

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Подобност теме и кандидата мр инж. Здравка Живковића за израду докторске дисертације

Одлуком Наставно-научног већа Електротехничког факултета бр. 763 од 11.06.2013. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности теме и кандидата мр инж. Здравка Живковића за израду докторске дисертације и научне заснованости теме "Филтри са површинским акустичким таласом за хемијске гасне сензоре".

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Здравко Живковић је рођен 1951. године у Руми, где је завршио гимназију "Стеван Пузић". Дипломирао је на Електротехничком факултету у Београду 1975. године са темом "Линеарни временски дискретни системи са чистим кашњењем". Магистрирао је на истом факултету 1992. године са темом "Примена телеинформационих терминала у SCADA системима управљања у електроенергетици".

После дипломирања запослио се у ИМ "Победа" Нови Сад као инжењер за електронске системе на нумерички управљаним алатним машинама. У том периоду био је на стручној специјализацији у фирми Carl Zeiss Jena, за дигиталне оптичке енкодере. Након тога прелази у СОУП Сава Крањ, фабрика пнеуматике у Руми, где је био члан радног тима за реализацију инвестиционог пројекта изградње нове фабрике пољопривредних пнеуматика. Био је упућен на стручно усавршавање у "Pirelli" Италија, за микропроцесорско управљање машинама и у ISE Вићенца, за пројектовање и производњу програмабилних логичких контролера и тиристорских регулатора. Радио је као руководиоца службе електронике, регулације и мерења и као главни инжењер техничке припреме у индустрији "Румагума" за одсек одржавања и пројектовања електронских система на технолошкој опреми.

Године 1988. прелази у Технички опитни центар-Полигон Никинци, као истраживач у Одсеку за мерења и снимања. Област бављења су му била електронска мерења при развојним и верификационим испитивањима и истраживања мерних метода у балистици заснована на употреби савремених електронских мерних инструмената и радарских система, а у оквиру тога, развој и имплементација нестандартних мерних метода те пројектовање електронских склопова и система. Учествовао је на пројектима који су се односили на развој нових мерних

метода за одређивање балистичких параметара као што су спин и време лета пројектила и развој софтверских пакета за дигиталну обраду Доплер радарских сигнала.

Од 2001. године почиње да се бави истраживањем и развојем елемената са површинским акустичким таласима, посебно у војне сврхе, у области радара и телекомуникација.

Биран је у звање истраживач сарадник два пута а такође је редовно биран за члана Научног већа Техничког опитног центра Војске Србије.

Од 2007. године ради као наставник електротехничке групе предмета у средњој техничкој школи.

Научно веће института "Гоша" га је 2008. године изабрало у звање истраживач сарадник и ангажовало на пројекту технолошког развоја ТР 11026 Министарства за науку и технолошки развој Републике Србије, а на истраживању и развоју филтара са површинским акустичким таласима.

Аутор је или коаутор 5 радова у часописима, 13 радова на научним скуповима од тога 2 на скуповима међународног значаја а 11 на скуповима националног значаја, 12 стручних радова и три техничка решења на пројекту ТР 11026. Неки од ових радова су настали као резултат рада на овој дисертацији.

1.2. Стечено научноистраживачко искуство

Рад у часопису са SCI листе, за који се рачуна Impact Factor, чији су резултати непосредно ушли у тезу (Категорија М23):

1.1 Z. Živković, M. Hribšek, D. Tošić, "Modeling of Surface Acoustic Wave Chemical Vapor Sensors", *Journal of Microelectronics, Electronic Components and Materials*, ISSN 0352-9045, vol. 39, no. 2, pp. 111–117, June 2009. IF (2010) 0.250

Радови изложени на научним скуповима међународног значаја и штампани у целини у зборницима радова (Категорија М33):

2.1 M. Hribšek, S. Ristić, Z. Živković, D. Tošić, "Modelling of SAW Biosensors", in Proc. BIODEVICES 2009 – *International Conference on Biomedical Electronics and Devices*, Porto, Portugal, pp. 376–379, Jan. 14–17, 2009.

