

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Подобност теме и кандидата магистра Петра Марковића, дипломираног инжењера електротехнике, за израду докторске дисертације

Одлуком Наставно-научног већа Електротехничког факултета бр. 5016/13-1 од 21.3.2018. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности теме и кандидата Петра Марковића за израду докторске дисертације и научне заснованости теме под насловом "Енергетски претварачи једносмерног напона са резонантним колима и субрезонантном прекидачком учестаношћу" (енглески назив "*Resonant dc/dc power converters with subresonant switching*").

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Петар Марковић је рођен 9. септембра 1979. године у Ужицу, где је завршио основну школу и гимназију. За то време је био редовни учесник републичких и савезних такмичења из математике и физике, на којима је освојио велики број награда.

Године 1998. уписан је на Електротехнички факултет у Београду. За време студија био је ангажован као демонстратор на лабораторијским вежбама у Лабораторији за електронику. Дипломирао је у септембру 2004. године, на Одсеку за електронику, телекомуникације и аутоматику - Смер за електронику. Студије је завршио са просечном оценом 9.26 и оценом 10 на дипломском испиту. Практични део дипломског рада, под насловом "Брзи бројачки модул за програмабилни контролер", радио је у предузећу „Информатика а.д.“.

Након завршетка основних студија, у октобру 2004. године, уписао се на постдипломске магистарске студије на Електротехничком факултету у Београду, смер Електроника. Магистрирао је 16. октобра 2013. године одбраном магистарске тезе под називом "Симулациони модел електричне локомотиве за развој и тестирање алгоритама противклизне заштите". Испите у току студија положио је са просечном оценом 10.

Докторске студије уписује 30. октобра 2013. године на Електротехничком факултету у Београду, модул Енергетски претварачи и погони. Положио је све предвиђене испите са

просечном оценом 9.90. Тренутно ради на изради докторске тезе у оквиру које развија нове топологије средњенапонских резонантних претварача у сарадњи са ментором, проф. др Слободаном Вукосавићем.

Након завршетка основних студија, у октобру 2004. године, запослио се у предузећу „Информатика а.д.“, где је радио као сарадник на развоју хардвера индустријских контролера. У мају 2005. године запослио се на Саобраћајном факултету у Београду, ужа научна област Возна средства и погонски системи, где и данас ради у звању асистента.

Од страних језика познаје: енглески језик (напредни ниво), немачки (почетни ниво) и руски језик (почетни ниво).

1.2. Стечено научноистраживачко искуство

У току докторских студија, кандидат је одрадио све обавезе везане за студијски истраживачки рад и положио испите из следећих предмета:

	Назив предмета	Оцена	ЕСПБ	Датум	Наставник
1.	Микропроцесорско управљање електромоторним погонима	10	9	16.06.2014.	Слободан Вукосавић
2.	Одабрана поглавља из енергетске електронике	10	9	22.06.2014.	Предраг Пејовић
3.	Нумеричка анализа	10	9	09.06.2014.	Синиша Јешић
4.	Електрични сервомотори	10	9	15.09.2014.	Зоран Лазаревић
5.	Енергетски претварачи	10	9	18.09.2014.	Милош Недељковић
6.	Савремени мерни системи	10	9	11.01.2015.	Вујо Дрндаревић
7.	Микропроцесорско управљање енергетским претварачима	10	9	02.07.2015.	Слободан Вукосавић
8.	Фазно синхронисање петље	10	9	10.07.2015.	Милан Поњавић
9.	Управљање енергетским претварачима	10	9	03.09.2015.	Жељко Деспотовић
10.	Немачки језик	9	6	10.09.2015.	Нина Половина

У звању асистента на Саобраћајном факултету у Београду, Петар Марковић је ангажован у настави и држи рачунске и лабораторијске вежбе из предмета Електротехника, Електровучна возила, Железничка електроенергетска постројења и Возила са електричном вучом.

Ангажован је као истраживач у оквиру пројекта финансираног од стране Министарства за науку Р. Србије: "Истраживање утицаја и развој метода оперативног управљања саобраћајем возила са електричном вучом по енергетском критеријуму оптималности", пројекат бр. ТР36047, од 2011. године.

Као први аутор или коаутор, до сада је објавио један рад у међународним часописима, два рада у домаћим часописима, осам радова на међународним и седам радова на домаћим конференцијама и једно техничко решење.

Радови објављени у научним часописима међународног значаја:

1. Kostić D., Drndarević V., Marković P., Jevtić N., *Development of Methods for Acquiring and Transferring Measurement Data in Testing the Electric Locomotives*, Transport, Volume 26, Issue 4, December 2011. pp. 367-374, doi:10.3846/16484142.2011.557217, ISSN: 1648-4142

Зборници међународних стручних скупова:

1. Markovic P., Lepojevic N., Popov N., Vukosavic S., *A Compact Isolated Power Supply for MV SiC Mosfet Gate Driver*, Proceedings of the 18th International Symposium on Power Electronics - Ee 2015, Novi Sad, October 2015, Paper No. T1-2, ISBN: 978-86-7892-757-7
2. Marković P., Kostić D., *Detection of Torsional Oscillations in Driving Axles of Electric Vehicles by Application of Spectral Analysis*, Proceedings of the XVII Scientific-expert Conference on Railways, RAILCON '16, Niš, October 2016, pp. 57-60.
3. Marković P., Kostić D., Bojović N., *One Method for Detection of Torsional Oscillations of Driving Axles of Electrical Locomotives*, Proceedings of the 22nd International Conference Current Problems in Rail Vehicles - PRORAIL 2015, Zilina, Slovakia, September 2015., pp. 27-35.
4. Jevtic N., Kostic K., Mitrovic S., Markovic P., *Design of a Distributed System for Monitoring Energy Consumption of Electric-Traction Vehicles based on GPRS-Internet*, Proceedings of the XVI International Conference on Railways RAILCON'14, Niš, 2014, pp. 237-240.
5. Marković P., Kostić D., Jevtić N., *Hardware-in-the-loop Simulation of the Laboratory Model for Adhesion Force Emulation*, Proceedings of the XV International Conference on Railways RAILCON'12, Niš, October 2012, pp. 53- 56.
6. Marković P., Kostić D., *Simulation Model of Adhesion Force Test Unit for Slip Control*, Proceedings of the 16th International Symposium on Power Electronics (Ee2011) , Novi Sad, November 2011. Paper No. T2-1.3, ISBN: 978-86-7892-356-2
7. Kostić D., Nebojša B., Marković P., *An Indirect Method of Measuring Angular Velocity and Acceleration of a Traction Wheel on a Traction Vehicle*, Proceedings of the 20th International Conference Current Problems in Rail Vehicles - PRORAIL 2011, Zilina, Slovakia, September 2011, pp. 169-176.
8. Marković P., Kostić D., *Fuzzy Logic Slip Controller of an Electric Locomotive*, Proceedings of the 15th International Symposium on Power Electronics (Ee2009), Novi Sad, October 2009. Paper No. T2-1.8, ISBN: 978-86-7892-208-4

Радови објављени у домаћим часописима:

1. Kostić, D., Jevtić, N., Marković, P. *Testing methods and analysis of the main electrical properties of modernized locomotives*, International Journal for Traffic and Transport Engineering (IJTTE), Vol. 1(No.2), 2011., pp. 108-114. ISSN: 2217-544X
2. Kostic, D., Markovic, P., *Metod merenja ugaonog ubrzanja pogonskih osovina vučnog vozila pri detekciji proklizavanja*, Tehnika – Saobraćaj, Vol. 66. No. 4, 2011., pp. 637-640. ISSN: 0040-2176

Зборници скупова националног значаја:

1. Petar Marković, Dragutin Kostić, Nenad Jevtić, "Primena algoritama protivklizne zaštite na simulacionom modelu električne lokomotive", Zbornik radova XIV Konferencije o železnici ŽELKON, Niš, 07. i 08. oktobra 2010, str. 83-86.

