

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Подобност теме и кандидата **Бранка Стојановића** за израду докторске дисертације

Одлуком бр. **5045/17-1** од **22.6.2018.** године, именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности теме и кандидата **Бранка Стојановића** за израду докторске дисертације и научне заснованости теме **„Нови приступ реконфигурацији дистрибутивних мрежа применом методе симулираног каљења у циљу смањења губитака активне снаге“**.

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

Одлуком Комисије наслов теме докторске дисертације коригује се у **„Нови приступ реконфигурацији дистрибутивних мрежа применом методе симулираног каљења“**.

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Бранко Стојановић 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 на тему „Метода симулације каљења и њена примена на компензацију у радијалним дистрибутивним мрежама“. Просечна оцена на постдипломским студијама је била 7,83.

2015 године кандидат почиње плодну сарадњу са асистентом Томиславом Рајићем са Електротехничког факултета Универзитета у Београду. Тема докторске дисертације „Нови приступ реконфигурацији дистрибутивних мрежа применом методе симулираног каљења“ привлачила је кандидата још од 1997 године али тек након познанства са асистентом Рајићем кандидат успева да је финализује. Докторска дисертација пријављена је маја 2018 код ментора ванредног професора др. Зорана Стојановића на Електротехничком факултету Универзитета у Београду на модулу Електроенергетске мреже и системи. Кандидат је објавио 12 стручних радова.

Од 1981. године кандидат је радио у предузећу „Минел експорт-импорт“ на пословима израде лиценцијских пројеката 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 ради на пословима испитивања електричних карактеристика наоружања и војне опреме. Ту је и сада запослен као водећи истраживач.

1.2. Стечено научноистраживачко искуство

Кандидат је докторске студије на Електротехничком факултету Универзитета у Београду уписао 2017. године. 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 на тему „Метода симулације каљења и њена примена на компензацију у радијалним дистрибутивним мрежама“. Просечна оцена на постдипломским студијама је била 7,83.

Преглед положених испита на магистарским студијама

Назив предмета	Оцена	ЕСПБ	Предметни наставник
Дистрибутивни системи	(седам) 7	х	Гојко Муждека
Стабилност електроенергетских система	(девет) 9	х	Гојко Муждека
Високонапонска опрема	(девет) 9	х	Милан Савић
Релејна заштита	(седам) 7	х	Миленко Ђурић
Високонапонска постројења	(седам) 7	х	Јован Нахман
Пренапони и заштита од пренапона	(осам) 8	х	Милан Савић
Немачки језик	положио	х	Гордана Иричанин

Научноистраживачки рад

Аутор је објавио 1 рад у међународном часопису са SCI листе, 1 рад у међународном часопису који није на SCI листи, 7 радова на конференцијама националног значаја и 3 рада у часописима националног значаја.

Рад публикован у научном часопису међународног значаја M20

1. **Stojanović B., Rajić T.**; Novel approach to reconfiguration power loss reduction problem by simulated annealing technique, International Transactions on Electrical Energy Systems 2017;e2464. <https://doi.org/10.1002/etep.2464>. (M23)

Рад у међународном часопису који није на SCI листи

1. **Stojanović B.**; Branch exchange approach to power loss reduction in reconfiguration problem of balanced distribution networks; International Journal on Mechanical Engineering and Automation; Vol. 2, No. 3, 2015, 142-149.

Радови публиковани у зборницима скупова националног значаја M60

1. **Stojanović B., Moskovljević M., Rajić T.**; Modified efficient power flow algorithm Nahman and Perić; OTEH 2016 (VTI, Beograd – Konferencija o odbrambenim tehnologijama). (M63)

2. **Stojanović B.**, Moskovljević M., Rajić T.; Modifikovani efikasni algoritam tokova snaga Nahman i Perić; CIRED (savetovanje o elektrodistributivnim mrežama Srbije) 2016, Vrnjačka banja. (M63)
3. Rajić T., **Stojanović B.**; Program za proveru povezanosti elektroenergetskog sistema; CIRED (savetovanje o elektrodistributivnim mrežama Srbije) 2016, Vrnjačka banja. (M63)
4. **Stojanović B.**; Network reconfiguration in balanced distribution systems for active power loss reduction by branch exchange method; OTEH 2014 (VTI, Beograd – Konferencija o odbrambenim tehnologijama). (M63)
5. **Stojanović B.**; Metoda simulacije kaljenja i njena primena na postavljanje kondenzatorskih baterija u simetričnim radijalnim distributivnim mrežama; CIRED (savetovanje o elektrodistributivnim mrežama Srbije) 2012, Vrnjačka banja. (M63)
6. **Stojanović B.**; Efficient automatic program for voltage and current calculation in large scale radial balanced distribution networks without transformers; OTEH 2011 (VTI, Beograd – Konferencija o odbrambenim tehnologijama). (M63)
7. **Stojanović B.**; Efikasni algoritam za proračun napona i struja u simetričnim razgranatim distributivnim mrežama; OTEH 2009 (VTI, Beograd – Konferencija o odbrambenim tehnologijama). (M63)

Радови у часописима националног значаја M50

1. **Stojanović B.**; Rekonfiguracija simetričnih radijalnih distributivnih mreža u svrhu smanjenja gubitaka aktivne snage; Elektroprivreda 2007, Br.3, 25-40. (M51)
2. **Stojanović B.**; Primena metode simulacije kaljenja na problem kompenzacije reaktivne snage u simetričnim radijalnim distributivnim mrežama; Elektroprivreda 2004, Br.3, 35-49. (M51)
3. **Stojanović B.**, Nedeljković M.; Solving problem of general capacitor placement in radial distribution systems with laterals using simulated annealing; Scientific Technical Review; 3-4, 2004, 52-59. (M51)

Одбрана приступног рада за израду дисертације

Кандидат је 05. јула 2018. године полагао докторски испит на Електротехничком факултету у Београду, при чему је комисија у саставу:

1. др Предраг Стефанов, доцент, Електротехнички факултет Универзитета у Београду,
2. др Никола Рајаковић, редовни професор у пензији, Електротехнички факултет Универзитета у Београду,
3. др Драган Олћан, ванредни професор, Електротехнички факултет Универзитета у Београду,
4. др Александар Савић, доцент, Електротехнички факултет Универзитета у Београду,
5. др Дарко Шошић, доцент, Електротехнички факултет Универзитета у Београду

закључила да је кандидат на јавној усменој одбрани предложене теме докторске дисертације добио оцену **задовољно**.

1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

- Током свог научноистраживачког рада, кандидат се активно бавио проблемима који су у блиској вези са предложеном темом докторске дисертације,

- Кандидат је публикувао 1 рад у међународном часопису са SCI листе који је директно везан за област којом се бави докторска дисертација, 1 рад у међународном часопису који није на SCI листи, 7 радова на конференцијама националног значаја и 3 рада у часописима националног значаја (сви наведени радови су директно везани за област којом се бави докторска дисертација),
- Кандидат поседује одговарајуће знање и искуство потребно за решавање проблема из области предложене теме докторске дисертације,
- Кандидат је пред Комисијом формираном од стране Наставно-научног већа Електротехничког факултета, на јавној усменој одбрани, успешно положио докторски испит, одржан 05.07.2018. године,
- На основу наведених резултата, наша је процена да је кандидат Бранко Стојановић у стању да успешно реализује и заврши израду докторске дисертације.

2. Предмет, циљ и значај истраживања

Реконфигурација дистрибутивних мрежа везана је за поступак отварања и затварања комутационе опреме (прекидачи и растављачи) да би се изменила топологија мреже са одређеним циљем (нпр. минимизација губитака снаге, симетрирање оптерећења, смањење пада напона, рестаурација мреже, ...).

Два су примарна разлога за реконфигурацију дистрибутивне мреже током нормалног рада, први случај је познат као симетрирање оптерећења (неколико извода преоптерећени, а остали подоптерећени) и други због смањења губитака активне снаге. У овој дисертације вршиће се реконфигурација ради смањења губитака као и ради побољшања напонског профила на примерима трофазних симетричних дистрибутивних мрежа.

Реконфигурација мреже се може сврстати у проблеме везане за „минимално разгранато стабло“ (дистрибутивна мрежа личи на разгранато стабло) који су познати као и NP (*non polynomial*) комплетни комбинаторни оптимизациони проблеми. Од методе се захтева да пронађе конфигурацију мреже чији су губици активне снаге минимални и код које је минимизиран највећи пад напона, а да су притом задовољена сва релевантна ограничења. С обзиром да је статус комутационе опреме бинаран (отворена или затворена), простор решења је дисконтинуалан тако да се класичне оптимизационе методе, које се заснивају на налажењу извода критеријумске функције, не могу применити за решавање проблема реконфигурације дистрибутивне мреже осим када се користи сигмоидна функција којом се бинарни статус представља континуалном функцијом која је диференцијабилна [1].

Методе реконфигурације се могу класификовати на следећи начин имајући у виду да постоје три приступа решавању проблема оптимизације: 1) математички, 2) хеуристички и 3) мета-хеуристички: група заснована на критеријуму смањења губитака, група код које се реконфигурација остварује отварањем прекидача са најмањим струјама до остварења радијалне конфигурације (полази се од слабо упетљане мреже), група базирана на квадратној функцији губитака као и на квадратном програмирању (математички приступ), група где се реконфигурација врши на бази индекса прекидања који су изведени на основу падова напона грана мреже уз коришћење њених параметара и група у коју спадају методе вештачке интелигенције [2], (хеуристички приступ). У последњу се убрајају експертски системи, вештачке неуралне мреже, генетски алгоритам, симулирано каљење и еволуционо програмирање (метахеуристички приступ). Хеуристичке методе врло брзо налазе под-оптимална решења. Са друге стране, мета-хеуристичке методе могу бити и боље (изналазе

боља решења) и брже од хеуристичких метода док математичке методе захтевају знатно више рачунарског времена, али налазе оптимално решење.

Као основа за писање овог рада послужила је референца [3]. У овом раду је коришћен критеријум за проверу повезаности мреже који ће бити дорађен, како је то изложено у књизи [4]. Користиће се Булово степеновање матрица. Такође, ефикасни алгоритам за прорачун токова снага за трофазне мреже, као најважнији елемент у свим проблемима реконфигурације, који је такође приказан у [3] биће модификован и додатно унапређен.

Ефикасни модификовани алгоритам је флексибилан али недовољно тачан и коришћен је (са нужним корекцијама) у почетној фази, док се аутор није определио за флексибилни и тачан алгоритам MATPOWER окружења (Newton's method, конвергенција у 10 итерација). Модификовани алгоритам токова снага [3] биће примењен само на мрежу из [6].

Анализираће се симетричне радијалне дистрибутивне мреже у којима се разматра део мреже са једним напонским нивоом и са само једним напојним чвором. Такође, биће занемарене оточне адмитансе у чворовима мреже, тако да матрица адмитанси независних чворова буде сингуларна, што је најчешћи случај у литератури.

Симулирано каљење се први пут помиње у [5]. Засновано је на посебно моделованој вероватноћи приближавања глобалном минимуму функције циља, избегавањем окончања алгоритма у неком од локалних минимума. На почетку алгоритма дозвољена су практично сва решења док се постепеним хлађењем, током извршења алгоритма, прихватају само она најбоља. У овом раду биће изнет хибридни алгоритам симулираног каљења са директним, грубим претраживањем (*greedy search*). Биће изнети хомогени (описан секвенцом хомогених Марковљевих ланаца код којих је температура као контролни параметар константна) и нехомогени (описан једним нехомогеним Марковљевим ланцем код кога се температура сукцесивно мења) алгоритми. Марковљев ланац је низ покушаја када је исход сваког покушаја завистан искључиво од исхода претходног. Под покушајима подразумевају се генерисана решења.

Основна анализирана мрежа је од 33 чвора (са нултим, референтним) чији су подаци преузети из [6] са 37 грана од којих 32 улазе у стабло графа, а осталих 5 грана представљају повезне гране помоћу којих је могуће вршити реконфигурацију дистрибутивне мреже. Претпоставиће се да се на свакој грани налазе расклопни елементи, тако да је сваку грану могуће укључити или искључити по потреби. У наставку истраживања биће анализирани и мреже са 69 и 118 чворова, респективно.

У изради ове дисертације постављени су следећи циљеви:

- Приказати развој/избор и проверу алгоритма за прорачуне токова снага у обиму колико је потребно за разумевање суштине рада.
- Приказати развој/избор и анализу алгоритама за проверу конфигурације мреже у обиму колико је потребно за разумевање суштине рада.
- Приказати развој односно модификацију оптимизационог алгоритма симулираног каљења којим се омогућава његова примена у решавању оптимизационог проблема конфигурације мреже.
- У поставци проблема обухватити друге циљне функције (пored смањења губитака) релевантне за рад савремених дистрибутивних система у склопу концепта интелигентних мрежа.

- Потврдити добијене резултате поређењем са резултатима других у литератури разматраних метода за реконфигурацију дистрибутивних мрежа (на идентичним тест примерима).

Значај истраживања везан је за чињеницу да смањење губитака активне снаге има велике финансијске последице јер је процењено да се од укупне производње електричне енергије, не рачунајући њено илегално преузимање, од 5% до 13% троши на губитке у дистрибутивној мрежи. Реконфигурација се може применити на побољшање ефикасности снабдевања електричном енергијом и на побољшање њеног квалитета јер поправља напонску слику. Њена поправка се директно огледа у најнижем напону мреже (чвор-а) који се реконфигурацијом знатно повећава што ће бити у раду и анализирано.

Развијена метода имаће трајање које ће је учинити погодном за примену, како у процесу планирања, тако и у фази експлоатације дистрибутивних електроенергетских мрежа. Мора се нагласити да она у погледу изналажења глобалног оптимума и времена прорачуна није толико ефикасна као метода постепеног додавања грана [7] а предност јој је што јој време извршења алгорита не зависи од броја фундаменталних петљи као код ове методе. У односу на друге методе симулираног каљења предност јој је следљивост и поновљивост као и коришћење флексибилног алгорита токова снага.

Значај истраживања може се сагледати и кроз одабране научно-истраживачке радове из ове области. Само неки од њих су приказани у наставку:

1. Leonardo WdeO, Sandoval CJ, Edimar JdeO, Pereira JLR, Ivo CSJ and Jeferson SC. Optimal reconfiguration and capacitor allocation in radial distribution systems for energy losses minimization, *Electrical Power and Energy Systems* 32 (2010) 840-848.
2. Prakasa Rao KKS, Veera Reddy VC. A review on distribution feeder reconfiguration methods, *International Journal Of Advance Research, Ideas And Innovations In Technology*, Volume3, Issue2, 2017, 192-195.
3. Nahman JM, Perić DM. Optimal planning of radial distribution networks by simulated annealing technique, *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol.23, No.2, May 2008; 790-795.
4. Heydt GT. Computer analysis methods for power systems, Copyright 1986, Purdue University, Macmillan Publishing Company, New York, 359 (p), pp. 11-15.
5. Kirkpatrick S, Gelatt CDJ and Vecchi P. Optimization by simulated annealing, *Science*, vol. 220, no. 4598, May 1983, 671-680.
6. Baran ME, Wu FF. Network reconfiguration in distribution systems for loss reduction and load balancing, *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol.4, No.2, April 1989; 1401-1407.
7. Šošić D, Stefanov P. Uporedna analiza heurističkih metoda rekonfiguracije distributivnih mreža, *CIREN (savetovanje o elektrodistributivnim mrežama Srbije)*, Vrnjačka banja 26-30.9.2016.
8. Lavorato M, Franco JF, Rider JM and Romero R. Imposing radiality constraints in distribution system optimization problems, *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol.27, No.1, February 2012; 172-180.
9. Nayeripour M, Moghaddam EM, Khooban MH. Multi-periods distribution feeder reconfiguration at the presence of distributed generation through economic assessment using a new modified PSO algorithm, *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems* 31 (2016) 321-331.
10. Thuan TN, Anh VT, Tuan AP. A novel method based on adaptive cuckoo search for optimal network reconfiguration and distributed generation allocation in distribution network, *Electrical Power and Energy Systems* 78 (2016) 801-815.

11. Ameli A, Ahmadifar A, Shariatkhah MH, Vakilian M, Haghifam MR. A dynamic method for feeder reconfiguration and capacitor switching in smart distribution systems, *Electrical Power and Energy Systems* 85 (2017) 200-211.
12. Salehi J, Oskuee MRJ, Amini A. Stochastics multi-objective modeling of simultaneous reconfiguration of power distribution network and allocation of DG's and capacitors, *International journal of Ambient Energy*, 13 January 2017; 15 pgs.
13. Stojanović B, Rajić T. Novel approach to reconfiguration power loss reduction problem by simulated annealing technique, *International Transactions on Electrical Energy Systems* 2017;e2464. <https://doi.org/10.1002/etep.2464>.

3. Полазне хипотезе

Полазне хипотезе при изради предложене докторске дисертације биће:

- Мрежа је повезана када јој је одговарајућа матрица повезаности после Буловог степеновња на одговарајући степен са свим елементима једнаким јединици.
- Мрежа је радијална када је повезана и број грана јој је за 1 мањи од броја чворова.
- Модификовани алгоритам токова снага преузет из референце [3] конвергира за инжињерски прихватљиво време.
- Хомогени алгоритам симулираног каљења не завршава, регулисан параметрима дефинисаним на почетку алгоритма, у субоптимуму који се добија из (*greedy search*) дела програма којим се прати најмања конфигурација (у погледу губитака) све до тренутка терминирања алгоритма што је идентично код нехомогеног алгоритма.
- Табеларним поређењем величина струја грана видеће се да се реконфигурацијом смањују велике струје а повећавају најмање тако да се постиже равномерније оптерећивање грана мреже.
- Рачунарско време извршења програма је мање код нехомогеног алгоритма у односу на хомогени, без побољшања добијене оптималне конфигурације.

4. Научне методе истраживања

Биће коришћене следеће методе током истраживања:

- Метода симулираног каљења примењена на задатак реконфигурације дистрибутивне електроенергетске мреже у MATLAB окружењу.
- Метода провере повезаности мреже преко формирања одговарајуће матрице повезаности која ће бити степенована (Буловом алгебром) на одговарајући степен.
- Ради генерисања онолико различитих случајних бројева колико мрежа има петљи и случајних бројева из интервала [0,1) ради испуњења Метрополис критеријума (критеријума прихватања нове конфигурације) користиће се стандардни генератори случајних бројева.
- Методе ефикасних алгоритама токова снага.
- Директно претраживање (*greedy search*) у надгледању конфигурације са најмањим губицима током целе процедуре примене алгоритма симулираног каљења.

5. Очекивани научни doppinoс

Главни допринос овог рада треба да буде нови методолошки приступ проблему реконфигурације симетричних радијалних дистрибутивних мрежа, алгоритмом симулираног каљења, који користи следеће механизме:

- алгоритам за испитивање повезаности енергетске мреже,
- критеријум Lavorato et al. [8] за радијалност дистрибутивне мреже,
- хомогени алгоритам симулираног каљења са критеријумом остварења стационарне дистрибуције хомогеног ланца (*epoch*) и нехомогени, појачан стопом прихватања и максималном дужином ланца и
- концепцијски једноставан механизам поремећаја (генерисања текуће конфигурације).

6. План истраживања

Ради примене методе новог приступа биће припремљен детаљан план истраживања:

- Развој алгоритма за степеновање одговарајуће матрице повезаности Буловом алгебром (резултујућа матрица повезаности треба да садржи само јединичне елементе).
- Развој алгоритма за израчунавање матричне једначине модификованог ефикасног алгоритма токова снага из референце [3].
- Примена методе симулираног каљења на проблем реконфигурације дистрибутивних мрежа.
- Избор параметара методе симулираног каљења (*epoch*, *ICOUNT*, *acceptance ratio*).
- Измена програма симулираног каљења за нехомогени алгоритам.
- Давање смерница за даљи рад.

7. Закључак и предлог

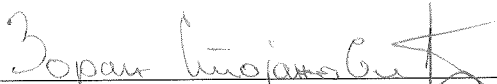
На основу приложене документације, као и непосредног увида у досадашњи научни рад кандидата Бранка Стојановића, магистра електротехнике, Комисија је закључила да:

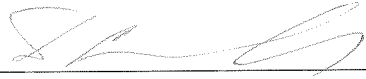
1. Кандидат испуњава све формалне и суштинске услове прописане Законом о високом образовању и Статутом Електротехничког факултета Универзитета у Београду за одобрење теме за израду докторске дисертације.
2. Наслов теме докторске дисертације коригује се у „Нови приступ реконфигурацији дистрибутивних мрежа применом методе симулираног каљења“.
3. Предложена тема дисертације „Нови приступ реконфигурацији дистрибутивних мрежа применом методе симулираног каљења“ је у тренду са глобалним научним кретањима из области електроенергетике чији се резултати тренутно објављују у истакнутим међународним часописима. Поред великог теоријског интереса, тематика је подједнако занимљива са практичне тачке гледишта.
4. Кандидат Бранко Стојановић се током свог научноистраживачког рада бавио тематиком која спада у најужу област дисертације. Комисија сматра да тематика и континуитет досадашњег научноистраживачког рада несумњиво показују да је кандидат подобан за реализацију предвиђених циљева истраживања.

Ужа научна област дисертације су електроенергетски системи, за коју је Универзитет у Београду – Електротехнички факултет матичан. Због тога Комисија предлаже Наставно-научном већу Електротехничког факултета Универзитета у Београду да кандидату Бранку Стојановићу одобри израду докторске дисертације под горе наведеним називом. За ментора дисертације предлаже се др Зоран Стојановић, ванредни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет. Уз овај извештај прилаже се списак радова ментора на одговарајућем формулару Универзитета.

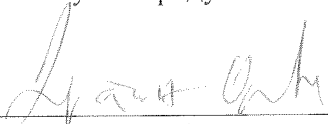
У Београду, 04.09.2018. године

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

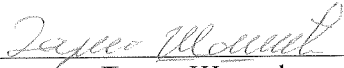

др Зоран Стојановић, ванредни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет
(ментор)


др Предраг Стефанов, доцент
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет


др Никола Рајаковић, редовни професор у пензији,
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет


др Драган Олћан, ванредни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет


др Александар Савић, доцент
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет


др Дарко Шошић, доцент
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет