

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Подобност теме и кандидата Станка Јанковића, дипл. инж., за израду докторске дисертације

Одлуком бр. 5032/07-1 од 04.03.2015., а на основу закључка и записника са 783. седнице Наставног-научног већа Електротехничког факултета у Београду која је одржана 24.02.2015, именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности теме и кандидата Станка Јанковића за израду докторске дисертације и научне заснованости теме под радним насловом: *„Алгоритми за унапређење конвергенције у прорачуну токова снага на великим симулационим моделима“*.

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Станко Јанковић рођен је 1980. у Ужицу, где је завршио основну и средњу електротехничку школу. Електротехнички факултет Универзитета у Београду уписао је 1999. где је и дипломирао 2006. на Енергетском одсеку – смер за Електроенергетске системе са просечном оценом 8,14. Докторске студије уписује 2008. на Електротехничком факултету Универзитета у Београду, смер Електроенергетске мреже и системи, где је положио све предвиђене испите са просечном оценом 9,9.

Од 2006. до 2015. био је запослен је у Јавном предузећу Електромрежа Србије где је обављао послове из области електроенергетских анализа у више различитих организационих јединица. Од 2015. запослен је у међународној консултанској компанији GOPA-intec на позицији специјалисте за електроенергетске анализе, Бад Хомбург, Немачка.

За време трајања докторских студија објавио је два научна рада у међународним журналима, два у домаћим и шест стручних радова на домаћим и конференцијама.

По позиву IEEE PES секције, подружнице за Србију и Црну Гору одржао је 27. децембра 2012. предавање на Електротехничком факултету Универзитета у Београду на тему „Прорачун токова снага на великим рачунарским моделима - Токови снага кроз мале или нулте импедансе“ и 3. априла 2015. на тему „Прорачун токова снага на великим рачунарским моделима – Примена комбиноване Newton-Raphson методе“.

Члан је међународних асоцијација IEEE и CIGRE где учествује у више радних група за писање техничких брошура. Сталан члан је Националног комитета CIGRE Србија.

1.2. Стечено научноистраживачко искуство

Кандидат Станко Јанковић је школске 2007/2008. уписао докторске студије на Електротехничком факултету у Београду на смеру Електроенергетске мреже и системи. Положио је све испите предвиђене наставним планом и програмом (Табела 1) и испунио све обавезе (Табела 2) на докторским студијама. У периоду од девет година био је запослен са пуним радним временом у Јавном предузећу Електромрежа Србије, оператор преносног система и маркет оператор Републике Србије, где је свакодневно био укључен у решавање актуелне проблематике у електроенергетским анализама на националном и интернационалном нивоу. Свакодневни рад на симулационим моделима и на развоју програмског пакета PSA су му омогућили имплементацију нових алгоритама и тестирање истих на реалним моделима система. Стечено научно и стручно искуство публиковао је кроз радове објављене у домаћим и међународним журналима, писање техничких брошура у међународним организацијама CIGRE и ENTSO-E и одржана предавања на Електротехничком факултету у организацији IEEE.

Табела 1 Списак положених испита кандидата

Назив	Оцена	ЕСПБ	Датум полагања	Потписао наставник
Руски језик	10	6	07.06.2011.	Милена Славић
Уземљивачки системи	10	9	12.01.2011.	Драгутин Саламон
Управљање електроенергетским системима	9	9	01.10.2010.	Предраг Стефанов
Електромагнетни прелазни процеси у електроенергетским системима	10	9	26.08.2010.	Милан Савић
Поузданост електроенергетских система	10	9	14.04.2010.	Зоран Радојевић
Надгледање стања електричних машина у погону	10	9	25.04.2010.	Зоран Лазаревић
Стабилност електренергетских система	10	9	20.12.2009.	Зоран Радојевић
Електрични сервомотори	10	9	16.09.2009.	Зоран Лазаревић
Планирање рада електроенергетских система у интерконекцији	10	9	27.09.2009.	Бојан Ивановић
Ветроенергетика и соларна енергетика	10	9	15.09.2009.	Душан Микичић

Табела 2 Списак испуњених обавеза кандидата

Обавеза	ЕСПБ	Тип обавезе	Датум
Научно стручни рад	3	научно стручни рад	11.04.2014.
Студијски истраживачки рад II	15	студијски истраживачки рад II	08.12.2010.
Студијски истраживачки рад I	15	студијски истраживачки рад I	19.10.2009.

Тренутно је запослен у интернационалној консултантској компанији, чиме су створени услови за даљим и стручним и научним развојем решавајући актуелне проблеме на пројектима у разним земљама света.

На основу одлуке Наставно–научног већа бр. 2944/2 од 11.10.2007. године, Студијски програм је започео у пролећном семестру школске 2007/2008, па се рок за завршетак докторских академских студија рачуна од почетка тог семестра, сагласно Статуту Универзитета у Београду и Статуту Електротехничког факултета.

