

ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА НОВИ САД

ИЗВЕШТАЈ О ОЦЕНИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

-обавезна садржина- свака рубрика мора бити попуњена

(сви подаци уписују се у одговарајућу рубрику, а назив и место рубрике не могу се мењати или изоставити)

I ПОДАЦИ О КОМИСИЈИ
<p>1. Датум и орган који је именовоа комисију</p> <p>Решењем бр. 012-199/46-2016, од 27. 09. 2018. године, декан Факултета техничких наука, именовоа је комисију за оцену и одбрану докторске дисертације.</p> <p>2. Састав комисије са знаком имена и презимена сваког члана, звања, назива уже научне области за коју је изабран у звање, датума избора у звање и назив факултета, установе у којој је члан комисије запослен:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. др Владимир Стрезоски, редовни професор, електроенергетика, 06.06.1995., Факултет техничких наука, Нови Сад, председник, 2. др Борис Думнић, ванредни професор, енергетска електроника, машине и погони и обновљиви извори електричне енергије, 12. 09. 2018, Факултет техничких наука, Нови Сад, члан, 3. др Стеван Грабић, ванредни професор, енергетска електроника, машине и погони и обновљиви извори електричне енергије, 27. 01. 2017, Факултет техничких наука, Нови Сад, члан, 4. др Саша Мујовић, ванредни професор, електроенергетика, 27.10.2016, Електротехнички факултет, Подгорица, члан, 5. др Владимир Катић, редовни професор, енергетска електроника, машине и погони и обновљиви извори електричне енергије, 30. 10. 2002, ментор.
II ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ
<ol style="list-style-type: none"> 1. Име, име једног родитеља, презиме: Александар, Мирослав, Станисављевић. 2. Датум рођења, општина, држава: 10.08.1988, Београд, Србија. 3. Назив факултета, назив студијског програма дипломских академских студија – мастер и стечени стручни назив: Факултет техничких наука, Нови Сад, Енергетика, електроника и телекомуникације, Електроенергетика – системи, дипломирани инжењер електротехнике и рачунарства – мастер 4. Година уписа на докторске студије и назив студијског програма докторских студија: 2016, Енергетика, електроника и телекомуникације 2012, Математика у техници 5. Назив факултета, назив магистарске тезе, научна област и датум одбране: / 6. Научна област из које је стечено академско звање магистра наука: /

III НАСЛОВ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Нова метода детекције пропада напона у мрежи са дистрибуираним генераторима

IV ПРЕГЛЕД ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Навести кратак садржај са знаком броја страна, поглавља, слика, шема, графика и сл.

У овој докторској дисертацији представљена је нова метода за детекцију пропада напона (ПН), заснована на Рекурентној неуронској мрежи (РНН) и анализи у хармонијском домену. Метода је намењена за примену у савременим дистрибутивним мрежама које садрже обновљиве изворе, и у складу са тим је оптимизирана и тестирана. РНН је класа неуронских мрежа где конекције између неурона мреже имају директну везу, што мрежи омогућава да прати и препознаје брзе и нагле промене у сигналу са комплексним међусобним корелацијама, управо што је и потребно у конкретној примени за брзу детекцију поремећаја током транзијента кvara. Уочен је јединствени хармонијски облик сета нижих хармоника који се појављује приликом кvara у мрежи, који је назван „хармонијски отисак“ и примењен у методи. Предложена метода је тестирана са пропадима напона измереним у реалним дистрибутивним мрежама, са сигналима добијеним у симулацијама као и са сигналима емулираним и снимљеним у лабораторијским условима. Детаљно су тестирани брзина методе, поузданост и рачунска комплексност (захтевност) методе. Извршено је поређење са већим бројем постојећим метода. Предложена метода постиже изузетне резултате у брзини детекције, са просечним временом детекције мањим од 1 мс, уз изузетну поузданост (преко 97%), што је за ред величине брже од стандардних метода.

Поред саме детекције, познавање услова у мрежи током поремећаја је такође битан фактор у раду различитих уређаја и алгоритама у савременим дистрибутивним мрежама, попут динамичког рестауратора напона, уређаја за унапређење квалитета енергије као и различитих контролних алгоритама дистрибутивних генератора који су задужени за контролисање рада током кvara у мрежи и омогућавања подршке електроенергетском систему током кvara. Као део алгорита за детекцију услова у мрежи детекција пропада напона обухвата и прорачун индикатора који одређују понашање контролних система горе поменутих уређаја током поремећаја. Естимација минималне амплитуде напона током пропада напона (скраћено МАН - минималне вредности) која је као кључни параметар кvara дефинисана у IEEE стандарду 1564-2014, је од изузетне важности за правовремену и одговарајућу подршку мрежи. Постојање корелације, тј. везе између максимума сета од другог, трећег, петог и седмог хармоника („хармонијског отиска“) током транзијента и МАН вредности је по први пут утврђена, математички формулисана и статистички доказана. На основу ове повезаности формирана је метода која се великом статистичком сигурношћу (изнад 95%) може да предвиди „тежину“ кvara неколико десетина до неколико стотина милисекунди пре него што квар достигне максималну дубину, тј вредност МАН. Предложена метода је тестирана са напонским поремећајима измереним и снимљеним у реалним дистрибутивним мрежама, као и са сигналима добијеним у симулацијама.

Дисертација се састоји из следећих поглавља:

1. Увод
2. Преглед стања у области
3. Савремене дистрибутивне мреже са дистрибуираним генераторима
4. Хармонијски отисак
5. Паметна метода за детекцију ПН заснована на РНН и хармонијском отиску
6. Могућност предикције дубине пропада напона на основу хармонијског отиска
7. Закључци и правци даљег истраживања

Литература
Прилози

Физички опис рада: 7 поглавља, 140 страна, 141 цитат, 14 табела, 34 слике, 0 графика, 2 прилога

V ВРЕДНОВАЊЕ ПОЈЕДИНИХ ДЕЛОВА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Рад је организован кроз 7 поглавља од којих свака чини по једну логичку целину. Поглавља се настављају једна на друго, и заједно презентују комплетан истраживачки рад на развоју паметне методе за детекцију и основну анализу напонских поремећаја, као и опис и доказивање могућности предикције једног од два основна параметра пропада, а то је дубина пропада напона.

У првом поглављу дат је опширан увод у кратке спојеве и тематику напонских поремећаја, са посебним освртом на пропаде напона и прекиде напајања, који су и најчешћи и најтежи тип поремећаја који може да се деси у ЕС. У овом поглављу дате су и две хипотезе на којима се заснива овај рад, као и разлози и могуће примене алгоритама који су описани у овом раду.

У другом поглављу дат је опширан преглед литературе са оригиналном класификацијом која обухвата све најбитније методе из ове области, као и критички осврт на методе, и оригинално поређење већег броја метода у примени као део дистрибутивних мрежа са дистрибуираним генераторима.

У трећем поглављу дат је опис и промене које су кључне за савремене дистрибутивне мреже, које су окружење у коме су тестиране методе представљене у овом раду, као и преглед најбитнијих дистрибутивних тест мрежа.

У четвртм поглављу дефинисан је „хармонијски отисак“, јединствени хармонијски облик који се појављује приликом квара у мрежи, ако се посматра специјално одабран сет нижих хармоника.

У петом поглављу дата је примена хармонијског отиска у комбинацији са Рекурентном неуронском мрежом за детекцију пропада напона у савременим дистрибутивним мрежама, затим представљени су резултати ове методе за детекцију као и њена евалуација кроз дефинисану критеријумску функцију.

У следећем, шестом поглављу представљена је могућност предикције МНТП, на основу детаљне статистичке анализе и коришћења хармонијског отиска, дати су резултати ове методе као и алгоритам за примену. Седмо поглавље је закључак, и оно садржи и дефинисане правце даљег истраживања.

После тога је поглавље литература, затим списак публикација аутора и као последње поглавље су прилози који садрже додатне резултате као и принципско објашњење рада неуронских мрежа.

VI СПИСАК НАУЧНИХ И СТРУЧНИХ РАДОВА КОЈИ СУ ОБЈАВЉЕНИ ИЛИ ПРИХВАЋЕНИ ЗА ОБЈАВЉИВАЊЕ НА ОСНОВУ РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА У ОКВИРУ РАДА НА ДОКТОРСКОЈ ДИСЕРТАЦИЈИ

Таксативно навести називе радова, где и када су објављени. Прво навести најмање један рад објављен или прихваћен за објављивање у часопису са ISI листе односно са листе министарства надлежног за науку када су у питању друштвено-хуманистичке науке или радове који могу заменити овај услов до 01.јануара 2012. године. У случају радова прихваћених за објављивање, таксативно навести називе радова, где и када ће бити објављени и приложити потврду о томе.

1. Aleksandar M. Stanisavljević, Vladimir A. Katić, "Magnitude of voltage sags prediction based on the harmonic footprint for application in DG control system," IEEE Transaction on Industrial Electronic, Early Access, 2018, pp: 1-11, doi: 10.1109/TIE.2018.2881934. **(M21a)**
2. Vladimir A. Katić, Aleksandar M. Stanisavljević, "Smart Detection of Voltage Dips Using Voltage Harmonics Footprint," IEEE Transaction on Industrial Applications, vol. 54, no. 5, pp. 5331–5342, Sep. 2018, doi: 10.1109/TIA.2018.2819621. **(M21)**
3. Aleksandar M. Stanisavljević, Vladimir A. Katić, Boris P. Dumnić Bane P. Popadić, "A Brief Overview of the Distribution Test Grids with A Distributed Generation Inclusion Case Study", Serbian journal of electrical engineering, Vol. 15, No. 1, February 2018, 1–10. **(M51)**
4. Aleksandar M. Stanisavljević, Vladimir A. Katić, Radovan Lj. Turović, Boris P. Dumnić, Bane P. Popadić, "Voltage dips detection using Kalman filter in a microgrid with high level of distributed generation", 20th European Conference on Power Electronics and Applications, EPE'18 ECCE Europe, Riga, Latvia, 17-21 Sep. 2018, Paper No.0274, P.1-P.10. **(M33)**
5. Vladimir A. Katić, Aleksandar M. Stanisavljević, Radovan Lj. Turović, Boris P. Dumnić, Bane P. Popadić, "Extended Kalman filter for voltage dips detection in grid with distributed energy resources", 8th IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies – ISGT 2018, Sarajevo, Bosnia and Herzegovina, 21-25 Oct. 2018, Paper No.264, pp.1-6. **(M33)**

6. Aleksandar Stanisavljević, Vladimir Katić, Boris Dumnić, Bane Popadić, "Overview of the Distribution Test Grids With Distributed Generation and HVDC", 4th International Conference on Electrical, Electronic and Computing Engineering - IcETRAN 2017, Kladovo, Serbia, 5-8 June 2017, pp. EE11.2.1-6. **(M33)**
7. Vladimir A. Katić, Aleksandar M. Stanisavljević, Bane P. Popadić, Boris P. Dumnić, Dragan M. Milićević, Zoltan J. Čorba, "Experimental Procedure for Testing of Voltage Dip Detection Algorithms", 8th PSU-UNS International Conference on Engineering and Technology (ICET-2017), Novi Sad, Serbia, June 8-10, 2017, ISBN 978-86-7892-934-2, COBISS.SR-ID 314741767, paper no. T5-1.2, pp. 1-5. **(M33)**
8. Vladimir A. Katić, Aleksandar M. Stanisavljević, Boris P. Dumnić, Bane P. Popadić, "Comparison of Voltage Dips Detection Techniques In Microgrids With High Level of Distributed Generation", 17th IEEE International Conference on Smart Technologies IEEE EUROCON 2017, Ohid, Republic of Macedonia, July 5-8, 2017, ISBN 978-1-5090-3842-8, pp.417-422. **(M33)**
9. Vladimir A. Katić, Aleksandar Stanisavljević, "Wavelet transform for voltage dips detection in a microgrid with distributed generation", 19th European Conference on Power Electronics and Applications, EPE'17 ECCE Europe, Warsaw, Poland, 12-14 Sep. 2017, Paper No.0627, P.1-P.10. **(M33)**
10. Aleksandar M. Stanisavljević, Vladimir A. Katić, Bane P. Popadić, Boris P. Dumnić, "Voltage dips detection in a microgrid with distributed generation for grid-tie inverter protection purposes", 19th European Conference on Power Electronics and Applications, EPE'17 ECCE Europe, Warsaw, Poland, 12-14 Sep. 2017, Paper No.0419, P.1-P.10. **(M33)**
11. Aleksandar M. Stanisavljević, Vladimir A. Katić, Boris P. Dumnić, Bane P. Popadić, "Overview of voltage dips detection analysis methods," 19th International Symposium on Power Electronics - Ee2017, Novi Sad, Serbia, Oct.19-21, 2017, Paper No. T6.1-4, pp.1-6, ISBN 978-86-7892-980-9, COBISS.SR-ID 317617415. **(M33)**
12. Vladimir A. Katić, Aleksandar M. Stanisavljević, "Novel voltage dip detection algorithm using harmonics in the dip's transient stage", The 43rd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, IECON 2017, Beijing, China, Oct.29 - Nov.1, 2017, Paper No. BD-039055, pp.1-6. ISBN 978-1-5386-1126-5 (USB), DOI: 10.1109/IECON.2017.8216063. **(M33)**
13. Aleksandar M. Stanisavljević, Vladimir A. Katić, Bane P. Popadić, Boris P. Dumnić, Ilija M. Kovačević, "Voltage dips detection in a system with grid-tie inverter", 18th European Conference on Power Electronics and Applications, EPE'16 ECCE Europe, Karlsruhe, Germany, 5-9 Sept. 2016. Paper No.: 0541, P.1-P.10, ISBN: 9789075815252 and CFP16850-USB. **(M33)**
14. Aleksandar Stanisavljevic, Vladimir Katic, Bane Popadic, Boris Dumnic, Rade Radisic and Ilija Kovačević, "Reduced FFT Algorithm for Network Voltage Disturbances Detection", 2016 International Symposium on Industrial Electronics (INDEL), Banja Luka, Bosnia and Herzegovina, 3-5 November 2016, pp.1-6., ISBN: 978-1-5090-2329-5. **(M33)**
15. Aleksandar Stanisavljević, Vladimir A. Katić, Bane Popadić, Boris Dumnić, Ilija Kovačević "Grid connected inverter current harmonics during faults in the network", 18th International Symposium on Power Electronics, Ee2015, Novi Sad, Oct. 28-30, 2015, Paper No.T6-2, pp.1-4, ISBN 978-86-7892-757-7. **(M33)**

VII ЗАКЉУЧЦИ ОДНОСНО РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

Истраживање које је спроведено у оквиру ове дисертације је побољшање брзине предикције уз остваривање високе поузданости, као и формулисање могућности за предикцију битног параметара квара - дубине пропада напона током квара у мрежи.

У циљу испуњења прве хипотезе која је постављена: „Детекцију пропада напона у савременим дистрибутивним мрежама је могуће урадити унутар временског интервала од 1 мс, посматрано од почетка квара у мрежи“ урађена су истраживања у циљу побољшања брзине детекције пропада напона у мрежи и представљена је нова метода. Нова метода је базирана на коришћењу хармонијске анализе, конкретно праћења специјално одабраног сета хармоника, који се састоји од другог, трећег, петог и седмог хармоника (H_{DU}2357) и специфичног облика који се јавља приликом настанка квара у мрежи. Овај специфичан облик је назван “хармонијски отисак“. Да би се остварила детекција базирана на праћењу облика, тј. почетка хармонијског отиска, прилагођена је Рекурентна неуронска мрежа (РНН) у комбинацији са дугим кратко-памтећим меморијским јединицама. Ове напредне неуронске мреже имају могућност учења и унапређења перформанси током свог рада.

Предложена метода је тестирана у рачунарским симулацијама на специјално адаптираној тест мрежи у складу са ИЕЕЕ стандардом. Затим је тестирана на великом броју мерених, односно снимљених пропада напона, узрокованих широким спектром различитих кварова насталих у електроенергетском систему, посматрано и мерено на два различита напонска нивоа у дистрибутивном систему. На крају, један сет од 10 снимака пропада напона емулираних и снимљених у лабораторијским условима је коришћен за додатно тестирање у лабораторијским условима.

У свим тестовима нова метода је показала да је просечно време детекције унутар задатог интервала од 1 мс, са просечним временом детекције за сигнале мерене у дистрибутивним мрежама од 0.9268 мс. Може се истаћи и добра особина методе да кварове који имају као последицу пад напона на ниже напонске нивое детектује брже од кварова који изазивају мале пропаде напона. Поред смањења времена потребног за детекцију пропада напона, метода је показала и високу поузданост од 97.56 %.

У раду је постављена и друга хипотеза „да је могуће извршити предикцију дубине пропада напона на основу хармонијског отиска“, која заједно са првом чини целину у унапређењу одзива и реакције на кварове у мрежи. Друга хипотеза је статистички доказа коришћењем неколико статистичких тестова и развијена је комплетна метода за предикцију дубине пропада напона, након успешне брзе детекције, док је ефективна вредност (RMS) напона изнад или близу вредности 90%, тј. неколико десетина до неколико стотина милисекунди пре него што се пропад развије у потпуности. Ова хипотеза је такође остварена коришћењем хармонијског отиска и његовом детаљном статистичком анализом на великом узорку мерења добијених у реалним дистрибутивним мрежама. Од 122 снимка, снимци са 112 поремећаја су искоришћени за статистичку анализу и добијању одговарајуће функције која се користи за предикцију, док је преосталих 10 искоришћено за тестирање добијене функције. Одговарајућа генерализована функција је формулисана, базирана на статистички утврђеној зависности између MAN и M_HDU2357. Показано је да може бити коришћена за предикцију за све случајеве поремећаја напона (пропади напона типа А-Г, за пропаде изазване магњећењем трансформатора, прекидима напајања који нису изазвани кваровима, кратким и пролазним кваровима, итд.), тј. то је генерализована предикциона функција која обухвата све типове кварова који доводе до пропада напона у мрежи. Предикција се показала као успешна, са средњом вредношћу грешке од 4.68% уз коришћење генерализоване функције за предикцију. Поред сигнала добијених из реалних дистрибутивних мрежа, за тестирање методе за предикцију MAN коришћене су и рачунарске симулације, где је такође показала добре резултате.

Представљена функција за предикцију дубине пропада напона може бити коришћена за унапређење контролног алгорита код различитих уређаја у оквиру DG, као и код уређаја за ублажавање или решавање проблема пропада или потпуног нестанка напона у мрежи: UPS, DVR, UPQC, затим код алгорита намењених за PQ мониторинг електроенергетског система, јер сама дубина и опасност коју квар може изазвати могу се прорачунати знатно унапред. Показано је на узорку од 10 кварова из дистрибутивних мрежа, да предикциони алгоритама остварује временску предикцију (BP), тј. предњачи стварној вредности MAN у износу од 33 мс па до 646 мс, са средњом вредношћу BP од 292 мс.

VIII ОЦЕНА НАЧИНА ПРИКАЗА И ТУМАЧЕЊА РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА

Експлицитно навести позитивну или негативну оцену начина приказа и тумачења резултата истраживања.

Докторском дисертацијом су свеобухватно, систематично и коректно:

- 1) описани постојећи методи за детекцију пропада напона и детаљно описане њихове предности и недостаци у случају примене на савременим дистрибутивним мрежама;
- 2) описане савремене дистрибутивне мреже са дистрибуираним генераторима као и одговарајући стандардни тест модели који могу бити коришћени за проверу и евалуацију предложене методе;
- 3) представљен је и математички описан "Хармонијски отисак", оригинални параметар који карактерише квар, на којем ће бити заснована детекција пропада напона као и предикција дубине пропада напона као један од два најбитнија параметра која карактеришу пропад напона;
- 4) предложена је и развијена паметна метода за детекцију пропада напона заснована на Рекурентној неуронској мрежи и детекцији хармонијског отиска;
- 5) предложена метода је тестирана у рачунарским симулацијама на IEEE13 тест мрежи са 13 чворова, као и са сигнаlima емулираним у лабораторијским условима и са сигнаlima реалних пропада напона, и у сва три случаја остварила је брзину детекције значајно већу у односу на методе познате у литератури (са просечним временом детекције мањим од 1 мс), уз изузетно високу поузданост детекције од преко 97%;
- 6) описани су постојећи методи за предикцију различитих параметара пропада напона и детаљно описане њихове предности и недостаци;
- 7) представљена је и математички формулисана и доказа међусобна зависност максималне вредности хармонијског отиска током транзијента са максималном дужином пропада напона;
- 8) на основу ове зависности формирана је метода за предикцију дубине пропада и показане су могућности њене примене као део контролног алгорита код дистрибуираних генератора;
- 9) предложена метода за предикцију је тестирана са сигнаlima напонских поремећаја мерених у реалним дистрибутивним мрежама и у рачунарским симулацијама. Метода је показала успешну предикцију за све тестиране сигнале, са просечном грешком од 4.68%.
- 10) дати су закључци и предлози за даља истраживања.

Тумачење закључака је јасно, недвосмислено и истраживачки коректно. Сви добијени резултати су стављени у добар контекст и приказани прегледно. Метода је проверена софтвером за плагијаризам, "iThenticate" и прошла је успешно проверу.

IX КОНАЧНА ОЦЕНА ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Експлицитно навести да ли дисертација јесте или није написана у складу са наведеним образложењем, као и да ли она садржи или не садржи све битне елементе. Дати јасне, прецизне и концизне одговоре на 3. и 4. питање:

1. Да ли је дисертација написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме
Докторска дисертација је у потпуности написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме.
2. Да ли дисертација садржи све битне елементе
Докторска дисертација садржи све битне елементе.
3. По чему је дисертација оригиналан допринос науци
У докторској дисертацији је представљен оригинални параметар квара, "Хармонијски отисак", који чине хармоници ниског реда, други, трећи, пети и седми. На основу овог оригиналног параметра квара, користећи Рекурентну неуронску мрежу развијена је нова метода за паметну детекцију пропада напона. Ова метода омогућила је постизање времена детекције са временским кашњењем мањим од 1 мс, и уз изузетно високу поузданост детекције. Као додатак методи за детекцију, представљена је и оригинална метода за предикцију дубине, која унапред прорачунава, са статистичком поузданошћу изнад 95%, дубину пропада напона. Метода је заснована на корелацији, тј. вези која је представљена и оригинално доказана у раду, између максималне вредности Хармонијског отиска током транзијента и саме максималне дубине пропада. Показано је да метода за предикцију израчунава максималну дубину пропада у просеку 292 мс пре стварног развоја пропада напона на минималну вредност, чиме се постиже значајно убрзање у процесу реакције на појаву квара у мрежи.

4.	Недостаци дисертације и њихов утицај на резултат истраживања Докторска дисертација нема недостатака који би имали утицај на остварене резултате истраживања.
X	ПРЕДЛОГ: На основу укупне оцене дисертације, комисија предлаже:
-	<u>Да се докторска дисертација прихвати, а кандидату одобри одбрана</u> На основу претходно изнетих чињеница, Комисија предлаже да се докторска дисертација под називом „ Нова метода детекције пропада напона у мрежи са дистрибуираним генераторима “ кандидата Александра Станисављевића прихвати и кандидату одобри одбрана.

У Новом Саду

07. 12. 2018.

др Владимир Стрезоски, ред. проф. –
председник

др Борис Думнић, ван. проф. – члан

др Стеван Грабић, ван. проф. – члан

др Саша Мујовић, ван. проф – члан

др Владимир Катић, ред. проф. – ментор

НАПОМЕНА: Члан комисије који не жели да потпише извештај јер се не слаже са мишљењем већине чланова комисије, дужан је да унесе у извештај образложење односно разлоге због којих не жели да потпише извештај.