

Факултет МАШИНСКИ

645/5
(Број захтева)

28.05.2015.
(Датум)

Образак 1.
УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

Већу научних области техничких наука
(Назив стручног већа коме се захтев упућује, сагласно
Члану 6. и чл. 7 став 1. овог Правилника)

ЗАХТЕВ
за давање сагласности на предлог теме докторске дисертације

Молимо да сходно чл. 46. ст.5. тач.3. Статута Универзитета у Београду („Гласник Универзитета“, број 131/06), дате сагласност на предлог теме докторске дисертације

ПРЕДИКЦИЈА КАРАКТЕРИСТИКА ДИЕЛЕКТРИКЕ ВАКУУМСКИХ ПРЕКИДАЧА НА ОСНОВУ
ИСПИТИВАЊА ПРЕТПРОБОЈНИХ ФЕНОМЕНА
(пун назив предложене теме докторске дисертације)

НАУЧНА ОБЛАСТ Техничка физика

ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ:

1. Име, име једног родитеља и презиме кандидата: РАДОМИР (БРАНИСЛАВ) ТОДОРОВИЋ

2. Назив и седиште Факултета на коме је стекао високо образовање: Електротехнички факултет
Београд

3. Година дипломирања: 1997.

4. Назив магистарске тезе кандидата: Слабљење тонфреквентног сигнала при његовом проласку кроз
електроенергетску мрежу

5. Назив Факултета на коме је магистарска теза одбрањена: Електротехнички факултет Београд

6. Година одбране магистарске тезе: 2003.

7. Назив Факултета на коме је кандидат уписао докторске студије: /

Одсек, смер или група: /

Година уписа докторских студија: /

Обавештавамо Вас да је Наставно-научно веће Факултета
(назив надлежног тела Факултета)

на седници одржаној 28.05.2015
размотрило предложену тему и закључило да је тема подобна за израду докторске дисертације.

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

Проф.др Милорад Милованчевић

Прилог:

1. Предлог теме докторске дисертације са образложењем.

2. Акт надлежног тела факултета о подобности теме за израду докторске дисертације.

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
- МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ -
Број: 645/5
Датум: 28.05.2015. године
Београд, Краљице Марије 16

На основу захтева мр Радомира Тодоровића, дипл. инж. ел., бр. 645/1 од 07.04.2015. године да му се одобри израда докторске дисертације, реферата Комисије у саставу: проф. др Добрила Шкатарић, проф.др Зоран Трифковић и проф.др Предраг Осмокровић, Државни универзитет у Новом Пазару, број 645/4 од 25.05.2015. године, а на основу члана 128. Закона о високом образовању („Службени гласник РС“, број 76/2005, 100/2007 – аутентично тумачење, 97/2008, 93/2012 и 89/2013), члана 32. Закона о изменама и допунама Закона о високом образовању („Службени гласник РС“ број 44/2010) и члана 63. Статута Машинског факултета (број 1876/1 од 04.10.2013. године), Наставно-научно веће Машинског факултета у Београду на седници од 28.05.2015. године, донело је следећу

ОДЛУКУ

Прихвата се научна заснованост теме докторске дисертације и констатује се да кандидат мр **РАДОМИР ТОДОРОВИЋ**, дипл. инж. ел. испуњава услове за израду докторске дисертације **«ПРЕДИКЦИЈА КАРАКТЕРИСТИКА ДИЕЛЕКТРИКЕ ВАКУУМСКИХ ПРЕКИДАЧА НА ОСНОВУ ИСПИТИВАЊА ПРЕТПРОБОЈНИХ ФЕНОМЕНА»**.

За ментора докторанду мр Радомиру Тодоровићу, именује се проф. др **Добрила Шкатарић**, коментор проф.др **Зоран Трифковић**.

Одлуку доставити: Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду на сагласност, ментору и архиви Факултета.

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

проф. др Милорад Милованчевић

ВЕЋУ ДОКТОРСКИХ СТУДИЈА

Предмет: Подобност теме и кандидата мр Радомира Тодоровића за израду докторске дисертације

Одлуком бр. 645/3 од 30.4.2015, именовали смо за чланове Комисије за оцену подобности теме и кандидата мр Радомира Тодоровића дипл. инж. ел. за израду докторске дисертације и научне заснованости теме

“Предикција карактеристика диелектрике вакуумских прекидача на основу испитивања претпробојних феномена”

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

РЕФЕРАТ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Радомир Тодоровић рођен је 06.08.1970. године у Косовској Митровици. Прву београдску гимназију “Моше Пијаде” завршио је 1989. године, а 1990. године, уписао је Електротехнички факултет Универзитета у Београду. На Електротехничком факултету дипломирао је у мају 1997. године на Енергетском одсеку, смер, Електроенергетски системи и мреже, са средњом оценом 7,09 и оценом на дипломском испиту 10.

Школске 1997/1998 године уписао је и похађао постдипломске студије на Електротехничком факултету у Београду-смер Електроенергетска постројења и опрема. Магистрирао је 17.7.2000. године са магистарским радом на тему “Слабљење тонфреквентног сигнала при његовом проласку кроз електроенергетску мрежу”, област електроенергетска постројења. Стручни испит из електротехнике положио је јуна 2000. године.

Од фебруара 1998. године запослен је у “Електродистрибуцији Београд” као инжењер енергетичар у Служби за МТК при Диспечерском центру Београда, затим од марта 2003. године шеф службе за МТК, и од новембра 2009. године руководиоца Погона Сопот у оквиру Приградске дирекције ЕДБ.

Поседује и три лиценце: 2003. године - одговорни пројектант електроенергетских инсталација ниског и средњег напона, 2006. године – одговорни извођач радова електроенергетских инсталација ниског и средњег напона и извођача електричних

инсталација, и 2010. године – одговорни пројектант телекомуникационих мрежа и система.

1.2. Стечено научноистраживачко искуство

У свом досадашњем раду мр Радомир Тодоровић, дипл. инг. електротехнике је објавио следеће радове:

Категорија М22

1. **R. Todorović**, M.Vujić, D.Kovačević, K. Stanković, P.Osmokrović *"Boundary area between gas and vacuum breakdown mechanism"* Vacuum journal, volume 86, issue 12, 20 july 2012, pages 1800-1809., IF= 1,412; ISSN: 0042-207X

Категорија М33

2. **R. Todorović**, Z. Bajramović, K. Stanković, U. Kovacević, R. Marić, *"Irreversible Changes of Vacuum Circuit Brakers' Dielectric Strength as a Result af Current Breaking Operation"*, 2015 IEEE Pulsed Power Conference and Symposium on Fusion Engineering, 31 May – 4 June 2015, Austin, USA (accepted for publication).

Категорија М52

3. **Р. Тодоровић**, Д. Ивковић *"Оптимално простирање ТФ сигнала у дистрибутивној мрежи један од услова поузданости система МТК"* Електродистрибуција број.2, септембар 2000.год, стр.139-146.
4. **Р. Тодоровић** *"Слабљење тонфреквентног сигнала при његовом проласку кроз електроенергетску мрежу"* „Електродистрибуција“ број 3, децембар 2003.год., стр40-50.

Категорија М63

5. **Р. Тодоровић**, Д. Ивковић *„Распростирање тонфреквентног сигнала у преносној и дистрибутивној мрежи на подручју Електродистрибуције-Београд“* 25 саветовање ЈУКО ЦИГРЕ, Херцег Нови, 16-20 септембар 2001.год. **P-39-08**
6. **Р. Тодоровић**, Д. Ивковић, З. Мечанин *"WT канали – преносни медијум у техници мрежне тонфреквентне команде"* 11 Симпозијум – управљање и телекомуникације у електроенергетском систему, Херцег Нови, 21-24 мај 2002.г., Зборник радова стр345-351
7. В. Живановић, **Р. Тодоровић**, М. Милошевић *"Утицај батерија за компензацију реактивне снаге у ТС 10/0.4кV на простирање МТК сигнала у нисконапонској мрежи Електродистрибуције Београд"* 26 саветовање ЈУКО ЦИГРЕ, Бања Врућица, 25-30 мај 2003.год. Зборник радова **P39-08**

- Р. Тодоровић** и З. Мечанин *”Програм за опслуживање ФQД предајника“* 12 Симпозијум – управљање и телекомуникације у електроенергетском систему, Бечићи, 19-21 мај 2004.год. , Зборник радова стр.123-130
8. С. Ђекић, **Р. Тодоровић**, Б. Симић, С. Марковић, З. Рајовић, *”Примена Пашиеновог закона за предикцију понашања система изолованих гасом изложених импулсном пробојном напону”*, 31. саветовање ЦИГРЕ Србија, Златибор 26.05.-30.05.2013, Зборник радова Р Д1-02, ИСБН 978-86-82317-73-9.
9. **Р. Тодоровић**, Б. Симић, З. Рајовић, Д. Ковачевић, К. Станковић, *”Механизми пробоја у прелазној области између гаса и вакуума”*, 31. саветовање ЦИГРЕ Србија, Златибор 26.05.-30.05.2013, Зборник радова Р Д1-04, ИСБН 978-86-82317-73-9.
10. **Р. Тодоровић**, З. Бајрамовић, С. Александровић, М. Јурошевић, П. Осмокровић, *”Корелација између претпробојних и пробојних феномена код вакуумских прекидача у функцији деструкције изолационог система изазване склопним операцијама”*, 32. саветовање ЦИГРЕ Србија, Златибор 17.05.-21.05.2015, Зборник радова Р Д1-03.

Категорија М64

11. Д. Вукотић, Обрадовић, **Р. Тодоровић** *”Експлоатациона искуства у примени интелигентних линијских прекидача у оквиру средњенапонске електродистрибутивне мреже ПД Електродистрибуција Београд“* ЦИРЕД СРБИЈА 2014, Врњачка бања, 22-26.09.2014.год, Зборник радова СТК-4, Р-4.15.

1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

Комисија сматра да је кандидат Мр Радомир Тодоровић испунио потребне услове за пријаву теме докторске дисертације и да је способан да самостално ради на предложеној теми. Поред стеченог образовања на Електротехничком факултету, богатог радног искуства у струци у којој ће се резултати истраживања из предложене тезе примењивати, у протеклом периоду бавио се различитим истраживањима и објавио неколико радова, од којих је један у реномираном часопису са импакт фактором. Сматрамо да је кандидат подобан за пријаву и даље, за израду докторске дисертације под наведеним насловом.

2. Предмет и циљ истраживања

Предмет истраживања докторске дисертације

Теоретски вакуум је простор без механичких особина. Такав теоретски вакуум је, за сада, немогуће остварити. Због тога се, за практичне потребе, користи технички вакуум. Технички вакуум се дефинише као систем у коме средња слободна дужина пута слободних честица премашује карактеристичне димензије тога система.

У електричном погледу, технички вакуум је идеалан диелектрик, јер у њему не може да дође до самоодржавајућег лавинског процеса, односно до електричног

пробоја. Овакво разматрање, међутим, није у потпуности тачно, јер иако није могуће остварити електрични пробој вакуума као диелектрика, могуће је остварити електрични пробој вакуумске диелектрике (разлика између диелектрика и диелектрике је што диелектрику чини диелектрик и електродни систем). До електричног пробоја вакуумске диелектрике долази класичним лавинским механизмом у испареном материјалу електрода које су, претходно, доведене у термички нестабилно стање. Термичка нестабилност електрода вакуумске диелектрике може се изазвати Цуловим ефектом струје хладне емисије или микроделићима електродног материјала убрзаним електричним пољем. И поред могућности електричног пробоја вакуума он представља диелектрик најбољих карактеристика са аспекта техничке примене.

Прве идеје примене вакуума као диелектрика датирају још из 1920. године да би званично производња вакуумских прекидача отпочела 1962. године. Данас вакуумски комутациони апарати и прибор обухватају широку палету производа, укључујући контакторе малих димензија, па све до енергетских, аутоматских, прекидача на нисконапонском или висконапонском нивоу.

Висконапонски вакуумски прекидачи имају предност над другим, одговарајућим, типовима прекидача пошто могу да врше прекидање струје и када она није у нули. Та особина, која се неретко користи, за последицу има честу појаву електричног лука током расклопа. Са друге стране, скоро, идеална чистоћа вакуума доводи до заваривања контакта приликом склопне операције и раскидања тих варова наредном операцијом расклопа. Ове појаве могу довести до драстичних промена топографије контаката па, самим тим, и вредности пробојног напона. Имајући то у виду може се констатовати да диелектрика вакуумских прекидача манифестује високу иреверзибилност диелектричних својстава током експлоатације. Самим тим није могуће експериментално формирати репрезентативни узорак, тј. узорак са прихватљивом статистичком несигурношћу, случајне променљиве пробојни напон вакуумских прекидача након склопно-расклопне операције. Последица тога је недовољно поуздано познавање вредности пробојног напона након операције расклопа, што је уједно једна од критичних карактеристика прекидача уопште (тј. најгори могући догађај за прекидач у погону је пробој / провођење у расклопу). Да би се таква могућност искључила, уз задржавање оптималних међуконтактних растојања, потребно је моћи проценити вредност пробојног напона међуконтактног растојања у стању расклопа. Предмет овога рада је испитивање могућности предикције пробојног напона међуконтактног растојања мерењем струје између расклопљених контаката (емисионе струје).

Научни циљ истраживања

Научни циљ рада је да се на основу анализе могућег механизма пробоја вакуумске диелектрике вакуумског прекидача у стању расклопа, уз узимање у обзир претходне склопне операције, објасне добијене релације корелације и регресије између статистичких узорака случајних променљивих емисиона струја и пробојни напон у зависности од типа претходне склопне операције. До потребних статистичких узорака ће се доћи унапређењем постојећег експерименталног склопа који ће омогућити симултано мерење емисионе струје и пробојног напона након

склопних операција уклоп без струје – расклоп без струје, уклоп без струје – расклоп са номиналном струјом и уклоп без струје расклоп са струјом кратког споја.

Рад на предложеној докторској дисертацији ослањаће се између осталог, на научне резултате приказане у литератури која се наводи:

1. Budde M, Kurrat M. *Dielectric investigations on micro discharge currents and conditioning behaviour of vacuum gaps*, Proc. 22th International Symposium on Discharges and Electrical Insulation in Vacuum (ISDEIV) 2006; 67-70.
2. Todorović R, Vujisić M, Kovačević D, Stanković K, Osmokrović P. *Boundary area between gas and vacuum breakdown mechanism*. Vacuum 2012;86:1800-9.
3. Schade E. *Physics of high-current interruption of vacuum circuit breakers*, IEEE Trans Plasma Sci 2005; 33:1564–75.
4. Alimpijević M, Rajović Z, Brajović D, Stanković K, Vujisić M. *Influence of the Breakdown Mechanism to the Left of the Paschen Minimum on the Breakdown Temperature of the Free Electron Gas Maxwell Spectrum*. Vacuum 2014;99:89-94.
5. Beilis II. *State of the theory of vacuum arcs*. IEEE Trans Plasma Sci 2001;29:657–70.
6. Marić R, Stanković K, Vujisić M, Osmokrović P. *Electrical breakdown mechanisms in vacuum diodes*. Vacuum 2010;84:1291-5.
7. Gramberg I, Kurrat M; Gentsch D. *Investigations on the dielectric behavior of vacuum circuit breakers after switching operations*, Proc. 24th International Symposium on Discharges and Electrical Insulation in Vacuum (ISDEIV) 2010; 269 – 72.
8. Farrall GA, Hudda FG. *The movement of elongated metal particles under high voltage stress in vacuum*. J Appl Phys 1980;51: 4706 – 17.
A. Greenwood. *Vacuum switchgear*. IET Power Series 18, 2007.
9. Halbach P, Golde K, Hinrichsen V, Ermeler K, Teichmann J. *Switching behavior of vacuum interrupters under practical system conditions*, Proc. 24th International Symposium on Discharges and Electrical Insulation in Vacuum (ISDEIV) 2010;253–6.
10. Cobine JD. *Vacuum Arcs Theory and Applications*. New York: John Wiley & Sons, 1980.
11. Mitchell GR. *High-current vacuum arcs*. Proc. IEEE 1970;117:2315-26.
12. Widl W. *Use of integral arc models in circuit breaker testing and development*. IEEE Trans Power Del 1988;3:1685-91.
13. Lins G. *Evolution of copper vapor from the cathode of a diffuse vacuum arc*. IEEE Trans. Plasma Sci 1987;15:552-6.
14. Hausschild W, Mosch W. *Statistical techniques for high – voltage engineering*. London: Peregrinus, 1992.
15. Jaksic U, Arsic N, Fetafovic I, Stankovic K. *Analysis of correlation and regression between particle ionizing radiation parameters and the stability characteristics of irradiated monocrystalline Si film*. Nucl Technol Radiat 2014;29:123-7.

16. Mostić D, Osmokrović P, Stanković K, Radosavljević R. *Dielectric characteristics of vacuum circuit breakers with CuCr and CuBi contacts before and after short-circuit breaking operations*. Vacuum 2011;86:156-64.
17. Milanović Z, Stanković K, Vujisić M, Radosavljević R, Osmokrović P. *Calculation of Impulse Characteristics for Gas-insulated Systems with Homogenous Electric Field*. IEEE Trans Dielectr Electr Insul 2012;19:648-59.
18. Sugita M, Okabe S, Ueta G, Wang W, Wang X, Yanabu S. *Interruption phenomena for various contact materials in vacuum*. IEEE Trans Plasma Sci 2009; 37:1469–76.
19. Stanković K, Pešić M, Osmokrović P, Vujisić M. *Surface Time enlargement law for gas pulse breakdown*. IEEE Trans Dielectr Electr Insul 2008;15:994-1005.
20. Osmokrović P, Maric R, Stankovic K, Ilic D, Vujisic M. *Validity of the Space-Time enlargement law for vacuum breakdown*. Vacuum 2010;85:221-30.
21. Kovacevic A, Despotovic D, Rajovic Z, Stankovic K, Kovacevic A, Kovacevic U. *Uncertainty Evaluation of the Conducted Emission Measurements*. Nucl Technol Radiat 2013;28:182-90.
22. Pejović MM, Ristić GS, Karamarković JP. *Electrical breakdown in low pressure gases*. J Phys D Appl Phys 2002;35:91-103.
23. Osmokrović P. *Mechanism of electrical breakdown of gases at very low pressure and inter-electrode gap values*. IEEE Trans Plasma Sci 1993;21:645-54.
24. Osmokrović P, Vujisic M, Stankovic K, Vasic A, Loncar B. *Mechanism of electrical breakdown of gases for pressures from 10⁻⁹ to 1 bar and inter-electrode gaps from 0.1 to 0.5mm*. Plasma Sources Sci Tech 2007;16:643-55.
25. Osmokrović P. *Electrical breakdown of SF₆ at small values of product pd*. IEEE Trans Pow Deliver 1989;4:2095-100.
26. Jovanović B, Stanković K, Vujisić M, Osmokrović P. *Initiation and progress of breakdown in the range to the left of the Paschen minimum*. IEEE Trans Dielectr Electr Insul 2011;18:954-63.
27. Pejović MM, Ristić GS. *Analysis of mechanisms which lead to electrical breakdown in a krypton-filled tube using the time delay method*. J Phys D Appl Phys 2000;33:2786-90.
28. Townsend JS. *Electricity in gases*. Oxford: Clarendon Press; 1915.
29. Djekić S, Osmokrović P, Vujisić M, Stanković K. *Conditions for the applicability of the geometrical similarity law to impulse breakdown in gases*. IEEE Trans Dielectr Electr Insul 2010;17:1185-95.
30. Stankovic K, Osmokrović P, Dolicanin C, Vujsic M, Vasic A. *Time enlargement law for gas pulse breakdown*. Plasma Sources Sci Tech 2009;18:art. no. 025028.
31. Pejović MM, Bosan DA, Nallbani BA. *Relation between secondary ionisation coefficient and electrical breakdown in nitrogen*. J Phys D Appl Phys 1982;15:31-4.
32. Osmokrović P, Vasić A. *Anomalous Paschen effect*. IEEE Trans Plasma Sci 2005;33:1672-6.
33. Osmokrović P, Vasić A, Živić T. *The influence of the electric field shape on the gas breakdown under low pressure and small inter-electrode gap conditions*. IEEE Trans Plasma Sci 2005;33:1677-81.

34. McCoy F, Coenraads C, Thayer M. *Some effects of electrode metallurgy and field emission voltage strength in vacuum. Proceedings of 1st international symposium on High voltage in vacuum*, Cambridge, MA, USA, 1964.
35. Pejović MM, Mijović BJ, Bosan DA. *Influence of electrode surface and some gas phase processes on electrical breakdown in nitrogen-filled diodes*. J Phys D Appl Phys 1984; 17:351-5.
36. Pejović MM, Bosan DA. *Influence of electrode temperature on the metastable atom concentration in an argon-filled diode*, J Phys D Appl Phys 1981;14:693-8.
37. Osmokrović P. *The irreversibility of dielectric strength of vacuum interrupters after short-circuit current interruption*. IEEE Trans Pow Deliver 1991;6:1073-81.
38. Bosan DA, Pejović MM. *Dependence of time of breakdown on electrode temperatures in nitrogen filled diodes*. J Phys D Appl Phys 1979;12:1699-1702.
39. Pejović MM, Pejović MM. *Memory effect in argon in the presence of vacuum and gas electrical breakdown mechanism*. Appl Phys Lett 2008;92:art.no.011507.
40. Pejović MM, Pejović MM. *Contribution of statistical time delay and formative time to total electrical breakdown time delay in argon for different afterglow periods*. J Vac Sci Technol A 2008;26:1326-30.
41. Pejović MM, Ristić GS, Milosavljević ČS, Vuković PD, Karamarković JP. *Statistical reliability of time delay values for nitrogen-filled tube at pressure of 1.3mbar*. Vacuum 1999;53:435-40.
42. Marić R, Stanković K, Vujisić M, Osmokrović P. *Electrical breakdown mechanisms in vacuum diodes*. Vacuum 2010;84:1291-5.
43. Greenwood A. *Vacuum switchgear*. London: The Institution of Engineering and Technology; 2007.
44. Mostić D, Osmokrović P, Stanković K, Radosavljević R. *Dielectric characteristics of vacuum circuit breakers with CuCr and CuBi contacts before and after short-circuit breaking operations*. Vacuum 2011;86:156-64.
45. Widl W. *Contact Welding and Field Emission Initiated Breakdown in Vacuum*. ETZ Archive 1982;4:79-83.
46. Đogo G, Osmokrović P. *Statistical properties of electrical breakdown in vacuum*, IEEE Trans Electr Insul 1989;24:949-53.
47. BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAC, IUPAP and OIML. *Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement*, International Organization for Standardization, Geneva, 1995.
48. Stanković K, Vujisić M, Deliće LJ. *Influence of tube volume on measurement uncertainty of GM counters*. Nucl Technol Radiat Prot 2010;25:46-50.
49. Stanković K. *Influence of the plain-parallel electrode surface dimensions on the type a measurement uncertainty of GM counter*. Nucl Technol Radiat Prot 2011;26:39-44.
50. Stanković K, Vujisić M, Kovačević D, Osmokrović P. *Statistical analysis of the characteristics of some basic mass-produced passive electrical circuits used in measurements*. Measurement 2011;44:1713-22.
51. Vujisić M, Stanković K, Osmokrović P. *A statistical analysis of measurement results obtained from nonlinear physical laws*. Appl Math Model 2011;35:3128-35.

3. Полазне хипотезе

Основне хипотезе од којих се полази су следеће:

- електрични пробој вакуума се иницира увођењем једне, или обе, електроде у термичку учесталост, а развија се и самоодржава у испареном материјалу електрода
- постоји више механизма електричног пробоја вакуума и на њих пресудно утичу како топографија електродних површина тако и материјал од којих су израђене
- склопне операције вакуумских склопних елемената утичу на стање површина контаката, а тиме и на вредност пробојног напона међуконтактног простора у стању отворених контаката
- није могуће експериментално одредити случајну променљиву електрични пробој међуконтактног растојања уз врсту склопне операције као параметар пошто свака склопна операција доводи до иреверзибилних промена вакуумске диелектрике
- зависно од механизма пробоја вакуума могуће је, мерењем претпробојне струје, поуздано одредити одговарајућу вредност пробојног напона
- одређивање релација корелације и регресије омогућава квантификовање између статистичких узорака случајних променљивих претпробојне струје и пробојни напон
- тип претходне склопне операције утиче на механизам пробоја вакуума међуконтактног растојања

На основу постављених хипотеза очекује се научни и стручни допринос како у области разграничења механизма тако и у формирању алгорита за предвиђање диелектричке издржљивости међуконтактног растојања вакуумских прекидача након склопних операција.

4. Научне методе истраживања

Током истраживања ће се применити теоретске, експерименталне статистичко-нумеричке методе.

Методе и поступци појединих научних области на којима ће се заснивати предложена докторска дисертација су:

- експериментални поступак мерења dc , ac импулсног пробојног напона
- експериментални поступак мерења малих, претпробојних, струја

- изражавање мерне несигурности тип А, тип В и комбиновани тип за све експерименталне поступке
- прорачун електричног поља методом симулације наелектрисања
- статистичке методе анализе микроскопских феномена електричног пражњења у гасовима и вакууму
- теоретске методе тумачења ефекта склопних операција са и без прекидања струје

5. Очекивани научни допринос

Полазећи од циља истраживања и приказаног плана истраживања очекују се следећи научни и стручни доприноси у предложеној докторској дисертацији:

- проширивање сазнања о механизмима иницирања и развоја електричног пробоја у вакуумима;
- Дефинисање прелазних области између гасног вакуумског механизма пробоја, односно између разних вакуумских механизма пробоја;
- провера хипотезе о постојању лавинског механизма иницирања вакуумских пробоја;
- Вишепараметарска анализа микроскопских и макроскопских феномене електричног пражњења у вакууму уз варијацију параметара (притиска вакуума, материјала електрода и топографије електричних површина);
- Статистичка расподела статистичког узорка променљиве *ас* импулсни пробојни напон, са степеном деградације контактне топографије изазване склопним операцијама као параметром;
- Релација Корелације и регресије између претпробојне струје и пробојног напона вакуумског прекидача отворених контаката у зависности од претходне склопне операције;
- Механизам пробоја међуконтактног растојања вакуумског прекидача отворених контаката у зависности од претходне склопне операције;
- Механизам пробоја међуконтактног растојања вакуумског прекидача отворених контаката након склопних операција;
- Систематизовање утицаја материјала контаката на механизам пробоја међуелектродног растојања вакуумских прекидача након склопних операција;

- Предикција ac и импулсног пробојног напона вакуумског прекидача отворених контаката на основу мерења претпробојне струје у зависности од претходно изведене склопне операције

6. План истраживања и структура рада

План истраживања обухвата:

- проучавање одговарајуће литературе везане за израду предложене дисертације
- дефинисање циљева дисертације и потребних корака за њихово остваривање
- проучавање поузданих статистичких поступака за поставку експеримента и обраду експерименталних резултата
- експериментално испитивање механизма електричног пробоја вакуума на лабораторијским узорцима уз варијацију притиска вакуума, међуелектродног растојања, електродног материјала и топографије електродних површина
- статистичка обрада добијених резултата
- конципирање и постављање експеримента са комерцијалним вакуумским прекидачима различитих произвођача и материјала контакта
- изражавање мерне несигурности тип А, тип В и комбиновани тип за сваки експериментални поступак
- статистичка обрада добијених резултата
- испитивање релације корелације и регресије између претпробојне струје и ac и импулсног пробојног напона зависно од претходно извршене склопне операције
- теоретско објашњење добијених резултата применом физике плазме и теорије механизма пробоја вакуума

На основу претходног предложена дисертација ће имати следећу **структуру**:

1. Увод
 - 1.1 Проблем истраживања са прегледом до сада познатих резултата из проблематике
 - 1.2 Циљ истраживања
 - 1.3 Методологија истраживања
2. Механизми електричног пробоја гасова
 - 2.1 Механизми електричног пробоја гасова при ниским притисцима вакуума
 - 2.2 Механизми електричног пробоја вакуума
3. Статистичке методе
4. Експериментални поступак
5. Резултати и дискусија
6. Закључак
7. Литература

7. Закључак и предлог

На основу претходно изнетог материјала, чланови Комисије су закључили да мр Радомир Тодоровић, дипл. инг. електротехнике испуњава све услове из законских прописа и одговарајућих захтева из општих аката Машинског факултета Универзитета у Београду за израду докторске дисертације, као и да је предложена тема одговарајућа за израду докторске дисертације. Према томе, чланови Комисије предлажу Наставно-научном већу Машинског факултета Универзитета у Београду да кандидату мр Радомиру Тодоровићу, дипл. инг. електротехнике одобри израду докторске дисертације под радним насловом

„Предикција карактеристика диелектрике вакуумских прекидача на основу испитивања претпробојних феномена“

и да предложи Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду да одобри предметну тему за израду докторске дисертације. Ужа научна област је Техничка физика, за потенцијалног ментора се предлаже проф др Добрила Шкатарић, редовни професор, а коментора проф др Зоран Трифковић, редовни професор, обоје са Машинског факултета Универзитета у Београду.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

**Проф. др Добрила Шкатарић, редовни професор
Универзитета у Београду-Машински факултет**

**Проф. др Зоран Трифковић, редовни професор
Универзитета у Београду-Машински факултет**

**Проф. др Предраг Осмокровић, редовни професор
Државног универзитета у Новом Пазару**

Додатак уз образац 1.

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ

за кандидата Мр Тодоровић Радомира

Име и презиме ментора: Добрила Шкатарић

Звање: редовни професор

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. Skataric Dobrila, Gajic Zoran and Qian Lijun: *Optimal linear and bilinear algorithms for power control in 3G wireless CDMA networks*, European Transactions on Telecommunications, 2007, Vol. 18, No. 4, pp. 419 -426, ISSN 1124-318x, IF(2007)=0,356.
2. Arnautović D. and Škatarić D., *Suboptimal design of hydroturbine governors*, IEEE Transactions on energy conversion, 1991, Vol. 6, pp. 438-444, ISSN 0885-8969, IF(1992)=0,213.
3. Škatarić D. and Gajić Z., *Linear control of nearly singularly perturbed hydro-power plants*, Automatica Journal, Vol. 28, No. 1, 1992, pp. 159-163, ISSN 0005-1098, IF(1992)=0,738.
4. Nada Ratkovic Kovacevic and Dobrila Skataric: *Multimodeling Control via System Balancing*, Mathematical Problems in Engineering, 2010, Volume 2010, ID 841830, doi:10.1155/2010/841820, Hindawi Publishing Corporation, 20 pages, ISSN 1024-123x, IF(2009)=0,556.
5. Koskie S., Škatarić D. and Petrović B., *Convergence proof for recursive solution of linear quadratic Nash games for quasy-singularly perturbed systems*, Dynamics of Continuous, Discrete and Impulsive Systems, Series B, Applications & Algorithms, Vol. 9, No. 2, 2002, pp. 317-333, ISSN 1492-8760, IF(2003) =0,406.
6. Škatarić D., Gajić Z. and Arnautović D., *Reduced order design of optimal control for quasi weakly coupled linear control systems*, Control-Theory and Advanced Technolodgy, Vol. 9, No. 3, 1993, pp. 481-490, ISSN 0911-0704, IF(1992)=0,315.

Заокружити одговарајућу опцију (А, Б, В или Г):

А) У случају менторства дисертације на докторским студијама у групацији техничко-технолошких, природно-математичких и медицинских наука ментор треба да има најмање три рада са SCI, SSCI, AHCI или SCIE листе, као и Math-Net.Ru листе.

Б) У случају менторства дисертације на докторским студијама у групацији друштвено-хуманистичких наука ментор треба да има најмање три рада са релевантне листе научних часописа (Релевантна листа научних часописа обухвата SCI, SSCI, AHCI и SCIE листе, као и ERIH листу, листу часописа које је Министарство за науку класификовало као M24 и додатну листу часописа коју ће, на предлог универзитета, донети Национални савет за високо образовање. Посебно се вреднују и монографије које Министарство науке класификује као M11, M12, M13, M14, M41 и M51.)

В) У случају израде докторске дисертације према ранијим прописима за кандидате који су стекли академски назив магистра наука ментор треба да има пет радова (референци) које га, по оцени Већа научних области, квалификују за ментора односне дисертације.

Г) У случају да у ужој научној области нема квалификованих наставника, приложити одлуку Већа докторских студија о именовању редовног професора за ментора.

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА

Датум _____

М.П.

Додатак уз образац 1.

ПОДАЦИ О КОМЕНТОРУ

за кандидата Мр Тодоровић Радомира

Име и презиме коментора: Зоран Трифковић

Звање: редовни професор

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. Jovan Cvetić, Predrag Osmokrović, Fridolin Heidler and Zoran Trifković, "Extension of Lightning Corona Sheath Model during Return Stroke", *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, Vol. **18**, No. 5; October 2011, pp 1383-1392. IF=1,729; ISSN 1070-9878
2. Trifković Zoran M, Osmokrović Predrag V, "Resonant generation of the rectification electric mode in suddenly created cold lossless magnetized plasma. Transversal propagation.", *Journal of Applied Physics*, Vol. **105**, No. 1, 2009., pp 013310-1-013310-5. IF=2,278; ISSN 1089-7550
3. Trifković Zoran M, Cvetić Jovan M, Osmokrović Predrag V, "Generation of degenerate modes in suddenly created cold weakly nonlinear magnetized plasma", *Plasma Devices and Operations*, Vol. **17**, No. 4, 2009, pp 301-308. IF=0.64; ISSN 0741-3335
4. Trifković Zoran M, Osmokrović Predrag V, "Conversion of a left-hand circularly polarized whistler wave into the magnetic energy of a controllable helical wiggler wave", *Plasma Devices and Operations*, Vol. **17**, No. 3, 2009, pp 215-220. IF=0,64; ISSN 0741-3335
5. Bozidar V. Stanic and Zoran M. Trifković, "The Third Harmonic Generation of Traveling and Stationary Wave Modes in a Suddenly Created Nonlinear Cold Plasma" *IEEE Transactions on Plasma Science*, Vol. **35**, 7 August 2007, pp. 1041-1045. IF=1,181; ISSN 0093-3813
6. Zoran M. Trifković and Bozidar V. Stanic, "Nonlinear transformation of electromagnetic wave in time varying medium. Longitudinal propagation", *Journal of Applied Physics*, Vol. **100**, No.7, 15 July 2006, pp. 3472-3479. IF=2,281; ISSN 1089-7550.

Заокружити одговарајућу опцију (А, Б, В или Г):

А) У случају менторства дисертације на докторским студијама у групацији техничко-технолошких, природно-математичких и медицинских наука ментор треба да има најмање три рада са SCI, SSCI, AHCI или SCIE листе, као и Math-Net.Ru листе.

Б) У случају менторства дисертације на докторским студијама у групацији друштвено-хуманистичких наука ментор треба да има најмање три рада са релевантне листе научних часописа (Релевантна листа научних часописа обухвата SCI, SSCI, AHCI и SCIE листе, као и ERIH листу, листу часописа које је Министарство за науку класификовало као М24 и додатну листу часописа коју ће, на предлог универзитета, донети Национални савет за високо образовање. Посебно се вреднују и монографије које Министарство науке класификује као М11, М12, М13, М14, М41 и М51.)

В) У случају израде докторске дисертације према ранијим прописима за кандидате који су стекли академски назив магистра наука ментор треба да има пет радова (референци) које га, по оцени Већа научних области, квалификују за ментора односне дисертације.

Г) У случају да у ужој научној области нема квалификованих наставника, приложити одлуку Већа докторских студија о именовању редовног професора за ментора.

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА

Датум _____

М.П.