По истеку законског рока за завршетак докторских академских студија, на захтев студента, одобрено је продужење рока за завршетак ових студија за још два семестра, сагласно члану 92. став 4 Статута Универзитета у Београду, као и додатно продужење за годину дана на основу Одлуке бр. 24-06/13-2007/5032 од 4.3.2015.

M20 Радови објављени у научним часописима међународног значаја

- 1) **Stanko Janaković**, Bojan Ivanović: *Application of combined Newton-Raphson method to large load flow models*, Electric Power Systems Research, Vol. 127, pp. 134-140, 2015, **IF: 2.234**, ISSN: 0378-7796, doi: doi:10.1016/j.epsr.2015.05.024, **M21**
- 2) Bojan Ivanović, **Stanko Janković**, Cvijetko Zepinić: *Wind power plant energy control and evacuation in Eastern Herzegovina*, Journal of Renewable and Sustainable Energy, Vol. 5, Iss. 4, pp. 041808, 2013, **IF: 1.176**, ISSN: 1941-7012, doi: <http://dx.doi.org/10.1063/1.4813063>, **M23**

M50 Часописи националног значаја

- 3) **Станко Јанковић**, Дејана Поповић Миловановић, Владимир Милић, *Примена Q-V модалне анализе у испитивању стабилности напона електроенергетског система*, Energija, ekonomija, ekologija, година 17, број 3-4, стр. 48-55, 2014, ISSN: 0354-8651, **M51**
- 4) **Станко Јанковић**, Драгутин Саламон, *Утицај земљоводног ужета у прорачуна струје једнополног земљоспоја*, Електропривреда, година 63, број 3, стр. 235-240, 2011, ISSN 0013-5755, **M52**

M60 Зборници скупова националног значаја

- 5) **Станко Јанковић**, Владимир Ђикић, Дејан Кнежевић, Александар Марјановић, Бранка Костић, Александар Николић, Саша Милић, *Мониторинг квалитета електричне енергије преносног система Републике Србије*, 32. саветовање CIGRE Србија, Златибор, 2015, ISBN: 978-86-82317-77-7.
- 6) **Станко Јанковић**, Владимир Ђикић, Лидија Корунковић, Бранка Костић, Предраг Стефанов, Жељко Ђуришић, *Оцена квалитета електричне енергије код ветрогенератора везаних на електроенергетски систем*, 16. симпозијум CIGRE Србија „Управљање и телекомуникације у електроенергетском систему“, Златибор, 2014, ISBN: 978-86-82317-75-3

- 7) Владимир Милић, Срђан Суботић, Исмар Синановић, Душко Аничич, **Станко Јанковић**, Милош Ракић, *Имплементација WAMS уређаја у ЕЕС Србије*, 16. симпозијум CIGRE Србија „Управљање и телекомуникације у електроенергетском систему“, Златибор, 2014, ISBN: 978-86-82317-75-3
- 8) **Станко Јанковић**, Драгутин Саламон: *Утицај земљоводног ужета у прорачуна струје једнополног земљоспоја*, 30. саветовање CIGRE Србија, Златибор, 2011, ISBN: 978-86-82317-69-2
- 9) **Станко Јанковић**, Милан Савић, *Употреба програмског пакета DIgSILENT PowerFactory за прорачун пренапона услед атмосферског пражњења*, 30. саветовање CIGRE Србија, Златибор, 2011, ISBN: 978-86-82317-69-2
- 10) **Станко Јанковић**, Дејана Поповић Миловановић, Владимир Милић, *Утицај терцијера у прорачуну струје кратког споја у рачунарском моделу*, 29. саветовање CIGRE Србија, Златибор, 2009, ISBN: 978-86-82317-67-8

Кандидат Станко Јанковић је 1. јула 2015. полагао докторски испит на Електротехничком факултету Универзитета у Београду, при чему је комисија у саставу:

- 1) др Иван Шкокљев, редовни професор, Електротехнички факултет Универзитета у Београду,
- 2) др Андрија Сарић, редовни професор, Факултет техничких наука Универзитета у Новом Саду,
- 3) др Дејан Тошић, редовни професор, Електротехнички факултет Универзитета у Београду

закључила да су кандидат и тема подобни за израду докторске дисертације на Електротехничком факултету Универзитета у Београду, односно да је кандидат Станко Јанковић на јавној усменој одбрани предложене теме докторске дисертације (докторски испит) добио оцену задовољио.

1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

На основу резултата које је кандидат постигао у свом досадашњем стручном и научном раду а од којих би издвојили следеће:

- Публиковање укупно десет радова, од којих су два у међународним журналима, два у домаћим од којих један у водећем часопису националног значаја и шест на домаћим скуповима,
- По позиву IEEE PES секције, подружнице за Србију и Црну Гору одржао је два предавања на Електротехничком факултету Универзитета у Београду,
- Дана 1. јула 2015. Кандидат је одбранио тему докторске дисертације на јавној усменој одбрани пред Комисијом (проф. др Иван Шкокљев, проф. др Андрија Сарић, проф. др Дејан Тошић) формираном од стране Наставног-научног већа Електротехничког факултета Универзитета у Београду, на својој седници број 783 од 04.03.2015.

- Учешће и презентације на већем броју домаћих и међународних конференција и стручних тимских скупова и радних група,
- Остварено практично искуство у области коју покрива предложена тема докторске дисертације, што кроз досадашња радна места, што кроз чланство и активностима у неколико домаћих и међународних радних група струковних организација,

можемо закључити да кандидат Станко Јанковић у сваком погледу испуњава услове који га квалификују да приступи изради докторске дисертације са предложеном темом.

2. Предмет и циљ истраживања

Прорачун токова снага је најчешће употребљивана анализа у оперативном планирању рада електроенергетског система. Обновљиви извори су узроковали да оператор мора да ради анализе токова снага и/или анализе сигурности што је брже могуће у циљу предикције следећег корака у регулацији електроенергетског система. LU декомпозиција Јакобијан матрице траје најдуже током Newton-Raphson итеративне методе. Време трајања прорачуна појављује се као критичан проблем када се прорачун токова снага изводи на моделима великог електроенергетског система. У овом случају, LU декомпозиција Jacobian матрице не би требало да се изводи у итерацијама у којима стопа конвергенције није нарушена али се изводи у итерацијама у којима стопа конвергенције је испод специфицираног нивоа. Другим речима, у истраживању су модификовани Newton-Raphson метод, који елиминисао понављање LU декомпозиције Jacobian матрице и генерички Newton-Raphson метод комбиновани у зависности од стопе конвергенције. Истраживање представља примену предложене комбиноване Newton-Raphson методе која је базирана на контроли стопе конвергенције. Изведено је поређење комбиноване, Shamanskii, опште и модификоване Newton-Raphson методе узимајући у обзир време трајања прорачуна и број захтеваних итерација да би се постигла конвергенција у прорачуну на моделима различитих димензија.

За временски период када обновљиви извори нису имали велики утицај на рад електроенергетског система било је потребно неколико анализа за дан унапред да би оператор система био спреман за следећа 24 часа. Са друге стране, због стохастичне природе обновљивих извора као што је ветар, оператор система би требало да уради исте анализе за период прогнозе унутар једног дана између плана за дан унапред и стварне промене ангажовања у временском интервалу од 5 минута. Тако да захтев за прорачун токова снаге постаје веома битан.

Најчешће употребљивана итеративна процедура у AC прорачуну токова снаге је Newton-Raphson метода укључујући методе које су изведене из ове методе. Решење прорачуна тока снаге базираног на Newton-Raphson методи је дефинисано у касним шездесетим годинама прошлог века [1]. До сада је публикован велики број различитих студија повезаних са решавањем прорачуна токова снаге. Студије које имају везе са применом технике фиксне тачке [2] и упрошћени Newton-Raphson метод у циљу редукције времена које је захтевано за ажурирање Jacobian матрице и LU декомпозиције, као што је распрезање [3] и брзи распрегнут [4] Newton метод. Унапређени распрегнут прорачун тока снаге и упрошћени Newton-Raphson су такође презентовани у [5] у циљу минимизације времена потребног за прорачун. Модификација Newton-Raphson методе приказана је у [6] где су коришћени несклади у инјекцијама струја за PQ чворове, док су несклад инјекција снаге коришћени за PV чворове. Поређење распрегнутог прорачуна токова снага и Newton-Raphson методе са константним

матрицама је изнето у [7]. Као додатак, Newton-Raphson метод почетне тачке [8], случај немогућности да се дође до решења услед лоших услова конвергенције [9], [10], [11], [12] су такође разматрани. Модификација Newton-Raphson методе која разматра ограничења генерације реактивне снаге је приказана у [13].

Највећи захтев у времену приликом прорачуна токова снага користећи се Newton-Raphson методом је LU декомпозиција Јакобиан матрице. Циљ истраживања је да оптимизује број LU декомпозиција Јакобиан матрице током итеративне процедуре узимајући у обзир степен конвергенције и време трајања прорачуна. Степен конвергенције се провера током итеративне процедуре и ако је степен испод прописане вредности, Јакобиан матрица се прорачунава и њена LU декомпозиција се изводи. Иначе, ако степен конвергенције остане изнад специфициране вредности, употребљава се иста декомпонована Јакобиан матрица у кораку замене напред-назад. На овакав начин је контролисан степен конвергенције. Активна контрола стопе конвергенције, тј. задржавање стопе конвергенције изнад специфицираног ограничења током процедуре представља иновацију предложене комбиноване Newton-Raphson методе [14]. Разлика између предложене методе у овом истраживању и Shamanskii методе [15] је што предложена метода контролише степен конвергенције док метода Shamanskii користи предефинисан број ажурирања променљивих помоћу употребе исте факторизоване Јакобиан матрице.

У истраживању је разматрана имплементација непотпуне граничне вредности прелазног прага занемарења Јакобиан матрице базираног на LU декомпозицији зато што ова техника има велики утицај на време трајања прорачуна. Анализирани су време трајања прорачуна и број итерација у зависности од специфицираног прелазног прага занемарења елемента матрице. Такође је у [16] изнето истраживање времена прорачуна непотпуне LU декомпозиције. Ипак, у [16] је разматрана техника непотпуне LU декомпозиције са предефинисаним бројем новостворених елемената матрице (енг. fill-ins).

Извршена је компаративна анализа за комбиновани, Shamanskii, генерички (такође познат као основни, пуни или регуларни) и модификовани (познат као Newton's Chord или фиксна стримина) [17], [18] Newton-Raphson узимајући у обзир моделе за прорачун тока снаге различитих димензија.

Мале или нулте импедансе водова често узрокују дивергенцију или погрешну конвергенцију у прорачуну токова снага. Импеданса спојних поља је скоро увек једнака нултој вредности, док је импеданса водова који повезују генераторске јединице са високонапонским сабирницама у суседним постројењима обично веома мала. Истраживање има за циљ да представи приступ у коме су чворови повезани малим или нултим импедансама спајају у један чвор а затим се решава систем нелинеарних једначина за прорачун токова снаге без ових водова. Након успешног решења нелинеарног система једначина у прорачуну токова снаге израчунавају се токови снаге короз мале или нулте импедансе помоћу система линеарних једначина. Главна предност решавања система линеарних једначина у поређењу са решавањем система нелинеарних једначина је та што линеарни систем се решава у једном кораку без итеративне процедуре. У истраживању је приказан приступ прорачуна система линеарних једначина које представљају активне и реактивне токове снага кроз водове са истим ефективном вредности напона и угла на оба краја вода.

Регионални модели за прорачун токова снага се израђују сваки дан спајањем националних модела у циљу израда анализе прогнозе загушења за дна у напред (енг. Day Ahead Congestion Forecast, акроним DACF). Ови DACF модели често нису добро подешени (енг. well-conditioned) јер садрже доста грана чије су редне резистансе близу или чак веће од редних реактанси. Када овакве гране постоје у моделима тада горњи десни ($\partial P/\partial V$) и доњи леви

чланови ($\partial Q/\partial \theta$) Jacobian матрице не могу бити занемарени. Ово је разлог зашто распрегнута и брза распрегнута Newton-Raphson метода нису разматране.

Прорачун Jacobian матрице и њена LU декомпозиција се изводе у свакој итерацији ако се користи генеричка Newton-Raphson метода. Са друге стране, прорачун Jacobian матрице и њена LU декомпозиција се изводе само у иницијалној итерацији ако се користи модификована Newton-Raphson метода. Комбинована Newton-Raphson метода је компромис између ове две Newton-Raphson методе. Ово значи да се прорачун Jacobian матрице и LU декомпозиције извршава у иницијалној итерацији и у оним итерацијама када стопа конвергенције падне испод специфицираног лимита. Ово је различито у поређењу са модификованом Newton-Raphson методом приказаном у [2] где је прелаз из генеричке у модификовану Newton-Raphson методу предложено да буде уређено само једном у току итеративне процедуре и обрнуто. Претходно анализирани аспекти прорачуна Newton-Raphson методе су такође сугерисали да LU декомпозицију Jacobian Матрице може бити урађена у свакој другој итерацији радије него у свакој итерацији у циљу уштеде на времену прорачуна [19].

Редукција времена прорачуна у анализама статичке сигураности укључује додатне технике, као што је инјекција модела грана да би се избегла промена топологије. Ипак ове технике превазилазе циљ овог истраживања. Глава сврха овог истраживања је да покаже како се значајно може редуковати време прорачуна токова снага помоћу контроле стопе конвергенције Newton-Raphson и избегавањем непотребних LU декомпозиција Jacobian матрице.

Истраживање представља комбинацију Newton-Raphson методе базирану на контроли стопе конвергенције. Предложени метод прави компромис између конвергенције и брзине прорачуна. Метода је директна али ефикасна и лака за имплементацију.

У истраживању је дат кратак преглед непотпуне LU декомпозиције разматрајући прелазни праг занемарења елемената матрице, новостворени елементи матрице и (енг. round-off error) у поглављу 2. Затим је презентована генеричка и предложена комбинована Newton-Raphson метода, као и начин контроле стопе конвергенције у следећа три поглавља. Компаративна анализа комбиноване, Shamanskii, генеричке и модификоване Newton-Raphson методе је дата у поглављу 6 узимајући у обзир моделе за прорачун токова снага различитих димензија система.

Свакодневни DАCF модели су симетрични тако да је истраживање ограничено на симетричне моделе преносног система. Тако да нису разматрани несиметрични дистрибутивни системи са несиметричним потрошачима.

Постоји циљ између чланица асоцијације оператора преносних система за пренос електричне енергије у Европи (енг. European Network of Transmission System Operators for Electricity, акроним ENTSO-E) да се на дневном нивоу раде DАCF анализе за сва 24 сата у циљу превенције нежељених догађаја у електроенергетском систему (у даљем тексту ЕЕС) [20], [21], [22], [23], [24], [25]. Тренутно се DАCF анализе се израђују за неколико одређених сати сваког дана. Оператори преносног система су у обавези да обезбеде моделе за прорачун токова снага својих ЕЕС.

Модели су се раније обезбеђивали у UCTE формату [26] за неколико одређених сати у току дана.

Сви ови модели за сваки специфицирани сат се спајају у циљу добијања модела за прорачун токова снага ENTSO-E интерконекције. Након што се направи модел ENTSO-E за прорачун токова снага, примарно је да се постигне конвергенција у прорачуну на таквом моделу. Добијене прорачунате вредности напона и токова снага треба да су блиске реалним. Водови са нултом или малом импедансом (у даљем тексту кратки водови) су чести узрок

нумеричких лоших услова који воде прорачун токова снага ка дивергенцији или лошој конвергенцији. Лоши услови конвергенције узроковани кратким водовима су добро познат проблем у прорачуну токова снага који је нарочито важан када је број спојених модела за прорачун токова снага већи од 20 националних модела. Ручно подешавање малих детаља у оваквим моделим за прорачун токова снага који садржи око 7000 чворова, 9000 водова и 1500 трансформатора неколико пута на дан (или 24 пута на дан који ће се примењивати у будућности) је практично немогуће. Ово је разлог зашто лоши услови конвергенције морају бити превазиђени у програмима за прорачун токова снага.

Као додатак, претходно поменути DАCF прорачуни на моделима за прорачун токова снага се користе за прорачун доступног преносног капацитета (енг. Available Transfer Capacity, акроним АТС). Потребно време за прорачун АТС је значајно редуковано ако је примењен метод за ефикасно рангирање непредвиђености [20]. АТС би могао бити израчунат користећи се дистрибутивним факторима за пренос активне снаге (енг. Power Transfer Distribution Factors, акроним РТДФ) или факторима за пренос привидне снаге (енг. Apparent Power Distribution Factors, акроним СТДФ). Реактивни токови снага су инкорпорирани у СТДФ [21] док су они занемарани у РТДФ [27]. Ипак, основни случај у прорачуну токова снага потребно је да конвергира у циљу прорачуна и СТДФ и РТДФ или да се употреби прорачун нето преносног капацитета (енг. Net Transfer Capacity, акроним NТС). Нова техника за добијање решења итеративним путем у циљу редукције времена прорачуна и комплексности су дате у [22], упрошћавањем стандардне Newton-Raphson методе [23], као и псеудо модел за прорачун токова снага који обезбеђује почетак процеса за Newton-Raphson решење [24] развијени су током последњих неколико година у циљу унапређивања ефикасности и конвергенције у прорачуну токова снаге. Модел ЕЕС може бити у лошим условима конвергенције услед неколико разлога тако да су у [10], [11], [28], [29], [30], [31], [32], [33] презентоване различите технике и анализе за решења лошег стања за конвергенције у моделима ЕЕС.

Кратки водови могу бити моделовани као водови чије реактансе су блиске нултој вредности. Овакво моделовање води у лоше нумеричко стање током LU декомпоновања Jacobian матрице великог ЕЕС.

Активни и реактивни токови снага кроз кратке водове могу бити представљени као непознате променљиве узимајући у обзир да је разлика између углова и падова напона између сабирница кратког вода једнака нули. Овакав приступ је препоручен у радовима који разматрају проблеме кратких водова у естимацијама стања [34], [35]. Број непознатих у овом случају је остао исти као када су кратки водови моделовани као водови са реактансом блиској нултој вредности. Ипак, нумерички лоши услови су избегнути.

У садашњости, број чворова и грана у моделима за естимацију стања су далеко мањи него модели за прорачун токова снага. Модели за естимацију стања често обухватају модел националног ЕЕС државе где је естиматор стања имплементиран и упоредо са петљама високог напона (380 (400) kV уобичајено у Европи) суседних ЕЕС. Модели за прорачун токова снага обично обухватају целу интерконекцију и далеко сеу већи од модела за естимацију стања. Ово је разлог зашто модели за прорачун токова снага садрже више кратких водова који могу постојати упоредо са гранама са велим импедансама узрокујући лоше нумеричко стање.

Ово истраживање презентује приступ помоћу кога се чворови кратких водова сажимају у један чвор чиме се избегава моделовање кратких водова и као водови чија је реактанса блиска нултој вредности и као представљање токова активне и реактивне снаге кроз кратке водове као непознате променљиве. Углови и напони се рачунају са овако спојеним чворовима помоћу прорачуна нелинеарног система једначина. Користећи се оваквим приступом, редукован је број променљивих који се прорачунава у Newton-Raphson итеративној методи у поређењу са

приступом кој је дат у [34]. У овом случају Newton-Raphson итеративни прорачун је стабилнији услед редукације броја непознатих променљивих. Приступ је развијен, имплементарин и тестиран помоћу прогармског пакета Power System Assistant (акроним PSA) [36].

Приступ прорачуна токова снага кроз кратке водове са истим угловима и напонима на њиховим крајевима је илустрован корз два примера. Такође је дата и примена ове процедуре на моделима великих ЕЕС. Практични резултати су демонстрирани на моделу за прорачун токова снага континенталног дела ENTSO-E чија интерконекија садржи 7120 чворова, 9376 водова и 1427 трансформатора. Ово је један од реалних ENTSO-E модела за прорачун токова снага који се израђују свакодневно.

Релевантни библиографски извори:

Најзначајније референце везане за истраживања из области теме докторске дисертације су наведене у следећој листи:

- [1] W. F. Tinney and C. E. Hart, "Power Flow Solution by Newton's Method," *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, vol. 11, no. PAS-86, pp. 1449-1460, 1967.
- [2] J. Meisel and R. D. Bernard, "Application of Fixed-Point Techniques to Load-Flow Studies," *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, Vols. PAS-89, no. 1, pp. 136-140, 1970.
- [3] B. Stott, "Decoupled Newton Load Flow," *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, Vols. PAS-91, no. 5, pp. 1955-1959, 1972.
- [4] B. Stott and O. Alsac, "Fast Decoupled Load Flow," *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, Vols. PAS-93, no. 3, pp. 859-867, 1974.
- [5] S. C. Lee and K. B. Park, "Flexible alternatives to decoupled load flows at minimal computational costs," *Electric Power and Energy Systems*, vol. 25, no. 4, pp. 319-326, 2002.
- [6] S. Kamel, M. Abdel-Akher and F. Jurado, "Improved NR current injection load flow using power mismatch representation of PV bus," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 53, pp. 64-68, 2013.
- [7] P. M. Ailson and F. M. Adriano, "Newton-Raphson power flow with constant matrices: A comparison with decoupled power flow methods," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 46, pp. 108-114, 2013.
- [8] B. Stott, "Effective starting process for Newton-Raphson load flows," *Proceedings of the Institution of Electrical Engineers*, vol. 118, no. 8, pp. 983-987, 1971.
- [9] S. Iwamoto and Y. Tamura, "A Load Flow Calculation Method for Ill-Conditioned Power Systems," *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, Vols. PAS-100, no. 4, pp. 1736-1743, 1981.
- [10] S. C. Tripathy, G. D. Prasad, O. P. Malik and G. S. Hope, "Load-Flow Solutions for Ill-Conditioned Power Systems by a Newton-Like Method," *IEEE Transactions on Power*

Apparatus and Systems, Vols. PAS-101, no. 10, pp. 3648-3657, 1982.

- [11] T. J. Overbye, "A power flow measure for unsolvable cases," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 9, no. 3, pp. 1359-1356, 1994.
- [12] I. Malcom, "Pseudo-loadflow formulation as a starting process for the Newton Raphson algorithm," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 32, no. 8, pp. 835-839, 2010.
- [13] S. Lakshmi and P. S. Nagendra Rao, "A modified Newton–Raphson load flow scheme for directly including generator reactive power limits using complementarity framework," *Electric Power Systems Research*, vol. 109, pp. 45-53, 2014.
- [14] S. Janković and B. Ivanović, "Application of combined Newton–Raphson method to large load flow models," *Electric Power Systems Research*, vol. 127, pp. 134-140, 2015.
- [15] V. E. Shamanskii, "A modification of Newton's method," *Ukrainian Mathematician Jurnal*, vol. 19, no. 1, pp. 133-138, 1967.
- [16] R. Idema, D. Lahaye, C. Vuik and L. van der Sluis, "Scalable Newton-Krylov Solver for Very Large Power Flow Problems," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 27, no. 1, pp. 390-396, 2012.
- [17] A. S. Householder, *Principles of numerical analysis*, New York, Toronto, London: McGraw-Hill, 1953.
- [18] C. T. Kelly, *Solving nonlinear equations with Newton's method*, Philadelphia: Society for Industrial and Applied Mathematics, 2003.
- [19] M. A. Pai, *Computer techniques in power system analyses*, New Delhi: McGraw-Hill, 1979.
- [20] M. Hojabri, H. Hizam, N. Mariun, I. Aris and M. F. Akorede, "Critical Lines Identification for ATC Assessment in Power System Planning," *International Review of Electrical Engineering*, vol. 6, no. 4, p. 1776, 2011.
- [21] M. C. Raja, P. Venkatesh, B. V. Manikandan and S. C. Srivastava, "Available Transfer Capability Determination by Incorporating Reactive Power Flow in Deregulated Power Systems," *International Review of Electrical Engineering*, vol. 6, no. 2, pp. 836-846, 2011.
- [22] S. Mallick, D. V. Rajan, S. S. Thakur, P. Acharjee and S. P. Ghoshal, "Development of a new algorithm for power flow analysis," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 33, no. 8, pp. 1479-1488, 2011.
- [23] T. Kulworawanichpong, "Simplified Newton–Raphson power–flow solution method," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 32, no. 6, pp. 551-558, 2010.
- [24] M. Irving, "Pseudo–loadflow formulation as a starting process for the Newton Raphson algorithm," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 32, no. 8, pp. 835-839, 2010.

- [25] R. S. Marti and S. Ricard, "Analysis of major failures in Europe's power grid," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 33, no. 3, pp. 805-808, 2011.
- [26] UCTE Subgroup "Network models and forecast tools", "UCTE data exchange format for load flow and three phase short circuit studies," 2005. [Online]. Available: <http://cimug.ucaiug.org/Groups/Model%20Exchange/UCTE-format.pdf>.
- [27] "Coordinated flow-based auctions in South-East Europe: Determination of transmission capacities with line-wise Maximum Flow approach," CONSENTEC GmbH, Aachen, 2008.
- [28] G. D. Prasad, A. K. Jana and S. C. Tripathy, "Modifications to Newton-Raphson load flow for ill-conditioned power systems," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 12, no. 3, pp. 192-196, 1990.
- [29] S. Slochanal and K. R. Mohanram, "A novel approach to large scale system load flows Newton-Raphson method using hybrid bus," *Electric Power Systems Research*, vol. 41, no. 3, pp. 219-223, 1997.
- [30] Y. Tamura, S. Iwamoto and H. Mori, "Fast computation algorithm for 2nd-order AC load flow with application to ill-conditioned systems," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 3, no. 4, pp. 179-186, 1981.
- [31] C. A. Ferreira and V. M. da Costa, "A second order power flow based on current injection equations," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 27, no. 4, pp. 254-263, 2005.
- [32] S. Iwamoto and Y. Tamura, "A Load Flow Calculation Method for Ill-Conditioned Power Systems," *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, Vols. PAS-100, no. 4, pp. 1736-1743, 1981.
- [33] J. E. Tate and T. J. Overbye, "A comparison of the optimal multiplier in polar and rectangular coordinates," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 20, no. 4, pp. 1667-1674, 2005.
- [34] A. Monticelli and A. Garcia, "Modeling zero impedance branches in power system state estimation," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 6, no. 4, pp. 1561-1570, 1991.
- [35] A. Monticelli, "Electric power system state estimation," *Proceedings of the IEEE*, vol. 88, no. 2, pp. 262-282, 2000.
- [36] "Power System Assistant - PSA," [Online]. Available: <http://www.powersystemassistant.com>.
- [37] Y. Saad, *Iterative Methods for Sparse Linear Systems*, Philadelphia: Society for Industrial and Applied Mathematics, 2003.
- [38] G. Karypis and W. Kumar, "Parallel Threshold-based ILU Factorization," in *ACM/IEEE 1997 Conference Supercomputing*, 1997.
- [39] W. F. Tinney and J. W. Walker, "Direct solutions of sparse network equations by optimally ordered triangular factorization," *Proceedings of the IEEE*, vol. 55, no. 11, pp. 1801-1809, 1967.

- [40] R. Berry, "An Optimal Ordering of Electronic Circuit Equations for a Sparse Matrix Solution," *IEEE Transactions on Circuit Theory*, vol. 18, no. 1, pp. 40-50, 1971.
- [41] A. Gomez and L. G. Franquelo, "Node ordering algorithms for sparse vector method improvement," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 3, no. 1, pp. 73-79, 1988.
- [42] B. Stott and E. Hobson, "Solution of large power system networks by ordered elimination: a comparison of ordering schemes," *Proceedings of the Institution of Electrical Engineers*, vol. 118, no. 1, pp. 125-134, 1971.
- [43] B. Ivanovic, S. Jankovic and C. Zepinic, "Wind power plant energy control and evacuation in Eastern Herzegovina," *Jurnal of Renewable and Sustainable Energy*, vol. 5, p. 041808, 2013.
- [44] C. Ivanov, *UCTE interoperability test*, Brussels: Union for the Coordination of Transmission of Electricity (UCTE), 2009.
- [45] B. Ivanovic and S. Jankovic, "An approach to power flow calculation through small or zero impedance lines," *International Review on Modelling and Simulations*, vol. 5, no. 2, pp. 731-742, 2012.
- [46] "MSDN Library," Microsoft Corporation, [Online]. Available: [http://msdn.microsoft.com/en-us/library/ms644904\(VS.85\).aspx](http://msdn.microsoft.com/en-us/library/ms644904(VS.85).aspx).
- [47] *PSS®E 31.0, Program Operation Manual, vol. 1*, Siemens PTI, 2001.

3. Полазне хипотезе

Истраживање ће бити спроведено како би се провериле следеће хипотезе:

- Могућност убрзавања прорачуна тока снаге уз задржавање жељеног степена конвергенције.
- Претпоставља се да се уклањањем елемената са малим и нултим вредностима импенданси из прорачуна побољшава степен конвергенције.
- Прорачун токова снаге кроз елементе са малим или нултим вредностима импенданси.

4. Научне методе истраживања

У овом истраживању усвојену се следеће методе истраживања:

- Метода теоријске анализе која се односи на проучавање досадашњих теоријских сазнања и најновијих резултата везаних за предмет дисертације.
- Методе прикупљања, обраде и анализе података о постојећим решењима на основу доступне литературе и рачунарских симулационих модела.
- Предлог новог решења и верификација истог рачунарским симулацијама.
- Компаративна метода која омогућава упоређивање добијених резултата са постојећим решењима.

- Метода систематског изучавања проблематике која је присутна у целокупном истраживању.

5. Очекивани научни доприноси

На основу планираних истраживања очекују се следећи научни доприноси:

- Употреба комбиноване Newton-Raphson методе којом се убрзао прорачун тока снага и при том задржава жељени степен конвергенције.
- Омогућавање прорачуна токова снага кроз мале или нулте импедансе елемената електроенергетског система.

6. План истраживања и структура рада

Научноистраживачки рад биће контролисан у неколико карактеристичних тачака и изведен према следећем плану:

- Истраживање наведене проблематике у стручној и научној литератури.
- Преглед и систематизација најновијих истраживања из посматране области.
- Сагледавање проблема са којима се сусреће у прорачуну токова снага.
- Развој новог алгоритма за убрзавање прорачуна тока снаге.
- Развој новог алгоритма за прорачун тока снаге кроз елементе са малом или нултом вредности импедансе.
- Упоредна анализа перформанси новог алгоритма са већ постојећим.
- Детаљно дефинисање случајева за посматрање и извођење рачунарских симулација.
- Анализа резултата симулација, расправа на основу резултата симулација, дефинисање научних доприноса.
- Оверавање научних доприноса кроз објављивање резултата истраживања у водећем научном часопису са ISI листе.
- Израда докторске дисертације на основу резултата истраживања и оверених научних доприноса.

7. Закључак

На основу свега претходно наведеног, Комисија сматра да је предложени садржај теме докторске дисертације под радним називом „**Алгоритми за унапређење конвергенције у прорачуну токова снага на великим симулационим моделима**“ актуелан у светлу даљег развоја прорачуна токова снага. Због тога би резултати до којих кандидат треба да дође током израде докторске дисертације имали значајан, како научни, тако и практични допринос у области прорачуна токова снага на великим симулационим моделима. У дисертацији се очекује научни допринос на основу употребе комбиноване Newton-Raphson методе којом би се убрзао прорачун токова снага и при том задржао жељени степен конвергенције и научни допринос којим се омогућава прорачун токова снага кроз мале или нулте импедансе елемената електроенергетског система.

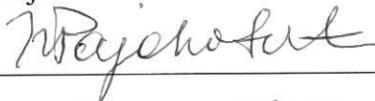
Кандидат Станко Јанковић се током свог научноистраживачког и стручног рада претежно бавио тематиком која спада у најужу област предложене теме докторске дисертације. Предложена тема и њено образложење одсликавају континуитет у научноистраживачком раду у односу на објављене радове, што уз стручне активности кандидата указује на чињеницу да је кандидат подобан за реализацију свих постављених циљева предвиђених темом докторске дисертације.

Комисија сматра да кандидат Станко Јанковић испуњава све формалне и суштинске услове прописане Законом о високом образовању и Статутом Електротехничког факултета Универзитета у Београду за одобрење теме и приступање изради докторске дисертације.

Ужа научна област дисертације су електроенергетске мреже, за коју је Електротехнички факултет Универзитета у Београду матичан. Узимајући у обзир све поменуте чињенице, Комисија предлаже Наставно-научном већу Електротехничког факултета Универзитета у Београду да кандидату Станку Јанковићу одобри израду докторске дисертације под насловом: **„Алгоритми за унапређење конвергенције у прорачуну токова снага на великим симулационим моделима“**. За ментора израде докторске дисертације предлаже др Николу Рајаковића, редовни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет. Уз овај извештај се прилаже и списак радова предложеног ментора на одговарајућем формулару Универзитета.

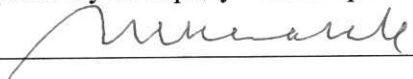
У Београду, 2.7.2015.

Чланови комисије:



др Никола Рајаковић, редовни професор

Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



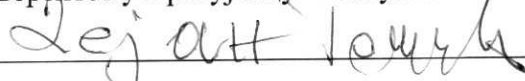
др Иван Шкокљев, редовни професор,

Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



др Андрија Сарић, редовни професор,

Универзитет у Крагујевцу - Факултет техничких наука Чачак



др Дејан Тошић, редовни професор,

Универзитет у Београду – Електротехнички факултет