

ИЗВЕШТАЈ О ОЦЕНИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

I ПОДАЦИ О КОМИСИЈИ		
1. Датум и орган који је именовео комисију:		
Решење Декана Факултета техничких наука у Новом Саду на основу одлуке Наставнонаучног већа Факултета бр. 012-40/443-2024 од 5.9.2024. године.		
2. Састав комисије у складу са <i>Правилима докторских студија Универзитета у Новом Саду</i> :		
1. Швенда др Горан	редовни професор	електроенергетика 14.11.2013.
презиме и име	звање	ужа научна област и датум избора
Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду		председник
установа у којој је запослен-а		функција у комисији
2. Бекут др Душко	редовни професор	електроенергетика 13.10.2004.
презиме и име	звање	ужа научна област и датум избора
Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду		члан
установа у којој је запослен-а		функција у комисији
3. Мијаиловић др Владица	редовни професор	електроенергетика 9.11.2009.
презиме и име	звање	ужа научна област и датум избора
Факултет техничких наука у Чачку, Универзитет у Крагујевцу		члан
установа у којој је запослен-а		функција у комисији
4. Видовић др Предраг	ванредни професор	електроенергетика 10.7.2020.
презиме и име	звање	ужа научна област и датум избора
Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду		члан
установа у којој је запослен-а		функција у комисији
5. Ковачки др Невен	доцент	електроенергетика 15.7.2023.
презиме и име	звање	ужа научна област и датум избора
Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду		члан

установа у којој је запослен-а		функција у комисији
6. Стрезоски др Лука	ванредни професор	електроенергетика 01.03.2023.
презиме и име	звање	ужа научна област и датум избора
Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду		ментор
установа у којој је запослен-а		функција у комисији

II ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ

- Име, име једног родитеља, презиме: Никола Горан Симић
- Датум рођења, општина, држава: 27.9.1993.
- Назив факултета, назив претходно завршеног нивоа студија и стечени стручни/академски назив: Факултет техничких наука, Нови Сад, мастер академске студије, мастрер инжењер електротехнике и рачунарства
- Година уписа на докторске студије и назив студијског програма докторских студија: 2018. Енергетика, електроника и телекомуникације

III НАСЛОВ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Прорачун кратких спојева у микромрежама заснованим на обновљивим изворима енергије

IV ПРЕГЛЕД ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Навести кратак садржај са назнаком броја страница, поглавља, слика, схема, графикона и сл.

Докторска дисертација написана је на 131 страни А4 формата на српском језику. Дисертација садржи 10 поглавља уз додатне сегменте (насловну страну, кључну документацијску информацију, садржај, итд.). Садржи 40 слика, 21 табелу и 212 навода литературе. Докторска дисертација се састоји од следећих поглавља:

- УВОД
 - Преглед стања у области
 - Мотивација за истраживањем
- ОПШТА РАЗМАТРАЊА О ОБНОВЉИВИМ ИЗВОРИМА ЕНЕРГИЈЕ
 - Технологије обновљивих извора енергије
 - Соларна енергија
 - Енергија ветра
 - Хидроенергија
 - Енергија из биомасе
 - Геотермална енергија
 - Енергија из водоника
 - Енергија океана (мора)
 - Прикључивање обновљивих извора енергије на мрежу
 - Регулација приликом значајне промене напона (VRT)
 - Инјектирање/апсорпција реактивне снаге
 - Регулација стабилности фреквенције и контрола активне снаге
 - Регулација напона и контрола реактивне снаге
 - Захтеви за квалитет енергије
- ОПШТА РАЗМАТРАЊА О МИКРОМРЕЖАМА
 - Концепт микромреже
 - Почеци истраживања у области микромрежа
 - Данашње усвојене дефиниције микромреже
 - Користи које доносе микромреже
 - Основне компоненте микромреже
 - Класификација микромрежа
 - Класификација на основу начина повезивања са дистрибутивном мрежом

- 3.3.2 Класификација на основу стратегија управљања
- 3.3.3 Класификација на основу величине
- 3.3.4 Класификација на основу напајања
- 3.3.5 Класификација на основу технологије производних јединица
- 3.3.6 Класификација на основу примене
- 3.3.7 Класификација на основу локације
- 3.4 Контрола микромрежа
 - 3.4.1 Технике контроле
 - 3.4.2 Напредно управљање микромрежом
- 3.5 Безбедност
- 3.6 Модели власништва и финансирања микромрежа
- 3.7 Изазови и питања
 - 3.7.1 Рад и управљање
 - 3.7.2 Пројектовање
 - 3.7.3 Интеграција ДЕР
 - 3.7.4 Заштита
 - 3.7.5 Регулаторни изазови
 - 3.7.6 Области истраживања микромрежа
- 4 МОДЕЛОВАЊЕ ЕЛЕМЕНАТА МИКРОМРЕЖЕ
 - 4.1 Моделовање шире мреже са којом је микромрежа повезана
 - 4.2 Моделовање ДЕР
 - 4.2.1. Математички модели ДЕР коју су директно повезани на мрежу
 - 4.2.2 Математички модели ДЕР који су на мрежу повезани преко уређаја енергетске електронике
 - 4.3 Моделовање трансформатора
 - 4.4 Моделовање водова
 - 4.5 Моделовање потрошача
- 5 ОПШТА РАЗМАТРАЊА О ПРОРАЧУНУ КРАТКИХ СПОЈЕВА
- 6 ПРЕДЛОЖЕНА МЕТОДА ЗА ПРОРАЧУН КРАТКИХ СПОЈЕВА
- 7 НУМЕРИЧКА ВЕРИФИКАЦИЈА РЕЗУЛТАТА
- 8 ПОРЕЂЕЊЕ РЕЗУЛТАТА ПРЕДЛОЖЕНЕ МЕТОДЕ СА РЕЗУЛТАТИМА МЕТОДЕ ИЗ МЕЂУНАРОДНОГ СТАНДАРДА
- 9 ЗАКЉУЧАК
- 10 ЛИТЕРАТУРА

V ВРЕДНОВАЊЕ ПОЈЕДИНИХ ДЕЛОВА ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ:

У **првој глави** описан је мотив за писање ове докторске дисертације. Дат је кратак опис проблема који се решава, преглед стања у области и описана је основна мотивација за истраживањем. На крају ове главе дефинисани су главни циљеви истраживања и дат преглед организације дисертације. Комисија закључује да су предмет истраживања и циљеви дисертације прецизно и адекватно дефинисани.

У **другој глави** дата су општа разматрања о обновљивим изворима енергије. У окру ове главе обрађене су технологије обновљивих извора енергије као што су соларна енергија, ветроенергија, хидроенергија, енергија из биомасе, геотермална енергија, енергија из водоника и енергија морских таласа, као и начини прикључивања са посебним освртом на регулацију приликом промене напона, инјектирање/апсорпцију реактивне снаге, регулацију фреквенције и напона и захтеве за квалитетом енергије. Комисија сматра да су општа разматрања на дату тему јасна и оправдана.

У **трећој глави** дата су општа разматрања о микромрежама где је елабориран концепт микромреже, основне компоненте, различите класификације на основу различитих критеријума, контрола и безбедност микромреже, модели власништва као и изазови и питања која се односе на микромреже. Комисија сматра да су општа разматрања на дату тему јасна и оправдана.

У **четвртој глави** представљени су модели свих елемената микромреже укључујући све типове ДЕР са свим врстама контролних стратегија, трансформаторе, водове, потрошаче, као и модел шире

мреже са којом је микромрежа повезана. Комисија сматра да су математички модели представљени у овој глави тачни и да уважавају све потребне контролне стратегије за управљање ДЕР.

У **петој глави** дата су општа разматрања о прорачуну кратких спојева. Комисија сматра да су општа разматрања на дату тему јасна и оправдана.

У **шестој глави** изоложен је концепт генерализованог Δ -кола микромреже са кратким спојем и представљена је развијена метода за прорачун комплексних кратких спојева у микромрежама заснованим на обновљивим изворима енергије у оба режима рада – повезан и острвски. Комисија сматра да су концепт генерализованог Δ -кола, као и развијена метода са свим својим корацима изложени јасно и концизно.

У **седмој глави** дата је нумеричка верификација резултата у којој су представљени резултати развијене методе за различите типове кратких спојева (метални и комплексни) на моделованој мрежи америчког универзитетског кампуса – „Case Western Reserve University “ у оба режима рада (повезан и острвски), као и поређења ових резултата са резултатима добијеним на истој микромрежи али коришћењем најсавременијег индустријског ННЛ окружења. Комисија сматра да су добијени резултати представљени јасно, као и да је верификација резултата изведена на адекватан начин.

У **осмој глави** дато је поређење резултата развијене методе за прорачун комплексних кратких спојева у микромрежама и резултата добијених помоћу индустријског алата за анализу ЕЕС у који је имплементирана метода за прорачун кратких спојева по ИЕС 60909 стандарду. Резултати развијене методе су прво верификовани помоћу ННЛ окружења на другачијој микромрежи од оне која је коришћена у осмој глави, а затим је креирано 5 различитих случајева које се односе на проценат удела снаге ДЕР који су прикључени преко уређаја енергетске електронике у укупној производној снази микромреже. Приказани су и дискутовани резултати за свих 5 случајева и то у оба режима рада – повезан и острвски. Комисија сматра да су обрађени случајеви релевантни за истраживање, као и да су добијени резултати представљени јасно и концизно.

У **деветој глави** представљени су закључци изведени из свих резултата докторске дисертације. Комисија сматра да су резултати добро протумачени и адекватно повезани са постављеним циљевима и хипотезом.

У **десетој глави** дат је попис литературе, по редоследу навођења. Комисија сматра да је литература детаљно наведена и прегледно приказана.

На крају дисертације дат је план третмана података где се детаљно описују коришћени подаци, њихово порекло, као и њихов третман.

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 складу са *Правилима докторских студија Универзитета у Новом Саду* који је повезан са садржајем докторске дисертације. У случају радова прихваћених за објављивање, таксативно навести називе радова, где и када ће бити објављени и приложити потврду уредника часописа о томе.

1. Simić, N., Strezoski, L., Dumnić, B. "Short-Circuit Analysis of DER-Based Microgrids in Connected and Islanded Modes of Operation." *Energies*, vol. 14, no. 19, 2021, pp. 1-16. ISSN 1996-1073. (M22)
2. Strezoski, L., Simić, N. "Quantifying the Impact of Inverter-Based Distributed Energy Resource Modeling on Calculated Fault Current Flow in Microgrids." *International*

- Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 151, 2023, 109161, pp. 1-12. ISSN 0142-0615. (M21)
3. Pompodakis, E., Strezoski, L., Simić, N., Paspatis, A., Alexiadis, M., Tsikalakis, A., Katsigiannis, Y., Karapidakis, E. "Short-Circuit Calculation of Droop-Controlled Islanded AC Microgrids with Virtual Impedance Current Limiters." *Electric Power System Research*, vol. 218, 2023, 109184, pp. 1-15. ISSN 0378-7796. (M22)
 4. Simić, N., Strezoski, L., Milićević, R. "Relay Protection in Microgrids: Settings and Sensitivity in Presence of IBDEs." *12th IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Europe 2022*, Novi Sad: IEEE, 10-12 Oct. 2022, pp. 1-5. ISBN 978-1-6654-8032-1. (M33)
 5. Strezoski, L., Simić, N., Dumnić, B. "Fault Current Study of Microgrids in Grid-Connected and Islanded Modes of Operation." *12th Mediterranean Conference on Power Generation, Transmission, Distribution and Energy Conversion - MEDPOWER*, Paphos, 9-12 Nov. 2020, pp. 372-377. DOI: 10.1049/icp.2021.1218. (M33)
 6. Simić, N., Strezoski, L., Simić, S., Čohadžić, D. "Verification of Distributed Energy Resource Models for Microgrid Fault Calculations." *36th Energetika*, Zlatibor, 22-25 June 2021, pp. 53-58. DOI: 10.46793/EEE21-4.53S. (M33)
 7. Strezoski, L., Simić, N. "Proračun Kratkih Spojeva i Tokova Snaga Mikromreža u Ostrvskom i Režimu Povezanom na Distributivnu Mrežu." *12th Savetovanje o Elektrodistributivnim Mrežama Srbije sa Regionalnim Učešćem - CIRED*, Vrnjačka Banja, 30-3 Aug. 2021, pp. 1-5. STK4 R-4.06. (M63)
 8. Simić, N., Strezoski, L., Milićević, R., Vukobrat, N. "Izazovi Pri Podešavanju Relejne Zaštite u Mikromrežama sa Velikim Brojem Distribuiranih Energetskih Resursa." *13th Savetovanje o Elektrodistributivnim Mrežama Srbije sa Regionalnim Učešćem - CIRED*, Kopaonik: CIRED, 12-16 Sept. 2022, pp. 1-5. STK 3 R-3.09. (M63)

VII ZAKLJUČCI ODNOSNO REZULTATI ISTRAŽIVAŃA:

Navedeni ciljevi doktorske disertacije su postignuti. Kao rezultat disertacije, razvijena je jedna robusna i tačna metoda za proračun kompleksnih kratkih spojeva u mikromrežama koja je u stanju da izračuna režim mikromreže sa kratkim spojem, bez obzira na režim rada, topologiju i vlasništvo i to bez potrebe da se unapred definišu uslovi kvara za svaki pojedinačni kvar.

Dakle, postignuti su sledeći ciljevi:

1. Unapređen je matematički model mreže sa kratkim spojem tako da bude pogodan za proračun kompleksnih kratkih spojeva u mikromrežama u oba režima rada bez obzira na topologiju i vlasništvo.
2. Razvijena je metoda za proračun kratkih spojeva zasnovana na matrici admitanse koja je sposobna da izračuna režim mikromreže sa proizvoljno izabranim kompleksnim kratkim spojevima, u povezanom i ostrvskom režimu rada, bez potrebe da se uslovi kvara definišu za svaki kvar pojedinačno i to bez oslađanja na koncept korena mikromreže koji može da bude problematičan u ostrvskom režimu rada.
3. Omogućena je integracija tačnih modela svih tipova DER sa uvažavanjem svih kontrolnih strategija, u razvijenu metodu za proračun kratkih spojeva u mikromrežama.
4. Rezultati razvijene metode verifikovani su najsavremenijim industrijskim „Hardware-in-the-loop“ okruženjem sa priključenim pravim, fizičkim, inverterским контролером у који су имплементирани контролне стратегије са захтевима из „Grid Code“ стандарда који се односе на „LVRT“ и „RCI“ и то на моделу реалне микромреже која представља кампус америчког универзитета „Case Western Reserve University“ у оба режима рада – повезан и острвски.
5. Резултати развијене методе упоређени су са резултатима методе из стандарда IEC 60909 на моделованој тестној мрежи у пет различитих случајева који се односе на удео снаге ИДЕР у

<p>укупној прозводној снази микромреже (од 50% до 90% са дискретним корацима од 10%) и примећено је да у микромрежама као што је поменута тестна, у којој постоји значајан проценат снаге прозводње из ИДЕР, резултати добијени методом из стандарда ИЕС 60909 у острвском режиму рада могу приметно да одступају од резултата који су добијени развијеном методом и верификовани НИЛ системом. Ово се објашњава поједностављеним моделима ИДЕР и методом који се користе у стандарду ИЕС 60909 која на нивоу преносних или дистрибутивних мрежа са незнатним процентом снаге прозводње из ИДЕР даје прихватљиве резултате, док у микромрежама заснованим на ОИЕ где ИДЕР представљају значајан проценат снаге прозводње, ови резултати могу да буду нетачни.</p> <p>6. Ефикасност развијене методе потврђена је на примеру моделоване дистрибутивне мреже од 10.000 чворова на модерном рачунару са изузетно моћним перформансама (32 GB RAM и Processor Intel(R) Core(TM) Ultra 7 155U, 2100 Mhz, 12 Core(s), 14 Logical Processor(s)). Време потребно за прорачун које је мање од 0.1 s, потврђује да ова метода може ефикасно да прорачунава режим са кратим спојем и у случајевима када је микромрежа део шире (дистрибутивне) мреже и када је од интереса режим на нивоу целе шире мреже.</p>
<p>VIII ОЦЕНА НАЧИНА ПРИКАЗА И ТУМАЧЕЊА РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА: Експлицитно навести позитивну или негативну оцену начина приказа и тумачења резултата истраживања.</p> <p>Резултати истраживања су приказани и тумачени јасно и прегледно уз навођење претходних истраживачких резултата у овој области. Формирани закључци у раду су поткрепљени одговарајућим теоријским анализама и резултатима истраживања и у складу са дефинисаним циљевима истраживања и постављеним хипотезама. Сви графици су пропраћени адекватним текстуалним описом резултата и одговарајућим коментарима. Комисија позитивно оцењује начин на који су резултати приказани и тумачени и закључује да је докторска дисертација оригинално ауторско дело аутора.</p>
<p>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. Навести нумеричке податке о резултатима провере оригиналности рада и дати текстуално образложење.</p> <p>1. Да ли је дисертација написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме? Да, докторска дисертација је написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме.</p> <p>2. Да ли дисертација садржи све битне елементе? Да, докторска дисертација садржи све битне елементе.</p> <p>3. По чему је дисертација оригиналан допринос науци? Докторска дисертација представља оригиналан допринос науци јер је у њој представљена једна нова, робусна и тачна метода за прорачун комплексних кратких спојева у микромрежама која је у стању да израчуна режим микромреже са кратким спојем, без обзира на режим рада, топологију и власништво и то без потребе да се унапред дефинишу услови квара за сваки појединачни квар и без ослањања на концепт корена микромреже. Показано је да метода има способност да уважи математичке моделе дистрибуираних енергетских ресурса укључујући обновљиве изворе енергије који су на мрежу повезани преко уређаја енергетске електронике и да на адекватан начин уважи њихове различите контролне стратегије.</p> <p>4. Који су недостаци дисертације и какав је њихов утицај на резултат истраживања? Дисертација нема ни суштинских ни формалних недостатака који би утицали на резултат истраживања и квалитет докторске дисертације.</p> <p>5. Образложење резултата провере оригиналности рада (нумерички и наративно): Текст дисертације је проверен помоћу софтвера за детекцију плагијаризма „iThenticate“. Установљен је проценат сличности са другим изворима од 3% што не указује на елементе плагијаризма.</p>

X ПРЕДЛОГ: Комисија позитивно оцењује докторску дисертацију под насловом „Прорачун кратких спојева у микромрежама заснованим на обновљивим изворима енергије“ и предлаже да се докторска дисертација прихвати, а да се кандидату Симић Николи одобри одбрана.

На основу наведеног, комисија предлаже:

а) да се докторска дисертација прихвати, а кандидату одобри одбрана;

б) да се докторска дисертација врати кандидату на дораду (да се допуни односно измени);

в) да се докторска дисертација одбије.

Место и датум:

1. др Горан Швенда, редовни професор
_____, председник
2. др Душко Бекут, редовни професор
_____, члан
3. др Владица Мијаиловић, редовни професор
_____, члан
4. др Предраг Видовић, ванредни професор
_____, члан
5. др Невен Ковачки, доцент
_____, члан
6. др Лука Стрезоски, ванредни професор
_____, 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 и да исти потпише.