Se arată că metoda se poate simplifica eliminând o constrângere în situația în care cei doi factori de umplere pot fi exprimați în funcție de factorul de umplere al unui întrerupător activ.

**Capitolul 6** are ca subiect investigarea convertoarelor dc-dc CCM cu modulație triunghiulară LE și TE având eșantionare uniformă sau naturală și controller proporționale, aplicându-se tehnica de analiză propusă în Capitolul 5. Se arată că există deosebiri calitative majore în sensul că pentru eșantionarea uniformă bifurcația este de tip Neimark-Sacker, în timp ce pentru cea naturală bifurcația este de tipul cu dublarea perioadei. Sunt analizate situațiile cele mai favorabile din punct de vedere al formei tensiunii purtătoare. Pentru eșantionarea uniformă acesta este optimă dacă este un dintre de ferăstrău crescător, în timp ce pentru eșantionarea naturală purtătoare triunghiulară simetrică asigură amplificare diferențială maximă. Se arată, de asemenea că pentru un convertor buck cu eșantionare naturală și purtătoare simetrică se obține stabilitate necondiționată pentru purtătoare simetrică, aceasta menținându-se chiar pentru un domeniu de asimetrie al purtătoarei.

**Capitolul 7** este dedicat studiului stabilității exacte a convertoarelor dc-dc cu controller cu amplificator de eroare de tip 2 și de tip 3. Parametrul de bifurcație ales este rezistența care în metoda factorului  $K$  se alege arbitrar. Se demonstrează instalarea instabilității cu bifurcație Neimark-Sacker, dar faptul cel mai important este concluzia că dimensionarea amplificatoarelor de eroare cu metoda factorului  $K$  sau prin metoda plasării polilor și zerourilor, ambele bazate pe modele mediate și liniarizate este una pesimistă, existând o rezervă de stabilitate ce poate fi valorificată prin îmbunătățirea dinamicii convertoarelor în buclă închisă.

**Capitolul 8** are trei obiective de studiu: un convertor Čuk neideal cu comandă în curent, același convertor cu comandă OCC și un convertor boost bifazic cu bobine cuplate. Punctul forte al capitolului este determinarea cu exactitate a valorilor parametrilor la care apare instabilitatea prin bifurcație, de o manieră mult mai exactă în comparație cu aproximările limitative sau localizarea în intervale date în literatură. Pentru analiza convertorului boost bifazic este propusă o metodă generală de analiză a convertoarelor dc-dc funcționând cu 4 stări topologice, metoda prognozând corect apariția bifurcației de tip Neimark-Sacker.

**Capitolul 9** își propune o analiză a convertoarelor dc-dc cu funcționare DCM cu eșantionare naturală, uniformă, și comandate în curent. S-a reușit obținerea relației de recurență dorite evitând elegant problemele induse de singularitatea unei matrice de stare din a treia stare topologică. S-a arătat că și în DICM există diferențe majore din punct de vedere calitativ în ceea ce privește stabilitatea pentru cele două tipuri de eșantionări. Astfel, pentru un convertor boost cu eșantionare naturală și uniformă și controller proporțional în care amplificarea este parametrul de bifurcație fenomenul de instabilitate este bifurcația Neimark-Sacker, fapt confirmat și experimental. Mai mult, este infirmată aserțiunea din literatură că între eșantionarea naturală și cea uniformă diferențele sunt minore. Un aspect interesant relevat în acest capitol este evidențierea stabilității necondiționate pentru un convertor buck DICM cu comandă proporțională și eșantionare naturală. În finalul capitolului este investigat un convertor buck DICM cu comandă în curent pentru care este evidențiată instalarea instabilității prin coliziune de graniță.

**Capitolul 10** reunește concluziile finale și face sinteza tuturor contribuțiilor personale ce au rezultat în cadrul tezei, fiind reluate aici contribuțiile semnalate și la sfârșitul fiecărui capitol. Totodată aici sunt prezentate unele programe și sugestii asupra unor posibile viitoare direcții de cercetare.

Pentru fiecare studiu adoptat strategia de a se începe prin elaborarea conceptelor teoretice, cu furnizarea tuturor relațiilor matematice necesare, urmată de verificarea prin simulare și în final validarea prin experiment. În acest spirit **Anexele** tezei cuprind toate programele Matlab dezvoltate pentru verificarea conceptelor teoretice. Nu sunt introduse aici schemele de simulare, întrucât ele au fost inserate în capitolele care au tratat problematica respectivă. Tot în anexe sunt prezentate câteva detalii foto corespunzătoare experimentelor realizate.

Rezultatele obținute în cadrul tezei au fost diseminate și validate prin publicare în reviste și conferințe internaționale după următoarea distribuție:

18 articole, dintre care la 8 doctorandul este prim autor, distribuite astfel:

- 13 articole indexate WoS dintre care
  - 2 articole indexate în reviste indexate WoS, dintre care 1 revistă în cvasila Q2
  - 11 articole la conferințe internaționale indexate WoS
- 5 articole indexate BDI dintre care
  - 4 articole în reviste indexate BDI
  - 1 articol la o conferință indexată BDI

Lucrările publicate au primit în total 15 citări independente, excluzând autocitările și citările tuturor autorilor. Factorul de impact cumulat al citărilor independente este 2 conform Journal Citation Report publicat de Clarivate Analytics în 2019. Citările sunt grupate în funcție de bazele de date în care sunt indexate astfel:

- 3 citări indexate în Clarivate Analytics Web of Science, h-index 2
- 15 citări indexate în baze de date internaționale, h-index 2
- 11 citări indexate în Google Scholar , h-index 2

Teza de doctorat cuprinde:

- 298 de pagini
- 187 de figuri
- 26 tabele
- 122 referințe bibliografice
- 62 anexe

### Bibliografie semnificativă

1. Hamill, D. C., Jefferies, D. J., „Subharmonics and chaos in a controlled switched-mode power converter,” IEEE Trans. on Circuits and Systems, vol. 35, nr. 8, pp. 1059-1061, 1988.
2. Hamill, D. C., Deane, J. H. B., Jefferies, D. J., „Modeling of Chaotic DC-DC Converters by Iterated Nonlinear Mappings,” IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 7, nr. 1, pp. 25-36, 1992.
3. Aroudi, A. E., Debbat, Giral, M. R., Olivar,G., Benadero,L., Toribio, E., „Bifurcations in dc-dc switching converters: review of methods and applications,” International Journal of Bifurcation and Chaos, vol. 15, nr. 5, pp. 1549-1578, 2005.
4. Banerjee, S., Verghese, G., Nonlinear Phenomena in Power Electronics, Wiley: Hoboken, 2001.

5. C. K. Tse, Complex Behavior of Switching Power Converters, New-York: 1st Edition CRC Press, 2003.
6. Vilamitjana, E. R., Aroundi, A.E., Alarcon, E., Chaos in Switching Converters for Power Management, New York: Springer Science+Business Media, 2013.
7. Tymerski, R., „Frequency analysis of time-interval modulated switched networks,” IEEE Trans. Power Electron, vol. 6, nr. 4, pp. 287-295, 1991.
8. C. Basso, Switch-Mode Power Supplies, New York: Mc Graw Hill - Second Edition, 2014.
9. Ma, W., Wang, M., Li, C., „Control of bifurcation in the one-cycle controlled Cuk converter,” Springer, Nonlinear Dynamics [Online], vol. 67, nr. 4, pp. 2573-2583, 2012.
10. Tang N.; Yang K.; Huang H.; Lee C-K., „The Application of One-Cycle Control Technology in Electric,” în Earth and Environmental Science 170, Ordos, China, 2018.
11. M. Gurbină, D. Lascu, “Stability Aspects in One-Cycle Controlled Buck Converters” Advances in Electrical and Computer Engineering, Vol.14 number 1/2014, p. 43-48, Publication Year: 2014 Vol.14 number 1/2014, p. 43-48, ISSN: 1582-7445, eISSN: 1844-7600;, WOS:000332062300007, Web of Knowledge - Thomson Reuters ISI/ Web of Science. JCR Impact Factor: 0,529 și JCR 5-ani Impact Factor: 0,476.
12. M. Gurbină, A. Ciresan, D.Lascu., S. Lica, I-M Pop-Călimanu, "A New Exact Mathematical Approach for Studying Bifurcation in DCM Operated dc-dc Switching Converters" Energies 2018, 11(3), 663; p.1-25, <https://doi.org/10.3390/en11030663>, ISSN: 1996-1073, WOS: 000428304300191, Web of Knowledge - Thomson Reuters ISI/ Web of Science. Impact Factor: 2.676 (2017) ; 5-ani Impact Factor: 3.045 (2017).
13. M. Gurbină, D. Drăghici, A. Cireşan, D. Lascu, "A New General Mathematical Technique for Stability and Bifurcation Analysis of DC-DC Converters Applied to One-Cycle Controlled Buck Converters with Non-Ideal Reset", Proceedings of the 14th International Conference on OPTIMIZATION OF ELECTRICAL AND ELECTRONIC EQUIPMENT OPTIM 2014, May 22-24, 2014, Brasov (Bran), Romania, pp. 576-581, ISBN 978-1-4799-5183-3, ISSN 1842-0133, 2014 IEEE - pentru lucrare, DOI:10.1109/OPTIM.2014.6850891 (IEEE), WOS:000343551300085, INSPEC Accession Number: 14432814, Web of Science
14. D. Drăghici, M. Gurbină, A. Cireşan, D. Lascu, "Predictive Leading-Edge Modulation Average Current Control in DC-DC Converters", Proceedings of the 14th International Conference on OPTIMIZATION OF ELECTRICAL AND ELECTRONIC EQUIPMENT OPTIM 2014, May 22-24, 2014, Brasov (Bran), Romania, pp. 588-594, ISBN 978-1-4799-5183-3, ISSN 1842-0133, ISBN (ISSN):978-1-4799-5183-3/14 ©2014 IEEE DOI:10.1109/OPTIM.2014.6850890 (IEEE), WOS:000343551300087, INSPEC Accession Number: 14447020, Web of Knowledge - Thomson Reuters ISI/ Web of Science și IEEE Explore 2014.

15. M. Gurbină, S. Lica, D. Lascu, "Stability and bifurcation aspects in charge controlled DC-DC converters", in 2014 11th International Symposium on Electronics and Telecommunications (IETC), pp.33-36, 14-15 Nov. 2014, ISBN: 978-1-4799-7267-8, DOI: 10.1109/IETC.2014.7010740, WOS: 000366633300008, Web of Science.
16. D. Draghici, M. Gurbină, D. Lascu, "Stability Analysis of DC-DC Converters Employing Digital Predictive Leading Triangle Modulation Valley Current Control", 37th International Conference on Telecommunications and Signal Processing (TSP), July 9-11, 2015, Praga, Cehia, Page(s): 1–6. DOI: 10.1109/TSP.2015.7296407; ISBN:978-1-4799-8498-5; WOS:000375231000033; Web of Science.
17. I.-M. Pop-Călimanu, S. Lica, D. Lascu, F. Renken, M. Gurbină, R. Mîrșu "A Novel Hybrid Step-Down DC-DC Converter", 2018 IEEE 18th International Power Electronics and Motion Control Conference (PEMC) pp.1-4, 26-30 August 2018, Budapesta, Ungaria, ; WOS: 000462062900004;
18. M. Gurbină, I.-M. Pop-Călimanu, D. Lascu, S. Lica, A. Ciresan, "Exact Stability Analysis of a Two-Phase Boost Converter", 41st International Conference on Telecommunications and Signal Processing (TSP), pp.1-4, 4-6 July 2018, Atena, Grecia, WOS: 000454845100075, DOI: 10.1109/TSP.2018.8441450
19. M. Gurbină, D. Lascu, "Unfeasability of One Cycle Control when Applied to ZETA Converters", International Review of Automatic Control (IREACO), 2012, Mar 2012, Vol. 5, Issue 2, pp. 172 – 178., BDI.
20. M. Gurbină, D. Lascu, "Analysis of one cycle controlled SEPIC converters", Symposium on Applied Computational Intelligence and Informatics (SACI), 2012 7th edition, DOI: 10.1109/SACI.2012.6250040, Publication Year: 2012 , Page(s): 415–420, BDI

15. M. Gurbină, S. Lica, D. Lascu, "Stability and bifurcation aspects in charge controlled DC-DC converters", in 2014 11th International Symposium on Electronics and Telecommunications (IETC), pp.33-36, 14-15 Nov. 2014, ISBN: 978-1-4799-7267-8, DOI: 10.1109/IETC.2014.7010740, WOS: 000366633300008, Web of Science.
16. D. Draghici, M. Gurbină, D. Lascu, "Stability Analysis of DC-DC Converters Employing Digital Predictive Leading Triangle Modulation Valley Current Control", 37th International Conference on Telecommunications and Signal Processing (TSP), July 9-11, 2015, Praga, Cehia, Page(s): 1–6. DOI: 10.1109/TSP.2015.7296407; ISBN:978-1-4799-8498-5; WOS:000375231000033; Web of Science.
17. I.-M. Pop-Călimanu, S. Lica, D. Lascu, F. Renken, M. Gurbină, R. Mîrșu "A Novel Hybrid Step-Down DC-DC Converter", 2018 IEEE 18th International Power Electronics and Motion Control Conference (PEMC) pp.1-4, 26-30 August 2018, Budapesta, Ungaria, ; WOS: 000462062900004;
18. M. Gurbină, I.-M. Pop-Călimanu, D. Lascu, S. Lica, A. Ciresan, "Exact Stability Analysis of a Two-Phase Boost Converter", 41st International Conference on Telecommunications and Signal Processing (TSP), pp.1-4, 4-6 July 2018, Atena, Grecia, WOS: 000454845100075, DOI: 10.1109/TSP.2018.8441450
19. M. Gurbină, D. Lascu, "Unfeasability of One Cycle Control when Applied to ZETA Converters", International Review of Automatic Control (IREACO), 2012, Mar 2012, Vol. 5, Issue 2, pp. 172 – 178., BDI.
20. M. Gurbină, D. Lascu, "Analysis of one cycle controlled SEPIC converters", Symposium on Applied Computational Intelligence and Informatics (SACI), 2012 7th edition, DOI: 10.1109/SACI.2012.6250040, Publication Year: 2012 , Page(s): 415–420, BDI

Conducător științific  
Prof. univ. dr. ing. Dan Lascu



15. M. Gurbină, S. Lica, D. Lascu, "Stability and bifurcation aspects in charge controlled DC-DC converters", in 2014 11th International Symposium on Electronics and Telecommunications (IETC), pp.33-36, 14-15 Nov. 2014, ISBN: 978-1-4799-7267-8, DOI: 10.1109/IETC.2014.7010740, WOS: 000366633300008, Web of Science.
16. D. Draghici, M. Gurbină, D. Lascu, "Stability Analysis of DC-DC Converters Employing Digital Predictive Leading Triangle Modulation Valley Current Control", 37th International Conference on Telecommunications and Signal Processing (TSP), July 9-11, 2015, Praga, Cehia, Page(s): 1–6. DOI: 10.1109/TSP.2015.7296407; ISBN:978-1-4799-8498-5; WOS:000375231000033; Web of Science.
17. I.-M. Pop-Călimanu, S. Lica, D. Lascu, F. Renken, M. Gurbină, R. Mîrșu "A Novel Hybrid Step-Down DC-DC Converter", 2018 IEEE 18th International Power Electronics and Motion Control Conference (PEMC) pp.1-4, 26-30 August 2018, Budapesta, Ungaria, ; WOS: 000462062900004;
18. M. Gurbină, I.-M. Pop-Călimanu, D. Lascu, S. Lica, A. Ciresan, "Exact Stability Analysis of a Two-Phase Boost Converter", 41st International Conference on Telecommunications and Signal Processing (TSP), pp.1-4, 4-6 July 2018, Atena, Grecia, WOS: 000454845100075, DOI: 10.1109/TSP.2018.8441450
19. M. Gurbină, D. Lascu, "Unfeasability of One Cycle Control when Applied to ZETA Converters", International Review of Automatic Control (IREACO), 2012, Mar 2012, Vol. 5, Issue 2, pp. 172 – 178., BDI.
20. M. Gurbină, D. Lascu, "Analysis of one cycle controlled SEPIC converters", Symposium on Applied Computational Intelligence and Informatics (SAI), 2012 7th edition, DOI: 10.1109/SAI.2012.6250040, Publication Year: 2012 , Page(s): 415–420, BDI

Doctorand  
Ing. Mircea Gurbină



15. M. Gurbină, S. Lica, D. Lascu, "Stability and bifurcation aspects in charge controlled DC-DC converters", in 2014 11th International Symposium on Electronics and Telecommunications (IETC), pp.33-36, 14-15 Nov. 2014, ISBN: 978-1-4799-7267-8, DOI: 10.1109/IETC.2014.7010740, WOS: 000366633300008, Web of Science.
16. D. Draghici, M. Gurbină, D. Lascu, "Stability Analysis of DC-DC Converters Employing Digital Predictive Leading Triangle Modulation Valley Current Control", 37th International Conference on Telecommunications and Signal Processing (TSP), July 9-11, 2015, Praga, Cehia, Page(s): 1–6. DOI: 10.1109/TSP.2015.7296407; ISBN:978-1-4799-8498-5; WOS:000375231000033; Web of Science.
17. I.-M. Pop-Călimanu, S. Lica, D. Lascu, F. Renken, M. Gurbină, R. Mîrșu "A Novel Hybrid Step-Down DC-DC Converter", 2018 IEEE 18th International Power Electronics and Motion Control Conference (PEMC) pp.1-4, 26-30 August 2018, Budapesta, Ungaria, ; WOS: 000462062900004;
18. M. Gurbină, I.-M. Pop-Călimanu, D. Lascu, S. Lica, A. Ciresan, "Exact Stability Analysis of a Two-Phase Boost Converter", 41st International Conference on Telecommunications and Signal Processing (TSP), pp.1-4, 4-6 July 2018, Atena, Grecia, WOS: 000454845100075, DOI: 10.1109/TSP.2018.8441450
19. M. Gurbină, D. Lascu, "Unfeasability of One Cycle Control when Applied to ZETA Converters", International Review of Automatic Control (IREACO), 2012, Mar 2012, Vol. 5, Issue 2, pp. 172 – 178., BDI.
20. M. Gurbină, D. Lascu, "Analysis of one cycle controlled SEPIC converters", Symposium on Applied Computational Intelligence and Informatics (SACI), 2012 7th edition, DOI: 10.1109/SACI.2012.6250040, Publication Year: 2012 , Page(s): 415–420, BDI

Doctorand  
Ing. Mircea Gurbină



15. M. Gurbină, S. Lica, D. Lascu, "Stability and bifurcation aspects in charge controlled DC-DC converters", in 2014 11th International Symposium on Electronics and Telecommunications (IETC), pp.33-36, 14-15 Nov. 2014, ISBN: 978-1-4799-7267-8, DOI: 10.1109/IETC.2014.7010740, WOS: 000366633300008, Web of Science.
16. D. Draghici, M. Gurbină, D. Lascu, "Stability Analysis of DC-DC Converters Employing Digital Predictive Leading Triangle Modulation Valley Current Control", 37th International Conference on Telecommunications and Signal Processing (TSP), July 9-11, 2015, Praga, Cehia, Page(s): 1–6. DOI: 10.1109/TSP.2015.7296407; ISBN:978-1-4799-8498-5; WOS:000375231000033; Web of Science.
17. I.-M. Pop-Călimanu, S. Lica, D. Lascu, F. Renken, M. Gurbină, R. Mîrșu "A Novel Hybrid Step-Down DC-DC Converter", 2018 IEEE 18th International Power Electronics and Motion Control Conference (PEMC) pp.1-4, 26-30 August 2018, Budapesta, Ungaria, ; WOS: 000462062900004;
18. M. Gurbină, I.-M. Pop-Călimanu, D. Lascu, S. Lica, A. Ciresan, "Exact Stability Analysis of a Two-Phase Boost Converter", 41st International Conference on Telecommunications and Signal Processing (TSP), pp.1-4, 4-6 July 2018, Atena, Grecia, WOS: 000454845100075, DOI: 10.1109/TSP.2018.8441450
19. M. Gurbină, D. Lascu, "Unfeasability of One Cycle Control when Applied to ZETA Converters", International Review of Automatic Control (IREACO), 2012, Mar 2012, Vol. 5, Issue 2, pp. 172 – 178., BDI.
20. M. Gurbină, D. Lascu, "Analysis of one cycle controlled SEPIC converters", Symposium on Applied Computational Intelligence and Informatics (SACI), 2012 7th edition, DOI: 10.1109/SACI.2012.6250040, Publication Year: 2012 , Page(s): 415–420, BDI

Doctorand  
Ing. Mircea Gurbină



Conducător științific  
Prof. univ. dr. ing. Dan Lascu

