

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Подобност теме и кандидата Владимира Бечејца за израду докторске дисертације

Одлуком Наставно-научног већа Електротехничког факултета у Београду, бр. 5020/14-1 од 25.11.2019. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности теме и кандидата **Владимира Бечејца** за израду докторске дисертације и научне заснованости теме **„Оптимална поставка синхрофазорских уређаја за обезбеђење потпуне тополошке опсервабилности применом методе Гребнерове базе“** (енг. “Optimal Phasor Measurement Unit Placement for Full Topological Observability using Groebner Bases”).

На основу материјала приложеног уз захтев кандидата, Комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Владимир Б. Бечејац је рођен 17. маја 1989. године у Смедеревској Паланци. Основну школу „Херој Радмила Шишковић“ и „Паланачку гимназију“ завршио је са Вуковим дипломама и као математичар генерације. Школске 2008/09. године уписао је Електротехнички факултет у Београду, Одсек за енергетику, Катедра за електроенергетске системе. Основне академске студије завршио је школске 2011/12. са просечном оценом 9,33. Дипломирао је 6. јула 2012. године са оценом 10 на тему „Симулација кварова у трофазним трансформаторима“ код проф. др Миленка Ђурића. Мастер студије на Електротехничком факултету (модул: електроенергетски системи) уписао је у октобру 2012. године. Све испите на изабраном модулу положио је са оценама 10. Мастер рад под називом „Прорачун параметара, Ферантијевог ефекта и природне снаге надземних електроенергетских водова“ је одбранио 11. септембра 2013. године са оценом 10. Ментор рада је био проф. др Миленко Ђурић. Докторске академске студије на Електротехничком факултету, модул Електроенергетске мреже и системи је уписао 2014. године и положио све испите са просечном оценом 10,00. Ментор на докторским студијама је проф. др Предраг Стефанов.

Током студија био је активан у студентском организовању: члан Савета Електротехничког факултета током школских година 2011/12. и 2012/13, члан Наставно – научног већа Електротехничког факултета школских година 2010/11. 2011/12. и 2012/13, делегат Одсека за енергетику током основних и мастер студија, председник Студенског парламента, три године је био демонстратор на предметима Теорија електричних кола и Практикум из рачунарске анализе кола код проф. др Милке Потребих, а две године на

преметима Математика 1, 2 и 3 код проф. др Ненада Цакића. Током студирања са проф. др Ненадом Цакићем написао је збирку задатака из Математике 3 под насловом „Збирка решених задатака из Математике 3 - функције више променљивих, вишеструки интеграл“ као и „Збирка решених тестова из математике за упис на Електротехнички факултет у Београду“. Обе збирке су за сада доживеле два издања.

Од 2013. године Владимир Бечејац ради у АД Електромрежа Србије. Данас је на позицији водећег инжењера за оперативно управљање у Националном диспечерском центру Србије.

Главне области истраживања Владимира Бечејца су синхрофазорска технологија и њене примене у оперативним центрима управљања, естимација стања и методе оптимизације у електроенергетском систему. Досадашњи резултати научно – истраживачког рада су приказани у виду 13 научних публикација: 1 рад у међународним часописима са SCI листе, 1 рад у националним часописима, 1 на међународној конференцији (прихваћен синопис, у фази израде), 10 радова на националним конференцијама. Сви радови су дати у прилогу Списак објављених радова.

1.2. Сечено научноистраживачко искуство

Кандидат је докторске студије уписао 2014. године и положио све испите који су предвиђени планом докторских академских студија на модулу Електроенергетске мреже и системи на Електротехничком факултету Универзитета у Београду са просечном оценом 10.

Преглед положених испита

	Назив предмета	Оцена	ЕСПБ
1	Методе оптимизације у електроенергетским системима	10	9
2	Увод у научни рад	10	9
3	Надгледање стања електричних машина у погону	10	9
4	Стабилност електроенергетских система	10	9
5	Функционална анализа и примене	10	9
6	Управљање електроенергетским системима	10	6
7	Прелазне појаве у електричним машинама	10	9
8	Висконапонска постројења	10	9
9	Прелазни процеси средњег и дугог трајања у електроенергетским системима	10	9
10	Специјалне функције	10	9

Списак преосталих реализованих обавеза

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

Радови објављени у научним часописима међународног значаја M20:

1. **Bečejac Vladimir**, Stefanov Predrag: "Groebner bases algorithm for optimal PMU placement", International Journal of Electrical Power & Energy Systems. 2020 Feb 1;115:105427. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2019.105427>

Радови објављени у домаћим часописима M50:

1. **Bečejac Vladimir**, Šošić Darko: „Економски диспеџинг методом Лагранж – Hopfildove neuralne mreže sa uvažavanjem gubitaka u mreži“, *Energija, ekonomija, ekologija*, vol. 18, no. 3-4, pp. 295-299, ISSN 0354-8651 (M53)

Zbornici skupova nacionalnog značaja M60:

1. **Bečejac Vladimir**, Stefanov Predrag, Mosurović Miloš, Đokić Jana: „Одређивање optimalnih lokacija u 400 kV i 220 kV mreži Srbije metodom binarnog programiranja radi dobijanja potpune topološke opservabilnosti“, 34. savetovanje CIGRE Srbija, Vrnjačka Banja, 2019 (M63)
2. **Bečejac Vladimir**, Stefanov Predrag: „Integracija i primena sinhrofazorskih merenja u novom SCADA/EMS sistemu u elektroenergetskom sistemu Srbije“, 34. savetovanje CIGRE Srbija, Vrnjačka Banja 2019 (M63)
3. **Bečejac Vladimir**, Mosurović Miloš, Šumonja Branko, Aničić Duško: „Minimizacija gubitaka u prenosnoj mreži Srbije uticajem na tokove reaktivne snage“, 6. savetovanje CIGRE Crna Gora, maj 2017 (M63)
4. Šošić Darko, **Bečejac Vladimir**: „Rekonfiguracija distributivne mreže primenom metode jednostrukog zatvaranja petlji“, *INFOTEH, Jahorina*, vol.15, pp. 51-56, mart 2016 (M63)
5. **Bečejac Vladimir**, Mosurović Miloš, Šumonja Branko, Aničić Duško: „Estimator stanja i njegove primene u Nacionalnom dispečerskom centru Srbije“, 17. simpozijum, CIGRE Srbija, Vršac, oktobar 2016 (M63)
6. Obradović Nikola, Tubić Duško, **Bečejac Vladimir**: „Finansijska kompenzacija neželjenih odstupanja“, 32. savetovanje CIGRE Srbija, ref C2, Zlatibor, 17-21. maj. 2015. (M63)
7. **Bečejac Vladimir**, Mihić Bojana, Stefanov Predrag: „Primena PMU uređaja u elektroenergetskom sistemu Srbije“, 33. savetovanje CIGRE Srbija, Zlatibor 2017 (M63)
8. **Bečejac Vladimir**, Mosurović Miloš, Vidaković Jovica: „Одређивање optimalnih lokacija PMU uređaja u 400 kV mreži Srbije metodom binarnog programiranja“, 18. simpozijum, CIGRE Srbija, Zrenjanin, oktobar 2018. (M63)
9. **Bečejac Vladimir**, Davidović Slavenko, Mosurović Miloš, Aničić Duško: „Korišćenje VVD aplikacije za optimizaciju gubitaka u NDC-u“, 32. savetovanje CIGRE Srbija, ref c2, Zlatibor, maj 2015. (M63)

10. **Bečejac Vladimir**, Marinković Dušan, Đokić Jana, Šumonja Branko: „Određivanje optimalnih lokacija PMU uređaja u prenosnom sistemu Crne Gore radi dobijanja potpune topološke opservabilnosti metodom binarnog programiranja sa uvažavanjem težinskih faktora u objektnoj funkciji“, 6. savetovanje, CIGRE Crna Gora, maj 2019. (M63)

Пред Комисијом формираном од стране Наставно-научног већа Електротехничког факултета, у саставу: др Александар Савић, ванредни професор, Универзитет у Београду-Електротехнички факултет – председник комисије, др Андрија Сарић, редовни професор, Универзитет у Новом Саду – Факултет техничких наука – члан комисије који није запослен на Електротехничком факултету Универзитета у Београду, проф. др Бранко Малешевић, редовни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет – члан комисије, на јавној усменој одбрани, кандидат је **успешно положио докторски испит, одржан 12.12.2019. године.**

1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

Кандидат Владимир Бечејац поседује адекватан ниво знања из области које представљају основу неопходну за решавање техничких проблема који се третирају у предложеној докторској дисертацији. До сада је публикувао укупно 12 научних чланака и 4 књиге. Објавио је 1 научни чланак у водећем међународном часопису са импакт фактором, као и 3 рада на конференцијама, а сви су у директној вези са темом докторске дисертације. Положио је све испите на докторским студијама Електротехничког факултета Универзитета у Београду са просечном оценом 10. На основу наведених резултата кандидата, наша је процена да је кандидат Владимир Бечејац у стању да успешно реализује израду предметне докторске дисертације.

2. Предмет, циљ и значај истраживања

Промене у електроенергетици се последњих година одвијају великом брзином. Дерегулација електроенергетских система је променила начин управљања и омогућила интензивнију размену између система региона и интерконеције у целини. Поред тога, развој обновљивих извора енергије и њихова интеграција у електроенергетске системе убрзава њихову динамику и смањује ниво поузданости испоруке електричне енергије. Све то повећава забринутост у вези обезбеђивања задовољавајућег нивоа поузданости и стабилности електроенергетских система. Да би се одговорило на ове захтеве, развој интелигентне електроенергетске мреже са унапређењем перформанси управљања је у сталном прогресу већ неколико година.

Управљачки алгоритми се и у савременим системима базирају на резултатима естиматора стања, због чега се са правом може рећи да естимација представља основу SCADA/EMS система. Естиматор стања креира комплетну кохерентну слику система на основу расположивих мерења из система која се у центар управљања прикупљају у једнаким временским интервалима. Конвенционални естиматори стања користе напоне чворова мреже, токове и инјектирања активних и реактивних снага како би обезбедили одређивање стања која најмање одступају од стварних, тренутних стања система и поред свих грешака и одступања која прикупљена мерења у себи садрже. Оваква стања, тј. напони у чворовима, као и токови снага се даље користе као основа за примену свих других алгоритама помоћу којих се формирају управљачке акције за обезбеђење сигурности и економичности рада система у реалном времену.

Развојем технологије система за глобално позиционирање и синхронизацију GPS (Global Positioning System) омогућено је да се изврши временска синхронизација података са

знатно већом прецизношћу, што омогућава да се уместо праћења амплитуда мерених сигнала могу пратити њихове таласне промене, преко фазора као основних репрезентата. Синхрофазорски уређаји (PMU – Phasor Measurement Unit) омогућавају да се таласи напона и струја преузети директно са напонских и струјних мерних трансформатора временски синхронизују према UTC (Coordinated Universal Time) времену са тачношћу реда микросекунде. Поставком PMU уређаја у одређени чвор добија се информација о фазору напона чвора и у зависности од додатног броја канала које уређај има, и одређен број фазора струја грана које из тог чвора полазе. Временски синхронизовани подаци се даље шаљу на концентраторе података PDC (Phasor Data Concetrator) где се врши њихова обрада. Употреба PMU уређаја значајно повећава прецизност и сигурност у надгледању, заштити и контроли електроенергетских система. Повећавање учестаности одабирања и одговарајући алгоритми обраде сигнала обезбеђују да се у мерене сигнале уноси мања грешка, односно овом технологијом се обезбеђују најтачнија могућа мерења. За разлику од постојећег SCADA/EMS система, где се мерења добијају са периодом одабирања од 2-4 s и постоји мерење само амплитуде односно ефективне вредности напона и струје, ова технологија омогућава добијање података са високим периодом одабирања (у електроенергетском систему Србије периода одабирања је 20 ms), што омогућава праћење динамике система у реалном времену. Нажалост, технологија је скупа и стога је при избору броја и локација PMU уређаја потребно извршити техно-економску анализу, тј. поставити жељени економски критеријум, дефинисати неопходне техничке услове и применити одговарајућу оптимизациону методу.

Услов за примену неког скупа мерења за одређивање стања у електроенергетском систему је да се са њим обезбеђује опсервабилност. Да би електроенергетски систем био потпуно опсервабилан, потребно је познавати напоне у свим чворовима. Постављање PMU уређаја у све чворове би било прескупо, а показује се и да је непотребно. Оптимална поставка PMU уређаја је до сада формулисана на више начина. Први пут представљена формулација [1], је заснована на линеарној зависности, како објективне функције тако и тополошких ограничења, која дозвољава примену метода заснованих на линеарном програмирању. Од тада постоје разне варијације овог приступа, нпр. [2, 3]. Поред линеарне формулације проблема, могуће га је представити и нелинеарном објективном функцијом и/или ограничењима [4, 5], при чему се за решавање овако постављеног проблема целобројног претраживања све чешће предлаже коришћење метахеуристичких метода као што је генетски алгоритам [6, 7], у комбинацији са теоријом графова [8] којом су предложена правила тополошких модификација мреже, табу алгоритам [9], метода диференцијалне еволуције [10], бинарни соокко оптимизациони алгоритам [11] итд.

Методе засноване на линеарном програмирању, као и многе класичне нелинеарне и метахеуристичке методе долазе до једног оптималног решења. Међутим, проблем оптималне поставке PMU уређаја има више оптималних решења са становишта избора чворова у којима се PMU уређаји постављају. Овај број могућих решења се значајно повећава са повећањем димензија система [12].

Циљ истраживања које је предмет предложене докторске дисертације представља увођење, за решавање проблема потпуне тополошке опсервабилности, новог математичког апарата – Гребнерове базе (Groebner base) [13, 14]. Применљивост овог математичког апарата ће се обезбедити преформулацијом оптимизационог проблема, док се од његове примене очекује доступност свим могућим еквивалентним оптималним решењима, што ни један од до сада предложених алгоритама не обезбеђује.

Нов алгоритам, заснован на Гребнеровој бази могуће је применити увек када се јављају полиноми изрази типа једнакости. За такав систем једначина се тражи Гребнерова база, која представља еквивалентан систем датом, који се лакше може решити. Сам апарат је веома моћан за нелинеарне системе једначина, а може се показати да се за линеарне своди на Гаусов алгоритам елиминације, те се са правом за Гребнерову базу може рећи да је уопштење Гаусовог алгоритма елеминације за полиномне системе.

Као што је наведено, проблем оптималне поставке PMU уређаја има више оптималних решења, а предложеном методом је могуће добити сва оптимална решења што методу посебно издваја.

У електроенергетском систему већ постоје конвенционална мерења. Проблем комбиновања ових мерења са PMU мерењима је један од првих задатака за које се дефинише модификована формулација проблема и решава проширени оптимизациони задатак. Поред тога, у систему постоје чворови нултог инјектирања, без производње и потрошње, те се проблем природно проширује на утицај ових чворова и могућности смањивања броја потребних PMU уређаја. Такође, проблем је могуће проширити на захтев потпуне опсервабилности у случају испада једног или више елемената система, односно испада једног или више PMU уређаја, затим на проблем лимитираног броја канала, када уређај није у стању да измери све струје у њему инцидентним гранама. Међутим, како у ЕЕС-у постоји већ доста инсталираних PMU уређаја, поставља се и питање како дефинисати и постићи потпуну опсервабилност са предефинисаним локацијама.

Формулације и решења за сва горе наведена проширења проблема треба да буду дата у предложеној дисертацији. При том, одговарајуће формулације морају да буду у складу са формом коју Гребнерова база захтева.

Научни допринос овог рада огледа се у развоју новог оптимизационог алгоритма за решавање проблема оптималне поставке PMU уређаја која проналази скуп свих оптималних решења. Тестирањем алгоритма треба да се потврди да је могуће сва ова решења добити у полиномијалном времену, тј. у ограниченом времену и за системе великих димензија, какви су савремени електроенергетски системи. На кориснику је тада да успостављањем нових критеријума одабере које му решење одговара, а у дисертацији се као критеријум уводи SORI (System Observability Redundancy Index) који представља степен покривености чворова PMU уређајима било директно или индиректно, чиме се обезбеђује максимална опсервабилност и у поремећеним режимима рада система. Применом развијеног алгоритма омогућава се добијање свих скупова оптималних локација са максималним вредностима SORI. Поред научног, рад има и практични значај. Као што је наведено, ограничавањем времена извршења оптимизације обезбеђује се да предложени алгоритам буде применљив у пракси. На добијеним оптималним локацијама, инсталацијом PMU уређаја добиће се пре свега тачнија и временски синхронизована мерења, те потпуна динамичка опсервабилност електроенергетског система, а самим тим се грешка естиматора стања своди на нулу. Читав спектар апликација које у реалном времену користе резултате прорачуна етиматора (нпр. Power Flow, Optimal Power Flow, Voltage Var Dispatching, Short Circuit Analysis, Real Time Security Enhancement итд.) дају операторима система најтачније податке. Актуелност истраживања, која је тема ове докторске дисертације потврђују и бројне референце које су последњих година објављене у водећим међународним часописима, а неке од њих су дате у прилогу [15-21]:

[1] Xu B, Abur A. Observability analysis and measurement placement for systems with PMUs. In: Proc IEEE Power Systems Conf. Expo., vol. 2; Oct. 2004. p. 943–46

[2] Nuqui RF, Phadke AG. Phasor measurement unit placement techniques for complete and incomplete observability. IEEE Trans Power Deliv 2005;20(4):2381–8.

[3] Gou B.: Generalized integer linear programming formulation for optimal PMU placement. IEEE Trans Power Syst 2008;23(3):1099–104.

[4] Manousakis N, Korres G. A weighted least squares algorithm for optimal PMU placement. IEEE Trans Power Syst 2013;28(3):3499–500.

[5] Theodorakatos NP, Manousakis NM, Korres GN. A sequential quadratic programming method for contingency-constrained phasor measurement unit placement. Int Trans Electr Energy Syst 2014;25(12):3185–211

- [6] Müller HH, Castro CA. Genetic algorithm-based phasor measurement unit placement method considering observability and security criteria. *IET Gen, Transmission Distrib* 2016;10(1):270–80.
- [7] Theodorakatos NP, Manousakis NM, Korres GN. Optimal placement of PMUs in power systems using binary integer programming and genetic algorithm. *MedPower* 2014.
- [8] Gopakumar P, Bharata MJ, Reddy DK Mohanta. A novel topological genetic algorithm-based phasor measurement unit placement and scheduling methodology for enhanced state estimation. *Electr Power Compon Syst* 2015;43:1843–58.
- [9] Peng J, Sunb Y, Wang HF. Optimal PMU placement for full network observability using Tabu search algorithm. *Int J Electr Power Energy Syst* 2006;28:223–31.
- [10] Vedik B, Chandel AK. Optimal placement of PMUs using differential evolution. In: 2013 International Conference on Intelligent Systems and Signal Processing (ISSP); March 2013. p. 17–22.
- [11] Dalali M, Karegar HK. Optimal PMU placement for full observability of the power network with maximum redundancy using modified binary cuckoo optimisation algorithm. *IET Gen, Transmission Distrib* 2016;10(11):2817–24
- [12] Makram E, Zhao Z, Girgis A. An improved model in optimal PMU placement considering sensitivity analysis. In: 2011 IEEE/PES Power Systems Conference and Expositions, March 20–23, 2011 in Phoenix, Arizona, USA; 2011. p. 1–6.
- [13] W.W.Adams, P.Loustaunau: "An introduction to Groebner Bases", *American Mathematical Society*, 1994
- [14] Bruno Buchberger, "An Algorithm for Finding the Basis Elements in the Residue Class Ring Modulo a Zero Dimensional Polynomial Ideal", *Journal of Symbolic Computation*, vol. 41, pp. 475–511
- [15] Theodorakatos N. Optimal phasor measurement unit placement for numerical observability using branch-and-bound and a binary-coded genetic algorithm. *Electr Power Compon Syst* 2019
- [16] Abdulrahman I, Radman G. ILP-based optimal PMU placement with the inclusion of the effect of a group of zero-injection buses. *J Control, Automat Electr Syst* 2018;29(4):512–24
- [17] Makram E, Zhao Z, Girgis A. An improved model in optimal PMU placement considering sensitivity analysis. In: 2011 IEEE/PES Power Systems Conference and Expositions, March 20–23, 2011 in Phoenix, Arizona, USA; 2011. p. 1–6.
- [18] Korres GN, Manousakis1 NM, Xygkis1 TC, Löfberg J. Optimal phasor measurement unit placement for numerical observability in the presence of conventional measurements using semi-definite programming. *IET Gener Transm Distrib* 2015;9(15):2427–36
- [19] Dua D, Damhare S, Gajbhiye RK, Soman SA. Optimal multistage scheduling of PMU placement: An ILP approach. *IEEE Trans Power Deliv* 2008;23(4):1812–20
- [20] Raju, V. V. R., & Kumar, S. J. (2016, February). An optimal PMU placement method for power system observability. In 2016 IEEE Power and Energy Conference at Illinois (PECI)(pp. 1-5). IEEE
- [21] Mabaning, Abdul Aziz G., Jordan Rel C. Orillaza, and Alexandra von Meier. "Optimal PMU placement for distribution networks." 2017 IEEE Innovative Smart Grid Technologies-Asia (ISGT-Asia). IEEE, 2017
- [22] Roy, BK Saha, A. K. Sinha, and A. K. Pradhan. "An optimal PMU placement technique for power system observability." *International Journal of Electrical Power & Energy Systems* 42.1 (2012): 71-77

3. Полазне хипотезе

Полазне хипотезе као предмет истраживања предложене докторске дисертације су:

- Проблем оптималне поставке PMU уређаја се може формулисати у облику класичног линеарног оптимизационог проблема са критеријумском функцијом и ограничењима типа неједнакости, које имају јединствено оптимално решење;

- Све променљиве коришћене у процесу оптимизације су бинарне, што захтева да се при решавању оптимизационог проблема користи или целобројно – бинарно програмирање или комбинаторне методе програмирања;
- Могуће је скуп линеарних ограничења тополошке опсервабилности типа неједнакости трансформисати у скуп нелинеарних ограничења типа једнакости, а без увођења помоћних променљивих, у бинарном домену;
- Гребнерова база се може примењивати у случајевима полиномних записа израза, а пун ефекат је на нелинеарним једначинама;
- Гребнеровом базом могуће је еквивалентирати полазни систем једначина, на лакше решив систем;
- Решавањем оваквог система једначина, могуће је добити комплетан скуп оптималних решења постављеног проблема;
- Дефинисањем међусобног односа променљивих може се дефинисати редослед претраге решења;
- Све услове класичног оптимизационог поступка за системе са и без конвенционалних мерења, са и без уважавања критеријума сигурности, утицаја већ постојећих PMU уређаја и лимитираног броја канала PMU уређаја је могуће трансформисати на облике погодне за примену методе Гребнерове базе.

4. Методе истраживања

Методе истраживања предложене докторске дисертације су:

- Као могуће методе за решавање проблема оптималне поставке PMU уређаја биће анализирани методе линеарне и нелинеарне математичке и метахеуристичке оптимизације;
- За решавање проблема оптималне поставке PMU уређаја са могућношћу ефикасног добијања комплетног скупа оптималних решења биће анализирана метода Гребнерове базе;
- Биће примењене методе математичке трансформације комутативне алгебре како би се проблем оптималне поставке PMU уређаја могао решавати поменутиим методом;
- Биће изложена сва неопходна математичка теорија, пре свега алгебре, која ће повезати Гребнерову базу са оптимизационим проблемом;
- Комплетан прорачун и обрада биће извршени применом симболичке анализе, коришћењем програмског пакета MAPLE;
- Верификација предложеног алгорита биће тестирана прорачунима на стандарним моделима IEEE мреже као и на примеру преносне мреже Србије (400 kV и 220 kV) и компарацијама са у литератури доступним резултатима.

5. Очекивани научни доприноси

Очекивани научни доприноси предложене докторске дисертације су:

- Биће развијен оригиналан алгоритам за решавање проблема оптималне поставке PMU уређаја који обезбеђује потпуну тополошку опсервабилност у електроенергетском систему уз најмање инвестиционе трошкове;
- Биће анализирани могућности примене методе Гребнерове базе у решавању проблема синхрофазорске технологије;
- Биће развијена нова поставка проблема са једначинама за уважавање чворова нултог инјектирања са анализом могућности примене са и без тополошких модификација система;

- Биће развијене нове једначине за уважавање $N-X$ критеријума сигурности;
- Биће развијене нова формулација проблема којом се уважава лимитираност броја канала на PMU уређајима;
- Биће дефинисан ефикасан начин претраге решења у циљу одређивања комплетног скупа свих еквивалентних оптималних решења оптимизационог проблема што чини најзначајнију предност предложене методе у односу на све до сада у литератури наведене методе;
- Обезбеђењем потпуне тополошке опсервабилности система у нормалним радним режимима уз њену максимизацију у поремећеним радним режимима, грешке које праве апликације засноване на естиматору стања се свode на минимум;
- Добијањем потпуне тополошке опсервабилности преко PMU уређаја, обезбеђују се најтачнији и временски синхронизовани подаци у реалном времену, применљиви за даљу обраду у алгоритмима динамичког управљања електроенергетских система;

6. План истраживања

Основни кораци истраживања у оквиру предложене докторске дисертације су:

- Упознавање са основним принципима синхрофазорске технологије, мотивација за њену примену, хијерархија синхрофазорских уређаја и будући трендови ове технологије;
- Дефинисање основних правила везаних за тополошку опсервабилност;
- Дефинисање основних правила за поставку PMU уређаја ради добијања потпуне тополошке опсервабилности;
- Повезивање правила тополошке опсервабилности са проблемом налажења минималног броја PMU уређаја;
- Упознавање са дефиницијама и теоремама из алгебре које су у корелацији са теоријом Гребнерове базе;
- Дефинисање и решавање проблема оптималне поставке PMU уређаја применом Гребнерове базе;
- Анализа практичне применљивости развијених алгоритама и математичких модела кроз симулације на реалним и IEEE моделима мрежа као и на примеру преносне мреже Србије (400 kV и 220 kV).

Текст докторске дисертације ће бити написан на српском језику.

7. Закључак и предлог

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

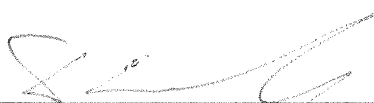
1. Кандидат испуњава све формалне и суштинске услове прописане Законом о високом образовању и Статутом Електротехничког факултета Универзитета у Београду за одобрење теме за израду докторске дисертације;
2. Предложена тема „Оптимална поставка синхрофазорских уређаја за обезбеђење потпуне тополошке опсервабилности применом методе Гребнерове базе“ (енг. “Optimal Phasor Measurement Unit Placement for Full Topological Observability using Groebner Bases”) научно је заснована и припада ужој научној области електроенергетски системи, а резултати до којих ће се доћи изградом ове дисертације представљаће значајан и оригиналан допринос у области предметног истраживања.

Студент докторских студија спроводи истраживања у вези са предложеном темом на Електротехничком факултету Универзитета у Београду, а води и тим испред Националног диспечерског центра у АД Електромрежа Србије везаних за синхрофазроску технологију.

На основу претходно изложеног, Комисија предлаже Наставно-научном већу Електротехничког факултета Универзитета у Београду да кандидату Владимиру Бечејцу одобри израду докторске дисертације под наведеним називом, а под менторством др Предрага Стефанова, ванредног професора Електротехничког факултета Универзитета у Београду.

У Београду, 23. децембар 2019. године

Чланови комисије



др Предраг Стефанов, ванредни професор,
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет
(предложени ментор)



др Александар Савић, ванредни професор,
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет
(председник комисије)



др Андрија Сарић, редовни професор,
Универзитет у Новом Саду – Факултет техничких наука
(члан комисије који није запослен на ЕТФ-у)



др Бранко Малешевић, редовни професор,
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет
(члан комисије)