2. Marković P., Kostić D., *Modelovanje pojave proklizavanja kod električnih lokomotiva Železnica Srbije*, CD Zbornik radova 53. Konferencije ETRAN, Vrnjačka Banja, Jun 2009., pp.1-4, AU4.6
3. Marković P., Kostić D., *Analiza dejstva protivklizne zaštite na lokomotivama Železnica Srbije*, CD Zbornik radova 52. Konferencije ETRAN, Palić, Jun 2008., pp.1-4, EK2.4
4. Marković P., Drndarević V., Jevtić N., Kostić D., *Vektorska analiza telekomunikacionih signala na bazi PC računara*, CD Zbornik radova 41. Telekomunikacionog foruma TELFOR 2008, Beograd, Novembar 2008, str. 577-580.
5. Kostić D., Marković P., Milošević N., *Jedan indirektni metod merenja ugaone brzine i ubrzanja pogonskih osovinu vučnog vozila*, Zbornik radova XIII Konferencije o železnici ŽELKON, Niš, Oktobar 2008, str. 167-171.
6. Kostić D., Drndarević V., Jevtić N., Marković P., *Metode ispitivanja i analize glavnih električnih veličina koje određuju eksploatacione karakteristike lokomotive nakon modernizacije*, Zbornik radova XII Konferencije o železnici ŽELKON, Niš, Oktobar 2006, str. 225-228.
7. Marković P., Kostić D., Drndarević V., Jevtić N., *Metode ispitivanja glavnih mehaničkih veličina koje određuju eksploatacione karakteristike vučnog vozila*, Zbornik radova XII Konferencije o železnici ŽELKON, Niš, Oktobar 2006, str. 221-225.

Техничка решења:

1. Костић Д., Дрндаревић В., Јевтић Н., Марковић П., *Интелигентни сензори за мерење потрошње енергије вучних возила*, Саобраћајни факултет Универзитета у Београду, 2017.

У складу са Законом о високом образовању и пратећим правним актима, Наставно-научно веће Електротехничког факултета у Београду је, на предлог Комисије за студије трећег степена, именовало Комисију за оцену услова и прихватање теме докторске дисертације кандидата Петра Марковића, у саставу:

1. др Милан Бебић, доцент, Електротехнички факултет у Београду
2. др Жарко Јанда, виши научни сарадник, Електротехнички институт Никола Тесла
3. др Радивоје Ђурић, доцент, Електротехнички факултет у Београду

За ментора докторске дисертације предложен је др Слободан Вукосавић, редовни професор, Електротехнички факултет и Београду.

Јавна усмена одбрана теме је одржана 10.4.2018. године на Електротехничком факултету у присуству свих чланова Комисије за оцену услова и прихватање теме докторске дисертације. Кандидат је представио тему докторске дисертације приказом предмета, циља и значаја истраживања, наводећи, потом, полазне хипотезе, научне методе које ће бити коришћене и очекиване научне доприносе. Након презентације, кандидату су постављена питања од стране чланова Комисије, на која је кандидат успешно одговорио. Комисија је закључила да је кандидат на јавној усменој одбрани теме добио оцену "задовољно".

1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

На основу претходно приказаних резултата досадашњег рада и оствареног искуства кандидата Петра Марковића, Комисија је стекла увид у способности кандидата за научно-истраживачки рад и његове могућности да током израде докторске дисертације оствари научне резултате који ће бити јавно приказани и оцењени од стране међународне научне заједнице. Став Комисије је да Петар Марковић испуњава потребне услове да приступи

изради докторске дисертације под насловом "Енергетски претварачи једносмерног напона са резонантним колима и субрезонантном прекидачком учестаношћу".

2. Предмет и циљ истраживања

Енергетски претварачи једносмерног напона са полупроводничким транзисторима снаге користе се већ више деценија. Током последње деценије увећан је интерес за њихову примену у оквиру микро- и нано-мрежа са једносмерним напонима, у електричним возилима и пуњачима батерија, у јединицама за дистрибуирану акумулацију енергије у дистрибутивним мрежама, у железници, као и читавом низу индустријских, комерцијалних и војних примена. Све је већи број претварача једносмерног напона који ради у области средњих напона. Због специфичности у технологији израде полупроводничких прекидача, брзина комутација прекидача средњег напона је смањена док су њихови комутациони губици значајно увећани. Укупни комутациони губици се могу смањити умањењем учестаности прекидања, али се тада увећавају димензије, тежина и губици снаге пасивних компоненти међу којима су кондензатори, пригушнице и трансформатори, чиме се значајно нарушавају перформансе.

Претварачи средњег напона су већ дуже време предмет интензивног истраживања и развоја. Велики број истраживача широм света ради на развоју претварачких топологија за средњи напон. Значајан број научних достигнућа и решења је објављен у научним часописима, патентиран и примењен у индустрији. Поред развоја топологија, развијају се и нове врсте полупроводничких прекидача код којих су комутације значајно брже. Услед повећане брзине рада, нови прекидачи увећавају dV/dt напрезање у изолационим материјалима и системима, што убрзава њихово старење и смањује поузданост. Једно од решења је и примена топологија са више нивоа (*multilevel topologies*), које захтевају значајно већи број полупроводничких прекидача и придружених помоћних електронских кола.

Предмет истраживања су топологије dc/dc претварача средњег напона, који се могу користити у микромрежама, за напајање потрошача у шинским возилима, за потребе дистрибуиране акумулације и за друге примене. Улазни напон је најчешће променљив и достиже 4 kV, док је излазни напон најчешће 600 V, што одговара једносмерном међуколу напајачких система. Премда постоје претварачи чија је снага мања од 10 kW, често се јављају и примене са снагом већом од 200 kW. Проблеми који се јављају у пројектовању и експлоатацији предметних претварача су 1) доступност прекидачких елемената са одговарајућим динамичким карактеристикама и са потребном вредношћу пробојног напона, 2) значајни губици услед комутација, отежано хлађење и увећан габарит претварача, 3) брзе промене напоне (dV/dt) које се негативно одражавају на материјале и системе за електричну изолацију и које увећавају електромагнетски шум.

Циљ истраживања је развој нове топологије енергетског претварача, са својствима која омогућују да се умање или уклоне наведени проблеми. Однос снаге и тежине (специфична снага) може се увећати применом силицијум-карбидних (SiC) прекидача [1]. Брже прекидање [2] и веће вредности dV/dt код SiC прекидача омогућују да се увећа прекидачка учестаност и смање димензије и тежина пасивних компоненти. С друге стране, увећани dV/dt стрес угрожава изолационе материјале [3, 4] и изолационе системе и смањује поузданост претварача. Поред напрезања изолације, примена SiC прекидача је ограничена околношћу да су тренутно расположиви прекидачи за релативно мале напоне, док се SiC прекидачи за напоне веће од пар хиљада волти још увек налазе у фази развоја. Енергетски претварач се може начинити и коришћењем прекидача за мање напоне, под условом да примењена топологија има више напонских нивоа. Често се користе ML (Multilevel) [5] и ISOP (Input-Series-Output-Parallel) [6] топологије, које имају мање вршне вредности напона и мањи износ

dV/dt напрезања на прекидачима. Значајан проблем у реализацији ових топологија је одржавање равномерне расподеле напона на серијски повезаним кондензаторима ML топологије. Топологија која се помиње као *double-forward* [7] има три значајне предности, 1) не постоји могућност појаве разарајућих *shoot-through* струја, 2) могу се користити полупроводнички прекидачи са двоструко мањим пробојним напонам у односу на конвенционалну *full-bridge* топологију, и 3) услед природе саме топологије, напони на серијски повезаним кондензаторима остају у равнотежи. Спрезање прекидачких мостова у улазном степену претварача може се заснивати на магнетског спрези, применом изолационог трансформатора са два примарна намотаја и једним секундарним намотајем.

Топологија описана у раду [7] се може проширити додавањем спрегнутих индуктивности [8] или активних резонантних снабера [9,10] у улазном степену, да би рад претварача био праћен комутацијама са напонима који су блиски нули (*zero-voltage-switching*, ZVS). Топологија дата у раду [11] омогућује рад са ZVS захваљујући увећању расипне индуктивности секундарног намотаја и примени одговарајућег управљања. Поменуто решење подразумева да сваки полупроводнички прекидач има паралелно повезан кондензатор, што ствара проблеме приликом укључења прекидача у условима када на кондензатору постоји напон. Поред тога, увећавањем расипног флукса се увећавају губици снаге у трансформатору. У раду [12] се предлаже претварач са резонантним колом, где се индуктивност расипања трансформатора користи као серијска индуктивност. Коришћењем расипања трансформатора на месту серијске пригушнице смањује укупан број компоненти, али се увећавају губици. С друге стране, флукс у серијској пригушници остаје унутар торусног језгра и ствара врло мале губитке и сметње [13], док флукс расипања унутар трансформатора захвата намотаје и елементе металне конструкције, што ствара значајне губитке [3,14].

Паралелно са развојем претварачких топологија и полупроводничких прекидача расту и потребе за изолованим енергетским претварачима једносмерног напона у железници [15], прилагодним степенима дистрибуираних јединица за акумулацију енергије, електричним возилима и другим применама. Уз коришћење IGBT прекидача за 6.5 kV могуће је реализовати прекидачке степене за радне напоне од 3 kV [16]. Полупроводници за средње напоне имају веће средње време живота мањинских носилаца и зато имају спорије комутације и веће комутационе губитке. Постоје и топологије које раде са смањеним комутационим губицима [17], али уз превише велики број прекидача који утиче на поузданост и утиче на кондукционе губитке. У пољу претварача намењених шинским возилима, од великог значаја је тежина и габарит [18]. Поменуте перформансе се могу побољшати применом SiC MOSFET прекидача, али су ефекти ограничени околношћу да се пробојни напон индустријских SiC MOSFET прекидача зауставља на 1700V [19]. Поред тога, примена ML топологија са већим бројем напонских нивоа увећава укупни број прекидача и негативно утиче на поузданост и кондукционе губитке.

Анализирана литература потврђује значај енергетских претварача једносмерног напона са полупроводничким транзисторима снаге, и указује на њихову ширу примену у оквиру микро-и нано-мрежа, у електричним возилима, пуњачима батерија, јединицама за дистрибуирану акумулацију енергије, у железници и у другим сродним применама. Показано је да комутациони губици представљају значајан проблем у реализацији претварача једносмерног напона који раде у области средњих напона. Нове технологије полупроводничких прекидача са увећаном брзином рада стварају проблем са dV/dt напрезањима, док ML технологије подразумевају значајно већи број прекидача, смањену поузданост и потребу за активним мерама за уравнотежење напона. Зато постоји потреба за развојем нових топологија претварача за област средњег напона. Потребно је значајно смањити комутационе губитке, увећати специфичну снагу, смањити напонска напрезања, увећати поузданост, смањити укупне губитке и увећати степен корисног дејства. Развој методологије и пројектовање топологије претварача представља основни правац рада у предложеној дисертацији.

Референце у вези са темом:

- [1] Rujas, A., López, V. M., García-Bediaga, A., Berasategi, A., & Nieva, T. (2017, October). "Influence of SiC technology in a railway traction DC-DC converter design evolution". In *Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE)*, 2017 IEEE (pp. 931-938).
- [2] Deblecker, O., De Grève, Z., & Versèle, C. "Comparative Study of Optimally Designed DC-DC Converters with SiC and Si Power Devices". In *Advanced Silicon Carbide Devices and Processing*. InTech. 2015.
- [3] Vukosavić, S. N., Perić, L. S., & Sušić, S. D. "A novel power converter topology for electrostatic precipitators" *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 31, no. 1, pp. 152-164, Jan. 2016.
- [4] M. P. Wilson, I. V. Timoshkin, M. J. Given, S. J. MacGregor, M. A. Sinclair, K. J. Thomas, and J. M. Lehr, "Effect of applied field and rate of voltage rise on surface breakdown of oil-immersed polymers," *IEEE Trans. Dielect. and Elect. Insul.*, vol. 18, no. 4, pp. 1003–1010, Aug. 2011.
- [5] Abu-Rub, H., Holtz, J., Rodriguez, J., & Baoming, G. "Medium-voltage multilevel converters—State of the art, challenges, and requirements in industrial applications". *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 57, no. 8, 2581-2596, Aug. 2010.
- [6] Chen, W., Zhuang, K., & Ruan, X. "A input-series-and output-parallel-connected inverter system for high-input-voltage applications". *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 24, no. 9, pp. 2127-2137, Sep. 2009.
- [7] Kutkut, N. H., Luckjiff, G., & Divan, D. M. "A dual bridge high current DC-to-DC converter with soft switching capability. In *Industry Applications Conference*," in *Thirty-Second IAS Annual Meeting, IAS'97.. Conference Record of the 1997 IEEE* (Vol. 2, pp. 1398-1405). Oct. 1997.
- [8] Torrico-Bascope, R., & Barbi, I. "Dual-bridge DC-DC converter with soft switching features." In *Applied Power Electronics Conference and Exposition, 2001. APEC 2001. Sixteenth Annual IEEE* (Vol. 2, pp. 722-727).
- [9] de Souza Oliveira Jr, D., e Silva, C. E. D. A., Torrico-Bascope, R. P., Tofoli, F. L., Bissochi Jr, C. A., Vieira Jr, J. B., ... & de Freitas, L. C. "Analysis, design, and experimentation of a double forward converter with soft switching characteristics for all switches." *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 26, no. 8, pp. 2137-2148, Aug. 2011.
- [10] Neto, R. M. F., & Tofoli, F. L. (2017). "A soft switching ZCS–ZVS double two-switch forward converter." *Electrical Engineering*, pp. 1-13, June 2017.
- [11] Xu, D., Chen, M., Lou, J., & Luo, M. "Transformer secondary leakage inductance based ZVS dual bridge DC/DC converter." *IEEE transactions on power electronics*, vol. 19, no. 6, pp. 1408-1416, Nov. 2004.
- [12] Liu, J., Sheng, L., Shi, J., Zhang, Z., & He, X. "Design of high voltage, high power and high frequency transformer in LCC resonant converter." In *Applied Power Electronics Conference and Exposition, 2009. APEC 2009. Twenty-Fourth Annual IEEE*, pp. 1034-1038.
- [13] Magnetics, Powder Core Catalog, 2017.
- [14] Y. J. Kim, J. D. Lee, H. M. Ahn, and S. C. Hahn, "Numerical Investigation for Stray Loss Analysis of Power Transformer," in *Conf. Rec. ICEM 2013*, pp. 2275–2277, Oct. 2013
- [15] Baars, N. H., Everts, J., Huisman, H., Duarte, J. L., & Lomonova, E. A. "A 80-kW isolated DC–DC converter for railway applications." *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 30, no. 12, pp. 6639-6647, Dec. 2015.
- [16] Gannshin, A. A., Meleshin, V. I., Sachkov, S. A., & Zhiklenkov, D. V. "Railway auxiliary power converter operating with 3 kV DC supply line on the basis of 6.5 kV IGBT modules."
- [17] Čobanov, N., & Težak, N. Soft-switching converter for tram auxiliary power supply. In *Power Electronics and Motion Control Conference and Exposition (PEMC), 2014 16th International*, pp. 270-275, Sep. 2014.
- [18] Maerz, A., & Bakran, M. M. "Designing a low weight low loss auxiliary converter for railway application." In *PCIM Europe 2014; International Exhibition and Conference for Power Electronics, Intelligent Motion, Renewable Energy and Energy Management; Proceedings of*, pp. 1-8, May 2014.
- [19] Wu, D., Xiao, C., Zhang, H., & Liang, W. "Development of auxiliary converter based on 1700V/325A full SiC MOSFET for urban rail transit vehicles." In *Transportation Electrification Asia-Pacific (ITEC Asia-Pacific), 2017 IEEE Conference and Exp*, pp. 1-6, Aug. 2017.

3. Полазне хипотезе

Основне хипотезе усвојене у овој дисертацији су:

- Смањење комутационих губитака се може остварити усвајањем концепта резонантног претварача. До сада познате топологије релевантних претварача раде са прекидачком учестаношћу која је већа од резонанте учестаности L-C мреже. Мања резонантна учестаност је повезана са величином пасивних компоненти и са губицима у њима. Потребно је развити топологију која смањује комутационе губитке на учестаностима прекидања значајно мањим од резонантне (sub-resonant). Повећање резонантне учестаности доводи до смањења величине, реактивне снаге и губитака у пасивним компонентама.

- Равнотежа напона на серијски повезаним кондензаторима ML топологије се може остварити путем магнетске спреге два прекидачка моста који су повезани помоћу два примарна намотаја јединственог трансформатора.
- Управљање претварачем се остварује путем промене учестаности и фазног помераја импулса за управљање појединим прекидачима. Исти излазни напон се може остварити применом различитих парова вредности учестаност-фазни померај. Постојећи степен слободе се може искористити за смањење укупних губитака у претварачу и увећање степена корисног дејства.
- Циљеви оптималног пројектовања су увећање степена корисног дејства и смањење тежине и габарита. Наведени индекси перформанси се могу представити аналитички. На бази аналитичких разматрања, коришћењем рачунарских алата и на основу експерименталних резултата, могуће је дати аналитичку формулацију оптималног пројектовања и управљања који дају највећи индекс перформанси.

4. Научне методе истраживања

У овој дисертацији биће примењене следеће методе истраживања:

- Анализа и евалуација комутационих и кондукционих губитака у средњенапонским претварачима, уз сагледавање најчешће коришћених топологија и технологија полупроводничких прекидача (Si, SiC).
- Анализа и моделовање губитака у пасивним компонентама претварача (пригушнице, кондензатори и трансформатори) за опсег учестаности и радне режиме од интереса.
- Аналитичко пројектовање резонантног претварача који ради са прекидачким учестаностима мањим од резонантне (*sub-resonant switching*). Анализа утицаја карактеристичне импедансе резонантног кола и односа резонантне и прекидачке учестаности на перформансе упрошћеног претварача.
- Пројектовање алгоритма за управљање средњенапонским претварачем на бази промене учестаности и фазног помераја. Коришћење постојећег степена слободе ради смањења укупних губитака у претварачу и увећања степена корисног дејства.
- Оптимизација претварачке топологије на основу анализе утицаја параметара кључних компоненти на тежину и губитке, као и успостављања аналитичке везе са степеном корисног дејства и напонским напрезањима као циљаним индексима перформансе. Аналитичка формулација оптималног пројектовања и управљања.
- Експериментална верификација развијене методологије на прототипу енергетског претварача.

5. Очекивани научни допринос

Очекује се да ће ова дисертација дати следеће научне доприносе:

- Биће развијена нова топологија субрезонантног енергетског претварача која ће омогућити рад са смањеним комутационим губицима, уз значајно мању величину и мање губитке снаге у пасивним компонентама у односу на постојећа решења.
- Биће развијена и примењена метода за уравнотежење напона на серијски повезаним претварачким модулима на бази магнетске спреге прекидачких секција.
- Развој алгоритма управљања, у коме ће се постојећи степен слободе искористити за смањење губитака и увећање степена корисног дејства.

- Развој и примена алгоритма за оптимизацију претварачке топологије уз уважавање утицаја кључних параметара на критеријум перформансе и аналитичка формулација оптималног пројектовања и управљања.

6. План истраживања и структура рада

Планирано је да се истраживање изведе у следећим фазама:

- У првој фази ће бити спроведена систематска анализа комутационих и кондукционих губитака у средњенапонским претварачима са силицијумским и силицијум-карбидним компонентама. Међу резултатима ће бити и поређење напонских напрезања које поједина решења стварају у изолационим материјалима и системима.
- У другој фази ће се спровести аналитичко пројектовање топологије и симулација резонантног претварача који ради са прекидачким учестаностима мањим од резонантне. Биће утврђен утицај карактеристичне импедансе резонантног кола и односа учестаности на кључне перформансе.
- У трећој фази ће бити пројектован алгоритам управљања средњенапонским претварачем који користи две управљачке променљиве, учестаност и фазни померај. Формулисање закона управљања ће узети у обзир очување равнотеже на серијски повезаним кондензаторима претварача са магнетски спрегнутим прекидачким секцијама. Постојећи степен слободе ће се користити за формулисање оптималног управљања који увећава унапред дефинисани индекс перформансе.
- У четвртој фази ће бити размотрен утицај параметара кључних компоненти на тежину и губитке. Успоставиће се аналитичка веза параметара са степеном корисног дејства и напонским напрезањима. На бази остварених резултата, биће дата аналитичка формулација оптималног пројектовања и управљања.
- У петој фази ће бити обављена експериментална верификација остварених резултата. Прототип енергетског претварача са одговарајућим управљањем ће бити коришћен за поређење са досадашњим решењима и за верификацију аналитичких резултата и резултата симулације.

На основу резултата наведених фаза истраживања биће формулисани и приказани главни научни доприноси, уз образложење њиховог значаја, навођење области примене и уз поређење са претходним решењима. Очекује се да остварени резултати створе могућност за пројектовање и примену компактних, ефикасних и поузданих средњенапонских претварача са специфичном снагом и степеном корисног дејства који премашују перформансе расположивих решења.

7. Закључак и предлог

На основу приложене документације као и непосредног увида у досадашњи научно-истраживачки рад кандидата Петра Марковића, Комисија закључује да:

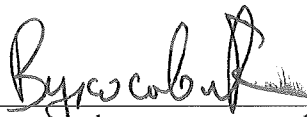
1. Кандидат испуњава све формалне и суштинске услове прописане Законом о високом образовању и Статутом Електротехничког факултета Универзитета у Београду за одобрење теме за израду докторске дисертације.
2. Предложена тема "Енергетски претварачи једносмерног напона са резонантним колима и субрезонантном прекидачком учестаношћу" је научно заснована, а резултати, до којих ће се доћи изградом ове дисертације, представљаће значајан и оригиналан допринос области предметног истраживања.

Комисија констатује да предложена тема припада области електротехнике и рачунарства, за коју је матичан Електротехнички факултет у Београду. Тема припада ужој научној области енергетски претварачи. За ментора се предлаже др Слободан Вукосавић, редовни професор Електротехничког факултета у Београду.

Узимајући у обзир све наведено у овом Извештају, Комисија предлаже Наставно-научном већу Електротехничког факултета Универзитета у Београду да прихвати тему докторске дисертације "Енергетски претварачи једносмерног напона са резонантним колима и субрезонантном прекидачком учестаношћу" и да кандидату Петру Марковићу одобри израду теме.

У Београду, 31.5.2018.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ



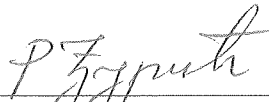
др Слободан Вукосавић, редовни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



др Милан Бебић, доцент
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



др Жарко Јанда, виши научни сарадник
Универзитет у Београду – Електротехнички институт
Никола Тесла



др Радивоје Ћурић, доцент
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет