

ИЗВЕШТАЈ О ОЦЕНИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

I ПОДАЦИ О КОМИСИЈИ	
1.	Датум и орган који је именовео комисију: 02.03.2015. Наставно научно веће Факултета техничких наука. Број решења: 012-72/13-2014.
2.	Састав комисије са знаком имена и презимена сваког члана, звања, назива уже научне области за коју је изабран у звање, датума избора у звање и назив факултета, установе у којој је члан комисије запослен: др Зоран Митровић, ванредни професор, електрична мерења и метрологија, 11.06.2014, ФТН, Нови Сад др Драган Денић, редовни професор, метрологија и мерна техника, 21.04.2006, Електронски факултет, Ниш др Вања Ковић, доцент, психологија, 01.10.2012, Филозофски факултет, Београд др Оливера Клисурећ, ванредни професор, медицинска физика, 17.01.2013, Природно-математички факултет, Нови Сад др Платон Совиљ, доцент, електрична мерења и метрологија, 13.09.2011, ФТН, Нови Сад
II ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ	
1.	Име, име једног родитеља, презиме: Милан, Трифко, Миловановић
2.	Датум рођења, општина, држава: 24. фебруар 1967, Бијељина, Република Српска - БиХ
3.	Назив факултета, назив студијског програма дипломских академских студија – мастер и стечени стручни назив: -
4.	Година уписа на докторске студије и назив студијског програма докторских студија: -
5.	Назив факултета, назив магистарске тезе, научна област и датум одбране: Електротехнички факултет Бања Лука, Моделирање и симулација електронских сигнала можданих активности, Електроника и комуникације, 27.11.2008.
6.	Научна област из које је стечено академско звање магистра наука: Електротехника
III НАСЛОВ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:	
Метода мерења можданих ERP потенцијала заснована на мерењу хармоника епохе	

IV ПРЕГЛЕД ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Навести кратак садржај са знаком броја страна, поглавља, слика, шема, графикона и сл.

Садржај докторске дисертације организован је у 6 поглавља и има следећу структуру:

Увод

1. Појава и карактеристике електричне активности неурона
 - 1.1. Централни нервни систем
 - 1.1.1. Неуронска структура
 - 1.1.2. Механизми настанка неуро импулса
 - 1.1.3. Структура централног нервног система
 - 1.1.4. Анатомија мозга
 - 1.1.5. Уобличавање и трансмисија неуроимпулса
 - 1.2. Прорачун биоелектричних величина
2. EEG и ERP сигнали
 - 2.1. Електроенцефалографски (EEG) сигнал
 - 2.2. Потенцијал везан за догађај (ERP)
3. Мерење EEG и ERP сигнала
 - 3.1. Мерење EEG сигнала и EEG инструментација
 - 3.2. Мерење ERP сигнала и специфичности ERP инструментације
4. Математички алати за хармонијску анализу сигнала
 - 4.1. Фуријеова трансформација континуалних сигнала
 - 4.2. Фуријеова трансформација дискретизованих сигнала по времену (DTFT)
 - 4.3. Дискретна Фуријеова трансформација (DFT)
 - 4.4. Брза Фуријеова трансформација (FFT)
 - 4.5. Краткотрајна Фуријеова трансформација (STFT)
 - 4.6. Вејвлет трансформација у дигиталној обради сигнала
5. Стохастичко мерење EEG сигнала и утицај Вилбрахам-Гибс-овог феномена
 - 5.1. Стохастичко дигитално мерење сигнала на интервалу
 - 5.1.1. Флеш А/Д конвертори
 - 5.1.2. Стохастичко дигитално мерење стационарних сигнала на интервалу
 - 5.1.3. Стохастичко дигитално мерење EEG сигнала на интервалу у фреквенцијском и временском домену
 - 5.1.3.1. FPGA структура за имплементацију методе СДМИ
 - 5.1.3.2. Микропроцесор за имплементацију методе СДМИ
 - 5.1.4. Матлаб симулација мерења типичних сигналних форми применом методе СДМИ
 - 5.2. Матлаб симулација ефекта цурења спектра сигнала
 - 5.3. Утицај Вилбрахам-Гибс-овог ефекта на мерење EEG сигнала применом СДМИ
6. Мерење ERP потенцијала засновано на стохастичком мерењу хармоника епохе
 - 6.1. Примена EEGLAB софтвера у мерењу ERP потенцијала
 - 6.2. Анализа ERP Р300 компоненте применом ERPLAB софтвера
 - 6.3. Мерење амплитуде и латенције ERP-а применом методе СДМИ

Закључак

Прилози

Литература

Дисертација има 233 стране, 48 цитата, 34 табеле, 77 слика, 44 графика и 21 прилог.

V ВРЕДНОВАЊЕ ПОЈЕДИНИХ ДЕЛОВА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

У уводу се наводи циљ докторске дисертације: “Мерење амплитуде и латенције можданих ЕРП потенцијала на смањеном броју ЕЕГ епоха, применом методе стохастичког дигиталног мерења хармоника на интервалу”.

У првом поглављу је приказана анатомија централног нервног система са описом механизма настанка неуро импулса и Матлаб прорачунима биоелектричних величина.

У другом поглављу је разматран електроенцефалографски (ЕЕГ) сигнал са карактеристичним фреквенцијским опсезима, амплитудама и облицима регистрованог сигнала. У наставку је разматран мождани потенцијал везан за догађај (ЕРП), где су наведене специфичности компоненти и метода анализе ЕРП-а.

У трећем поглављу је анализирана проблематика мерења ЕЕГ сигнала, као и ЕЕГ инструментација. Такође, анализирана је и проблематика мерења ЕРП сигнала и специфичности ЕРП инструментације.

Четвртим поглављем је представљена Фуријеова анализа сигнала у фреквенцијском домену као и други математички алати за анализу хармоника ЕЕГ епохе.

Пето поглавље описује методу стохастичког дигиталног мерења хармоника неуро потенцијала на временском интервалу (СДМИ). Приказане су блок шеме хардвера мерне дигиталне инструментације засноване на методи СДМИ. Наглашена је могућност примене методе СДМИ у мерењу амплитуде и латенције компоненте нестационарних ЕРП сигнала. Разматрана је мерна несигурност, а предложена је техника којом се величина грешке мерења распреже. Изведене су формуле за прорачун синусних и косинусних Фуријеових коефицијената са микропроцесорском ФПГА хардверском структуром за обраду хармоника ЕЕГ епохе. У експерименталној фази је, на бази приказане блок шеме, реализована Матлаб симулација мерења типичних облика сигнала (синусни, правоугаони, тестерасти) имплементацијом методе СДМИ. Резултати симулације мерења су приказани у облику графова програмски генерисаних сигнала (сви програмски кодови су дати у прилозима дисертације) и табеларним приказом измерених одступања оригиналног у односу на реконструисани сигнал (применом методе СДМИ). У наставку су приказани примери Матлаб симулације ефекта цурења спектра сигнала. Матлаб симулацијом мерења карактеристичних сигнала, приказан је утицај Вилбрахам-Гибс-овог феномена и могућност смањења грешке мерења применом методе СДМИ. У следећој фази је, реализацијом хардвера реалног ЕЕГ генератора и дигиталног ФПГА микропроцесорског мерног инструмента, који примењује методу СДМИ реалног ЕЕГ сигнала, потврђено постојање Вилбрахам-Гибс-овог ефекта и измерене су усредњене вредности одступања реконструисаног у односу на реални ЕЕГ сигнал.

У шестом поглављу су демонстриране могућности специјализованих софтверских пакета ЕЕГЛАБ и ЕРПЛАБ. Кроз интерактивне Матлаб процедуре, из регистрованог ЕЕГ сигнала у позадини (на основу преузетих тестних података), издвојене су ЕРП компоненте. Применом методе СДМИ, реконструисан је фреквенцијски спектар изворне ЕЕГ епохе, на основу чега су измерене амплитуда и латенција П300 компоненте које су потом компарирани са оригиналним вредностима. Симулирана могућност редукције времена мерења П300 ЕРП-а смањењем укупног броја ЕЕГ епоха и варијацијом броја хармоника. Табеларно су приказане грешке мерења за више варијанти, на основу којих су изведени закључци и предлози о дOMETИМА имплементираних методе СДМИ хармоника ЕЕГ епохе.

У закључку рада су сублимирани резултати који су постигнути у дисертацији, а пред крај су издвојени прилози, да не би додатно оптерећивали поглавља рада. На самом крају докторске дисертације је дат попис литературе.

VI СПИСАК НАУЧНИХ И СТРУЧНИХ РАДОВА КОЈИ СУ ОБЈАВЉЕНИ ИЛИ ПРИХВАЋЕНИ ЗА ОБЈАВЉИВАЊЕ НА ОСНОВУ РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА У ОКВИРУ РАДА НА ДОКТОРСКОЈ ДИСЕРТАЦИЈИ

1. P. Sovilj, M. Milovanović, D. Pejić, M. Urekar, Z. Mitrović, “*Influence of Wilbraham-Gibbs Phenomenon on Digital Stochastic Measurement of EEG Signal Over an Interval*“, Measurement Science Review, Volume 14, No 5, 2014. (M22)