2.2 M. Hribšek, D. Tošić, M. Tasić, Z. Filipović, Z. Živković, "Design and Realization of Transversal Surface Acoustic Wave RF filters", in Proc. ECCSC'10 – *5th European Conference on Circuits and Systems for Communication*, Belgrade, Serbia, pp. 82–85, Nov. 23–25, 2010.

Радови у часописима (Категорија М52):

3.1 З. Живковић, "Процесирање сигнала колима са површинским акустичким таласима", *Научнотехнички преглед*, вол. LI, бр. 2, стр. 30–35, 2001.

3.2 З. Живковић, "Аналогни процесори са површинским акустичким таласима", *Научнотехнички преглед*, вол. LII, бр. 1, стр. 80–85, 2002.

Радови у часописима (Категорија М53):

3.3 М. Хрибшек, Д. Тошић, З. Живковић, "Хемијски гасни сензори са површинским акустичким таласом", *Техника, Електротехника* 58, вол. 64, бр. 2, стр. 7–12, 2009.

3.4 З. Живковић, "Развој и примена елемената с површинским акустичким таласима", *Научнотехничка информација*, вол. 38, бр. 10, стр. 11–50, (Војнотехнички институт, ISSN 1820-3418), Београд, 2004. Посебно издање часописа.

Радови изложени на научним скуповима националног значаја и штампани у целини у зборницима радова (Категорија М63):

4.1 З. Живковић, М. Хрибшек, "Примене нелинеарних ПАТ елемената у процесирању сигнала", Зборник XLV Конференције *ЕТРАН*, Буковичка бања, вол. I, стр. 131–134, 4–7. јун, 2001.

4.2 З. Живковић, "Неки аспекти пројектовања и примене филтара са површинским акустичким таласима", Зборник XLVI Конференције ЕТРАН, Бања Врућица – Теслић, вол. I, стр. 107–110, 3–6. јун, 2002.

4.3 З. Живковић, "Нелинеарни ПАТ елементи у телекомуникацијама", Зборник XXIX Симупозијума о операционим истраживањима SYM-OP-IS, Оморика – Тара, стр. XXIII–38 – XXIII–41, 9–12. октобар, 2002.

4.4 З. Живковић, "ПАТ сензори и њихова примена", Зборник XLVII Конференције ЕТРАН, Херцег-Нови, вол. III, стр. 424–427, 8–13. јун, 2003.

4.5 З. Живковић, "ПАТ процесори и њихова примена", Зборник XXX Симупозијума о операционим истраживањима SYM-OP-IS, Херцег – Нови, стр. 781–784, 30. септембар – 3. октобар, 2003.

4.6 З. Живковић, "Један осврт на ефекте рефлексије у интердигиталним претварачима", Зборник XLVIII Конференције ЕТРАН, Чачак, вол. I, стр. 143–146, 6–10. јун, 2004.

4.7 З. Живковић, "Микроскен пријемници са оптимизованим временско-фреквенцијским одзивом", Зборник XXXI Симупозијума о операционим истраживањима SYM-OP-IS, Норцев Фрушка Гора, стр. 645–650, 4–7. октобар, 2004.

4.8 З. Живковић, "Једна примена ПАТ мултиплексера у радарима", Зборник XLIX Конференције ЕТРАН, Будва, вол. III, стр. 445–448, 5–10. јун, 2005.

4.9 З. Живковић, "Обрада сигнала у телекомуникацијама нелинеарним ПАТ елементима", Зборник Симупозијума одбрамбених технологија ОТЕХ, Београд, стр. VI–20 – VI–23, 6–7. децембар, 2005.

4.10 З. Живковић, "ПАТ процесори за аналогну обраду сигнала", Зборник 50. Конференције ЕТРАН, Београд, вол. I, стр. 170–173, 6–8. јун, 2006.

4.11 З. Живковић, М. Хрибшек, "ПАТ процесори у комуникацијама", Зборник Симупозијума одбрамбених технологија ОТЕХ 2009, Београд, стр. 636–639, 8–9. октобар, 2009.

Техничка решења (Категорија М80):

5.1 З. Живковић, М. Хрибшек, Универзални софтвер за пројектовање недисперзивних ПАТ филтара, подтип решења: нови софтвер (М85), *пројекат технолошког развоја* TP-11026 Министарства за науку и технолошки развој Републике Србије, 2009.

5.2 З. Живковић, М. Хрибшек, Софтвер за пројектовање маске интердигиталних претварача ПАТ филтара пропусника опсега са минималним слабљењем, подтип решења: нови софтвер (М85), *пројекат технолошког развоја* TP-11026 Министарства за науку и технолошки развој Републике Србије, 2010.

5.3 М. Хрибшек, З. Живковић, М. Радосављевић, Лабораторијски прототип ПАТ филтра пропусника опсега учестаности са минималним слабљењем (ПАТ-ФПО), подтип решења: нови лабораторијски прототип (М85), *пројекат технолошког развоја* TP-11026 Министарства за науку и технолошки развој Републике Србије, 2010.

1.3 Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

На основу резултата досадашњег рада, као и оствареног искуства, сматрамо да је кандидат способан и подобан за рад на предложеној теми.

2. Предмет и циљ истраживања

Дисертација припада научној области Електротехника и рачунарство, а ужој научној области Електроника. За ову ужу научну област матичан је Електротехнички факултет Универзитета у Београду.

У новије време, елементи са површинским акустичким таласом (ПАТ) су постали незаобилазан део савремене електронске индустрије због њихове употребе у филтрима за

различите апликације. Главна предност ПАТ филтара лежи у томе (1) што се обрада може вршити у реалном времену, (2) фреквенцијски опсег примене ових елемената је неостварив за већину других компонената и (3) флексибилна употреба ПАТ елемената омогућава комплексно процесирање сигнала.

У последњој деценији значајни напори се чине на развоју ПАТ сензора високих перформанси, посебно оних који се користе у медицини и заштити животне средине. Сензори са површинским акустичким таласима показују супериорну селективност за детекцију хемијских агенаса. Због могућности бежичног приступа (радио сензори) ови сензори се могу користити за даљински мониторинг и мерења на неприступачним или опасним местима. Захваљујући технологији израде која је компатибилна са осталим савременим планарним технологијама, као што су микроталасна интегрисана кола (Microwave Integrated Circuits, MIC), MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems), CMOS, CCD (Charge Coupled Devices) и интегрисана оптичка кола, ови сензори се такође могу уградити у комплексне системе мерења и обраде података. Они се могу користити у системима за *in situ* мониторинг и детекцију и за бежично (даљинско) читавање и праћење у токсичном окружењу, укључујући откривање агенаса за вођење хемијског рата и детекцију мина у земљишту.

О актуелности сензора са површинским таласима, који су предмет истраживања у овој дисертацији, сведочи и податак да се у системима контроле загађења испарљивим органским материјама у просторијама где се праве сателитске и васионске летилице у САД, НАСА, користе сензорски системи засновани на ПАТ сензорима. Имајући у виду актуелан тренд употребе сензора са ПАТ филтрима, у савременим сензорским системима за детекцију и мерење, од посебне је важности њихово моделовање како би се добили оптимални сензори за одговарајућу примену.

Циљ ове дисертације је формирање (1) електромеханичког модела филтра са површинским акустичким таласом за хемијске гасне сензоре и (2) алгоритма за пројектовање филтра са максималним пропусним опсегом и минималним слабљењем у пропусном опсегу, који је основа за имплементацију сензора.

Релевантни библиографски извори и остварени резултати на које се надовезују предложена истраживања су следећи:

D. S. Ballantine, R. M. White, S. J. Martin, A. J. Ricco, E. T. Zellers, G. C. Frye, H. Wohltjen, *Acoustic Wave Sensors: Theory, Design, Physico-Chemical Applications*, Academic Press, San Diego, USA, 1997.

C. K. Campbell, *Surface Acoustic Wave Devices for Mobile and Wireless Communications*, Academic Press, Boston, 1998.

A. Pohl, "A Review of Wireless SAW Sensors", *IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency Control*, vol. 47, no. 2, pp. 317–332, 2000.

B. S. Joo, J. H. Lee, E. W. Lee, K. D. Song, D. D. Lee, "Polymer Film SAW Sensors for Chemical Agent Detection", in *Proc. 1st International Conference on Sensing Technology*, Palmerston North, New Zealand, pp. 307–310, Nov. 21–23, 2005.

L. Rufer, A. Torres, S. Mir, M. O. Alam, T. Lalinsky, Y. C. Chan, "SAW chemical sensors based on AlGaIn/GaN piezoelectric material system: acoustic design, packaging considerations", in *Proc. 7th International Conference on Electronics Materials, Packaging, EMAP 2005*, Tokyo, Japan, pp. 204–208, 2005.

A. Balcerzak, G. Zhavnerko, "Ultrasonic Chemical Sensor For Detection of Vapors of Some Volatile Organic Compounds", *Molecular and Quantum Acoustics*, vol. 28, pp. 7–12, 2007.

C. Chuangzhi, M. Jinyi, Z. Boli, J. Hongmin, "A Novel Toxic Gases Detection System Based on SAW Resonator Array and Probabilistic Neural Network", in *Proc. ICEMI'07 8th International*

Conference on Electronic Measurement and Instruments, ISBN: 978-1-4244-1136-8, Digital Object Identifier: 10.1109/ICEMI.2007.4350964, 2007.

Z. A. Sadek, D. Buso, A. Martucci, P. Mulvaney, W. Wlodarski, K. Kalantar-Zadeh, "Titanium Dioxide-Based 64 YX LiNbO₃ Surface AcousticWave Hydrogen Gas Sensors", *Journal of Sensors*, Art. ID 254283, 5 pages, 2008.

E. Comini, G. Faglia, G. Sberveglieri, *Solid State Gas Sensing*, Springer Science+Business Media LLC, New York, 2009.

3. Полазне хипотезе

Могуће је установити нов модел и метод анализе трансверзалних хемијских гасних сензора са површинским акустичким таласом тако што се гасни сензор моделује као мрежа са два приступа у којој се издвајају три независне подмреже: улазни претварач, линија за кашњење (покривена материјалом који је осетљив на гасове, а то је танак слој полимера) и излазни претварач.

Постоје експлицитни аналитички изрази у затвореном облику за естимацију концентрације гаса.

Могућа је предикција масене осетљивости као функције учестаности, израчунавање концентрације гаса трихлоретилена (TCE) када је осетљиви слој полимер PVDT, а за случај гасног сензора са кварцном подлогом за откривање недозвољене концентрације гасова који емулирају бојне отрове.

Постоји примена предложеног метода за анализу хемијских гасних сензора на вишеслојним подлогама.

4. Научне методе истраживања

За анализу рада елемената са површинским акустичким таласом коришћене су три групе метода. Прву групу чине методе тачне анализе засноване на таласној једначини. За ПАТ елементе са сложенијим интердигиталним претварачима коришћене су методе апроксимативне анализе: помоћу модела са делта функцијама и анализа помоћу еквивалентних кола.

Један од главних задатака у анализи хемијских ПАТ сензора је добијање формула које повезују промене електричних сигнала у функцији концентрације неког хемијског агенса. Постојећи методи анализе хемијских гасних ПАТ сензора су углавном засновани на публикованим формулама добијеним из таласне једначине, у којима су занемарена многа својства реалне ПАТ линије за кашњење. То је разлог што истраживачи изводе много више експеримената него што је потребно, као и што имају тешкоће у објашњавању одступања између очекиваних и измерених вредности. У циљу превазилажења оваквих проблема предложен је нов метод анализе заснован на електричним еквивалентним колима где тачност зависи од комплексности примењеног модела. Гасни сензор се моделује као мрежа са два приступа у којој се издвајају три независне подмреже: улазни претварач, линија за кашњење (покривена материјалом који је осетљив на гасове, а то је танак слој полимера) и излазни претварач. Помоћу предложеног модела се добијају експлицитни аналитички изрази у затвореном облику за естимацију концентрације гаса. За проверу рада сензора коришћена је метода симулације, заснована на предложеном моделу, и поређења са експерименталним резултатима добијеним мерењем. Представљени су случај предикције масене осетљивости као функције учестаности, као и пример у коме се симулира слабљење услед простирања на вишим учестаностима.

Развијени алгоритам служи за пројектовање једне врсте ПАТ филтара који налазе примену у сензорским системима. Филтар се моделује као каскадна веза два бидирекциона униформна

интердигитална претварача. У алгоритму је имплементиран метод синтезе заснован на импулсном моделу ПАТ претварача. Помоћу овог модела одређују се преносна функција, радијациона кондуктанса, акустичка сусцептанса, унесено слабљење, и други електрични параметри у алгоритму. Метод укључује оптимизацију броја електродних парова за остварење минималног слабљења у пропусном опсегу и величине апертуре претварача.

5. Очекивани научни доприноси

Резултати истраживања ове дисертације треба да садрже следеће доприносе:

- нов модел и метод анализе хемијских гасних сензора са површинским акустичким таласима;
- нов приступ, заснован на примени предложеног метода, у анализи и моделовању трансверзалних ПАТ хемијских гасних сензора на нехомогеним подлогама, уграђених у сложене електронске системе у MEMS или CMOS технологији, или када се сензор реализује са дијамантским слојем на површини силицијумског интегрисаног кола;
- алгоритам за пројектовање једне врсте ПАТ филтара – трансверзалног ПАТ филтра пропусника опсега учестаности са униформним претварачима са максималним пропусним опсегом са минималним слабљењем, који налазе примену у сензорским системима;
- софтвер за пројектовање маске интердигиталних претварача ПАТ филтара пропусника опсега учестаности са минималним слабљењем;
- лабораторијски прототип ПАТ филтра пропусника опсега учестаности са минималним слабљењем и експериментална верификација карактеристика филтра мерењем одзива на лабораторијском прототипу.

6. План истраживања

Проучити актуелност и значај ПАТ технологије. Сажето сагледати примене ПАТ направа у разним областима или системима, а посебно у сензорима.

Проучити основе теорије површинских акустичких таласа.

Упознати се са принципима рада и начинима анализе елемената са површинским акустичким таласима.

Проучити врсте, принцип рада и начин анализе сензора са површинским акустичким таласима.

Упознати се са принципима синтезе филтра са површинским акустичким таласом.

Пројектовати и реализовати трансверзални филтар пропусник опсега учестаности са површинским акустичким таласом за примену у хемијским гасним сензорима.

Направити лабораторијски прототип филтра на подлози од кварца.

Задовољавање задатих спецификација филтра проверити експериментално – мерењем параметара расејања произведеног филтра.

7. Закључак и предлог

Предмет истраживања ове дисертације су направе са површинским акустичким таласом (ПАТ). Очекивани доприноси дисертације су нов модел и метод анализе хемијског гасног сензора, нов приступ заснован на примени предложеног метода, у анализи и моделовању трансверзалних ПАТ хемијских гасних сензора на нехомогеним подлогама, и алгоритам за пројектовање трансверзалног ПАТ филтра и реализација лабораторијског прототипа филтра намењеног имплементацији сензора. Предложена тема је у складу са стандардима Електротехничког факултета и Универзитета у Београду.

Тема припада научној области Електротехника и рачунарство, а ужој научној области Електроника. За ову ужу научну област матичан је Електротехнички факултет Универзитета у Београду.

Комисија констатује да предложена тема дисертације испуњава све законске, формалне и суштинске услове, као и све критеријуме који се уобичајено примењују приликом вредновања подобности теме докторске дисертације на Електротехничком факултету у Београду. Комисија предлаже да ментор докторске дисертације буде др Дејан В. Тошић, редовни професор.

Комисија сматра да је кандидат подобан за израду докторске дисертације, и да предложено истраживање докторске дисертације мр инж. Здравка Живковића може остварити оригиналне научне доприносе који могу имати практичну примену у области електронике.

У складу са претходним, Комисија предлаже Наставно-научном већу Електротехничког факултета Универзитета у Београду да се тема докторске дисертације "Филтри са површинским акустичким таласом за хемијске гасне сензоре" кандидата мр инж. Здравка Живковића прихвати, изложи на увид јавности и упуту на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду.

28. јун 2013. године

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

др Дејан В. Тошић, редовни професор (предложени ментор)
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет

др Миодраг Поповић, редовни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет

др Злата Цветковић, редовни професор
Универзитет у Нишу – Електронски факултет

др Милан Тадић, редовни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет

др Милка Потребић, доцент
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет