

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Подобност теме и кандидата мр Сање Антић за израду докторске дисертације "Примена метода за детекцију и изолацију отказа заснованих на моделу у електро-механичким система"

Одлуком број бр. 966/1 од 30.06.2015. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности теме и кандидата Сању Антић за израду докторске дисертације и научне заснованости теме "Примена метода за детекцију отказа заснованих на моделу у електро-механичким системима". На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Кандидат мр Сања Антић (дев. Миленковић), дипл. инж. ел., је рођена 19. 08. 1976. године у Чачку. Основну школу и Гимназију у Чачку завршила као носилац дипломе Вук Караџић. Школске године 1995/96 уписује се као редован студент Електротехничког одсека, смера Индустријске енергетике на Техничком факултету у Чачку. Током студија више је пута награђивана за постигнуте успехе студирања. Дипломирала је 2000. године са просечном оценом 9.6 у току студија. Назив дипломског рада "Примена *fuzzy* логике у естимирању динамичког модела једносмерног мотора". Након завршетка студија награђена је и као најбољи дипломирани студент за 2000. годину.

У току завршне године студија ангажована на факултету као студент демонстратор за извођење вежби из предмета Основи електротехнике. Након завршетка студија од септембра 2001. године запослена као асистент приправник на Катедри за општу електротехнику и електронику Техничког факултета у Чачку, на предметима Основи електротехнике и Електрична мерења. Од јануара 2009. године ангажована је као асистент на предметима Електромоторни погони, Регулације електромоторних погона и Аутоматско управљање, а од септембра 2013. године и на Дигиталним системима управљања.

Последипломске студије уписала на Техничком факултету у Чачку 2002. године. На овом нивоу образовања избор предмета је био фокусиран у области Управљања континуалним и дигиталним системима, њихово моделовање и симулацију, идентификацију процеса система, рачунарско управљање системима као и пројектовању дигиталних филтара. Стекла је звање магистра техничких наука, смер - електротехника, научна област - Управљање системима 2009. године, са просечном оценом 10 на последипломским студијама. Назив магистарске тезе је био "Симулација и реализација напонско-струјног управљања микромотора једносмерне струје".

За израду докторске дисертације пријавила се 2010. године код проф. Жељка Ђуровића и период 2010. до 2015. године провела је у истраживању и припреми докторске дисертације.

Учесник је три пројекта националног и међународног значаја.

1.2. Сечено научноистраживачко искуство

Магистарски рад кандидата Сање Антић је одбраћен 16. 09. 2009. на Техничком факултету у Чачку, Универзитета у Крагујевцу, под називом: "Симулација и реализација напонско-струјног управљања микро-мотора једносмерне струје" а под руководством др Мирослава Бјекића, ванредног професора. Област истраживања магистарске тезе је била управљање електро-механичким системима. У ту сврху пројектован је претварач у форми линеарног електронског кола са операционим појачавачем, који може имати улогу напонско-напонског и напонско-струјног претварача за напонско тј. струјно управљање мотором. Посебна пажња у овом раду посвећена је мерењу каталошки непознатих трења мотора једносмерне струје: статичког, Coulumb -ово, вискозног, при чему је коришћено струјно управљање микро-мотором. Доказана је температурна зависност коефицијента вискозног трења. Развијен је модел система код кога се подразумева да је механичка веза мотор - оптерећење апсолутно крута. Овакав модел је био задовољавајући код поступка идентификације параметра мотора применом RLS методе, при пројектовању опсервера стања за процену угаоног помераја вратила мотора, као и при PI регулацији мотора применом напонског управљања. Анализиран је и ефекат торзионе резонанције при чему је било неопходно развити и модел микро-мотора управљаног струјом ротора код кога се узима у обзир коначна крутост осовине која повезује мотор и оптерећење. У циљу минимизирања ефеката торзионе резонанције предложено је пројектовање серијског антирезонантног компензатора у форми *notch* филтра.

Тема која је предложена за докторску дисертацију "Примена метода за детекцију отказа заснованих на моделу у електро-механичким система" и истраживање везано за ову тему се може сматрати наставком истраживања које је спроведено током рада на магистарском раду. Резултати добијени при мерењу каталошки непознатих трења у мотору се користе као релевантни у даљем раду на планираној теми. Истраживање се спроводи на истој лабораторијској опреми - DC мотору и претварачу уз коришћење NI Crio-9075 контролера, знатно бољих перформанси од NI 6009 картице употребљене у претходном истраживању. Током истраживања у процесу израде докторске дисертације кандидат је припремио и презентовао два рада на међународној конференцији, један рад који је припремљен и послат у међународни часопис *Quality and Reliability Engineering International* (према Kobsonu у категорији M22 са IF 1.191) док је други рад припремљен и у фази је лектуре енглеског, а планиран је за међународни часопис *Advances in Electrical and Computer Engineering* (према Kobsonu у категорији M23 са IF 0.476). Презентовани радови су:

[1] Antić S., Đurović Ž., *Permanent magnet dc motor additive faults detection and isolation*, Proceedings of 1st International Conference on Electrical, Electronic and Computing Engineering IcETRAN 2014, Vrnjačka Banja, Serbia, 2-5 June, 2014, AUI2.7, pp 1-6, (M33)

[2] Antić S., Đurović Ž., *Application of sliding integral algorithm for parametric fault detection of an DC motor amplifier*, Proceedings of 2st International Conference on Electrical, Electronic and Computing Engineering IcETRAN 2015, Srebrno jezero, Serbia, 8-11 June, 2015, AUI1.5 (M33)

Усмена одбрана подобности теме и кандидата (докторски испит) Сање Антић одржана је четвртак 2.07.2015. год. са почетком у 14h. Одбрани су присуствовали чланови комисије у саставу: Проф. др Бранко Ковачевић, редовни професор Електротехничког факултета Универзитета у Београду, Др Мирослав Бјекић, ванредни професор Факултета техничких наука у Чачку Универзитета у Крагујевцу и Др Милан Бебић, доцент Електротехничког факултета Универзитета у Београду. Кандидат је успешно положио докторски испит.

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 кандидата мр Сање Антић. Такође су са посебном пажњом размотрена искуства која је кандидат стекао, како кроз образовни, тако и истраживачки процес. Узимајући у обзир све наведене компоненте које чине истраживачки профил кандидата за докторску дисертацију, Комисија је стекла увид у способности кандидата за научно-истраживачки рад, као и његове 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 кандидату дата могућност да настави са израдом докторске дисертације.

2. Предмет и циљ истраживања

Са повећањем сложености система управљања, проблем њихове сигурности и робусности постаје све израженији. Поузданост, робусност, расположивост као и сигурност по околину оваквих система се углавном изражава кроз осетљивост на отказе који се у системима појављују потпуно случајно, па је отуда у инжењерској теорији и пракси развијена нова дисциплина која се назива *теоријом детекције и изолације отказа*. Уопштено говорећи, под отказима се подразумевају сва одступања од нормалног, уобичајеног понашања система или пратеће инструментације. Ипак је, са инжењерског аспекта, оваква дефиниција отказа исувише општа, те се стога, конкретно, могу дефинисати два типа отказа која су тренутно од интереса. То су адитивни и мултипликативни откази у процесу. Под адитивним отказима се подразумевају непознати улазни сигнали који желимо да детектујемо (што их разликује од поремећаја као такође непознатог улазног сигнала али чије присуство не желимо да детектујемо) и који утичу на одзив система, који су уобичајено једнаки нули, и чији се утицај, у времену трајања отказа, огледа у значајној промени излазног сигнала.

Типични пример адитивног отказа мотора би била појава оптерећења које се не може предвидети. Откази на актуатору (уређају који генерише управљачки сигнал неког система) и сензорима се већином сврставају у адитивне отказе. На актуатору би пример адитивног отказа био тзв. застој (*eng.jam*), а на сензорима *bias*, *offset* или *drift* сензора [3]. Са друге стране, под мултипликативним отказима се подразумевају промене, скоковите или постепене, у параметрима процеса које желимо да детектујемо, за разлику од грешке моделовања дефинисане као промене у параметрима често присутне од почетка али чији утицај не желимо да детектујемо. Требало би нагласити да се потпуни откази актуатора и/или сензора сврставају у мултипликативне отказе. Код једносмерних мотора примери мултипликативних отказа би били: кратак спој комутаторских прстенова настао услед накупљања прашине са карбонских четкица, померање положаја четкица ван магнетске неутралне осе, кратак спој или отворена веза намотаја индукта, промена отпорности индукта, коефицијента вискозног трења [4-6].

Област детекције и изолације отказа има пред собом три задатка која треба решити. Први се односи на саму детекцију отказа, и овај задатак се обавља индикацијом да нешто са системом није уобичајено. Други задатак јесте изолација отказа, који се решава локацијом појаве отказа. Трећи задатак јесте идентификација отказа који означава одређивање интензитета нерегуларности. Изолација и идентификација отказа се заједно називају дијагнозом отказа. Док је детекција апсолутно неопходна у свим практичним процесима а изолација скоро исто тако битна, идентификација отказа иако корисна информација често је врло захтевна за имплементацију. Зато многи практични системи подразумевају само

детекцију и изолацију отказа FDI (енг. *Fault Detection and Isolation*). Зато је у многим примерима термин "дијагноза" синоним за "изолацију".

Електрични мотори су нашли велику примену у индустрији. Сходно томе је FDI на овим електро-механичким компонентама и њиховим сензорима од изузетне важности за побољшање расположивости, поузданости и безбедности целокупних система. Систем за мониторинг исправности рада оваквих система би требало да задовољи одређене захтеве које се односе на перформансе детекције и изолације. Перформансе детекције подразумевају следеће услове: *Fault sensitivity* осетљивост на појаву отказа би требало да буде довољна да омогући детекцију довољно малих отказа (енг. *fault sensitivity*); систем би требало да у довољно кратком времену детектује отказе (енг. *reaction speed*) и коначно робустност која подразумева способност технике да функционише у условима присуства шума, поремећаја и грешки моделовања (енг. *robustness*). Изолационе перформансе представљају способност дијагностичког система да међусобно разликује поједине отказе. Такође, како би се смањила цена система за дијагнозу, сигнали би требало да буду лако мерљиви а сензори релативно једноставни.

У литератури је доступан велики број различитих FDI техника [7-10]. Посебно, анализирајући технике које се примењују на DC моторе, издвајају се три специфична приступа:

- методе које су базиране на примени специфичних сензора и анализи тако добијених сигнала: анализи вибрација и анализи струје (примењује анализу струјних отисака за online анализу отказа). Ове методе користе моделе сигнала као што су спектри, корелационе функције, *wavelet* трансформацију,... Предности ових метода је што не захтевају прецизно моделовање система. Мана приступа базираног на фреквенцијским анализама сигнала је што није најпогоднији за брза *online* тестирања мотора јер захтева извесно време за спровођење. Такође, метод који се заснива на анализи вибрација се због буке и велике цене сензора сматра примењивим само код мотора великих снага.
- методе које се базирају на динамичком моделу система [7],[11]. Ове методе најчешће подразумевају два приступа. Први се базира на концепту аналитичке редуцансе и формирању једначина парности (енг. *parity relations*) [12-14], тј. на поређењу мерења излаза са аналитички добијеним излазима на основу познавања модела и улаза система. Резултат овог поређења је сет примарних резидуала на које се примењују одређене трансформације да би се формирали резидуали. Следећи корак је тзв. евалуација резидуала настала као резултат поређења са одговарајућим "*threshold-ima*" добијених емпиријски или после спроведених теоријских разматрања. Поједини поступци подразумевају дизајн једначина парности за системе са грешком моделовања, максимално осетљивих на отказе а минимално осетљиве на грешке моделовања услед промена положаја радне тачке [15-17]. Други најчешће коришћен приступ метода базираних на моделу се заснива на естимацији параметара [18-21] као и на естимацији стања и дизајн дијагностичких опсервера стања. Теоријски осврт и практичне методе за праћење процеса и технике естимације параметра су приказани у [22]. Комбинација оба приступа - пројектовања *fully decoupled parity equations* за одвајање резидуала од непознатог нелинеарног члана и естимација отказа применом RLS методе примењени су у [23]. Технике детекције и изолације мултипликативних отказа су најчешће засноване на естимацији параметра. Референтни модел се прво добија неком поступком стандардне идентификације (RLS или LS) у одсуству отказа. Потом се параметри поново идентификују *online*. Одступања од референтног модела постају основа за детекцију и изолацију отказа. Ипак, могућ је и дизајн једначина парности при FDI параметарских отказа. Овако дизајниране једначине у ствари представљају LS процену са минималним

дужином података. Ипак, технике идентификације су при FDI параметрских отказа често поузданије од техника заснованих на аналитичкој редуданси мада су комплексније за *online* примену [7]. Мана FDI метода заснованих на моделу је неопходност познавања прецизног модела система или његове идентификације.

- методе које се базирају на искуству и знањима укључују методе експертних система, *fuzzy* логике и неуралних мрежа. Проблем са употребом ових метода је што су временски дуге и тешке за примену пошто подразумевају акумулирање искуства и његово изражавање преко одговарајућих законитости.

У овој дисертацији биће приказана примена метода за детекцију и изолацију адитивних и мултипликативних отказа базираних на моделу.

Адитивни приступ FDI мотора једносмерне струје и његовог појачавача биће заснован на концепту аналитичке редудансе и формирању једначина парности при синтези структурних и дирекционих резидуала. Основна идеја приступа је да се искористе поједностављени, линеаризовани модели процеса и да се анализира утицај немоделиране динамике на квалитет и поузданост детекције отказа зависно од начина формирања резидуала. Температурно завистан коефицијент вискозног трења као и нелинеарност коју уноси суво трење чине систем нелинеарним. При апликацији овог приступа предвиђена је и компаративна анализа резултата применом четири различите технике за генерисање трансформација резидуала. Од тога се две методе заснивају на моделу система у присуству отказа у форми функције преноса (енг. *row by row implementation* и *elimination approach*), а две на моделу система у присуству отказа у простору стања (*Chow-Willsky scheme* [11] и *Systematic implementation with fault system matrix*). У раду ће бити предложени и одговарајући поступци побољшања технике детекције засновани на филтрирању и транслирању сета структурних и дирекционих резидуала чиме се очекују боље перформансе система за детекцију и изолацију отказа. Биће илустровано и ограничење у примени дирекционих резидуала које се односи на број различитих отказа који могу имати независне правце при детекцији.

Поступци детекције мултипликативних отказа насталих наглом променом неког од параметара појачавача или мотора, биће омогућени применом напредних метода идентификације параметра дискретног модела *Sliding window algorithm* [24] и *Sliding integral algorithm* за идентификацију параметра континуалног модела [25], [26]. Треба истаћи да класични приступи RLS или LS идентификације код оваквих наглих промена не дају задовољавајуће резултате. Нагла промена неког од параметра изазива прелазни процес чије је трајање дефинисано величином прозора при процени који се одражава на све параметре. Ту се јавља компромис између комплексности алгорита и трајања прелазног процеса са једне стране и смањења варијансе и ефекта шума у процени параметра са друге стране. Методе захтевају коришћење довољно побуђујућег (енг. *persistently exciting*) улазног сигнала. У ту сврху биће коришћен PRBS сигнал доступан у многим софтверским библиотекама. Идентификација мултипликативних отказа тј. стварних физичких параметра (*underlying* параметара) система [29-31] извршиће се индиректним поступцима применом парцијалних извода при номиналним вредностима параметара или коришћењем *Newton-Raphson-ove* технике [29].

Целокупни поступак биће илустрован на једноставној макети DC мотора са перманентним магнетом и одговарајућим појачавачем. Ова апаратура представља врло често сретане макете у лабораторијама за електротехнику па сходно томе ови резултати могу послужити као захвални едукативни материјал за обуку студената на мастер студијама из области FDI.

У наставку текста је дат списак литературе на коју се позивало приликом писања овог Извештаја.

- [3] C. W. Chan, S. Hua, and Z. Hong-Yue, "Application of Fully Decoupled Parity Equation in Fault Detection and Identification of DC Motors," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 53, no. 4, pp. 1277–1284, Jun. 2006.
- [4] X. Liu, H. Zhang, S. Member, J. Liu, and J. Yang, "Fault Detection and Diagnosis of Permanent-Magnet DC Motor Based on Parameter Estimation and Neural Network," vol. 47, no. 5, pp. 1021–1030, 2000.
- [5] D. McKINNON, "Online fault analysis of DC motors," *AIST Proc. AISTech 2007*, 2007.
- [6] R. Isermann, *Fault-Diagnosis Applications*, vol. 129. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2011.
- [7] J. Gertler, *Fault Detection and Diagnosis in Engineering Systems*, vol. New York. Marcel Dekker, 1998, p. 512.
- [8] J. Chen and R. J. Patton, *Robust model-based fault diagnosis for dynamic systems*, vol. 11, no. 14. Kluwer Academic Publishers, 1999, p. 356.
- [9] S. X. Ding, *Model-Based Fault Diagnosis Techniques: Design Schemes, Algorithms and Tools*. Springer Science & Business Media, 2012, p. 521.
- [10] M. Witczak, *Fault Diagnosis and Fault-Tolerant Control Strategies for Non-Linear Systems: Analytical and Soft Computing Approaches*. Springer Science & Business Media, 2013, p. 245.
- [11] R. Isermann, *Model-based fault-detection and diagnosis – status and applications*, *Annu. Rev. Control*, vol. 29, no. 1, Jan. 2005, pp. 71–85.
- [12] I. Fagarasan and S. S. Iliescu, *Parity equations for fault detection and isolation*, in 2008 IEEE International Conference on Automation, Quality and Testing, Robotics, AQTR 2008 - THETA 16th Edition - Proceedings, 2008, vol. 1, pp. 99–103.
- [13] J. Gertler, *Fault detection and isolation using parity relations*, in *Control Engineering Practice*, vol. 5, no. 5, 1997, pp. 653–661.
- [14] R. Isermann, *Model-based fault-detection and diagnosis - Status and applications*, *Annual Reviews in Control*, vol. 29, no. 1, 2005, pp. 71–85.
- [15] E. Chow and A. Willsky, *Analytical redundancy and the design of robust failure detection systems*, *IEEE Trans. Automat. Contr.*, vol. 29, no. 7, Jul. 1984, pp. 603–614.
- [16] X.-C. Lou, A. S. Willsky, and G. C. Verghese, *Optimally robust redundancy relations for failure detection in uncertain systems*, *Automatica*, vol. 22, no. 3, May 1986, pp. 333–344.
- [17] M. Staroswiecki and G. Comtet-Varga, *Analytical redundancy relations for fault detection and isolation in algebraic dynamic systems*, *Automatica*, vol. 37, no. 5, 2001, pp. 687–699.
- [18] R. Isermann, *Process fault detection based on modeling and estimation methods—A survey*, *Automatica*, vol. 20, no. 4, 1984, pp. 387–404.
- [19] A. Pouliezios, G. Stavrakakis, and C. Lefas, *Fault detection using parameter estimation*, *Qual. Reliab. Eng. Int.*, vol. 5, no. 4, Oct. 1989, pp. 283–290.
- [20] D. Filbert, *Advanced fault diagnosis for the mass production of small-power electric motors*, in *Measurement Technology and Intelligent Instruments*, 1993, pp. 100–110.
- [21] R. Isermann, *Model base fault detection and diagnosis methods*, in *Proceedings of 1995 American Control Conference - ACC'95*, vol. 3, 1995, pp. 1605–1609.
- [22] L. H. Chiang, E. L. Russell, and R. D. Braatz, *Fault Detection and Diagnosis in Industrial Systems*, Springer Science & Business Media, 2012.
- [23] C. W. Chan, S. Hua, and Z. Hong-Yue, *Application of Fully Decoupled Parity Equation in Fault Detection and Identification of DC Motors*, *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 53, no. 4, Jun. 2006., pp. 1277–1284.
- [24] J. Gertler and G. DiPierro, *On the Link between Parity Relations and Parameter Estimation*, *Preprints of IFAC 3rd Safeprocess Symp.*, (Hull, England), 1997, pp. 468 – 473.
- [25] S. Sagara and Z.-Y. Zhao, *Numerical integration approach to on-line identification of continuous-time systems*, *Automatica*, vol. 26, no. 1, Jan. 1990, pp. 63–74.
- [26] W. Li and J. Gertler, *Detection and isolation of slight parametric faults in continuous-time systems*, *Preprints of 11th IFAC SYSID Symposium*(Kitakyushu, Japan), 1997, pp. 1161 – 1166.

- [27] Schumann, A., Isermann, R. and Freyermuth, B. *Determination of physical parameters for dynamical processes*, Control -Theory and Advanced Technology, vol. 9, 1992, pp. 5-26.
- [28] J. Gertler, *Diagnosing parametric faults: from parameter estimation to parity relations*, in Proceedings of 1995 American Control Conference - ACC'95, vol. 3, 1995, pp. 1615–1620.
- [29] J. Gertler, *Fault detection and isolation using parity relations*, Control Eng. Pract., vol. 5, no. 5, May 1997, pp. 653–661.

3. Полазне хипотезе

- У овој докторској дисертацији ће се кренути од претпоставке да је могуће применити стандардне технике детекције и изолације отказа.
- Претпоставка је, и она ће бити проверена у дисертацији, да ће овакав приступ имати успеха код детекције и изолације нагло насталих адитивних и мултипликативних отказа реално нелинеарног и нестационарног система кога чини мотор једносмерне струје и његов појачавач.
- Претпоставка је да је могуће формирати моделе система у присуству отказа у форми функција преноса и у простору стања и применити четири различите методе пројектовања структурних резидуала у сврху извођења закључака у смислу њихових комплексности у имплементацији и међусобне еквивалентности.
- Очекује се да је извесним поступцима модификације структурних и дирекционих резидуала могуће побољшати перформансе система за FDI у присуству нелинеарности и поремећаја.
- Такође, претпоставка је да ће сви откази моћи бити детектовани и изоловани пројектовањем дирекционих резидуала иако је ограничавајући фактор у њиховој примени број дирекционих резидуала са независним правцима.
- Једна од полазних претпоставки је и да ће бити могуће уз извесне модификације применити напредне технике идентификације параметра дискретног и континуалног модела процеса и да је коришћењем довољно побуђујућег (енг. *persistently exciting*) улазног сигнала могуће из процеса естимације добити јединствени сет параметра. Такође је претпоставка да је након примена ових техника бити могуће идентификовати стварне физичке (*underlying*) параметре система.
- Коначно, претпоставља се даје за све планиране методе детекције и изолације адитивних и мултипликативних отказа могуће развити *online* Labview кодове за одговарајуће експерименте даљинског управљања.

4. Научне методе истраживања

Методологија која се предлаже у овој дисертацији јесте да се резидуали за детекцију и изолацију пет посматраних адитивних отказа система пројектују коришћењем фундаменталних *enhancement* приступа - пројектовањем структурних и дирекционих резидуала. У ту сврху биће генерисани дискретни модели у одговарајућој ARMA форми и модели у простору стања за мултиваријабилан систем са два улаза и три излаза и пет посматраних адитивних отказа од којих је један улазни - отказ управљачког сигнала, док су остали улазно/излазни мерни откази на сензорима. У циљу поређења различитих приступа у пројектовању матрице трансформације, биће примењене четири различите методе за добијање ове матрице. Од тога се две методе заснивају на моделу система у присуству отказа у форми функције преноса и то *Row by row implementation* (са варијантама при *almost full homogenous* спецификацији одзива и при *full almost homogenous* спецификацији одзива) и *Elimination approach* (за коју се не задају спецификације), а две на моделу система у

присуству отказа у простору стања *Chow-Willsky* шема (која у случају када је број излаза система мањи од броја улаза може само имати решења при спецификацији одзива типа *almost full homogenous*), и *Systematic implementation with fault system matrix* метода са подваријантама *Algorithm III* (подразумева *almost full homogenous* спецификацију одзива) и *Algorithm I* (са *full almost homogenous* спецификацијом одзива).

У циљу детекције мултипликативних отказа насталих нагло биће коришћене методе, дискретне идентификације *Sliding window algorithm* и континуалне идентификације *Sliding integral algorithm* а у циљу њихове изолације и идентификације методе за индиректну идентификацију ствараних физичких параметра - применом парцијалних извода при номиналним вредностима параметара или коришћењем *Newton-Raphson-ове* технике.

Експериментално извођење биће извршено применом програмског пакета Labview обрада резултата при тзв. "*batch*" (*offline*) приступу развијањем кодова у програмском пакету MATLAB. Како би се обезбедила и '*online*' детекција и изолација отказа биће додатно развијени постојећи Labview кодови, а при детекцији и изолацији мултипликативних отказа лабораторијској поставци ће бити додати релеји који ће омогућити укључивање појединих параметра појачавача у задатком тренутку времена.

5. Очекивани научни допринос

Очекивани доприноси ове докторске дисертације се могу формализовати на следећи начин:

- Детаљан преглед литературе и постигнутих резултата у области примене метода за детекцију и изолацију адитивних и мултипликативних отказа на бази модела електро-механичких система;
- На основу реалних податка и мерења која су расположива биће формиран модели електро-механичког система прилагођеног анализи у случају присуства различитих типова отказа;
- Развој алгоритама за детекцију и изолацију пет врста различитих адитивних отказа на актуатору и сензорима предвиђених за мерење величина напона и струје индукта, момента мотора и брзине мотора;
- Упоређивање различитих метода за пројектовање трансформација структурних резидуала у смислу њихове комплексности и еквивалентности примене.
- Коришћење неопходних поступака модификације дирекционих и структурних резидуала како би исти били примењиви на реално нелинеарном и нестационарном систему и којима би се елиминисало присуство поремећаја. Овим поступцима би требало избећи или бар минимизирати појаву лажних аларма и пропуштених детекција.
- Уочавање недостатка у примени дирекционих резидуала који се односи на број резидуала који при синтези истих могу имати независне дирекционе правце али и могућности детекције свих отказа зависно од конкретног случаја.
- Упоређивање и модификација техника за континуалну и дискретну идентификацију система при изненадној појави отказа а које се користе при детекцији мултипликативних отказа. Изолација и идентификација истих коришћењем техника за естимацију *underlying* параметара.
- Исцрпна експериментална анализа предложених решења; Развијање кодова који ће омогућити *on-line* детекцију и изолацију адитивних и мултипликативних отказа.
- Дефинисање тест сценарија са секвенцом појављивања отказа а у циљу објективне компаративне анализе развијених метода;
- Компаративна анализа развијених метода и њихова применљивост на нелинеарне и нестационарне системе.

6. План истраживања и структура рада

План истраживања се састоји од следећих корака:

- преглед литературе која се бави детекцијом и изолацијом отказа, издвајање прегледних радова, систематизацијом постојећих решења, издвајањем предности и недостатака једних метода у односу на друге, подробно упознавање са техникама које се заснивају на моделима електро-механичких система, издвајање решења која су нашла индустријску употребу;
- детаљна анализа физике реалног система, физичко моделирање претварача и мотора у условима отказа;
- истраживање различитих приступа при пројектовању матрице трансформације структурних резидуала као и приступа при пројектовању дирекционих резидуала у условима када је број адитивних отказа већи од броја излаза система;
- истраживање различитих приступа детекцији и изолацији мултипликативних отказа преко различитих приступа идентификацији;
- примена изабраних процедура на реалном систему као и модификација постојећих техника детекције и изолације за примену на нелинеарном - нестационарном систему у присуству поремећаја и при наглој појави отказа.
- развијање адекватних програмских кодова за *offline* и *online* приступ проблему детекције и изолације отказа.
- анализа добијених резултата, успостављање квалитативних критеријума за поређење различитих приступа у детекцији и изолацији отказа, издвајање ограничења у примени пројектованих поступака.

Структура саме дисертације ће у великој мери пратити предложене фазе истраживања. Осим уводног поглавља предвиђена су два поглавља прегледног типа од чега је прво поглавље посвећено прегледу техника детекције и изолације отказа на бази модела са посебним нагласком на приступе при појави адитивних тј. мултипликативних отказа, док је друго поглавље посвећено карактеризацији електро-механичких система са становишта појаве, детекције и изолације отказа. Остатак дисертације биће посвећен експерименталном и истраживачком делу рада при примени метода за детекцију и изолацију отказа на примеру електро-механичког система са појачавачем. Рад ће садржати и компаративну анализу различитих приступа.

7. Закључак и предлог

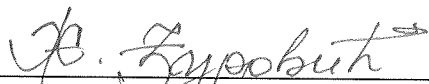
Током писања овог Извештаја Комисија је узела у обзир све релевантне чињенице које формирају слику о подобности теме и кандидата за реализацију предвиђених истраживања. Имајући у виду резултате досадашњег рада кандидата Сање Антић показане током њене израде магистарског рада као и у фази истраживања у оквиру докторске дисертације, њеног ангажовања као предавача на високошколској установи, Комисија је стекла неспорни утисак да је кандидаткиња способна за научно-истраживачки рад као и за реализацију предвиђених истраживања. Са друге стране, анализирајући предложену тему под називом "Примена метода за детекцију отказа заснованих на моделу у електро-механичким система", 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 користи право да незнатно измени наслов дисертације у **"Примена метода за детекцију и изолацију отказа заснованих на моделу у електро-механичким системима"** и предлаже Наставно-научном већу Електротехничког факултета у Београду да прихвати тему докторске дисертације под овим називом и да кандидату Сањи Антић омогући да приступи њеној изradi.

у Београду,
дана 02.07.2015.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ



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



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



Др Мирослав Бјекић, ванредни професор
Универзитет у Крагујевцу-Факултет техничких наука у Чачку



Др Милан Бебић, доцент
Универзитет у Београду-Електротехнички факултет