2. M. Milovanović, P. Sovilj, "ERP potential measuring in EEGLAB software", Zbornik radova INFOTEH Jahorina information technology, ISBN: 978-99955-763-3-2, Istočno Sarajevo, 19.-21. mart 2014. (M33)

3. M. Milovanović, P. Sovilj, „Analiza ERP P300 komponente primenom ERPLAB softvera“, Zbornik apstrakata i program 58. konferencije ETRAN Vrnjačka Banja, 02.-05. jun 2014. (M63)

4. M. Milovanović, Z. Bundalo, „Neurodynamical model of electrical signals of brain activities“, Zbornik radova INFOTEH Jahorina information technology, Vol. 7, Ref. E-VI-3, pp. 597.-601., Istočno Sarajevo, 26.-28. mart 2008. (M33)

5. M. Milovanović, Z. Bundalo, "Simulation of electrical signals of brain activities in Matlab program surrounding", Zbornik radova INFOTEH Jahorina information technology, Vol 7, Ref. E-VI-4, pp. 602.-606., Istočno Sarajevo, 26.-28. mart 2008. (M33)

6. M. Milovanović, P. Lukić, Z. Golubović, "Model neuromehaničkih EEG signala", Peti međunarodni naučni skup "Savremeni materijali 2012", Banja Luka, 05.- 07. jul 2012. (M33)

7. M. Milovanović, P. Lukić, Z. Golubović, "Design of characteristic brain signals in MATLAB", The Fourteenth Annual Conference „YUCOMAT 2012“, Herceg Novi, 03.- 07. septembar 2012. (M33)

VII ZAKЉUČICI OДНОСНО РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

Циљ докторске дисертације који је наведен у тачки V је постигнут. Реализација идеје ефикасног и прецизног мерења вршне вредности и латенције компоненти ЕРП можданог потенцијала је изведена етапно по фазама које обухватају:

1. Дизајнирање јефтиног и једноставног хардвера мерне инструментације којим се, мерење параметара ЕРП компоненти, врши за кратко време са што мањом грешком. Разрађена је метода дитеровања којом се на улаз дигиталног мерног инструмента, поред реалног ЕЕГ сигнала који се мери, додаје униформни случајни (дитер) сигнал, у процесу А/Д конверзије, са циљем распрезања грешке мерења.

2. Описивање модела мерног инструмента који примењује методу стохастичког дигиталног мерења хармоника сигнала на интервалу (СДМИ). Мерење вредности аналогног сигнала на интервалу је допуна класичном мерењу сигнала у тачки. Показано је да оваква мерења имају мању мерну несигурност при великом броју узорковања сигнала и примењива су како за стационарне тако и за нестационарне сигнале. Анализа нестационарног ЕЕГ сигнала и мерење параметара амплитуде и латенције П300 компоненте ЕРП-а је изведено применом методе СДМИ хармоника ЕЕГ епохе.

3. Извођење математичких релација за израчунавање синусних и косинусних Фуријеових коефицијената и представљање блок шеме стохастичког дигиталног мерног микропроцесорског ФПГА система којим се мере хармоници ЕЕГ епохе.

4. Анализирање фреквенцијског спектра електроенцефалографског (ЕЕГ) сигнала применом методе СДМИ и мерне микропроцесорске ФПГА инструментације. Хардвер имплементира дискретну Фуријеову трансформацију (ДФТ) ЕЕГ сигнала, методу дитеровања улазног аналогног сигнала и алгоритам прорачуна Фуријеових коефицијената синусних и косинусних хармоника реалне ЕЕГ епохе.

5. Матлаб дигиталне симулације мерења типичних сигнала применом методе СДМИ. Изведене су формуле које су употребљене у програмском коду за процес уобличавања графова карактеристичних сигнала (синусни, правоугаони, тестерастри). Дизајнираним моделом је симулирано дигитално мерење засновано на методи СДМИ. Показано је да, применом методе СДМИ, генерисани облици типичних сигналних форми имају веома мало одступање у односу на идеалне облике сигнала, чиме се потврђује оправданост примене ове методе.

6. Матлаб дигиталне симулације утицаја Вилбрахам-Гибс-овог феномена. Дизајнираним моделом базираним на методи СДМИ, овај феномен је демонстриран генерисањем „оштрих“ прелаза типичних облика сложенопериодичних сигнала, при чему је уочено повећање грешке мерења. У раду је разматран утицај мерног подинтервала на величину грешке мерења изазване Вилбрахам-

Гибс-овим феноменом. Хардверски је реализован сигнал генератор, с наменом генерисања поновљивих ЕЕГ сигналних форми, које су потом мерене стохастичком дигиталном мерном инструментацијом. Симулацијом мерења комплетног фреквенцијског опсега ЕЕГ сигнала, измерена је једносмерна компонента, 200 синусних и 200 косинусних Фуријеових коефицијената, при чему је показано да је грешка мерења, због Вилбрахам-Гибс-овог феномена, мања ако је мерни подинтервал већи. У раду је истакнута једноставна и јефтина изведба мерне инструментације, засноване на методи СДМИ, као и њена робусност на сметње, што представља предност методе СДМИ у односу на класично дигитално мерење ЕЕГ сигнала.

