

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Подобност теме и кандидата Ненада Белчевића за израду докторске дисертације

Одлуком Наставно-научног већа Електротехничког факултета у Београду, бр. 551/24 од 24.4.2023. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности теме и кандидата Ненада Белчевића за израду докторске дисертације и научне заснованости теме "**Детекција пролазних кварова на надземним водовима у условима засићења струјног трансформатора**" (енг. *Detection of transient faults on overhead lines in current transformer saturation conditions*).

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Ненад Белчевић, рођен је 13.6.1992. године у Краљеву, где је завршио основну школу и гимназију. Уписао је Електротехнички факултет у Београду 2011. године. У току основних студија на Одсеку за енергетику, смер Електроенергетски системи, остварио је просечну оцену 9.15. Дипломирао је у септембру 2015. године. Мастер студије је уписао 2015. године на Електротехничком факултету, смер за Електроенергетске мреже и системе. Диплому мастер инжењера електротехнике и рачунарства стекао је у августу 2016. године. Мастер студије је завршио са просечном оценом 9.83. Завршни мастер рад под називом "Алгоритам за детекцију кварова са електричним луком на надземним водовима", одбранио је са просечном оценом 10. Докторске студије на Електротехничком факултету уписао је 2016. године.

Радно искуство започео је у Електротехничком институту Никола Тесла, где је радио у периоду од 2016. до 2018. године у сектору за анализу електроенергетских система. У

периоду од 2018. до 2020. године радио је у компанији *Energy Saving Group*, где је учествовао у развоју пројеката обновљивих извора енергије. Након 2020. године поново је ангажован на пословима израде студија за анализу електроенергетских система, у компанијама *WSP* и *Go2power*. У свом професионалном раду бави се првенствено израдом студија координације релејне заштите, али и других студија из области анализе електроенергетских система.

Аутор је више радова публикованих у часописима са SCI листе, зборницима међународних, регионалних и домаћих конференција.

Област његовог интересовања су: релејна заштита, анализа електроенергетских система и разводна постројења.

1.2. Стечено научноистраживачко искуство

Кандидат је докторске студије уписао 2016. године и положио све испите који су предвиђени планом докторских академских студија на модулу Електроенергетске мреже и системи на Електротехничком факултету Универзитета у Београду са просечном оценом 10.00.

Преглед положених испита

	Назив предмета	Оцена	ЕСПБ
1	Уземљивачки системи	10	9
2	Примена програмских алата у електроенергетици	10	9
3	Релејна заштита постројења и мрежа	10	9
4	Мерне спреге и мерни трансформатори	10	9
5	Високонапонска постројења	10	9
6	Увод у научни рад	10	6
7	Високонапонска расклопна опрема	10	9
8	Фактор снаге и методе за поправку фактора снаге у присуству виших хармоника	10	9
9	Интеграција обновљивих извора у дистрибутивни систем	10	9
10	Поузданост електроенергетских система	10	9

Списак осталих реализованих обавеза

	Назив предмета	ЕСПБ
1	Научно стручни рад	3
2	Студијски истраживачки рад I	15
3	Студијски истраживачки рад II	15

Списак објављених радова

Радови објављени у научним часописима међународног значаја M20

1. N. Belčević, Z. Stojanović, Using voltage signals for transient fault detection on overhead lines, INTERNATIONAL JOURNAL OF ELECTRICAL POWER AND ENERGY SYSTEMS, Vol. 137, pp.1-12, May, 2022, DOI: [10.1016/j.ijepes.2021.107824](https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2021.107824) (M21)
2. N. Belčević, Z. Stojanović, Algorithm for phasor estimation during current transformer saturation and/or DC component presence: definition and application in arc detection on overhead lines, IET GENERATION, TRANSMISSION AND DISTRIBUTION, pp. 1378 - 1388, Apr, 2020, DOI: [10.1049/iet-gtd.2019.0787](https://doi.org/10.1049/iet-gtd.2019.0787) (M22)

Зборници међународних научних скупова M30

1. N. Belčević, Z. Stojanović, The analysis of electric arc impact on distance relay measurement error, International symposium on industrial electronics - INDEL, Banja Luka, Nov, 2018, DOI: [10.1109/INDEL.2018.8637632](https://doi.org/10.1109/INDEL.2018.8637632) (M33)

Зборници домаћих научних скупова M60

1. N. Belčević, Z. Stojanović, Testing the algorithm for detection of arcing faults on overhead lines, Symposium INFOTEH-JAHORINA 2018, Mar, 2018, (M63)
2. N. Belčević, Z. Stojanović, Analysis of algorithms for current transformer saturation compensation, Međunarodno savetovanje Energetika XXXV, Sesija 7, Zlatibor, Jun, 2020, (M63)

Пред Комисијом формираном од стране Наставно-научног већа Електротехничког факултета Универзитета у Београду, у саставу:

1. др Јелисавета Крстивојевић, доцент, Електротехнички факултет Универзитета у Београду, председник комисије,
2. др Миодраг Форцан, доцент, Електротехнички факултет у Источном Сарајеву, члан комисије који није запослен на Електротехничком факултету Универзитета у Београду,
3. др Лазар Сарановац, редовни професор, Електротехнички факултет Универзитета у Београду, члан комисије,
4. др Јован Микуловић, редовни професор, Електротехнички факултет Универзитета у Београду, члан комисије,
5. др Томислав Рајић, доцент, Електротехнички факултет Универзитета у Београду, члан комисије,

на јавној усменој одбрани, кандидат је **успешно положио докторски испит, одржан 24.4.2023. године.**

1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

Кандидат Ненад Белчевић поседује адекватан ниво знања из области које представљају основу неопходну за решавање техничких проблема који се третирају у предложеној докторској дисертацији. До сада је публиковао укупно 5 научних чланака, при чему је на свих 5 првопотписани аутор. Кандидат је објавио 2 научна чланка у међународним

часописима са импакт фактором, при чему је садржај оба чланка у директној вези са темом докторске дисертације. Положио је све испите на докторским студијама Електротехничког факултета Универзитета у Београду са просечном оценом 10.00. На основу приказа резултата досадашњег научно-истраживачког рада и оствареног искуства, може се констатовати да кандидат Ненад Белчевић поседује истраживачко искуство које га квалификује за израду докторске дисертације.

2. Предмет и циљ истраживања

Надземни водови представљају један од основних елемената електроенергетског система. Значај надземних водова је утолико већи, што је виши напонски ниво на коме се користе. Имајући у виду њихов значај и распрострањеност у електроенергетском систему, у области релејне заштите посебна пажња посвећена је заштити надземних водова. Кварови на надземним водовима по својој природи могу бити пролазног или трајног карактера, при чему је фреквентност пролазних кварова далеко већа (80-90 % свих кварова). Основна карактеристика пролазног квара јесте да се овакав квар може елиминисати краткотрајним искључењем вода од интереса и његовим поновним укључењем. С друге стране, у случају трајног квара, краткотрајно искључење вода и његово поновно укључење, неће довести до елиминације квара. У том случају долази до такозваног укључења на квар, чиме се опрема излаже непотребном напрезању.

Описани поступак краткотрајног искључења вода и његовог поновног укључења назива се аутоматско поновно укључење (АПУ). Овај систем почива на чињеници да се у случају пролазног квара на месту квара јавља електрични лук, када се струјно коло затвара кроз јонизовани ваздух. Краткотрајним искључењем вода омогућава се дејонизација ваздуха, односно гашење електричног лука. На тај начин се елиминише квар.

Техника аутоматског поновног укључења је широко распрострањена, и примењује се на свим напонским нивоима. На нижим напонским нивоима примењује се трополни систем аутоматског поновног укључења, док се на високонапонским водовима по правилу примењује једнополни систем аутоматског поновног укључења. Једнополни систем аутоматског поновног укључења омогућава да се при једнофазном квару искључује само фаза која је погођена кваром. Захваљујући томе, остварује се пренос енергије преко преостале две фазе које нису погођене кваром, што се позитивно одражава на стабилност електроенергетског система.

Основни недостатак АПУ система какав се данас примењује, огледа се у чињеници да систем улази у циклус аутоматског поновног укључења без обзира на природу квара. Наиме, традиционални систем аутоматског поновног укључења не може унапред идентификовати природу квара, тако да и у случају трајног квара систем покушава да елиминише квар краткотрајним искључењем. На тај начин долази до поновног укључења на квар, чиме се опрема излаже непотребном напрезању.

Овом проблему посвећена је посебна пажња у научној литератури. Полазна основа за развој паметног система аутоматског поновног укључења који би могао идентификовати природу квара пре уласка у циклус поновног укључења, јесте чињеница да се у случају пролазног квара на месту квара јавља електрични лук. Коришћењем нелинеарних карактеристика електричног лука детектује се његово присуство при квару, и на тај начин идентификује природа квара. Међутим, један од основних недостатака ових алгоритама огледа се у њиховој осетљивости на засићење струјног трансформатора, помоћу кога се мери струја надземног вода.

Грешка коју струјни трансформатор уноси при трансформацији примарне струје на вредност прикладну за мерне инструменте и уређаје релејне заштите, под нормалним радним

условима, односно при умереним струјама кратког споја, налази се у области гарантованих вредности. Под одређеним условима, струјни трансформатор може ући у засићење услед феромагнетних карактеристика магнетског кола. Улазак у засићење доводи до наглог пораста струје магнећења струјног трансформатора, што изазива значајну разлику у таласним облицима струје секундарног и примарног намотаја.

Циљ истраживачког рада јесте развој алгоритма за детекцију електричног лука који би био примењив и у условима засићења струјног трансформатора. Овом проблему се може приступити на два начина. Први приступ подразумева развој алгоритма који би омогућио елиминацију негативних ефеката засићења струјног трансформатора, односно компензацију засићења струјног трансформатора. Након примењене компензације засићења струјног трансформатора, сама детекција лука би била остварена применом већ постојећих алгоритама за детекцију лука. Други приступ подразумева развој потпуно новог алгоритма за детекцију електричног лука, коришћењем искључиво напонског сигнала. На тај начин елиминише се негативни утицај засићења струјног трансформатора на детекцију електричног лука, односно добија се алгоритам неосетљив на засићење струјног трансформатора.

Иако је примарни циљ овог истраживачког рада развој поузданог алгоритма за детекцију електричног лука, очекује се да рад има позитивне импликације и на друге аспекте релејне заштите. Наиме, имајући у виду да ће у оквиру ове докторске дисертације бити развијен нови алгоритам за детекцију и компензацију засићења струјног трансформатора, његова примена може бити проширена и на друге области релејне заштите где засићење струјног трансформатора може довести до лажног реаговања (диференцијална заштита, дистантна заштита, прекострујна заштита, итд).

Значај истраживања може се сагледати и кроз одабране научно-истраживачке радове из ове области, који су публиковани у водећим међународним часописима. Само неки од ових радова су издвојени из предвиђене библиографије ове дисертације и приказани у наставку:

1. Belčević N, Stojanović Z. Using voltage signals for transient fault detection on overhead lines. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 137, pp. 107824, 2022.
2. Belčević N, Stojanović Z. Algorithm for phasor estimation during current transformer saturation and/or DC component presence: definition and application in arc detection on overhead lines. *IET Generation, Transmission & Distribution*, Volume 14, Issue 7, April 2020, p. 1378 –1388.
3. Radojevic Z, Terzija V, Preston G, Padmanabhan S, Novosel D. Smart overhead lines autoreclosure algorithm based on detailed fault analysis. *IEEE Trans Smart Grid* 2013;4:1829–38. <https://doi.org/10.1109/TSG.2013.2260184>.
4. Radojević Z, Terzija V, Djurić M. Numerical algorithm for overhead lines arcing faults detection and distance and directional protection. *IEEE Trans Power Deliv* 2000; 15:31-7. <https://doi.org/10.1109/61.847225>.
5. Hajipour, E., Vakilian, M., Sanye-Pasand, M.: ‘Current transformer saturation compensation for transformer differential relays’, *IEEE Trans. Power Deliv.*, 2015, 30, (5), pp. 2293–2302
6. Schettino, B.M., Duque, C.A., Silveira, P.M., et al.: ‘A new method of current-transformer saturation detection in the presence of noise’, *IEEE Trans. Power Deliv.*, 2014, 29, (4), pp. 1760–1767.

3. Полазне хипотезе

Полазне хипотезе као предмет истраживања предложене докторске дисертације су:

- Иако традиционални систем АПУ има висок ниво поузданости, поновним укључењем у случају трајног квара, прекидачи и друга опрема излажу се непотребном напрезању.
- Развојем паметног система АПУ омогућила би се идентификација природе квара, чиме би се предупредило укључење на квар.
- У случају пролазног квара, на месту квара се јавља електрични лук, што се може искористити за идентификацију природе квара.
- При квару, нарочито услед утицаја једносмерне компоненте струје квара, неретко долази до засићења струјног трансформатора. Услед тога, таласни облик струје на секундару струјног трансформатора умногоме се разликује од струје на његовом примару. Ова појава онемогућава примену алгоритама за детекцију електричног лука.
- Развојем алгорита за детекцију и компензацију засићења струјног трансформатора, би била омогућена детекција електричног лука и у условима засићења струјног трансформатора.
- Развојем алгорита за детекцију електричног лука, који би користио искључиво напонске сигнале, би била омогућена детекција електричног лука без обзира на засићење струјног трансформатора.

4. Научне методе истраживања

У овој докторској дисертацији ће доминирати истраживање емпиријске природе и примењеног циља. Основне истраживачке методе, које ће бити коришћене, су: индуктивна метода, метода анализе, компаративна метода, метода доказивања, математичка метода и метода моделовања.

Испитивање алгоритама релејне заштите биће вршено на моделу надземног вода са расподељеним параметрима, који је базиран на Бержероновој методи путујућих таласа. Тренутне вредности електричних сигнала ће бити одређиване нумеричким решавањем система обичних диференцијалних једначина, које описују стања коришћених модела. Временске промене величина од значаја ће бити анализиране у оквиру симулација са контролисаним изменама модела система. Програмски кодови алгоритама биће испитани сигнаlima који су генерисани рачунарским симулацијама. Комплетан прорачун, обрада и приказ резултата ће бити вршени применом програмског пакета MATLAB. Верификација новог алгорита биће извршена на сигнаlima генерисаним у лабораторијским условима и на сигнаlima снимљеним у реалним условима (сигнаlima преузетим са уређаја релејне заштите из реалног електроенергетског система).

5. Очекивани научни допринос

Очекивани научни доприноси предложене докторске дисертације су:

- Преглед и систематизација карактеристичних алгоритама за детекцију електричног лука, као и алгоритама за детекцију и компензацију засићења струјног трансформатора.
- Развој новог алгорита за детекцију и компензацију засићења струјног трансформатора, који би омогућио детекцију електричног лука и у условима засићења струјног трансформатора.

- Употребљивост алгоритма за детекцију и компензацију засићења струјног трансформатора и у другим областима релејне заштите, као што су диференцијална заштита, дистантна заштита и прекострујна заштита.
- Развој новог алгоритма за детекцију електричног лука који би користио искључиво напонске сигнале, што би за последицу имало да је алгоритам неосетљив на изобличења при засићењу струјног трансформатора.

6. План истраживања и структура рада

Основни кораци истраживања у оквиру предложене докторске дисертације су:

- Сагледавање недостатака традиционалног система аутоматског поновног укључења.
- Преглед и систематизација најновијих истраживања везаних за детекцију електричног лука на надземним водовима.
- Преглед и систематизација најновијих истраживања везаних за детекцију и компензацију засићења струјног трансформатора.
- Сагледавање проблема са којима се сусрећу алгоритми за детекцију електричног лука у условима засићења струјног трансформатора.
- Развој новог алгоритма за детекцију и компензацију засићења струјног трансформатора, који би омогућио детекцију електричног лука и у условима засићења струјног трансформатора.
- Развој новог алгоритма за детекцију електричног лука који би се заснивао на коришћењу искључиво напонских сигнала, и тиме био неосетљив на засићења струјног трансформатора.
- Формирање модела система применом програмског пакета MATLAB, у којем ће бити симулиран, тестиран и верификован рад нових алгоритама.
- Верификација нових алгоритама на сигнаlima генерисаним у лабораторијским условима и на сигнаlima снимљеним у реалним условима (сигнаlima преузетим са уређаја релејне заштите из реалног електроенергетског система).

Текст докторске дисертације биће написан на српском језику.

7. Закључак и предлог

На основу приложене документације, као и непосредног увида у досадашњи научни рад кандидата Ненада Белчевића, мастер инжењера електротехнике, Комисија је закључила да:

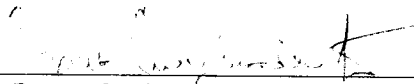
1. Кандидат испуњава све формалне и суштинске услове прописане Законом о високом образовању и Статутом Електротехничког факултета Универзитета у Београду за одобрење теме за израду докторске дисертације;
2. Предложена тема "Детекција пролазних кварова на надземним водовима у условима засићења струјног трансформатора" (енг. *Detection of transient faults on overhead lines in current transformer saturation conditions*) научно је заснована и припада ужој научној области електроенергетски системи, а резултати до којих ће се доћи израдом ове дисертације представљаће значајан и оригиналан допринос у области предметног истраживања.

Студент докторских студија спроводи истраживања у вези са предложеном темом на Електротехничком факултету Универзитета у Београду.

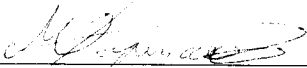
На основу претходно изложеног, Комисија предлаже Наставно-научном већу Електротехничког факултета Универзитета у Београду да кандидату Ненаду Белчевићу одобри израду докторске дисертације под наведеним називом, а под менторством др Зорана Стојановића, редовног професора Електротехничког факултета Универзитета у Београду.

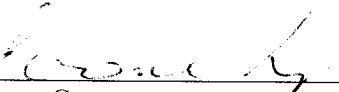
У Београду, 5.5.2023. године

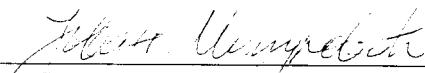
ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ


др Зоран Стојановић, редовни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет


др Јелисавета Крстивојевић, доцент
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет


др Миодраг Форцан, доцент
Универзитет у Источном Сарајеву, Електротехнички
факултет


др Лазар Сарановац, редовни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет


др Јован Микуловић, редовни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет


др Томислав Рајић, доцент
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет