

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКОГ ФАКУЛТЕТА У БЕОГРАДУ

На седници Наставно-научног већа Електротехничког факултета у Београду одржаној 02.11.2010. године, одређени смо за чланове Комисије за оцену услова и прихватање теме докторске дисертације мр Бранка Радичевића, дипл. инж. електротехнике под насловом „Анализа метода за заштиту ветроелектрана од директног атмосферског пражњења”. Након прегледа добијеног материјала, Наставно-научном већу Електротехничког факултета подносимо следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Подаци о кандидату

Мр Бранко Радичевић је рођен у мају месецу 1970. године у Београду, где је завршио основну школу и математичку гимназију. На Електротехничком факултету у Београду је дипломирао 12. јула 2001. године, на одсеку за енергетику. Постдипломске студије уписао је на Електротехничком факултету у Београду на профилу Енергетски претварачи и погони. Све предвиђене испите положио је са оценом 10. Магистарски рад, под насловом „Процена глобалног и локалног ветроенергетског потенцијала и савремена решења за добијање електричне енергије од енергије ветра“, одбранио је 10. децембра 2005. године – ментори проф. др Душан Микичић и проф. др Зоран Стојиљковић. Од 2001. године запослен је на Пољопривредном факултету Универзитета у Београду, као асистент на Катедри за техничке науке. Држи рачунске и лабораторијске вежбе из следећих предмета: „Обновљиви извори енергије“, „Електротехника у пољопривреди“ и „Аутоматизација у пољопривреди“ на Одсеку за пољопривредну технику и „Физичко-техничка мерења“ на Одсеку за прехранбену технологију и биохемију.

У свом досадашњем раду мр Бранко Радичевић је самостално или у сарадњи са другим ауторима објавио 20 радова у међународним и домаћим часописима, 5 радова на међународним конференцијама и 10 радова на конференцијама националног значаја. Више од половине радова је у непосредној вези са темом докторске дисертације. Рад који се директно односи на проблем који се проучава у докторској тези, а објављен је у реномираном међународном часопису је:

B. Radičević, M. Savić, “Experimental Research on the Influence of Wind Turbine Blade Rotation on the Characteristics of Atmospheric Discharges”, *IEEE Trans. Energy Convers.*, vol. 26, no. 4, pp. 1–10, 2011 (Врхунски научни часопис, M21).

Поред тога је учествовао у реализацији пет пројекта технолошког развоја МНТР Републике Србије, две студије и једног међународног пројекта (из области електроенергетике и ветроенергије). Коаутор је једног уџбеника. Научно - истраживачки рад мр Бранка Радичевића у протеклом периоду био је усмерен на следеће области: обновљиви извори електричне енергије са нагласком на ветроенергетику, заштита ветроелектрана од атмосферског пражњења, примена

електричне енергије у индустрији и пољопривреди, електричне машине и информациони системи.

2. Предмет и циљ истраживања

2.1. Предмет истраживања

Ветроенергетика представља област енергетике са највећим трендом развоја у последњој деценији. Развој енергетске електронике, коришћење савремених електричних машина, употреба композитних материјала, економски исплатива конверзија енергије ветра у електричну енергију и све већа потреба и захтеви за коришћењем еколошки чистих извора енергије, резултовали су великим порастом инсталираних снага ветроелектрана. На већини ветровитих локација дуж морске обале и на копну, на којима се инсталирају савремене ветротурбине, кераунички ниво је веома висок. Ветроелектране, као дистрибуирани извори електричне енергије у електроенергетском систему, имају повећан ризик од удара грома, с обзиром да произвођачи непрекидно усавршавају све веће ветротурбине јединичних инсталисаних снага од 2 - 7 MW, са дужинама елиса (крила) од 35 – 65 и висине стуба до 145 m. Пренапони настали директним или индиректним атмосферским пражњењем у ветроелектране интензивно су проучавани последњих година. Константан развој и унапређење заштитних система ветроелектрана од атмосферских пражњења има изузетан значај, како би се смањиле штетне последице због механичких оштећења елиса, кварова на електричној и електронској опреми и испада ветроелектрана из погона изазваних директним ударом грома.

2.2. Циљ истраживања

Основни циљ истраживања је процена угрожености ветроелектрана за различите примењене методе заштите од директног удара грома. У литератури има мало података о утицају ротације елиса ветрогенератора на атрактивну зону, па ће у оквиру дисертације бити направљен покушај да се испита да ли се атрактивна зона ветротурбине за атмосферска пражњења разликује када ветрогенератор мирује и када се окреће. У том циљу се планира експериментално утврђивање разлике у прескочним ударним напонима између посебно обликоване електроде која симулира врх скоковитог лидера у претпоследњем скоку и модела елиса ветрогенератора који мирује и који се окреће.

Као критеријум би се користио 50% прескочи напон одређен методом горе-доле за елисе које мирују и које се врте различитим брзинама, при примењеним различитим мерама громобранске заштите.

На основу резултата анализе концепта заштите ветроелектрана од удара грома, експерименталних истраживања, симулације рада ветроелектране у реалним условима и испитивања на физичком моделу, у дисертацији ће као допринос бити предложен унапређен принцип заштите ветроелектрана од атмосферског пражњења.

3. Осврт на релевантне библиографске изворе

Преглед и анализа постојећих метода за заштиту ветроелектрана и других високих објеката од директних и индиректних атмосферских пражњења је дат у референцама ([1]-[5]). Развој метода за заштиту елиса ветроелектрана, као најугроженијег елемента конструкције, од директног удара грома и нумерички поступци за процену ударних растојања и могућих тачака удара грома, посебно су разматрани у референцама ([6]-[12]). Теоријска анализа утицаја ротације елиса ветротурбине на особине атмосферског пражњења извршена је у референцама ([13]-[14]). Преглед актуелних стандарда за громобранску заштиту ветроелектрана и приказ заштитних процедура и мера које су преузете из авиоиндустрије је приказан у референцама ([15]-[17]).

- [1] B. Glushakow, "Effective lightning protection for wind turbine generators," *IEEE Trans. Energy Convers.*, vol. 22, no. 1, pp. 214–222, Mar. 2007.
- [2] V. Peesapati and I. Cotton, "Lightning protection of wind turbines—A comparison of real lightning strike data and finite element lightning attachment analysis," in *Proc. 1st Int. Conf. Sustainable Power Generation Supply (SUPERGEN)*, Nanjing, China, Apr. 6–7, 2009, pp. 1–8.
- [3] V. Peesapati and I. Cotton, "Lightning protection of wind turbines—A comparison of lightning data & IEC 61400-24," in *Proc. 1st Int. Conf. Sustainable Power Generation Supply*, Nanjing, China, Apr. 6–7, 2009, pp. 1–7.
- [4] A. J. Eriksson, "The incidence of lightning strikes to power lines", *IEEE Trans. Power Del.*, vol. 1, no. 3, pp. 859–870, Jul. 1987.
- [5] K. Berger, "Novel observations of lightning discharges: results of research on Mount San Salvatore", *J. Franklin Inst.*, 283, 1967, pp. 478–525.
- [6] S. F. Madsen, J. Holboll, M. Henriksen, K. Bertelsen, and H. V. Erichsen, "New test method for evaluating the lightning protection system on wind turbine blades," in *Proc. 28th Int. Conf. Lightning Protection, Kanazawa, Japan*, Sep. 18–22, 2006, pp. 1497–1502.
- [7] M. Becerra, "On the attachment of lightning flashes to grounded structures," Ph.D. dissertation, Dept. Eng. Sci., Faculty Sci. Technol., Uppsala University, Uppsala, Sweden, 2008, 85 pp.
- [8] J. Holbøll, S. F. Madsen, M. Henriksen, K. Bertelsen, and H. V. Erichsen, "Lightning discharge phenomena in the tip area of wind turbine blades and their dependency on material and environmental parameters," in *Proc. 28th Int. Conf. Lightning Protection, Kanazawa, Japan*, Sep. 18–22, 2006, pp. 1–9.
- [9] I. Cotton, N. Jenkins, and K. Pandiaraj, "Lightning protection for wind turbine blades and bearings," *Wind Energy J*, vol. 4, no. 1, pp. 23–37, Mar. 2001.
- [10] T. Naka, N. J. Vasa, S. Yokoyama, A. Wada, A. Asakawa, H. Honda, K. Tsutsumi, and S. Arinaga, "Study on lightning protection methods for wind turbine blades," *IEEJ Trans. PE*, vol. 125, no. 10, pp. 993–999, 2005.

- [11] S. F. Madsen, "Interaction between electrical discharges and materials for wind turbine blades—particularly related to lightning protection," Doctoral thesis, Technical University of Denmark, 2006.
- [12] S. F. Madsen and H. V. Erichsen, "Numerical model to determine lightning attachment point distributions on wind turbines according to the revised IEC 61400-24," in *Proc. Int. Conf. Lightning Static Electr.*, Pittsfield, MA, Sep. 15–17, 2009, pp. 1–12.
- [13] M. A. Alonso and D. C. Irastorza, "Dynamic wind turbine lightning protection behaviour under storm conditions," in *Proc. 29th Int. Conf. Lightning Protection*, Uppsala, Sweden, 23–26 Jun. 2008, pp. 1–10.
- [14] F. Rachidi, M. Rubinstein, J. Montanya, J. L. Bermudez, R. R. Sola, Gloria, and N. Korovkin, "A review of current issues in lightning protection of new-generation wind turbine blades," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 55, no. 6, pp. 2489–2496, Jun. 2008.
- [15] *Wind Turbines—Part 24: Lightning Protection*, International Electrotechnical Commission, Geneva, Switzerland, IEC 61400-24, International Standard, Ed. 1.0, Jun. 2010.
- [16] *Aircraft Lightning Test Methods, Section 5: Direct Effects Test Methods*, (US) SAE ARP 5416, (EU) EUROCAE ED-105, 2005-3.
- [17] *Aircraft Lightning Environment and Related Test Waveforms*, (US) SAE ARP 5412, (EU) EUROCAE ED-84, Feb. 2005.

4. Полазна хипотеза рада

Полазна хипотеза рада је да постоји утицај ротације елиса ветрогенератора на атрактивности за атмосферска пражњења, што се до сада према доступним подацима из литературе није систематски проучавало.

5. Научне методе истраживања

- У првом делу рада би се проучили постојећи резултати анализа карактеристика атмосферског пражњења и специфичности заштитних система ветроелектрана од атмосферских пражњења, како би се смањиле штетне последице због механичких оштећења елиса, кварова на електричној и електронској опреми и испада ветроелектрана из погона изазваних ударом грома.
- За истраживање утицаја ротације елиса на промену угрожености од атмосферских пражњења биће примењена метода физичког моделовања и лабораторијског испитивања. Користиће се умањени модел ветрењаче који је потпуно веран оригиналу, само смањених димензија, без електричног генератора. За ротацију елиса ће се употребити фреквенцијски регулисан асинхрони мотор. Испитивање промене еквивалентног ударног растојања атмосферског пражњења радило би се у високонапонској лабораторији користећи ударне таласе негативног поларитета до 2000 kV (за таласе позитивног поларитета до 3500 kV) и разматрајући промену 50% прескочног напона применом „up and down“ методе.

- Увела би се специјална лучна електрода као еквивалентни извор електричног поља који симулира утицај врха скоковитог лидера, а да при томе тренутни положај елиса уопште не утиче на величину међуелектродног размака.
- На основу промене прескочног напона анализом резултата биће донет закључак о утицају ротације на атрактивност елиса ветрогенератора на атмосферске ударе. Експерименталним путем ће такође бити извршена анализа ефикасности различитих начина спровођења заштите ветрогенератора од директног атмосферског удара.

6. Садржај докторске дисертације

Докторска дисертација ће садржати неколико главних поглавља: уводна разматрања, карактеристике ветроелектрана, громобранска заштита ветроелектрана, утицај ротације елиса на карактеристике атмосферског пражњења, експериментално истраживање, дискусија и анализа добијених резултата, препоруке за будући рад и закључне напомене са главним доприносима.

7. Очекивани резултати и допринос истраживања

Основни очекивани резултати истраживања би били следећи:

- развој методологије испитивања ефикасности громобранске заштите ветроелектрана у условима ротације елиса. Формирање физичког модела, развој модела пражњења, избор оптималне методе за одређивање промене атрактивног ефекта. Овакво испитивање никада до сада није вршено;
- важан допринос ће бити закључак у погледу промене угрожености ветроелектрана од атмосферских пражњења у условима мировања и ротације елиса и имплицитно одређивање промена атрактивне зоне;
- донеће се закључак у погледу ефикасности различитих метода громобранских заштита елиса ветроелектрана (примена уземљених проводних капа на крајевима елиса од изолационог материјала, употреба електрода-рецептора у облику дугмади у близини врхова елиса и коришћење елиса без громобранске заштите).

8. Закључак и предлог

Кандидат мр Бранко Радичевић испуњава све законом прописане услове за израду докторске дисертације по старом закону. Кандидат је дипломирао и магистрирао на Енергетском одсеку Електротехничког факултета у Београду и стекао право да пријави докторат. Кандидат је објавио већи број радова на иностраним и домаћим конференцијама и један рад у реномираном светском часопису управо из области тезе. Тема је изузетно актуелна због ширења примене

ветроелектрана са једне стране, а са друге стране због њихове осетљивости на атмосферске ударе и тешких последица које при томе настају. На основу изнетог Комисија сматра да кандидат задовољава формалне и суштинске услове и предлаже Научно-наставном већу да прихвати предложену тему „Анализа метода за заштиту ветроелектрана од атмосферског пражњења” и кандидату дозволи израду докторске дисертације под горе наведеним насловом.

Београд, 3.10.2011. године

Комисија:

Проф. др Милан Савић, ментор

Проф. др Никола Рајаковић

Проф. др Љубомир Герић, ФТН Нови Сад