

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКОГ ФАКУЛТЕТА У БЕОГРАДУ

Предмет: Извештај комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације кандидата Славка Веиновића

Одлуком бр. 717/26 од 16.05.2023. године, од стране Наставно-научног већа именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности теме и кандидата за израду докторске дисертације и научне заснованости теме „Пројектовање и реализација управљачке електронике и напонских регулатора у побудним системима синхроних генератора“ коју је пријавио Славко Веиновић, дипл. инж. електротехнике.

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Славко Веиновић средњу школу, гимназију, завршио је у Сомбору 2002. године. Електротехнички факултет у Београду уписао је исте године по петогодишњем плану студија. Дипломирао је на смеру за Аутоматику 2008. са просечном оценом 8.69 са темом дипломског рада “Управљање инверзним клатном – анализа и реализација” под менторством професора Мирослава Матаушека и Србијанке Турајлић. 2018. године уписује докторске студије на модулу Електроника на истом факултету. Одмах после основних студија, 2008. године, запослио се у Саобраћајном институту ЦИП где је радио на пројектовању сигнално-сигурносних уређаја. По истеку приправничког стажа запошљава се у Електротехничком институту “Никола Тесла” у центру за Аутоматику и регулацију где се пре свега бави побудним системима синхроних машина. У последњих дванаест година учествовао је на пројектима израде побудних система за турбо и хидро агрегате у објектима Електропривреде Србије и Електропривреде републике Српске. На тим пројектима био је задужен за пројектовање и израду хардвера и софтвера регулатора напона. Учествовао је на изради потпуно новог уређаја, естиматора угла снаге синхроне машине имплементираног на објекту ТЕНТ Б који ради у склопу побудног система и користи се за реализацију лимитера по углу снаге. Био је сарадник на више студија наручених од стране Електропривреде Србије међу којима је најзначајнија „Системски параметри регулације побуде и турбинске регулације у електранама ЕПС-а“. Поред примарне регулације напона у енергетском систему његова област интересовања је и управљање енергетским претварачима, мерења електричних величина у енергетској електроници, прелазне појаве у синхроним машинама. Из поменутих

области аутор је више публикација у домаћим и међународним часописима и конференцијама. Од 2011. године активно учествује на пројекту Министарства науке и технолошког развоја „Повећање енергетске ефикасности хидроелектрана и термоелектрана Електропривреде Србије развојем технологије и уређаја енергетске електронике за регулацију и аутоматизацију“. Током 2022. године борави у Пољској, на Институту техничких наука, Универзитета Николаус Коперникус у Торуну. За време кратке стручне посете бавио се развојем естиматора флуksа за модеран синхрони релуктантни мотор. Током исте године у три наврата борави у Русији, у Научно технолошком центру у Санкт Петербургу као руководиоца пројекта сертификације уређаја регулатора побуде произведеног у Институту Никола Тесла. У децембру 2022. године тај уређај добија Сертификат о усаглашености са руским ГОСТ стандардом.

1.2. Сечено научно-истраживачко искуство

Кандидат Славко Веновић уписао је докторске студије на модулу Електроника на Електротехничком факултету Универзитета у Београду 2018. године. Током докторских студија испунио је следеће испитне и студијске обавезе:

Испити:

1. Прелазне појаве у електричним машинама 13Д011ППМ – Зоран Лазаревић (Оцена:10; ЕСПБ:9)
2. Сензорски системи и специјална инструментација - 13Д041ССИ – Вујо Дрндаревић (Оцена:10; ЕСПБ:9)
3. Фазно синхронисане петље 13Д041ФСР – Милан Поњавић (Оцена:10; ЕСПБ:9)
4. Примена сигма-делта технике у обради сигнала 13Д041ПСД – Милан Поњавић (Оцена:10; ЕСПБ:9)
5. Пројектовање наменских рачунарских система 13Д041ПНР – Лазар Сарановац (Оцена:10; ЕСПБ:9)
6. Увод у научни рад 13Д091УНР – Зоран Поповић (Оцена:10; ЕСПБ:6)
7. Савремене методе за пројектовање регулатора у системима управљања 13Д051СМП – Томислав Шекара (Оцена:10; ЕСПБ:9)
8. Микропроцесорско управљање енергетским претварачима 13Д011МУЕ – Жарко Јанда (Оцена:10; ЕСПБ:9)
9. Примена програмабилних система на чипу 19Д041ППС – Владимир Рајовић (Оцена:10; ЕСПБ:9)
10. Мултирезолуциона обрада сигнала 19Д041МОС – Горан Савић (Оцена:10; ЕСПБ:9)

Обавезе:

1. Студијски истраживачки рад I – 2019 год. (15 ЕСПБ)
2. Научно стручни рад – 2021 год. (3 ЕСПБ)
3. Студијски истраживачки рад II - 2022 год. (15 ЕСПБ).

Кандидат је остварио укупно 120 ЕСПБ са просечном оценом 10,00.

Кандидат Славко Веиновић се инжењерски и научно-истраживачки развијао у Електротехничком институту „Никола Тесла“ од 2009. године где је и данас запослен. Стекао је звање вишег стручног сарадника. Највећи део времена проведеним у Институту бавио се побудним системима синхроних генератора односно регулатором напона

побудних система што је област из које је пријавио тему докторске дисертације. Аутор је више научних радова из поменуте области објављених у међународним часописима. Био је ангажован на теоријском и експерименталном раду везаном за пројекат Министарства просвете, науке и технолошког развоја ТР-33020 “Повећање енергетске ефикасности ХЕ и ТЕ ЕПС-а развојем технологије и уређаја енергетске електронике за регулацију и аутоматизацију”.

Најзначајније публикације кандидата:

Категорија M21A

Stojić, D., Milinković, M., **Veinović, S.**, Klasnić, I. “Improved stator flux estimator for speed sensorless induction motor drives” (2015) *IEEE Transactions on Power Electronics*, 30 (4), art. no. 6825818, pp. 2363-2371. DOI: 10.1109/TPEL.2014.2328617 ISSN: 0885-8993

IF: 6.008 (2014)

Stojic, D.M., Milinkovic, M., **Veinovic, S.**, Klasnic, I. “Stationary Frame Induction Motor Feed Forward Current Controller with Back EMF Compensation” (2015) *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 30 (4), art. no. 7120949, pp. 1356-1366. DOI: 10.1109/TEC.2015.2438093 ISSN: 0885-8969

IF: 3.353 (2013)

Категорија M21

Veinović, S., Stojić, D., Ivanović, L. “Optimized PID2 controller for AVR systems regarding robustness” (2023) *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 145, art. no. 108646, DOI: 10.1016/j.ijepes.2022.108646 ISSN: 0142-0615

IF: 5.659 (2021)

Veinović, S., Stojić, D., Joksimović, D. “Optimized four-parameter PID controller for AVR systems with respect to robustness” (2022) *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 135, art. no. 107529, DOI: 10.1016/j.ijepes.2021.107529 ISSN: 0142-0615

IF: 5.659 (2021)

Категорија M22

Ponjavic, M., **Veinovic, S.** “Low-power self-oscillating fluxgate current sensor based on Mn-Zn ferrite cores” (2021) *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 518, art. no. 167368, DOI: 10.1016/j.jmmm.2020.167368 ISSN: 0304-8853

IF: 2.993 (2020)

Stojic, D., Milinkovic, M., **Veinovic, S.**, Joksimovic, D., Milojcic, N. “Robust synchronous generator excitation regulator based on stabilizing feedback action” (2015) *International Transactions on Electrical Energy Systems*, 25 (12), pp. 3704-3719. DOI: 10.1002/etep.2061 ISSN: 2050-7038

IF: 1.084 (2015)

Категорија M23

Veinovic, S., Ponjavic, M., Milic, S., Djuric, R. "Low-power design for DC current transformer using class-D compensating amplifier" (2018) *IET Circuits, Devices and Systems*, 12 (3), pp. 215-220. DOI: 10.1049/iet-cds.2017.0324 ISSN: 1751-858X IF: 1.395

Stojic, D., **Veinovic, S.,** Milinkovic, M., Joksimovic, D., Milojevic, N. "Voltage controller for a synchronous generator with exciter" (2015) *Journal of Circuits, Systems and Computers*, 24 (4), art. no. 1550050, DOI: 10.1142/S0218126615500504 ISSN: 0218-1266 IF: 0.250 (2014)

Категорија M33

Stojic, D., **Veinovic, S.,** Milinkovic, M. "Modified Synchronous Reference Frame Based Hysteresis Current Controller" (2019) 2019 20th International Symposium on Power Electronics, Ee 2019, art. no. 8923322, DOI: 10.1109/PEE.2019.8923322

Lukić, M., Ninković, P., Stojić, D., Milinković, M., **Veinović, S.** "Static Excitation of the 7.5 MW Synchronous Motor for Compressor Drive" (2019) 2019 18th International Symposium INFOTEH-JAHORINA, INFOTEH 2019 - Proceedings, art. no. 8717764, DOI: 10.1109/INFOTEH.2019.8717764

Joksimovic, D., **Veinovic, S.,** Stojic, D. "Excitation Controller for a Synchronous Generator with a DC Exciter" (2018) Proceedings - 2018 IEEE 18th International Conference on Power Electronics and Motion Control, PEMC 2018, art. no. 8521965, pp. 381-386. DOI: 10.1109/EPEPEMC.2018.8521965

Veinovic, S., Stojic, D., Joksimovic, D., Klasnic, I. "Control of rotary exciter with series and separately excitation windings excitation system of generator a2 at power plant 'Kostolac A'" (2017) 19th International Symposium on Power Electronics, Ee 2017, 2017-December, pp. 1-5. DOI: 10.1109/PEE.2017.8171699

Stojic, D., Milinkovic, M., **Veinovic, S.,** Klasnic, I. "Novel proportional-integral-resonant current controller for three phase PWM converters (2016) 4th International Symposium on Environment Friendly Energies and Applications, EFEA 2016, art. no. 7748788, DOI: 10.1109/EFEA.2016.7748788

Кандидат Славко Веиновић је дана 08.06.2023. године јавно бранио предложену тему докторске дисертације пред комисијом у саставу:

1. др Радивоје Ђурић, ванредни професор, Електротехнички факултет у Београду
2. др Ђорђе Стојић, виши научни сарадник, Електротехнички институт Никола Тесла у Београду
3. др Богдан Брковић, доцент, Електротехнички факултет у Београду

Комисија је оценила да је кандидат Славко Веиновић на јавној усменој одбрани предложене теме докторске дисертације добио оцену: **задовољно**.

1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

Кандидат је сакупио сто двадесет (120) ЕСПБ (полагањем испита на докторским студијама и обављањем научно-истраживачких обавеза). Дана 08.06.2023. године је јавно одбранио тему докторске дисертације пред Комисијом формираном од стране Наставно-

научног већа Електротехничког факултета у Београду на својој седници од дана 16.05.2023. године.

На основу претходног радног искуства кандидата, оствареног рада на докторским студијама, постигнутих научних резултата и публикација у међународним часописима, Комисија је стекла увид у научно-истраживачке способности кандидата, као и потенцијал да током израде докторске дисертације оствари резултате које је кандидат изнео у образложењу теме и јавној одбрани теме докторске дисертације. Комисија сматра да кандидат Славко Веиновић, дипломирани инжењер електротехнике, поседује адекватан ниво знања и суштински задовољава све потребне услове за рад на предложеној теми докторске дисертације са насловом: „Пројектовање и реализација управљачке електронике и напонских регулатора у побудним системима синхроних генератора“ (енг. *“Design and implementation of control electronics and voltage regulators for synchronous generators excitation systems”*).

На основу свега наведеног можемо закључити да кандидат Славко Веиновић у сваком погледу испуњава услове који га квалификују да приступи изради докторске дисертације са предложеном темом.

2. Предмет и циљ истраживања

Хардвер за побуду синхроних генератора је неизоставна компонента у постројењима за производњу електричне енергије. По конструкцији, побудни хардвер је контролисани напонски извор, чија је улога да обезбеди потребну струју побудног намотаја, а која ће у свим режимима рада синхроног генератора направити роторско магнетно поље довољно за конверзију механичке енергије у електричну. Реализације побудног хардвера су се мењале током времена са напретком технике, пре свега енергетске електронике, и могу се грубо поделити на машинске и статичке побудне системе:

- Код машинских система, побудни хардвер је “будилица”- једносмерна или наизменична машина са трофазним исправљачем која обезбеђује напајање побудног намотаја синхроног генератора.
- Код статичких система, побуда је трофазни тиристорски исправљач или, у случају генератора малих снага, транзисторски DC-DC конвертор.

Иако постоји тенденција да се машинске побуде током реконструкције погона замењују статичким побудним системима, и даље у експлоатацији постоји велики број машинских побуда.

Једна врста машинских побуда, која се због својих добрих карактеристика масовно уграђује у агрегате малих и средњих снага, јесте ротациона побуда без четкица (енг. *brushless excitation*). Та побуда је у основи АС алтернатор који је заједно са диодним исправљачем уграђен у вратило турбине. Када се генератор, будилица и диодни исправљач посматрају као јединствен објекат којим треба управљати преко побудног намотаја будилице, таква побуда је у суштини статичка.

Помоћу напона побудног намотаја будилице, или напона побудног намотаја главног генератора, могуће је остварити регулацију статорског напона синхроног генератора који је потребно одржавати око референтне вредности, задате од стране надређеног система или оператора система. Поред регулације статорског напона, побудни хардвер регулише и производњу реактивне енергије која је битна за функционисање преносне мреже електроенергетског система.

Савремени побудни системи су конструкционо хардвер енергетске електронике чији је управљачки део реализован на наменској микропроцесорској платформи (енг. *embedded device*), и назива се аутоматски регулатор напона (енг. *Automatic Voltage Regulator - AVR*). При томе се мисли на регулацију у ширем смислу, јер је обухваћено више функција побудног система:

- Регулација реактивне снаге, напона статора, или струје побуде;
- Стабилизатор електроенергетског система PSS (енг. *Power System Stabilizer - PSS*);

- Лимитерске функције које обезбеђују рад синхроне машине у дозвољеном опсегу (погонски дијаграм);
- Заштитне функције система побуде и генератора;
- Генерисање управљачких сигнала за паљење тиристора или транзистора;
- Управљање расклопном опремом дела погона електране;
- Комуникација са другим системима у електрани;
- Снимање сигнала у реалном времену и њихов приказ;
- Синхронизација генератора на мрежу;
- Почетно побуђивање у случају самопобудних система;
- Меки старт;
- И друге помоћне функције.

Произвођачи савремених регулатора побуде константно унапређују функције и имплементирају нове, али основна намена остаје иста: поуздана производња електричне енергије регулацијом напона на крајевима генератора и остварење стабилности електроенергетског система - у ситуацијама поремећаја у преносној мрежи при којима је неопходно подржати стабилност електроенергетског система и обезбедити непрекидну производњу електричне енергије, адекватна реакција побудног система је обавезна.

Због важности проблематике модели побудних система и структуре регулатора напона добро су истражени и постали су део IEEE стандарда [1]. Ипак, методе за естимацију параметара модела, подешавање параметара регулације и стабилизатора електроенергетског система су и даље у фокусу истраживања [2]-[6]. Бројна публикована литература обрађује проблематику регулације напона побудних система на начин да се предлажу “модерне научне” методе за подешавање параметара регулатора [7]-[19], где се као доминантна структура регулације примењује стандардни ПИД, али и другачије структуре као што су фракциони ПИД [14], fuzzy ПИД [19], ПИДА или ПИДД2 [8][20]. Велики број радова новијег датума предлаже хеуристичке или мета-хеуристичке оптимизационе методе за претрагу параметара регулатора да би се задовољио неки од предложених критеријума. Хеуристичке методе које се користе као претраживачи глобалног минимума неког оптимизационог проблема (енг. *Global search method*) или не гарантују конвергенцију проблема, или ако гарантују конвергенцију под неким условима не могу да гарантују да је нађено решење глобални минимум. Предложени критеријуми на основу којих се тражи оптимално решење проблема често нису ни адекватни, па је због нусаглашености критеријума тешко утврдити допринос нових алгоритама у односу на постојеће резултате. Компетентан преглед хеуристичких метода које су предложене за подешавање параметара регулатора побуде је дат у [20].

У публикованим радовима, већина предложених решења базирана је на математичком моделу побудног система и генератора који не одговара реалном систему, а верификована је само софтверском симулацијом без валидних експерименталних резултата. Стога су добијени резултати тешко применљиви у пракси јер не узимају у обзир реална физичка ограничења објекта управљања.

Тема докторске дисертације је регулација напона кроз развој и хардверску реализацију побољшаних и реално применљивих структура регулатора, метода за подешавање њихових параметара, као и решавање пратећих проблема реализације мерења, регулације и генерисања управљачких сигнала. Литература која ће се користити као основа за развој нове методе подешавања параметара напонског регулатора биће из области класичне теорије управљања, робусног управљања и нелинеарног програмирања. Поред референтних публикација из области пројектовања ПИД регулатора [21]-[26], користеће се и новије оптимизационе технике [27]-[30].

Кандидат је објавио два рада [31][31] у часопису категорије М21 која се баве унапређеним методама подешавања регулатора побуде. У [31] обрађује се примена класичне методе пројектовања робусног ПИД регулатора где је анализиран утицај мерног шума и

физичких ограничења на перформансе система и понуђено је решење за избор критеријума и задатих параметара перформанси. Као наставак истраживања рад [31] обрађује нову структуру и унапређену методу за подешавање ПИДД2 регулатора (познат и као ПИДА или ПИДЦ регулатор). Поменута два рада нуде решење за подешавање параметара регулатора побуде за било који побудни систем описан параметарским моделом, али је могућа примена и на широку класу индустријских процеса описаних и параметарским и непараметарским моделима, што ће такође бити разрађено у тези.

Примарни задатак оптимизације алгоритма управљања јесте задовољавајуће одржавање регулисане величине око задате референтне вредности, тако да је ефикасност потискивања поремећаја главни критеријум при пројектовању регулатора, за разлику од одзива система на референцу што је случај са већином радова које користе хеуристичке методе оптимизације. У случају побудног система синхроног генератора, регулатор треба да одржи статорски напон при уобичајеним поремећајима у мрежи: кратки спојеви, испад далеководна или другог генератора, комутација компензатора реактивне снаге итд. Оптимизација одзива на референцу је од секундарног значаја јер се жељене перформансе могу накнадно обликовати помоћу такозваног 2DOF (eng. *2 Degree of Freedom*) приступа. Ипак, потребно је да предложени алгоритам понуди решење и за обликовање одзива на референцу, јер деловања надређених регулационих петљи (напр. стабилизатор електроенергетског система) утиче на систем преко промене референце.

Додатни захтев је робусност на промену параметара модела процеса. Уобичајена пракса код побудних система је да се регулатор подешава у празном ходу када генератор није повезан на мрежу. Понашање генератора и будилице се мења када се генератор повеже на мрежу као и када се мења конфигурација мреже и снага генератора. Поред такозваних контролних модова јављају се осцилаторни модови који су последица интеракције електричног подсистема и машинског подсистема синхроног генератора. Стога је потребно гарантовати стабилност система у свим радним условима робустним пројектовањем параметара регулације.

Осетљивост управљања на присуство мерног шума је битан фактор који додатно ограничава перформансе система али уважава реална ограничења која постоје на физичком моделу. Наиме, функција осетљивости на мерни шум дефинише активност управљачког сигнала. Максимална могућа вредност управљачког сигнала је дефинисана димензионисањем енергетске опреме (побудни трансформатор, тиристорски мост). Перформансе система су ограничене са максималном вредности функције осетљивости на мерни шум. У дисертацији ће бити узето у обзир подешавање регулатора побуде које потискује поремећај тако што минимизује интеграл грешке на степ промену поремећаја на излазу IAE_d , при ограничењима максималних вредности функција осетљивости и/или комплементарне функције осетљивости и осетљивости на мерни шум. Проблем пројектовања ће бити постављен на начин да се формирају два супростављена захтева: потиснути поремећај уз ограничење максималне функције осетљивости и/или максималне комплементарне функције осетљивости, и повећана ширина пропусног опсега система у затвореној повратној спрези при ограничењу максималне осетљивости на мерни шум.

У циљу верификације предложене методе која респектује физичка ограничења и реални мерни шум спровешће се експериментална испитивања на хардверском прототипу побудног регулатора. Реализација мерења, микропроцесорског управљања претварачем и имплементација предложеног алгоритма је неопходан део развоја да би се верификовала ефикасност и практична употребљивост предложене методе. У дисертацији ће бити презентовани и експериментални резултати од којих се очекује да буду у сагласности са резултатима добијеним теоријском анализом и симулацијом у програмском пакету MATLAB.

Референце:

- [1] IEEE Standard Association. "IEEE Recommended Practice for Excitation System Models for Power System Stability Studies. IEEE 421.5-2016." *IEEE 421.5-2016* (2016): 1-207.
- [2] Kumari, Rajni, and Ajit Kumar. "Power system stabilizer design for ideal AVR using local measurements." *International Journal of Electrical Power & Energy Systems* 150 (2023): 109061.
- [3] Rodrigues, Frank, et al. "Simultaneous tuning of the AVR and PSS parameters using particle swarm optimization with oscillating exponential decay." *International Journal of Electrical Power & Energy Systems* 133 (2021): 107215.
- [4] Verrelli, Cristiano Maria, et al. "Nonlinear robust coordinated PSS-AVR control for a synchronous generator connected to an infinite bus." *IEEE Transactions on Automatic Control* 67.3 (2021): 1414-1422.
- [5] Abubakr, Hussein, et al. "The concept of direct adaptive control for improving voltage and frequency regulation loops in several power system applications." *International Journal of Electrical Power & Energy Systems* 140 (2022): 108068.
- [6] Liu, Hui, et al. "Compatible decentralized control of AVR and PSS for improving power system stability." *IEEE Systems Journal* 15.2 (2020): 2410-2419.
- [7] Chatterjee, Shamik, and V. Mukherjee. "PID controller for automatic voltage regulator using teaching-learning based optimization technique." *International Journal of Electrical Power & Energy Systems* 77 (2016): 418-429.
- [8] Mosaad, Ahmed M., Mahmoud A. Attia, and Almoataz Y. Abdelaziz. "Whale optimization algorithm to tune PID and PIDA controllers on AVR system." *Ain Shams Engineering Journal* 10.4 (2019): 755-767.
- [9] Sahib, Mouayad A. "A novel optimal PID plus second order derivative controller for AVR system." *Engineering Science and Technology, an International Journal* 18.2 (2015): 194-206.
- [10] Ekinci, Serdar, and Baran Hekimoğlu. "Improved kidney-inspired algorithm approach for tuning of PID controller in AVR system." *IEEE Access* 7 (2019): 39935-39947.
- [11] Köse, Ercan. "Optimal control of AVR system with tree seed algorithm-based PID controller." *IEEE Access* 8 (2020): 89457-89467.
- [12] Bakir, Huseyin, et al. "Improved Lévy flight distribution algorithm with FDB-based guiding mechanism for AVR system optimal design." *Computers & Industrial Engineering* 168 (2022): 108032.
- [13] Ekinci, Serdar, et al. "An effective control design approach based on novel enhanced aquila optimizer for automatic voltage regulator." *Artificial Intelligence Review* 56.2 (2023): 1731-1762.
- [14] Ortiz-Quisbert, Marco E., et al. "Optimal fractional order adaptive controllers for AVR applications." *Electrical Engineering* 100 (2018): 267-283.
- [15] Ayas, Mustafa Sinasi, and Erdinc Sahin. "FOPID controller with fractional filter for an automatic voltage regulator." *Computers & Electrical Engineering* 90 (2021): 106895.
- [16] Mok, RenHao, and Mohd Ashraf Ahmad. "Fast and optimal tuning of fractional order PID controller for AVR system based on memorizable-smoothed functional algorithm." *Engineering Science and Technology, an International Journal* 35 (2022): 101264.
- [17] Oziablo, Piotr, Dorota Mozyrska, and Małgorzata Wyrwas. "Fractional-variable-order digital controller design tuned with the chaotic yellow saddle goatfish algorithm for the AVR system." *ISA transactions* 125 (2022): 260-267.
- [18] Paliwal, Nikhil, Laxmi Srivastava, and Manjaree Pandit. "Equilibrium optimizer tuned novel FOPID-DN controller for automatic voltage regulator system." *International Transactions on Electrical Energy Systems* 31.8 (2021): e12930.
- [19] Dogruer, Tufan, and Mehmet Serhat Can. "Design and robustness analysis of fuzzy PID controller for automatic voltage regulator system using genetic algorithm." *Transactions of the Institute of Measurement and Control* 44.9 (2022): 1862-1873.
- [20] Chatterjee, Shamik, et al. "Optimal real-time tuning of autonomous distributed power systems using modern techniques." *Frontiers in Energy Research* (2023).

- [21] Åström, Karl Johan, Hélène Panagopoulos, and Tore Hägglund. "Design of PI controllers based on non-convex optimization." *Automatica* 34.5 (1998): 585-601.
- [22] Panagopoulos, Hélène, K. J. Astrom, and T. Hagglund. "Design of PID controllers based on constrained optimisation." *IEE Proceedings-Control Theory and Applications* 149.1 (2002): 32-40.
- [23] Skogestad, Sigurd. "Simple analytic rules for model reduction and PID controller tuning." *Journal of process control* 13.4 (2003): 291-309.
- [24] Kristiansson, Birgitta, and Bengt Lennartson. "Evaluation and simple tuning of PID controllers with high-frequency robustness." *Journal of Process Control* 16.2 (2006): 91-102.
- [25] Sekara, Tomislav B., and Miroslav R. Matausek. "Optimization of PID controller based on maximization of the proportional gain under constraints on robustness and sensitivity to measurement noise." *IEEE Transactions on Automatic Control* 54.1 (2009): 184-189.
- [26] Vrančić, Damir, et al. "Improving disturbance rejection of PID controllers by means of the magnitude optimum method." *ISA transactions* 49.1 (2010): 47-56.
- [27] Mandić, Petar D., et al. "A new optimisation method of PIDC controller under constraints on robustness and sensitivity to measurement noise using amplitude optimum principle." *International Journal of Control* (2021): 1-15.
- [28] Grimholt, Chriss, and Sigurd Skogestad. "Optimal PI and PID control of first-order plus delay processes and evaluation of the original and improved SIMC rules." *Journal of Process Control* 70 (2018): 36-46.
- [29] Garpinger, Olof, and Tore Hägglund. "Software-based optimal PID design with robustness and noise sensitivity constraints." *Journal of Process Control* 33 (2015): 90-101.
- [30] Mercader, Pedro, et al. "Robust PID design based on QFT and convex-concave optimization." *IEEE transactions on control systems technology* 25.2 (2016): 441-452.
- [31] Veinović, Slavko, Djordje Stojić, and Dušan Joksimović. "Optimized four-parameter PID controller for AVR systems with respect to robustness." *International Journal of Electrical Power & Energy Systems* 135 (2022): 107529.
- [32] Veinović, Slavko, Djordje Stojić, and Luka Ivanović. "Optimized PID2 controller for AVR systems regarding robustness." *International Journal of Electrical Power & Energy Systems* 145 (2023): 108646.

3. Полазне хипотезе

- Регулатор побуде је део побудног система чији је примарни задатак регулација напона синхроног генератора при поремећајима у мрежи;
- Ефикасност отклањања поремећаја треба да буде главни критеријум при пројектовању регулатора напона;
- Дobar показатељ перформанси регулације је интеграл апсолутне грешке на степ промену поремећаја на излазу, индекс IAE_d ;
- Како параметри система варирају при различитим режимима рада генератора на мрежи потребно је да регулатор напона поседује одређену робусност на промену параметара;
- Максималне вредности функција осетљивости су показатељ робусности система;
- Физичка ограничења управљачког сигнала, напона побуде, лимитирају пропусни опсег који се може остварити и треба их уважити приликом пројектовања регулатора;
- Задате очекиване перформансе које систем у затвореној спреси треба да постигне потребно је дефинисати у простору параметара који не зависи од конкретних параметара система којим се управља;
- Осетљивост регулатора на мерни шум присутан у индустријском окружењу треба узети у обзир приликом пројектовања регулатора;
- Начин дискретизације и имплементације мерења и регулације на микропроцесорском уређају може да утиче на очекиване перформансе.

4. Научне методе истраживања

Почетни део истраживања обухватиће прикупљање и анализу стандарда и научних радова из области пројектовања и реализације регулатора побуде синхроних регулатора. Увидом у литературу, дошло би се до одлуке о ужем правцу истраживања узимајући у обзир реална ограничења и потребу примене у реалним побудним системима. На основу постављених полазних хипотеза кандидат би конструисао управљачки хардвер и разрадио оригинални поступак подешавања напонског регулатора који решава супростаљене захтеве по питању робусности и перформанси.

За прорачун параметара различитих система, а пре свега побудних, који су представљени параметарским и непараметарским моделима, предвиђена је употреба програмског пакета MATLAB, а по потреби и других одговарајућих алата. Иницијална анализа перформанси добијеног управљачког алгоритма биће спроведена софтверском симулацијом и поређењем са перформансама постојећих алгоритама, уз додатну анализу применљивости у индустријској пракси.

За експерименталну верификацију резултата дисертације користиће се као објекат управљања синхрони генератор мање снаге повезан на мрежу. Регулатор напона, мерење електричних величина и генерисање управљачких сигнала ће бити имплементирани на наменском микропроцесорском хардверу. Како генератори мање снаге немају будилицу, да би се сачувао ред система, будилица ће бити софтверски емулирана, тако да ће се динамичко понашање експерименталног хардвера понашати на исти начин као и реални побудни системи.

5. Очекивани научни допринос

- Модификација стандардног модела из литературе који је служио за анализу и поређење алгоритама управљања, на начин да више одговара реалним побудним системима;
- Преглед савремених метода за подешавање параметара напонских регулатора у побудним системима;
- Пројектовање и реализација управљачке електронике савременог микропроцесорског регулатора побуде синхроних генератора.
- Нова метод подешавања параметара напонског ПИД регулатора где се налази оптимално решење минимизацијом интегралне грешке одзива на поремећај при задатим ограничењима која дефинише захтевана робусност;
- Испитивање могућности примене напонских регулатора вишег реда за побудне системе и развој метода за подешавање параметара таквих регулатора;

6. План истраживања

У првој фази истраживања, детаљно би се размотрила релевантна литература која за тему има побудне системе синхроних генератора. Посебна пажња би се посветила савременим оптимизационим техникама које су коришћене за пројектовање напонских регулатора.

Потом би се приступило развоју математичког модела елемената побудног система и синхроног генератора повезаног на енергетски систем у циљу добијања модела на основу којег би се пројектовали напонски регулатори.

Прва испитивања и анализе метода које су развијене за подешавање параметара регулатора побуде би се спровеле у симулационим пакетима и алатима као што је MATLAB.

Потом би се пројектовала управљачка електроника и енергетика за реализацију побудног система за мали лабораторијски генератор на коме би се извршила експериментална испитивања и практично верификовале предложене методе.

7. Закључак и предлог

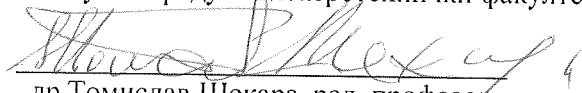
Разматрајући резултате у досадашњем научно-истраживачком раду кандидата Славка Веиновића, Комисија сматра да кандидат испуњава све услове за реализацију предвиђених истраживања. Сагледавајући наведене циљеве, очекиване резултате и доприносе, Комисија је у потпуности сагласна да предложена тема са насловом „Пројектовање и реализација управљачке електронике и напонских регулатора у побудним системима синхроних генератора“ задовољава све услове подобности за докторску дисертацију. Имајући у виду све наведено, Комисија предлаже Наставно-научном већу Електротехничког факултета Универзитета у Београду да кандидату Славку Веиновићу одобри израду докторске дисертације под називом „Пројектовање и реализација управљачке електронике и напонских регулатора у побудним системима синхроних генератора“, под менторством др Милана Поњавића и др Томислава Шекаре.

У Београду, 11.06.2023. године

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ



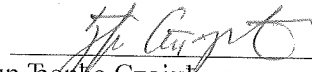
др Милан Поњавић, ред. професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



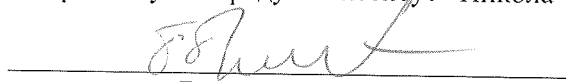
др Томислав Шекара, ред. професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



др Радивоје Ђурић, ванр. професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



др Ђорђе Стојиљковић, виши научни сарадник
Универзитет у Београду – Институт “Никола Тесла”



др Богдан Брковић, доцент
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет

