

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата Бранка Стојановића

Одлуком Наставно-научног већа Електротехничког факултета бр. 920/28 од 14.05.2024. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Бранка Стојановића под насловом

Реконфигурација дистрибутивне мреже и компензација реактивне снаге коришћењем комбинације симулираног каљења и Крускаловог алгоритма

После прегледа достављене Дисертације и других пратећих материјала и разговора са Кандидатом, Комисија је сачинила следећи

РЕФЕРАТ

1. УВОД

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Кандидат Бранко Стојановић је 26.10.2023. године пријавио тему за израду докторске дисертације под називом „Реконфигурација дистрибутивне мреже и компензација реактивне снаге коришћењем комбинације симулираног каљења и Крускаловог алгоритма“.

Комисија за студије трећег степена предложила је Наставно-научном већу Електротехничког факултета Комисију за оцену подобности теме кандидата. Наставно-научно веће, на својој седници од 07.11.2023. године, именовало је Комисију за оцену научне заснованости теме докторске дисертације у следећем саставу:

1. др Дарко Шошић, ванредни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет,
2. др Владица Мијаиловић, редовни професор, Универзитет у Крагујевцу – Факултет техничких наука у Чачку,
3. др Драган Олћан, редовни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет,
4. др Александар Савић, ванредни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет,
5. др Зоран Стојановић, редовни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет.

Дана 16.11.2023. кандидат је успешно одбранио тему докторске дисертације.

Наставно-научно веће Електротехничког факултета усвојило је Извештај Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације (16.01.2024. године). За ментора дисертације именован је др Томислав Рајић, доцент. Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду дало је сагласност на предлог теме докторске дисертације (Решење број 61206-585/2-24 од 19.02.2024. године).

Кандидат је 22.03.2024. године предао докторску дисертацију на преглед и оцену. Комисија за студије трећег степена потврдила је испуњеност потребних услова за предају дисертације на преглед и оцену. Наставно-научно веће Електротехничког факултета именовало је Комисију за преглед и оцену докторске дисертације, под називом „Реконфигурација дистрибутивне мреже и компензација реактивне снаге коришћењем комбинације симулираног каљења и Крускаловог алгоритма“ (Одлука број 920/28 од 14.05.2024. године), у следећем саставу:

1. др Дарко Шошић, ванредни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет,
2. др Зоран Стојановић, редовни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет,
3. др Владица Мијаиловић, редовни професор, Универзитет у Крагујевцу – Факултет техничких наука у Чачку,
4. др Александар Савић, ванредни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет,
5. др Братислав Иричанин, ванредни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет.

Кандидат је Студијски програм на докторским студијама започео у јесењем семестру академске 2017/2018 године. Кандидат је у школској 2022/2023. години био у статусу мировања.

На основу члана 101. Статута Универзитета у Београду, члана 74. Статута Универзитета у Београду-Електротехничког факултета и захтева студента, одобрено је продужење рока за завршетак студија до истека троструког броја школских година потребних за реализацију уписаног студијског програма.

1.2. Научна област дисертације

Докторска дисертација Бранка Стојановића под насловом „Реконфигурација дистрибутивне мреже и компензација реактивне снаге коришћењем комбинације симулираног каљења и Крускаловог алгоритма“ припада научној области Електротехника и рачунарство, у којој научној области Електроенергетски системи, за коју је матичан Електротехнички факултет Универзитета у Београду.

Ментор докторске дисертације је др Томислав Рајић, доцент Електротехничког факултета Универзитета у Београду. Доцент др Томислав Рајић се дуги низ година бави научноистраживачким радом у области дистрибутивних мрежа, што је потврђено релевантним радовима који су наведени приликом пријаве теме докторске дисертације кандидата.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Кандидат је рођен 3. априла 1958. године у Београду. Основну школу и XIII београдску гимназију – природноматематички смер завршио је у Београду. Године 1976. уписао је

Електротехнички факултет на Универзитету у Београду на енергетском одсеку. 14. маја 1981. године дипломирао је на истом одсеку- смер електропривреда, са просечном оценом 9,08 и 10 на дипломском испиту. Тема дипломског рада је „Побољшање транзијентне стабилности код синхроних генератора уз помоћ регулације побуде“. Дипломски рад је рађен код професора др Гојка Муждеке.

Године 1982. кандидат је уписао постдипломске студије на Електротехничком факултету Универзитета у Београду на одсеку за електроенергетске системе, групи за високонапонска постројења и опрему. Кандидат је магистрирао код професора др Николе Рајаковића 30. јануара 1997. године на тему „Метода симулације каљења и њена примена на компензацију у радијалним дистрибутивним мрежама“. Просечна оцена на постдипломским студијама била је 7,83.

Године 2017. уписује студије трећег степена на Електротехничком факултету Универзитета у Београду. Кандидат је објавио 27 стручних радова. Област његовог интересовања је анализа и оптимизација дистрибутивних мрежа.

Од 1981. године кандидат је радио у предузећу „Минел експорт-импорт“ на пословима израде лицитационих елабората за електроенергетску опрему и комплетне објекте. Од 1994. године кандидат је радио у Електромашинској школи у Земуну као наставник за групу електротехничких предмета. 3. јануара 1996. године кандидат се запошљава у Техничком опитном центру при војсци Србије где је радио на пословима испитивања електричних карактеристика наоружања и војне опреме као водећи истраживач. Ту је и пензионисан.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација под насловом „Реконфигурација дистрибутивне мреже и компензација реактивне снаге коришћењем комбинације симулираног каљења и Крускаловог алгоритма“ написана је на 133 страна. Организована је у 10 поглавља, има 87 слика, 15 табела и листу од 150 референци. Наслови поглавља су:

1. Увод
2. Дистрибутивне мреже
3. Моделовање потрошње и производње
4. Провера повезаности енергетског система
5. Ефикасни алгоритам токова снага за симетричне радијалне дистрибутивне мреже- MATPOWER
6. Нови алгоритам
7. Тест мреже
8. Нумерички резултати
9. Поређење са другим алгоритмима из литературе
10. Закључак

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У уводном поглављу изложени су циљ и мотивација истраживања презентованог у дисертацији. Посебна пажња посвећена је прегледу литературе везане за приказану проблематику, с нагласком на најновије референце. На крају су изнети остварени доприноси дисертације.

У другом поглављу укратко је објашњен проблем реконфигурације дистрибутивне мреже. Идеја је да се укаже и објасни потреба за оптимизацијом у оваквим случајевима. Дат је теоријски аспект једнокритеријумске и вишекритеријумске функције циља. Вишекритеријумска оптимизација представљена је кроз оптимизацију са тежинским коефицијентима, Fuzzy оптимизацију и Pareto оптимизацију. На крају су изложене и предности оточне компензације реактивне снаге кроз нумерички пример.

Треће поглавље бави се моделовањем потрошње и производње. Наведени су модели потрошње (статички и временски променљив напонски зависан модел). Објашњена је Гаусова расподела употребљена за стохастично моделовање потрошње и Вејбулова расподела за одређивање производне снаге ветрогенератора. Ради прорачуна производње из фотонапонских система, ирадијација је мењана из сата у сат, такође према Гаусовој расподели. Посебна пажња је посвећена дневним дијаграмима потрошње и тачки интерконекције дистрибуираних генератора.

У четвртном поглављу дат је осврт на то како се одређује да ли је мрежа повезана и радијална. Овде су наведене математичке идеје, публиковане у радовима који се баве истом проблематиком.

Пето поглавље нуди детаљно објашњење Њутновог алгоритма токова снага у MATPOWER окружењу. У питању је програм који ради у MATLAB окружењу и који се широко примењује за дату проблематику.

Нов алгоритам, који се огледа у примени Крускаловог алгоритма примењеног на почетку за одређивање конфигурације блиске глобалном оптимуму, и алгоритма симулираног каљења, примењеног накнадно за оптимално позиционирање кондензаторских батерија, приказан је у шестом поглављу. Презентована су усвојена ограничења у прорачуну, као и блок шеме оба примењена алгоритма. Дефинисане су функције циља према којима се одређује која је конфигурација оптимална уз присуство кондензаторских батерија и дистрибуираних избора електричне енергије.

У седмом поглављу дат је детаљан опис две мреже на којима је тестиран описани алгоритам. Мреже се помињу у литератури и на њима су вршена истраживања од стране других аутора. Једна мрежа садржи 69 чворова, а друга 118 чворова.

Осмо поглавље посвећено је нумеричким резултатима за обе тест мреже, као и системима за складиштење електричне енергије. Прво је извршено поређење два начина прорачуна. Један је примена новог алгоритма, а други приступ је примена само симулације каљења, симултано и за проблем реконфигурација и за проблем компензације. Детаљан прорачун показује да је нов алгоритам знатно ефикаснији. У наставку је само нов алгоритам тестиран на мрежи од 118 чворова, али уз уважавање постојања батерије за складиштење електричне енергије. Анализа различитог броја комутација по комутујућем елементу у току 24 сата дата је на самом крају поглавља.

Поређење с другим алгоритмима, публикованих у литератури, изнето је у поглављу девет. Анализа је извршена само на основу уважених ограничења, без детаљних прорачуна. Резултати су прегледно приказани табеларно.

Коначно, у десетом поглављу су сумирани основни закључци докторске дисертације. Изнети су основни доприноси, као и смернице за даља истраживања.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Побољшање снабдевања електричном енергијом се може постићи различитим мешовитим стратегијама, као што су координисано управљање изворима електричне енергије и смањење у губицима активне снаге. Заједничка координација ових стратегија може дати оптималне резултате у циљу минимизирања губитака, поправке напонског профила и корекције улазног фактора снаге дистрибутивне мреже. Повољни резултати се могу остварити променом конфигурације дистрибутивне мреже, тј. реконфигурацијом. Реконфигурација мреже и лоцирање кондензаторских батерија су традиционално коришћени за смањење губитака, побољшање напонског профила и растерећење трансформаторских станица дистрибутивне мреже. Последњих година, висок степен прикључења обновљивих извора енергије (ветрогенератори, фотонапонски системи) као последица повећане цене горива, либерализације тржишта електричне енергије и бриге за околину, начиниле су значајне промене у постојећој структури дистрибутивне мреже. Променљивост временских услова негативно утиче на дистрибуиране изворе енергије. Превазилажење несигурности у напајању, уз променљивост потрошње конзума, представља изазове за инжењере који надзиру и управљају енергетском мрежом. Осим тога, да би се решили проблеми снабдевања када обновљиви извори енергије нису у стању да произведу довољно електричне енергије, у дистрибутивним системима се користе и батерије за складиштење електричне енергије.

Циљ докторске дисертације је да се за релативно дуг оперативни период од преко 1000 сати рада мреже нађу оптималне конфигурације на сатном нивоу уз фиксно постављене дистрибуиране изворе и кондензаторске батерије. У тези се одређује сценарио којим се постижу минимални трошкови и цене уграђених кондензаторских батерија, губитака активне снаге, вредности неиспоручене и испоручене електричне енергије и ограничења броја комутација. Ово мора да буде урађено у складу са свим техничким решењима која се постижу и присуством регулатора напона под оптерећењем, у напојном чвору мреже. Предложени метод у дисертацији даје смернице за најбоље решење са техничког, економског и са аспекта утицаја на околину, уз задовољење одговарајућих операционих ограничења. У дисертацији се примењује комбинација оптимизационих метода минимално разгранатог стабла (Крускалов алгоритам) и симулираног каљења на проблем реконфигурације и компензације дистрибутивне електроенергетске мреже. Уз Монте Карло методу, описани алгоритам представља јединствен приступ за решавање датог проблема у поређењу са алгоритмима из литературе.

Алгоритам се може употребити у фази планирања због своје ефикасности. Посебан допринос је уважавање сатне промене потрошње и стохастичност производње, што је од велике важности за планирање електроенергетских система. Стохастичност потрошње представљена је у виду Гаусове расподеле за сваки сат рада, узимајући у обзир радне и нерадне дане. Променљивост производње је уважена кроз Вејбулову расподелу за брзину ветра. Све набројано, уз ограничен број комутација за 24 сата рада мреже, као и постојање регулатора напона у напојном чвору, нису обрађивани симултано у највећем броју досадашњих чланака. Посебан допринос је уважавање система за складиштење електричне енергије, што је права реткост у модерним истраживањима.

Модел потрошње и производње од класичних до савремених приказани су у посебном поглављу. На примеру две тест мреже (IEE са 69 чворова и 118 чворова), имплементирани су развијене методе прорачуна и добијени резултати су приказани графички, нумерички и табеларно. Детаљно је урађена компаративна анализа резултата прорачуна, када се примењује само симулирано каљење и када се примењује комбинација Крускаловог

алгоритма и симулираног каљења, развијеног у овој дисертацији. Табеларно поређење по усвојеним критеријумима компарације за опсежан део досад урађених чланака и метода дат је на крају дисертације. Из њега се види да је решење развијено у овој дисертацији иновативно.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Литература коришћена у дисертацији садржи најновије научне радове релевантне за проблематику дисертације, али садржи и класичне радове, као и одговарајуће књиге. Број библиографских јединица наведених на крају дисертације указује на кандидатов широк и темељан увид у научну област третирану у дисертацији.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Истраживање у оквиру предложене докторске дисертације обухватило је следеће фазе:

- Стохастични приказ промене потрошње у чворовима мреже (Гаусова расподела).
- Стохастични приказ промене снаге ветрогенератора у чворовима мреже (Вејбулова расподела).
- Одређивање места прикључења ветрогенератора у мрежи.
- Укључење фотонапонских у најоптерећенијим чворовима мреже система са дијаграмом инсолације који уважава облачност.
- Укључење дневног дијаграма потрошње током нерадних и радних дана при анализи потрошње мреже и промена на сатном нивоу.
- Уважавање регулатора напона у напојном чвору дистрибутивне мреже.
- Укључење система за складиштење електричне енергије у анализу рада најсложеније мреже од 118 чворова.
- Примена вишеструке функције циља која поред губитака вршне снаге и цене кондензаторских батерија укључује и цену комутација.

Наведене методе и поступци су засновани на теоријским истраживањима, која су затим верификована на тест примерима мрежа. Поступци су у потпуности били примерени проблему који је решаван, што је довело до остварења декларисаних циљева дисертације.

3.4. Применљивост остварених резултата

Резултати приказани у дисертацији, који су верификовани на тест примерима мрежа, имају директну применљивост у фази планирања. Приказани алгоритам је тестиран у бројним сценаријима који се могу јавити у пракси и даје задовољавајуће оптималне резултате. Крускалов алгоритам је хеуристичка метода и представља мрежу као неорјентисани граф и значајно убрзава процес прорачуна. Овакав приступ се може искористити у дугорочним проценама конфигурације мреже у зависности од нивоа производње електричне енергије из дистрибуираних извора, у циљу смањења губитака електричне енергије и трошкова. Такође, описани алгоритам разматра и што мање оптерећивање расклопне опреме, јер уважава дозвољени број комутација у току једног дана, чиме се продужава век опреме.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Кандидат је током израде предметне докторске дисертације показао да успешно влада савременим научним сазнањима, методама и техникама, као и да је у стању да самостално

решава проблеме. Такође, кандидат је испољио захтевану научну зрелост и оспособљен је за даљи успешан научноистраживачки рад.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

У оквиру предложене докторске дисертације истичемо следеће научне доприносе:

- Постизање оптималне конфигурације мреже на сатном нивоу, зарад постизања минималних трошкова и минималних губитака електричне енергије,
- Уважавање стохастичне промене потрошње у чворовима мреже (Гаусова расподела),
- Укључење дневног дијаграма потрошње за нерадне и радне дане при анализи потрошње мреже и промена на сатном нивоу,
- Укључење фотонапонских система са промењивом ирадијацијом у најоптерећенијим чворовима мреже,
- Примена графичке Монте Карло методе за одређивање чворова у које се прикључују ветрогенератори,
- Постизање улазног фактора снаге мреже изнад 0.85 применом кондензаторских батерија,
- Примена вишеструке функције циља, која поред губитака вршне снаге и цене кондензаторских батерија укључује и цену губитака електричне енергије, цену неиспоручене електричне енергије и цену комутација,
- Ограничење броја комутација на максимално 6 у току 24 сата по једном комутујућем елементу,
- Примена комбинације оптимизационих метода минимално разгранатог стабла (Крускалов алгоритам) и симулираног каљења на проблем реконфигурације и компензације дистрибутивне електроенергетске мреже,
- Значајно смањење времена трајања програма у односу на случај симултане реконфигурације и компензације методом симулираног каљења,
- Широки временски дијапазон анализе реалног рада мреже (више од 1000 сати) уз задовољење свих техничких ограничења (минималних напона чворова, максималних дозвољених вредности струја грана и непрекомпензованости мреже) и
- Укључење система за складиштење електричне енергије у анализу рада најсложеније мреже од 118 чворова.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Увидом у постављену проблематику, хипотезе, циљеве истраживања и добијене резултате, констатовали смо да је кандидат успешно одговорио на суштинска питања која су значајна за решење проблема којим се бави докторска дисертација. Предложени алгоритам је тестиран рачунарским симулацијама. За верификацију новог алгоритма коришћене су тест мреже са 69 и 118 чворова. Тиме су потврђене полазне претпоставке и остварен је значајан научни допринос. Увидом у приложену литературу, као и у публиковане радове кандидата у часописима *International Journal of Electrical Power & Energy Systems* и *Electrical Engineering* (некадашњи *Archiv für Elektrotechnik*), као и *International Transactions on Electrical Energy Systems*, констатујемо да се истраживањима у овој дисертацији дошло до нових резултата који до сада нису били публиковани.

4.3. Верификација научних доприноса

Бранко Стојановић је до сада објавио следеће научне радове релевантне за докторску дисертацију:

Научни радови објављени у научним часописима међународног значаја M20

M21

1. **B. Stojanović**, T. Rajić, D. Šošić; Distribution network reconfiguration and reactive power compensation using a hybrid Simulated Annealing-Minimum Spanning Tree algorithm, International Journal of Electrical Power and Energy Systems, 147 (2023) 108829; <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2022.108829>; ISSN= 0142-0615; IF=5.659.

M22

2. **B. Stojanović**, T. Rajić; Novel approach to reconfiguration power loss reduction problem by simulated annealing technique; International Transactions on Electrical Energy Systems, 27 (2017), e2464; <https://doi.org/10.1002/etep.2464>; ISSN= 2050-7038; IF=1.619.

M23

3. **B. Stojanović**, T. Rajić; Distribution network reconfiguration and capacitor switching in the presence of wind generators, Electrical Engineering, 104 (2022) pages 2249–2266, <https://doi.org/10.1007/s00202-021-01470-8>; ISSN= 0948-7921; IF=1.8.

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Докторска дисертација кандидата Бранка Стојановића под насловом „Реконфигурација дистрибутивне мреже и компензација реактивне снаге коришћењем комбинације симулираног каљења и Крускаловог алгорита“ у целини је написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме и садржи све битне елементе који се захтевају Правилником о докторским студијама Електротехничког факултета Универзитета у Београду.

У дисертацији се решава актуелан проблем реконфигурације и оточне компензације дистрибутивне мреже уз присуство дистрибуиране производње и система за складиштење електричне енергије. Сагледана је проблематика и дат осврт на решења која се јављају у пракси и која су предложена у новијим радовима из поменуте области. Алгоритам је тестиран на софтверском моделу две тест пример мреже (IEEE мрежа од 69 и 118 чворова). Показано је да је алгоритам потпуно примењив у фази планирања дистрибутивних мрежа због скалабилности Крускаловог алгорита.

Резултати су верификовани у радовима објављеним у часописима са JCR-SCI листе. Тиме је показано да је основна теоријска поставка била исправна и да наведени алгоритам представља значајан допринос на пољу оптимизације дистрибутивних мрежа.

Кандидат Бранко Стојановић показао је способност за самосталан научни рад, што потврђује и чињеница да је објавио више научних радова који су проистекли из рада на дисертацији, а у којима је први аутор. Оцењујући докторску дисертацију, уз уважавање чињенице да је анализирана проблематика актуелна и савремена и да дисертација садржи научне доприносе, Комисија констатује да је кандидат Бранко Стојановић, магистар електротехнике и рачунарства, испунио све услове предвиђене Законом о високом образовању, Статутом и Правилником о докторским студијама Електротехничког факултета Универзитета у Београду.

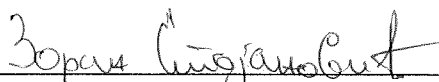
Имајући у виду наведено, Комисија са задовољством предлаже Наставно-научном већу Електротехничког факултета Универзитета у Београду да се докторска дисертација под називом „Реконфигурација дистрибутивне мреже и компензација реактивне снаге коришћењем комбинације симулираног каљења и Крускаловог алгоритма“ кандидата Бранка Стојановића прихвати, изложи на увид јавности и упуту на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду.

У Београду, 22. 05. 2024. године

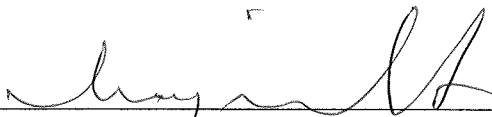
ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ



др Дарко Шошић, ванредни професор
Универзитет у Београду - Електротехнички факултет



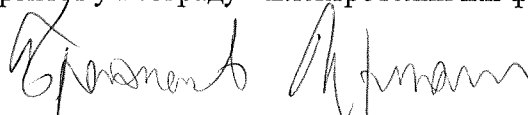
др Зоран Стојановић, редовни професор
Универзитет у Београду - Електротехнички факултет



др Владица Мијаиловић, редовни професор
Универзитет у Крагујевцу, Факултет техничких наука у Чачку



др Александар Савић, ванредни професор
Универзитет у Београду - Електротехнички факултет



др Братислав Иричанин, ванредни професор
Универзитет у Београду - Електротехнички факултет