

Pokročilé metódy riadenia DC-DC meničov

Advanced Control Methods of DC-DC converters

Martin Lešo, Jaroslava Žilková², Marek Pástor³

¹martin.leso@tuke.sk, ²jaroslava.zilkova@tuke.sk, ³marek.pastor@tuke.sk,

^{1,2,3}Katedra elektrotechniky a mechatroniky, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach, Letná 9, Košice, Slovenská Republika

Abstrakt— Príspevok je venovaný pokročilým riadiacim metódam pre DC-DC meniče. Určenie ideálnej metódy pre riadenie výstupného napätia DC-DC meničov predstavuje náročnú úlohu vzhľadom na ich nelineárny charakter, rôzne typy zapojení a spôsobu použitia, pričom v súčasnosti sú v DC-DC meničoch prevažne implementované napäťové, prúdové a hysterézne metódy riadenia. Každá z týchto metód prichádza s určitými nedostatkami a z toho dôvodu sa vedie intenzívny výskum v implementácii pokročilejších metód riadenia DC-DC meničov, ktoré by mali v budúcnosti nahradiť alebo doplniť súčasné používané typy riadení pre docelenie zvýšenia spoľahlivosti a kvality regulácie výstupného napätia DC-DC meničov. V článku sú stručne opísané spôsoby použitia umelej inteligencie pri riadení DC-DC meničov ako aj použitie prediktívneho a kľzavého riadenia, pričom pri každej z uvedených metód je opísaný princíp ich činnosti a ich hlavné výhody a nedostatky.

Kľúčové slová—DC-DC meniče, kľzavé riadenie, prediktívne riadenie, fuzzy riadenie, umelé neurónové siete

Abstract— The contribution is dedicated to advanced control methods for DC-DC converters. Determining the ideal method to control the output voltage of the DC-DC converter is a difficult task due to their nonlinear character, different connection types and uses. At present, the DC-DC converter uses voltage mode control, current mode control and hysteric mode control methods for controls of an output voltage of converter. Each of these methods comes with certain shortcomings and therefore are in research advanced control method of DC-DC converters, which should replace or supplement the existing control methods to achieve improvements in the reliability and quality control of output voltage DC-DC converters. The paper briefly describes the uses of artificial intelligence in the control of DC-DC converters as well as the use of predictive and sliding mode control methods. Each of these methods is described of their operation and their main advantages and drawbacks. For each of these methods is described principle of its operation and its main advantages and disadvantages.

Keywords— DC-DC converters, sliding mode control, predictive control, fuzzy, artificial neural networks

I. ÚVOD

Spínané DC-DC meniče môžeme zaradiť medzi najčastejšie používané výkonové elektronické zariadenia z dôvodu ich vysokej účinnosti a flexibilnej nastaviteľného výstupného napätia a sú používané pre napájanie rôznych elektronických zariadení s dôrazom na stabilitu výstupného napätia aj pri zmene vstupného napájacieho napätia a záťaže meniča. Medzi najčastejšie používané metódy pre reguláciu výstupného napätia DC-DC meničov je používané napäťové a prúdové riadenie meni-

čov, pričom každá z týchto metód prináša určité nedostatky. Nastavenie parametrov regulátora pre jednotlivé metódy sa vykonáva tak, aby regulátor kompenzoval filter meniča a záťaž. V prípade, ak nie je známe akú záťaž bude daný menič napájať, nie je možné presne nastaviť ideálne hodnoty parametrov regulátorov. Ako alternatíva napäťovým a prúdovým metódam riadenia sa používa hysterézne riadenie, pri ktorom je ťažko odhadnúť správanie sa meniča pre napájanie rôznych zariadení. Z dôvodu nedostatkov vyššie spomenutých metód riadenia meničov nastáva požiadavka vývoja pokročilých metód riadenia na naplnenie požiadaviek kladených pre daný menič. V rámci riešenia tohto problému bolo vyvinutých mnoho metód riadenia, pričom rôzne metódy vykazujú odlišné výhody a nevýhody [1-2].

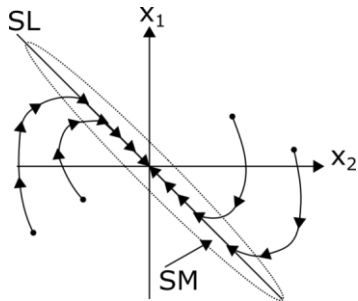
DC-DC menič je možno považovať za vysoko nelineárny časovo invariantný systém (VSCS) s premenlivou štruktúrou. Na základe teórie riadenia VSCS systémov boli navrhnuté kľzavé metódy riadenia, ktoré sa vyznačujú dobrými dynamickými vlastnosťami a vysokou stabilitou pre široký rozsah záťaží. Hlavným nedostatkom týchto metód je variabilná spínacia frekvencia[3,4]. Z toho dôvodu sú v súčasnosti prekladané kľzavé metódy riadenia na báze PWM modulácie [5]. S pokrom vo vývoji mikropočítačových technológií stúpa záujem o výskum pokročilých riadiacich metód, ktoré sú výpočtovo náročnejšie. Pri digitálnej implementácii VMC a CMC sú častokrát ako regulátory nasadzované adaptívne PI regulátory, ktoré sú optimalizované rôznymi numerickými metódami alebo metódami evolučných algoritmov [6]. V posledných rokoch je tiež vedený intenzívny výskum implementácií metód prediktívneho riadenia vo výkonovej elektronike. Prediktívne riadenia dosahujú vynikajúce regulačné výsledky, pričom ich hlavná nevýhoda spočíva v nutnosti poznania presného matematického modelu riadenej sústavy [7-10]. V súčasnosti je tiež vedený intenzívny výskum implementovaním metód umelej inteligencie do riadenia a to prevažne umelých neurónových sietí a fuzzy logiky [11-22]. Zatiaľ čo fuzzy logika si našla uplatnenie primárne v oblasti tvorby samostatne fungujúcich regulátorov [11-17], umelé neurónové siete sú používané väčšinou v súčinnosti s ostatnými metódami riadenia a sú používané pre adaptívne filtrovanie signálov, pri identifikácii parametrov systémov, tvorbe pozorovateľov ako aj samostatne regulátory [18-22].

II. KLZAVÉ RIADENIE

Kľzavé riadenie SMC (Sliding Mode Control) sa zaraďuje medzi nelineárne riadiace metódy. SMC aplikuje nespojitý signál na riadenie stavu meniča tak, aby sa sklzol po vytýčenej sklzovej priamke SL (sliding line) na požadované miesto v

danom stavovom priestore. Riadenie pomocou tejto metódy je uskutočňované na základe nespojitých stavových funkcií, ktoré v rámci meničov môžu byť implementované ako prepínače medzi zapnutým a vypnutým stavom spínača (tranzistora) [3].

V rámci metódy sú definované dva režimy. Prvý režim je často označovaný ako približovací mód RM (reaching mode), pri ktorom sa v stavovom priestore približujeme ku sklzovej priamke. Pre reguláciu v tomto režime je metóda citlivá na zmenu parametrov a rušenie. Druhý režim je označovaný ako sklzový SM (Sliding mode), vyznačený na Obr. 1, pri ktorom sa snažíme docieľiť, aby sme v stavovom priestore dosiahli požadovaný bod [4].



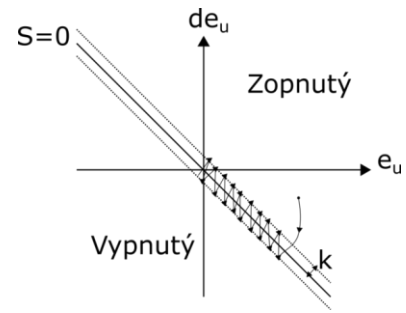
Obr. 1 Princíp kĺzavého riadenia

Kĺzavé riadenie prináša mnoho výhod ako vysokú stabilitu, odolnosť voči zmenám vstupného napätia a záťaže, dobré dynamické vlastnosti a jednoduchú implementáciu. Ideálny SMC regulátor pracuje pri nekonečne veľkej spínacej frekvencii a riadené premenné sa pohybujú po SL na docielenie požadovanej odozvy. Spínanie na nekonečnej alebo vysokej frekvencii nie je dobré praktické riešenie pri riadení meniča z dôvodu vysokých spínacích strát na tranzistoroch a rušenia meniča. Variabilná frekvencia meniča takisto komplikuje návrh výstupného filtra meniča. Z toho dôvodu SMC regulátory aplikované pre DC-DC meniče musia mať určité ohraňenie pre zmenu spínacej frekvencie [2–4].

Jedným zo spôsobov ako ohraňiť frekvenciu spínania je ohraňenie kĺzavého povrchu, na ktorom sa aplikuje hystereza pri spínaní meniča. Pre vytvorenie spínania s hysterezou je možné definovať pravidlá spínania tranzistora podľa (1)(1), pričom k predstavuje malú hodnotu.

$$\begin{cases} 1 = \text{Zapnutý} & \text{pre } S > k \\ 0 = \text{Vypnutý} & \text{pre } S < -k \\ \text{predchádzajúci stav, inak} & \end{cases} \quad (1)$$

Dôvodom výberu pravidiel $S > k$ a $S < -k$ pre ohraňenie spínania tranzistora je vytvorenie hysterezného slučky, ktorou je možné vymedziť frekvenciu meniča. V prípade, ak sa nachádzame v stavovom priestore $-k < S < k$, tranzistor ostane v predchádzajúcom stave. Tento princíp je ilustrovaný na Obr. 2, pričom ako stavové premenné pre tvorbu stavového povrchu boli určené regulačná odchýlka napätia e_u a jej derivácia de_u - [5].

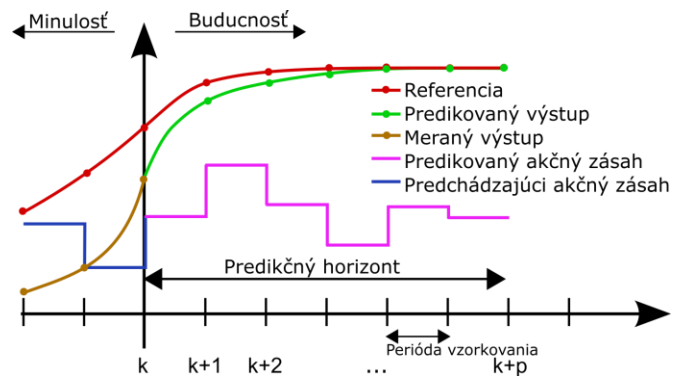


Obr. 2 Sklzné riadenie meničov s hysterezou

Sklzné riadenie meničov obsahuje radu výhod, pričom hlavným nedostatkom je variabilná veľkosť spínacej frekvencie tranzistorov. Z toho dôvodu je v súčasnosti vyvíjaných niekoľko metód, pri ktorom je využité sklzné riadenie pri konštantnej frekvencii ako napr. sklzné riadenie pri použití PWM modulácie, adaptívne sklzné riadenie, digitálne fuzzy SMC riadenie a podobne [5].

III. PREDIKTÍVNE RIADENIE

Prediktívne riadenie s modelom MPC (Model Predictive Control) je moderná metóda riadenia, ktorá je založená na základe predikcie stavu systému na predikčnom horizonte N (Obr. 3), ktorý je určený na základe modelu systému. Táto informácia je použitá pre výpočet série optimalizovaných akčných zásahov do systému na základe užívateľom definovanej účelovej funkcie $g()$. Algoritmus je vyhodnocovaný každú vzorkovaciu periódu, pričom pre riadenie je použitá iba prvá hodnota optimalizovanej sekvencie akčných zásahov [7], [8].



Obr. 3 Princíp MPC riadenia

Na vyhodnocovanie a optimalizáciu akčného zásahu sa používa účelová funkcia, ktorá je definovaná rôzne podľa riešeného problému, ale najčastejšie býva definovaná podľa (2), pričom x_i^* predstavuje referenčnú hodnotu, x_i^p predikovanú hodnotu pre x_i , váhu λ_i , a i slúži na indexovanie premenných používaných v riadení. Takto je možné zahrnúť do riadenia viaceré požadované vlastnosti, obmedzenia a nelinearity [8].

$$g = \sum_i \lambda_i (x_i^* - x_i^p)^2 \quad (2)$$

Jednou z hlavných nevýhod riadenia na princípe MPC je značná výpočtová náročnosť, ktorá bránila jeho širšiemu rozšíreniu v priemysle. S prudkým nástupom vývoja v oblasti mikroprocesorovej techniky stúpa aktuálnosť využitia MPC aj v oblasti výkonovej elektroniky a pohonov. Hoci najväčšie uplatnenie v oblasti výkonovej elektroniky si našiel tento typ

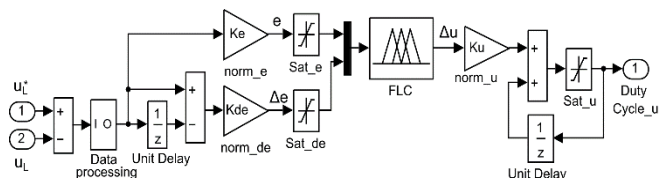
pri riadení DC-AC meničov [7-8], momentálne je vedený intenzívny výskum využitia tejto techniky pre DC-DC meniče [9-10].

Napriek tomu, že vo viacerých zdrojoch [7-10] prezentované vynikajúce výsledky dosiahnuté metódou MPC, jednou z najdôležitejších požiadaviek je poznať presný matematický model riadenej sústavy, čo predstavuje problematickú úlohu vzhľadom na nestálosť parametrov systémov. Na prekonanie tohto problému sú často používané metódy pre identifikáciu parametrov systémov, ako aj rôzne pozorovatele veličín, ktorými je možné dosiahnuť odstránenie snímačov zo systémov, čím je možné ušetriť finančné náklady pri riadení ako aj zvýšiť spoľahlivosť zariadenia [18].

IV. FUZZY RIADENIE

Fuzzy systémy poskytujú metodiku pre reprezentáciu, manipuláciu a implementovanie ľudských znalostí a ich využitie pre riadenie požadovaného dynamického systému. Fuzzy logika sa v riadení využíva väčšinou v dvoch formách a to ako fuzzy model systému pre doplnenie metód riadenia (napr. MPC) alebo vytvorenie zložitých pozorovateľov veličín. Druhou aplikáciou fuzzy logiky v riadení je návrh regulátorov, ktoré sú najčastejšie používané pre nahradenie PID regulátorov, alebo adaptáciu parametrov PID regulátorov. Na rozdiel od klasických regulačných metód hlavnou výhodou fuzzy logiky je, že nepotrebuje poznať presný matematický model systému. Namiesto toho sú využívané lingvistické informácie o danom systéme prevádzané do matematickej formy. Týmto spôsobom je možné dosiahnuť robustnosť navrhovaného systému. Použitie fuzzy logiky pri riadení bolo overené mnohými priemyselnými aplikáciami a je používaná spravidla pri riadení nelineárnych systémov a systémov, pri ktorých je ťažko určiť ich parameter, alebo premenlivých parametrov. Použitie fuzzy riadenia neobišlo ani oblasť výkonovej elektroniky [11-13]. K hlavným výhodám fuzzy riadenia oproti klasickým PID regulátorom patrí, že nepotrebujeme poznať matematický model riadenej sústavy a možnosti práce s nepresnými vstupmi. Navyše fuzzy regulácia je vhodná aj na riadenie nelineárnych systémov a vyznačuje sa vysokou robustnosťou.

Fuzzy PI regulácia FLC (Fuzzy Logic Control) je jednou z najčastejšie aplikovaných foriem fuzzy logiky v riadení. Doteraz bolo navrhnutých mnoho rôznych typov regulátorov na báze fuzzy logiky, ktoré obsahovali rôzne spracovanie vstupov a výstupov ako je uvedené v [14] **Chyba! Nenašiel sa žiaden zdroj odkazov.** Z hľadiska použitia si doteraz našli najväčšie uplatnenie fuzzy PI regulátory, ktoré ako vstupy využívajú regulačnú odchýlku e a jej deriváciu Δe podľa Obr. 4. [11].

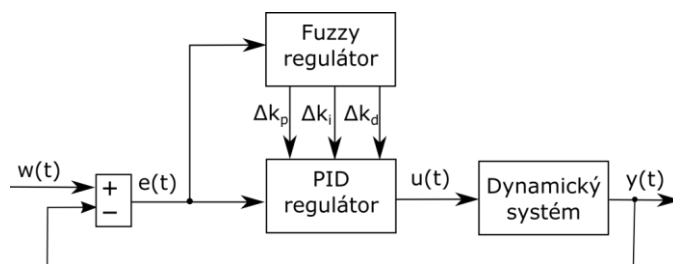


Obr. 4 Fuzzy PID regulátor

V [13] sa nachádza porovnanie použitia PID regulácie oproti fuzzy PID regulátorom pre znižovací a zvyšovací menič. Experimentálne výsledky preukázali, že oba typy regulátorov sú stabilné v ustálenom stave a dosiahi presne požadované hodnoty. V prechodových dejoch javili lepšie vlastnosti fuzzy regulátory, ktoré dosahovali menšiu veľkosť prekmitov pri

zmene záťaže ako aj menšie oscilácie pri niektorých testoch, pri ostatných dosahovali podobné výsledky ako PID regulácia.

Princíp riadenia dynamických systémov na základe adaptívneho PID regulátora na báze fuzzy logiky je znázornený na Obr. 5. Podstata tejto metódy spočíva v ladení parametrov PID regulátora fuzzy regulátorom ako bol uvedený v predchádzajúcej kapitole (Obr. 5). Výstup FLC regulátora obsahuje tri parametre Δk_p , Δk_i , Δk_d **Chyba! Nenašiel sa žiaden zdroj odkazov.**, ktoré reprezentujú zmenu jednotlivých zosilnení regulátora (**Chyba! Nenašiel sa žiaden zdroj odkazov.**), alebo celkovej hodnoty zosilnení PID regulátora **Chyba! Nenašiel sa žiaden zdroj odkazov.**, prípadne ich lineárnu kombináciu [14, 15].



Obr. 5 Adaptívny PI regulátor na báze fuzzy logiky

Jednou z aktuálnych výskumných tém je tiež použitie neuro-fuzzy systémov, ktoré majú za cieľ prepojiť tieto dve najpoužívanejšie metódy umelej inteligencie, konkrétne pridať fuzzy systémom schopnosť učenia sa. Jednou zo zaujímavých možností je tiež aplikovanie evolučných algoritmov pre optimalizáciu fuzzy PID regulátorov [16, 17].

V. UMELÉ NEURÓNOVÉ SIETE

Umelé neurónové siete nachádzajú stále väčšie uplatnenie pri tvorbe riadiacich systémov, pričom sú prevažne používané pre spracovanie a filtrovanie signálov, predikciu veličín, tvorbu pozorovateľov a alebo sú použité ako samostatné regulátory [18]. Princíp fungovania umelých neurónových sietí je odvodený od neurónových sietí v organizmoch, pričom medzi najvýznamnejšie vlastnosti ANS je možné zaradiť schopnosť učenia sa, adaptácie a zovšeobecňovania. Hoci výpočtová a pamäťová náročnosť dlhšie obmedzovala možnosť nasadenia neurónových sietí pre embedded systémy s vysokou dynamikou, v posledných desaťročiach začali byť neurónové siete nasadzované pre riešenie širokej škály problémov v oblasti elektrických pohonov, pričom v posledných rokoch stúpa význam použitia ANS aj v oblasti výkonovej elektroniky [18-20].

V [19] je použitá ANN pre identifikáciu záťaže DC-AC meniča, ktorá je používaná v rámci riadenia pri konečnom počte krokov (deadbeat control), na základe ktorej sa určuje ideálny akčný zásah do riadenia. V [20] je analyzované využitie neurónovej siete pri riadení asymetrického priameho znižovacieho meniča, pričom neurónové siete sú použité pre nastavenie parametrov PID regulátora. Takéto riešenie umožňuje dosiahnuť rýchlejšie ustálenie výstupného napätia pri zmene záťaže meniča, ako aj redukciu prekmitov v rámci prechodového deja. Napriek tomu, ANN sú prevažne používané v spolupráci s inými metódami riadenia, v [21] je prezentované použitie ANN ako samostatného regulátora.

VI. ZÁVER

V článku sú opísané niektoré pokročilé metódy riadenia DC-DC meničov, ktorých funkčnosť je overená praktickou

realizáciou a existuje predpoklad na ich nasadenie do nových generácií vyvíjaných meničov vzhľadom na ich výhody oproti štandardne používaným metódam. Väčšina predkladaných metód má ako jednu z nevýhod uvedenú vyššiu výpočtovú náročnosť. S pokrokom vývoja v oblasti mikropočítačovej techniky nastáva predpoklad budúcemu nasadeniu týchto metód do riadenia za cieľom zvýšenia spoľahlivosti a efektívnosti dodávaných DC-DC meničov.

POĎAKOVANIE

Túto prácu podporila Vedecká grantová agentúra Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu Slovenskej republiky a Slovenskej akadémie vied grantom VEGA 1/0464/15 a grant FEI-2015-3.

POUŽITÁ LITERATÚRA

- [1] M. Lešo, J. Žilková, M. Pástor, "Control Methods of DC-DC converters", *Elektrotechnické listy*, ročník 1, číslo 1, str. 1-4, 2016.
- [2] Sujata Verma; S.K. Singh, A.G. Rao, "Overview of control Techniques for DC-DC converters", *Journal of Engineering Research*, ročník 2, číslo 8, str. 18-21, 2013.
- [3] H. Guldemir, "Study of Sliding Mode Control of DC-DC Buck Converter", *Energy and Power Engineering*, ročník 3, číslo 4, str. 401-406, 2011.
- [4] L.R. Shahida, T.M. George, "Implementation of sliding mode control for a buck converter in a photovoltaic system, in Advances in Green Energy (ICAGE), 2014 International Conference", str. 245-250, 17-18 Dec. 2014.
- [5] Mousumi Biswal: Control techniques for DC-DC buck converter with improved performance, Diplomová práca, National Institute of Technology Rourkela, 2011.
- [6] F. Taeed, K. H. Andersen, M. Nyman, "Adaptive digital current mode controller for DC-DC converters," *Power Electronics and Applications (EPE'15 ECCE-Europe)*, 17th European Conference on Geneva, str. 1-9, 2015.
- [7] M. Pástor, "DC/AC meniče pre obnoviteľné zdroje", dizertačná práca, Technická Univerzita v Košiciach, Fakulta elektrotechniky a informatiky, 2014. 189 s.
- [8] S. Vazquez, J.I. Leon, L.G. Franquelo, J. Rodriguez; H.A. Young, A. Marquez, P. Zanchetta: "Model Predictive Control: A Review of Its Applications", *Power Electronics, in Industrial Electronics Magazine*, ročník 8, číslo 1, str. 16-31, 2014.
- [9] K.Z. Liu, Y. Yokozawa: "An MPC-PI approach for buck DC-DC converters and its implementation", *IEEE International Symposium Industrial Electronics (ISIE)*, str. 171-176, 2012.
- [10] M. Abedi, Byeong-Mun Song; Rae-young Kim: "Nonlinear-model predictive control based bidirectional converter for V2G battery charger applications", *IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC) 2011*, str.1-6, 2011.
- [11] M. Lešo, J. Žilková, Marek Pástor, Jaroslav Dudrik: "Fuzzy Logic Control of Soft-Switching DC-DC Converter", ročník 22, číslo 5, str. 3-7, 2016.
- [12] M. Louzani, E. Aroudam: "Control and stabilization of three-phase grid connected photovoltaics using PID-Fuzzy logic" in *IEEE International Conference on Intelligent Energy and Power Systems (IEPS)*, str.279-284, 2014.
- [13] Liping Guo, J.Y. Hung, R.M. Nelms: "Evaluation of DSP-Based PID and Fuzzy Controllers for DC-DC Converters", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, ročník 56, číslo 6, str. 2237-2248, June 2009.
- [14] G.K.I. Mann, Bao-Gang Hu, R.G. Gosine: "Analysis of direct action fuzzy PID controller structures, in Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics", *IEEE Transactions on*, ročník 29, číslo 3, str. 371-388, 1999.

- [15] Nguyen Gia Minh Thao, Mai Tuan Dat, Tran Cong Binh, Nguyen Huu Phuc: "PID-fuzzy logic hybrid controller for grid-connected photovoltaic inverters, in Strategic Technology (IFOST)", *International Forum on*, str.140-144, 13-15 Oct. 2010.
- [16] S. J. Jawhar, N.S. Marimuthu, N. A. Singh: "A Neuro-Fuzzy Controller for a Non Linear Power Electronic Boost Converter", *3rd International Conference on Information and Automation*, str. 394-397, 2006.
- [17] Y. Nettari, M.N. Harmas: "Genetic algorithm based adaptive fuzzy terminal synergetic DC-DC converter control", in *Control, Engineering & Information Technology (CEIT)*, 2015 str. 1-7, 2015.
- [18] B.K. Bose: "Neural Network Applications in Power Electronics and Motor Drives—An Introduction and Perspective", in *Industrial Electronics, IEEE Transactions on*, ročník. 54, číslo 1, str. 14-33, 2007.
- [19] Y.A.-R. Mohamed, E.F. El-Saadany: "Adaptive Discrete-Time Grid-Voltage Sensorless Interfacing Scheme for Grid-Connected DG-Inverters Based on Neural-Network Identification and Deadbeat Current Regulation", *IEEE Transactions on Power Electronics*, ročník.23, číslo 1, str. 308-321, 2008.
- [20] H. Maruta, M. Motomura, F. Kurokawa: "An Evaluation Study on Circuit Parameter Conditions of Neural Network Controlled DC-DC Converter", *12th International Conference on Machine Learning and Applications (ICMLA)*, ročník. 2, str. 249-254, 2013.
- [21] N. Jiteurtragool, C. Wannaboon and W. San-Um, "A power control system in DC-DC boost converter integrated with photovoltaic arrays using optimized back propagation Artificial Neural Network," *5th International Conference on Knowledge and Smart Technology (KST)*, pp. 107-112, Thailand, 2013.



Martin Lešo (Ing.) sa narodil v roku 1990 v Poprade (Slovensko). V roku 2014 dokončil inžinierku stupeň štúdia v odbore elektrotechniky na katedre Elektrotechniky a Mechatroniky na Technickej univerzite v Košiciach. V súčasnosti je študentom druhého ročníka tretieho stupňa štúdia na katedre elektrotechniky a mechatroniky v odbore silnoprúdová elektrotechnika a zaoberá sa problematikou aplikácie metód umelej inteligencie v oblasti elektrických pohonov a výkonovej elektroniky.



Jaroslava Žilková (Doc., Ing., PhD.) ukončila inžinierske štúdium na Katedre Technickej kybernetiky FEI TU v Košiciach. Po ukončení štúdia pracovala ako výskumná pracovníčka v EVÚ Nová Dubnica det. prac. Košice / ZŤS VVÚ Košice. V roku 2001 obhájila dizertačnú prácu a v roku 2008 sa habilitovala v odbore Silnoprúdová elektrotechnika. V súčasnosti je docentkou na Katedre elektrotechniky a mechatroniky FEI TU v Košiciach. Oblasť jej výskumnej činnosti sú hlavne moderné metódy riadenia elektrických pohonov a aplikácie metód umelej inteligencie v elektrotechnických systémoch.



M. Pástor titul PhD. získal na Technickej univerzite v Košiciach v odbore silnoprúdová elektrotechnika v roku 2014. V súčasnosti pôsobí ako odborný asistent na Katedre elektrotechniky a mechatroniky so zameraním na výkonovú elektroniku.