8. Тестирање Матлаб узорака ЕЕГ сигнала у специјализованом ЕЕГЛАБ софтверском окружењу. У раду су приказане могућности ЕЕГЛАБ софтвера код дигиталног процесирања ЕЕГ-а и других електрофизиолошких сигнала.

9. Тестирање Матлаб података ЕЕГ-а у специјализованом ЕРПЛАБ софтверском окружењу. У раду је извршена анализа оригиналног ЕЕГ сигнала, генерисаног проведеним експериментом стимулације централног нервног система испитаника, са циљем препознавања П300 компоненте ЕРП-а везане за догађај. Матлаб дигиталном симулацијом, применом методе СДМИ, извршено је мерење амплитуде и латенције П300 компоненте ЕРП-а. Указано је на потребу што прецизнијег одређења вредности параметара ЕРП-а, али је истовремено наглашена потреба за ефикасним мерењем. Размотрен је мерни систем заснован на методи СДМИ који мери амплитуду и латенцију П300 компоненте ЕРП-а на редукованом броју ЕЕГ епоха. Извршена је компарација референтних (ЕРПЛАБ) и СДМИ измерених (Матлаб симулацијом) вредности амплитуде и латенције П300 компоненте ЕРП-а. За променљиви укупан број ЕЕГ епоха, Матлаб симулацијом СДМИ и до 30 хармоника, су измерене грешке мерења. Резултати су показали да дигитална мерна инструментација која примењује методу СДМИ хармоника на редукованом броју ЕЕГ епоха, може да мери, поред истосмерне, још и 49 хармоника синусних и 49 косинусних компоненти нестационарног ЕЕГ сигнала са великом прецизношћу. Пораст грешке мерења је очит код пораста коефицијента редукације ЕЕГ епоха, али је приметно да се грешка мерења латенције П300 компоненте ЕРП-а задржала на малом износу чак и код мерења хармоника на смањеном броју ЕЕГ епоха.

На овај начин се у дисертацији показује да предложени стохастички дигитални мерни систем који примењује методу СДМИ хармоника П300 компоненте ЕРП-а на смањеном броју ЕЕГ епоха, може да има примену у пракси, онда када је потребно за кратко време измерити латенцију ЕРП-а са задовољавајућом тачношћу, а да при том мерење амплитуде није од пресудног значаја.

VIII ОЦЕНА НАЧИНА ПРИКАЗА И ТУМАЧЕЊА РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА

Математичким уобличавањем методе СДМИ, егзактно је постављен основ за развој хардвера мерног дигиталног система којим се мере компоненте ЕРП-а, имплементацијом методе СДМИ хармоника ЕЕГ епохе. Резултати мерења су јасно и прецизно наведени у дисертацији приказом табела са измереним вредностима амплитуде и латенције компоненте ЕРП-а и грешака мерења, као и приказом графова генерисаних сигнала, у циљу визуелне потврде текстуално наведених описа резултата мерења. На тај начин је омогућена непристрасна анализа грешака мерења кроз компарацију референтних у односу на измерене вредности амплитуде и латенције ЕРП можданих потенцијала. Посебан значај овој дисертацији дају резултати мерења засновани на примени методе СДМИ хармоника П300 компоненте ЕРП-а.

Приказ резултата истраживања са пратећим тумачењима у дисертацији се процењују веома квалитетним.

IX КОНАЧНА ОЦЕНА ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ:
1. Да ли је дисертација написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме? Дисертација је у потпуности написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме.
2. Да ли дисертација садржи све битне елементе? Дисертација садржи све битне елементе за разумевање проблема и предложеног решења за мерење компоненти ЕРП можданог потенцијала.
3. По чему је дисертација оригиналан допринос науци? У дисертацији је предложено решење стохастичког дигиталног мерног инструмента који примењује методу СДМИ хармоника на редукованом броју ЕЕГ епоха, са могућношћу практичне примене код брзих мерења латенције ЕРП-а, што представља оригинални вид побољшања постојећих поступака мерења компоненти ЕРП.
4. Недостаци дисертације и њихов утицај на резултат истраживања. Дисертација нема недостатака који утичу на резултат истраживања.
X ПРЕДЛОГ:
На основу укупне оцене дисертације, комисија предлаже:
ДА СