

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Подобност теме и кандидата Александре Марјановић, дипл. инж. електротехнике-мастер за израду докторске дисертације „Управљање температурном расподелом у котловима термоенергетских система на бази *extremum seeking* стратегије“.

Одлуком бр. 5015/10-1 од 11.07.2016. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности теме и кандидата Александре Марјановић за израду докторске дисертације и научне заснованости теме „Управљање температурном расподелом у котловима термоенергетских система на бази *extremum seeking* стратегије“. На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Александра Љ. Марјановић је рођена 16.09.1986. године у Ваљеву. Основну школу је завршила у Ваљеву као ђак генерације, као добитник Вукове дипломе, као и бројних награда на републичким и савезним такмичењима из математике и физике. Електротехнички факултет у Београду је уписала 2005. године. На Одсеку за сигнале и системе дипломирала је са просечном оценом 9.89. Мастер студије на истом Одсеку завршила је са просечном оценом 10.00. Докторске студије на Електротехничком факултету је уписала 2010. године на модулу Управљање системима и обрада сигнала.

Током школовања добила је Награду за најбољег студента на Одсеку за сигнале и системе (2006). Била је стипендиста Фондације за развој научног и уметничког подмлатка, као и стипендиста општине Ваљево (2001-2010). Стипендију института Михаило Пупин добила је 2008. године, док је стипендиста Министарства омладине и спорта, Фонда за младе таленте била 2008. и 2009. године. Стипендију Фондације др Зоран Ђинђић за стручно усавршавање у Немачкој добила је 2009. године, где је у периоду од шест месеци (јун-децембар) обављала праксу на Институту IHP GmbH, Innovations for High Performance Microelectronics, System Department, као члан тима MIMAX пројекта. У току јула 2013. године, Александра Марјановић је боравила на Универзитету у Сан Дијегу, Калифорнија (UCSD, Cymer Center for Control Systems and Dynamics), под надзором проф. Мирослава

Крстића. У току 2013. и 2014. године била је полазник курсева Европског института за управљање (EECI – European Embedded Control Insitute).

Александра Марјановић је изабрана у звање сарадника у настави на Одсеку за сигнале и системе на Електротехничком факултету у Београду октобра 2010. године. Од октобра 2011. године изабрана је у звање асистента при истој катедри, где је ангажована на рачунским и лабораторијским вежбама предмета: Сигнали и системи (ОС2СИС/ОТ2СИС/ОЕ2СИС/ОФ2СИС/ОГ2СИС/ИР2СИС), Практикум из софтверских алата (ОС2ПСА/ОФ2ПСА), Основи система управљања (ОТ3ОСУ/ОЕ3ОСУЕ), Системи аутоматског управљања 1 (ОС3СА1), Системи аутоматског управљања 2 (ОС3СА2), Нелинеарни системи управљања (ОС3НСУ), Спектрална анализа сигнала (ОС3САС), Практикум из дигиталне обраде сигнала (ОС3ПДО), Препознавање облика (ОС4ПО/МС1ПО), Обрада и препознавање говора (ОС4ОПГ/МС1ОПГ), Нелинеарни системи управљања 2 (ОС4НС2), Мултиваријабилни системи управљања (ОС4МСУ/МС1МСУ), Методе нелинеарне регулације (МС1МЕР), Методе soft-computing-а (МС1МСЦ), Системи одлучивања у медицини (ОФ3СОМ/МС1СОМ). Један је од коаутора уџбеника Сигнали и системи – Збирка решених задатака, који се користи у извођењу наставе на предмету Сигнали и системи.

1.2. Сечено научноистраживачко искуство

Област истраживања Александре Марјановић обухвата обраду сигнала, теорију естимације, препознавање облика, моделирање и идентификацију система и њихову примену у оптимизацији процеса управљања и пројектовању техника за детекцију и изолацију отказа. У току рада на Факултету, учествовала је на неколико пројеката, између осталог: ФП7 пројекат PRODI (Power plants robustification based on fault detection and isolation algorithms), пројекат Министарства за науку и технолошки развој "Повећање енергетске ефикасности и расположивости у системима за производњу и пренос електричне енергије развојем нових метода за дијагностику и рану детекцију отказа", ЕУРЕКА пројекат NEUROTEMP (New Approach to Temperature Process Control Based on Soft Computing Methods), ТЕМПУС пројекат NeReLa (Building network of remote labs for strengthening university-secondary vocational schools collaboration), пројекат билатералне сарадње између Италије и Србије RODEO (Robust decentralized estimation for large-scale system).

Александра Марјановић је докторске студије уписала 2010. године на Електротехничком факултету Универзитета у Београду, где је положила све испите са просечном оценом 10.00. Одређен јој је ментор дисертације, проф. Жељко Ђуровић, и период 2010. до 2016. године провела је у истраживању и припреми докторске тезе. Тема која је предложена за докторску дисертацију овог кандидата има мултидисциплинарни карактер. Досадашњи резултати кандидата приказани су кроз неколико публикација и то: 6 радова у међународним часописима (од тога један из категорије M21), 1 рад у домаћем часопису, 14 радова на међународним конференцијама, 10 радова на домаћим конференцијама (дато у прилогу Списак публикација). Такође је коаутор збирке решених задатака, приручника за удаљене експерименте и поглавља у тематском зборнику. У даљем тексту је наведен списак публикација на којима је Александра Марјановић коаутор.

Радови у врхунским међународним часописима (M21)

1. N. Shashoa, G. Kvašček, **A. Marjanović**, Ž. Đurović, Sensor fault detection and isolation in a thermal power plant steam separator, Control engineering practice, Vol. 21, No. 7, pp. 908-916, 2013, ISSN: 0967-0661, DOI:10.1016/j.conengprac.2013.02.012. (IF 1.912)

Радови у научним часописима (M53)

1. **A. Marjanović**, M. Krstić, Z. Đurović, G. Kvašček and V. Papić, Combustion distribution control using the extremum seeking algorithm, Journal of Physics: Conference Series, Vol. 570, No. 5, 2014, DOI:10.1088/1742-6596/570/5/052001
2. S. Vujnović, P. Todorov, Ž. Đurović, **A. Marjanović**, The use of Bayesian Networks in Detecting the States of Ventilation Mills in Power Plants, Electronics, Vol. 18, No. 1, pp. 16-22, 2014. ISSN: 1450-5843, DOI: 10.7251/ELS1418016V
3. G. Kvašček, Z. Djurović, **A. Marjanović**, A Practical Solution for Control of Fan Drives Load in Thermal Power Plants, Advanced Science Letters, Vol. 19, No. 5, pp. 1387-1392, 2013, ISSN: 1936-6612, DOI: 10.1166/ASL.2013.4461
4. G. Kvašček, **A. Marjanović**, Ž. Đurović, Robust adaptive system identification of steam separator process in thermal power plants, Electronics, Vol. 15, No. 2, pp. 49-53, 2011, ISSN 1450 -5843
5. **A. Marjanović**, Ž. Đurović, B. Kovačević, Fault detection in a three tank system based on sequential hypothesis testing, Facta Universitatis – Series: Automatic Control And Robotics, Vol. 9, No. 1, pp. 79-86, 2010, ISSN: 1820-6417, UDC: 621.642.3

Радови у часописима националног значаја (M52)

1. **A. Marjanović**, G. Kvašček, P. Tadić, Ž. Đurović, Application of predictive maintenance techniques in industrial systems, Serbian journal of electrical engineering, Vol. 8, No. 3, pp. 263-279, 2011, ISSN: 1451 – 4869, DOI: 10.2298/SJEE1103263M, UDC: 658.58

Саопштење са међународног скупа штампано у целини (M33)

1. **A. Marjanović**, D. Hercog, S. Vujnović, P. Todorov, Evaluation of remote experiments in teaching of control theory, IcETRAN 2016, Zlatibor, Serbia, 2016
2. G. Fadda, A. Pilloni, A. Pisano, E. Usai, **A. Marjanovic**, S. Vujnovic, Multiple fault diagnosis by signature recognition of time-varying residuals, accepted for presentation at 3rd International Conference on Control and Fault-Tolerant Systems, SysTol'16, Barcelona, Spain, 2016
3. P. Tadić, Ž. Đurović, **A. Marjanović**, S. Vujnović, Fault diagnosis in nonlinear stochastic systems via particle filtering, 23rd Telecommunications forum (TELFOR), Belgrade, Serbia, 2015, ISBN: 978-1-5090-0054-8
4. G. Fadda, A. Pilloni, A. Pisano, E. Usai, **A. Marjanovic**, S. Vujnovic, A combined model-based data-driven approach for FDI in a water-steam power plant, Automatica.it 2015, Bari, Italy, 2015
5. G. Fadda, A. Pilloni, A. Pisano, E. Usai, **A. Marjanovic**, S. Vujnovic, Sensor fault diagnosis in water-steam power plant: A combined observer-based/pattern-recognition approach, International Workshop on Recent Advances in Sliding Modes (RASM), Istanbul, Turkey, 2015, doi: 10.1109/RASM.2015.7154643
6. N. Cimbaljević, **A. Marjanović**, G. Kvašček, License plate character recognition based on hopfield networks, IcETRAN 2015, Srebrno jezero, Serbia, 2015, ISBN: 978-86-80509-71-6
7. **A. Marjanović**, M. Krstić, Ž. Đurović, G. Kvašček, V. Papić, Combustion distribution control using the extremum seeking algorithm, 11th European Workshop on Advanced Control and Diagnosis (ACD2014), Berlin, Germany, 2014, <http://acd2014.htw-berlin.de/>

9. **A. Marjanović**, M. Jakovljević, G. Kvašćev, Ž. Đurović, Combustion process control based on flame visualization, Power turbines Europe 2013, Lisbon, Portugal, 2013, <http://eventfulpower.com/power-turbines-europe-2013.html>
10. **A. Marjanović**, G. Kvašćev, Ž. Đurović, Comparison of identification procedures in the frame of fault detection and isolation, IEEE Multi-Conference on Systems and Control (MSC2012), Dubrovnik, Croatia, 2012, DOI: 10.1109/CCA.2012.6402447, ISSN :1085-1992
11. G. Kvašćev, Z. Djurović, **A. Marjanović**, A Practical Solution for Control of Fan Drives Load in Thermal Power Plants, International Conference on Advanced Electrical Engineering (ICAEE2012), Hong Kong, September 4-5, 2012, <http://hkimss.com/icaee2012/index.htm>
12. G. Kvašćev, **A. Marjanović**, P. Tadić, Ž. Đurović, To Robust Identification of Water Steam-separator Process in Thermal Power Plants, IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT2012), Athens, Greece, 2012, DOI: 10.1109/ICIT.2012.6209945, ISBN:978-1-4673-0340-8
13. **Marjanović**, Ž. Đurović, G. Kvašćev, P. Tadić, Fault Detection and Isolation in Steam Separator System Using Hidden Markov Models, Proceedings of the 9th European Workshop on Advanced Control and Diagnosis (ACD2011), Budapest, Hungary, 2011, <http://www.conferences.hu/acd2011/>
14. **Marjanović**, Ž. Đurović, B. Kovačević, Fault detection in a three tank system based on sequential hypothesis testing, X Triennial International SAUM Conference on Systems, Automatic Control and Measurements (SAUM2010), Niš, Serbia, 2010, ISBN: 978-86-6125-020-0

Saopštenje sa skupa nacionalnog značaja štampano u целини (M63)

1. L. Cokić, **A. Marjanović**, P. Tadić, G. Kvašćev, Analiza uticaja reda prediktora i pola govornika na odnos signal/šum za diferencijalni kvantizator, ETRAN 2016, Zlatibor, Srbija, 2016
2. **A. Marjanović**, A. Rakić, P. Tadić, Udaljeno upravljanje vazdušnom levitacijom: edukacioni aspekti, ETRAN 2015, Srebrno jezero, Srbija, 2015, ISBN: 978-86-80509-71-6
3. D. Drašković, **A. Marjanović**, N. Vitorović, I. Mitrović, M. Popović, J. Protić, Prikupljanje podataka na Elektrotehničkom fakultetu za U-Multirank rangiranje Univerziteta u Beogradu, 20. skup "Trendovi razvoja", pp. 34-37, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Kopaonik, Srbija, 2014, ISBN: 978-86-7892-594-8
4. **A. Marjanović**, G. Kvašćev, P. Todorov, Ž. Đurović, Upravljanje prostornom raspodelom temperature u kotlu na osnovu vizuelizacije procesa sagorevanja, ETRAN 2013, Zlatibor, Srbija, 2013, ISBN 978-86-80509-68-6
5. N. Shashoa, G. Kvašćev, **A. Marjanović**, B. Kovačević, Application of two stage identification procedure in the frame of FDI, ETRAN 2013, Zlatibor, Srbija, 2013, ISBN 978-86-80509-68-6
6. J. Protić, **A. Marjanović**, D. Drašković, N. Kojić, U. Romić, D. Marković, B. Kovačević, Softverski aspekti procedure samovrednovawa Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu, YU INFO 2013, pp. 595-600, Kopaonik, Srbija, 2013, ISBN: 978-86-85525-11-7
7. **A. Marjanović**, G. Kvašćev, P. Tadić, Skriveni Markovljevi modeli u detekciji otkaza u industrijskim postrojenjima, ETRAN 2012, Zlatibor, Srbija, 2012, ISBN: 978-86-80509-67-9
8. V. Papić, **A. Marjanović**, B. Kovačević, Analiza uticaja parametara Harrisovog detektora na izdvajanje invarijantnih obeležja u slici, ETRAN 2012, Zlatibor, Srbija, 2012, ISBN 978-86-80509-67-9
9. G. Kvašćev, **A. Marjanović**, N. Shashoa, Robusna adaptivna identifikacija parametara separatora pare kotlovskih termoelektričnih postrojenja, ETRAN 2011, Banja Vrućica, Bosna i Hercegovina, 2011, ISBN: 978-86-80509-66-2
10. **A. Marjanović**, G. Kvašćev, P. Todorov, Jedan pristup detekciji otkaza na bazi identifikacije procesa i testiranja hipoteza, ETRAN 2011, Banja Vrućica, Bosna i Hercegovina, 2011, ISBN: 978-86-80509-66-2

Монографска библиографска публикација (M43)

1. V. Papić, P. Tadić, **A. Marjanović**, Signali i sistemi – Zbirka rešenih zadataka, Akademsko misao, Beograd, 2013, ISBN: 978-86-7466-453-7

Поглавље у књизи M42 или рад у тематском зборнику националног значаја (M14)

1. S. Vujnović, **A. Marjanović**, G. Kvašćev, Ž. Đurović, Remote experiment system in education of electrical engineering (Daljinski sistem eksperimenata u obrazovanju elektroinženjera: Primer upravljanja procesima), Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu, Maj 2015.
2. G. Fadda, M. Franceschelli, A. Pilloni, A. Pisano, E. Usai, Ž. Đurovic, **A. Marjanović**, V. Papić, P. Tadić, S. Vujnović, RObust Decentralised Estimation fOr large-scale systems (RODEO), chapter in e-book Italian - Serbian Cooperation on Science, Technology and Humanities, SIGRa star, Belgrade, Serbia, 2015, ISBN 978-86-7522-048-0.

Дана 14.07.2016. године Александра Марјановић је полагала испит о подобности теме и кандидата (докторски испит) пред комисијом у саставу: професор Бранко Ковачевић, доцент Жељко Ђуришић и доцент Горан Квашчев. Професор Мирослав Крстић није био у могућности да присуствује овом испиту, али је дао писану сагласност да се тај испит одржи без његовог присуства и изјаву да је сагласан са закључком остатка Комисије. Оцена Комисије је да је кандидаткиња Александра Марјановић на том испиту добила оцену: задовољила.

1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

Током писања овог Извештаја, Комисија је узела у обзир све претходно наведене чињенице и резултате досадашњег рада кандидаткиње Александре Марјановић. Такође су са посебном пажњом размотрена искуства која је стекла, како кроз образовни, тако и истраживачки процес. Узимајући у обзир све наведене компоненте које чине истраживачки профил кандидаткиње за докторску дисертацију, Комисија је стекла увид у њене способности за научно-истраживачки рад, као и њене могућности да током израде предложене докторске дисертације оствари резултате који могу бити приказани и валоризовани од стране међународне научне заједнице. Став Комисије је позитиван и након детаљног образложења саме теме предложиће да она буде усвојена, а кандидаткињи дата могућност да настави са израдом докторске дисертације.

2. Предмет и циљ истраживања

Термоелектране представљају већинске произвођаче електричне енергије у свету, што за последицу има сталне покушаје унапређења у виду смањења губитака и штетних утицаја на животну средину уз повећање ефикасности, расположивости и прихода. Поменути ефекти су у директној вези са процесом сагоревања, због чега су праћење понашања, управљање и оптимизација овог процеса од суштинског значаја [1], [2]. Ове потребе су често ограничене могућностима надгледања и контроле процеса сагоревања. Обично се за сагледавање овог процеса анализира неко од доступних мерења добијених из хемијских анализатора садржаја угљен-моноксида или кисеоника у димним гасовима, што је корисно за оцену квалитета сагоревања фосилних горива. Међутим, ово су глобални показатељи и не говоре ништа о локалној расподели температура унутар ложишта.

Анализирани проблем је изузетно комплексан са два аспекта. Први је везан за непостојање егзактног и брзог модела, погодног за коришћење у реалном времену. Ово је додатна препрека у пројектовању адекватног контролног алгорита, па се трајна супервизија пламена у циљу развијања и унапређивања управљачких алгорита чини као валидна алтернатива. Конструкција котлова је најчешће таква да је инсталирани систем за регулацију концентрисан више на праћење параметара паре, него показатеље понашања ватре, тј. пламена. Други значајан проблем јесте непостојање опште прихваћеног квантитативног критеријума перформансе који ће бити мера квалитета температурне расподеле у ложишту. Са друге стране, детаљна анализа перформанси зависи и од тачности усвојеног модела и резолуције са којом се ради. Велика прецизност модела захтева дуже време симулирања различитих процеса у моделу, што најчешће није од користи за *online* употребу, тј. у оним ситуацијама у којима је потребно тренутно реаговати [3], [4].

Основна идеја побољшања регулационог циклуса укључује праћење температуре у самом ложишту. Бројни експерименти су потврдили да се проценом расподеле температуре у котлу, узимајући у обзир више различитих кота, стиче јасан увид у рад и квалитет процеса сагоревања, а самим тим и система у целисти. Локално мерење температуре у котлу, а самим тим и естимирање температурне расподеле, је врло комплексан поступак због неприступачности при инсталацији одговарајућих сензорских система (пирометарског система, термопарова), великог опсега температура које се остварују у котлу, као и варијација у самом оптерећењу под којим котао ради. На расподелу температуре се може утицати на различите начине: контролом протока ваздуха, квалитетом угља, процесом одшљакивања и друго, међутим највеће могућности нуди регулација броја активних млинова и њиховог учешћа. Корекција учешћа млинова се до сада углавном користила за локалне потребе (смањење оптерећења млина уколико се примети да долази до преоптерећености карактерисане повећањем температуре аеросмеше), међутим, систематичне анализе њеног утицаја на расподелу температуре, а самим тим и на целокупни процес сагоревања, у доступној литератури није било.

Управљање температуром у ложишту је поступак који се може искористити за унапређење перформанси котла, укључујући и безбедност и поузданост. Уколико то није испуњено, може доћи до разних нежељених исхода: повећаног таложења на зидовима прегрејача, економајзера, загрејача ваздуха и других подсистема котла, убрзане корозије прегрејача и загрејача, прегревања цеви конвекцијом, али и повећане температуре димних гасова на излазу из котла, која доводи до губитака топлоте и смањења ефикасности. Са финансијског аспекта, решење овог управљачког изазова може донети вишеструке користи. Првенствено, адекватним управљањем се продужава радни век компоненти котла, што директно утиче на смањење трошкова ремонта. Додатно, оджавањем температура на улазу у прегрејаче у жељеним границама, омогућава се унапређење процеса убризгавања, а са тиме и значајно смањење потребних водених ресурса и губитака енергије који се том приликом остварују.

У Републици Србији су најзаступљеније термоелектране које као радно гориво користе лигнит који има изузетно променљиву калоријску вредност и као такав представља стални извор поремећаја. Додатно, процес сагоревања је врло сложен и са пратећим подсистемима, изразито расподељен (дистрибуиран) систем са великим бројем улаза и излаза, па је сваки нумерички приступ моделирању само мало боља или лошија апроксимација нелинеарног, нестационарног система са расподељеним параметрима.

Због овога се за регулацију препоручују управљачке структуре које се не заснивају на моделу система. Једна од таквих структура је *extremum seeking (ES)* управљање које не захтева експлицитно познавање улазно-излазне карактеристике система, већ само постојање екстремне вредности која одговара жељеном понашању система у затвореној спрези и доступност мерења улаза и излаза.

ES стратегија се први пут појављује у литератури 1922. године када је *Maurice Leblanc* дао идејно решење за оптимизацију проблема бесконтактнoг преноса електричне енергије [5], а од тада се користи као алат за разне практичне изазове. Нагли развој и битни резултати у области ES уследили су после 2000. године, када је објављен први детаљан доказ стабилности класичне ES структуре коришћењем технике усредњавања [6]. Због чињенице да не захтева модел система, ES регулациона структура је робусна и ефикасна у многим применама [7-9]. Један од основних изазова јесте прилагођење овакве структуре примени у регулацији температурне расподеле у ложишту, а на основу формулисања одговарајуће критеријумске функције која би у обзир узимала само расположива мерења и ограничења у систему [10].

У даљем тексту су наведени релевантни радови из светске литературе који документују образложену сложеност и актуелност предложене теме.

Релевантни радови из области истраживања

Истраживачки рад у оквиру израде дисертације кандидата биће базиран на следећој литератури:

- [1] D. Flynn, "Thermal power plant simulation and control", IET, 2003.
- [2] W. Wojcik, K. Gromaszek, Z. Shegebayeva, B. Suleimenov, B. Aron. *Optimal Control for Combustion Process*. Przegląd Elektrotechniczny, 90(4):157-160, 2014.
- [3] M. Stöllinger, B. Naud, D. Roekaerts, N. Beishuizen, and S. Heinz, "Pdf modeling and simulations of pulverized coal combustion—part 1: Theory and modeling," *Combustion and Flame*, vol. 160, no. 2, pp. 384–395, 2013.
- [4] M. Stöllinger, B. Naud, D. Roekaerts, N. Beishuizen, and S. Heinz, "Pdf modeling and simulations of pulverized coal combustion—part 2: Application," *Combustion and Flame*, vol. 160, no. 2, pp. 396–410, 2013.
- [5] M. Leblanc, "Sur l'electrification des chemins de fer au moyen de courants alternatifs de frequence elevee," *Revue Generale de l'Electricite*, 1922.
- [6] H.-H. Wang and M. Krstic, "Extremum seeking for limit cycle minimization," *IEEE Trans. Autom. Control*, vol. 45, pp. 2432–2437, 2000.
- [7] A. Ghaffari, M. Krstic, and S. Seshagiri, "Power optimization and control in wind energy conversion systems using extremum seeking," in *American Control Conference (ACC)*, 2013. IEEE, pp. 2241–2246, 2013.
- [8] R. Singh, M. Kearney, C. Manzie, "Extremum-seeking control of a supercritical carbon-dioxide closed Brayton cycle in a direct-heated solar thermal power plant," *Energy*, vol. 60, pp. 380–387, 2013.

[9] E. Schuster, C. Romero, Z. Yao, and F. Si, "Integrated real-time optimization of boiler and post-combustion system in coal-based power plants via extremum seeking," in Control Applications (CCA), 2010 IEEE International Conference on. IEEE, pp. 2184–2189, 2010.

[10] A. Marjanovic, M. Krstic, Ž. Đurovic, G. Kvascev, and V. Papic, "Combustion distribution control using the extremum seeking algorithm," Journal of Physics: Conference Series, vol. 570, no. 5, 2014.

3. Полазне хипотезе

Истраживање се заснива на следећим хипотезама:

- Управљање расподелом температуре на основу корекције учешћа млинова је контролабилан проблем и има $(n - 1)$ степени слободе, где је n број активних млинова у раду термоенергетског блока.
- Кроз принцип опсервабилности се из бројних доступних мерења (са пирометарског система и термопарова) може локализовати и издвојити минималан скуп мерења од значаја.
- На основу доступних мерења улаза и излаза може се добити адекватан, довољно једноставан нестационаран параметарски модел од улазних учешћа додавача млинова до излазних температура.
- Могуће је пројектовати *ES* управљачки алгоритам који ће имати динамику бржу од промене параметара процеса и утицаја поремећаја, а истовремено спорију од динамике процеса сагоревања.
- Може се формирати критеријумска функција у нумеричкој форми чијом се минимизацијом постиже оптимална (или субоптимална) просторна расподела температура у котлу. Теоријски ова оптималност подразумева да геометријско место тачака са максималном температуром у котлу представља кружницу са центром у геометријском средишту котла.

4. Научне методе истраживања

Први део истраживања ће се односити на преглед већ постојећих техника за моделирање и управљање температурном расподелом у котловима термоелектрана. С обзиром на карактеристике проблема који ће се решавати у оквиру ове докторске дисертације, од познатих научних метода истраживања доминантно ће бити коришћене анализа, синтеза, апстракција, конкретизација, спецификација и генерализација. Конкретно, ове технике ће бити искоришћене за реализацију следећих активности:

- Спровођење великог броја експеримената који би обухватили рад система у различитим условима, као што су различите дислокације млинова, калоријске вредности угља, присуство поремећаја различитог типа (анализа, генерализација).
- Детаљна анализа снимљених података са циљем уочавања корелације између појединих учешћа млинова и доступних мерења температура (анализа, апстракција).
- Дефинисање критеријума квалитета расподеле температура на основу доступних мерења, са циљем постизања симетрије у геометрији пламена (синтеза, апстракција, спецификација).

- Прилагођање стандардне *ES* структуре са синусоидалним пертурбацијама за примену на конкретном проблему са више улаза, који се у пракси крећу у предефинисаном опсегу (синтеза, конкретизација, генерализација).
- Предлагање једноставног модела који ће бити коришћен за потребе тестирања предложеног алгоритма (синтеза, анализа, апстракција).
- Предлагање унапређења процеса убризгавања корекцијом учешћа додавача (синтеза, апстракција, генерализација).

Нова управљачка стратегија биће пројектована у програмском пакету MATLAB и тестирана на моделу добијеном из мерења снимљених у термоелектранама Никола Тесла, Обреновац.

5. Очекивани научни доприноси

Као резултати овог истраживања очекују се следећи научни доприноси:

- Прегледом одговарајуће литературе биће извршена анализа већ постојећих структура за регулацију расподеле температуре, као и примене *ES* стратегије у управљању процесима са акцентом на термоенергетска постројења.
- Биће извршена детаљна анализа природе и модела расподеле температурног процеса у зависности од учешћа млинова, која ће као коначан исход дати јасан увид у утицај појединих млинова на температуре измерене на различитим котима котла.
- Очекује се могућност упрошћења врло сложеног управљачког алгоритма у виду смањеног броја контролних варијабли.
- Биће предложен нови начин приступања проблему симетрије геометрије пламена у виду јединствене глобалне критеријумске функције на бази мерења температуре са назначеним потецијалним проширењима у циљу укључивања ограничења управљачких променљивих.
- Биће предложен нови приступ управљања температурном расподелом на основу корекције ложења млинова заснован на *ES* алгоритму, који ће се, захваљујући својој адаптивној природи и чињеници да не користи модел процеса, показати као врло ефикасан у регулацији овог нестационарног процеса, чак и у присуству поремећаја.
- Биће предложен нови начин унапређења процеса убризгавања на основу прилагођења учешћа додавача, а у циљу регулације температура на улазу у прегрејаче паре.
- Коначно, биће дата експериментална анализа предложене стратегије на расположивим подацима из термоелектрана Никола Тесла у Обреновцу, уз јасан преглед унапређења, као и потенцијалних изазова.

6. План истраживања и структура рада

План истраживања у оквиру ове дисертације састоји се из следећих кључних корака:

- Почетна фаза истраживања се односи на преглед литературе која се бави анализом температурне расподеле у котловима термоенергетских система, могућностима управљања и моделирања оваквог процеса, детаљним сагледавањем могућности *ES* стратегије у области управљања индустријским процесима, издвајање прегледних радова, систематизацију постојећих решења, издвајање предности и недостатака различитих техника и назнака очекиваних доприноса и унапређења увођењем нове регулационе структуре.
- Упознавање са принципима рада котла и његових подсистема, протоком масе и процесом сагоревања, карактеристикама тракта вода - пара и ваздух - димни гасови, као и постојећим условима у термоелектранама ТЕНТ-а, са имплементираним сензорским системом за мерење температуре и са карактеристикама актуатора.
- Детаљна анализа снимљених мерења, у циљу успостављања веза између улазних учешћа млинова, тј. њима пропорционалних брзина дозатора и излазних температурних сигнала и могућности редукције комплексности проблема моделирања, али и управљања, предлог довољно једноставног модела који описује зависност расподеле температура од учешћа млинова, а који се користи за додатне анализе самог процеса, као и тестирање контролног алгорита.
- Дефинисање одговарајуће критеријумске функције на основу мерења температуре, која адекватно описује геометријску симетрију пламена, као и развој новог регулационог алгорита на бази *ES* са редукованим бројем излаза, која користи претходно дефинисану критеријумску функцију ради постизања жељене температурне расподеле, а са коначним циљем смањења материјалних губитака и повећања енергетске ефикасности.
- Успостављање модела од учешћа млинова до температура на улазу у прегрејаче паре, за различите режиме рада, са различитим бројем и структуром активних млинова, као и предлагање контролног алгорита за одржање ових температура на што ближим вредностима, а са коначним циљем смањења материјалних губитака и повећања енергетске ефикасности.
- Анализа добијених резултата, истицање предности примене предложене методологије и издвајање ограничења у примени испројектованог приступа.

Структура саме тезе ће у великој мери пратити предложене фазе истраживања. Осим уводног поглавља предвиђена су три поглавља прегледног типа од којих ће прво бити посвећено опису котловског постројења са приказом и детаљно описаном улогом најзначајнијих актуатора (вентилатора свежег ваздуха, млинова,...), сензора (пирометарски систем,...), као и протока масе у трактовима вода-пара и ваздух-димни гас. Друго прегледно поглавље бити посвећено најчешће коришћеним управљачким стратегијама за регулацију у оваквим системима, а треће поглавље ће обухватати преглед развоја и улоге *extremum seeking* стратегије као управљачке процедуре која не захтева познавање модела. Пето поглавље ће садржати структуру и опис предложене управљачке структуре на конкретном примеру котла у термоелектранама ТЕНТ-а, као и детаљну анализу добијених резултата. Последња два поглавља садржаће закључке и коришћену литературу, респективно.

7. Закључак и предлог

Током писања овог Извештаја Комисија је узела у обзир све релевантне чињенице које формирају слику о подобности теме и кандидата за реализацију предвиђених истраживања. Имајући у виду резултате досадашњег рада кандидата Александре Марјановић који је показан у фази истраживања у оквиру докторске дисертације, њеног ангажовања као сарадника на високошколској установи и њеног истраживачког искуства, Комисија је стекла неспорни утисак да кандидат јесте способан за научно-истраживачки рад као и за реализацију предвиђених истраживања. Са друге стране, анализирајући предложену тему под називом "Управљање температурном расподелом у котловима термоенергетских система на бази *extremum seeking* стратегије", стављајући је у контекст савремених, актуелних научних истраживања, сагледавајући наведене непосредне циљеве, очекиване резултате и доприносе, Комисија је у потпуности сагласна да оваква тема задовољава све услове подобности за докторску дисертацију. При томе Комисија констатује да ова тема припада ужој научној области Управљање системима и обрада сигнала, да Електротехнички факултет Универзитета у Београду јесте матичан за ову научну област, и при томе за ментора рада предлаже проф. др Жељка Ђуровића запосленог на Електротехничком факултету у Београду. У контексту овог предлога, уз Извештај је приложен списак радова проф. Жељка Ђуровића који га квалификују за ментора.

Коначно, у закључку овог Извештаја, а имајући у виду све напред наведено, Комисија има част да Наставно-научном већу Електротехничког факултета у Београду предложи да прихвати тему докторске дисертације "Управљање температурном расподелом у котловима термоенергетских система на бази *extremum seeking* стратегије" и да кандидату Александри Марјановић омогући да приступи њеној изради.

У Београду,

дана 08.09.2016.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ


Проф. др Жељко Ђуровић, редовни професор
Универзитет у Београду - Електротехнички Факултет


Проф. др Бранко Ковачевић, редовни професор
Универзитет у Београду - Електротехнички Факултет


Проф. др Мирослав Крстић, редовни професор
University of California, San Diego, USA


др Жељко Ђуришић, доцент
Универзитет у Београду - Електротехнички Факултет


др Горан Квашчев, доцент
Универзитет у Београду - Електротехнички Факултет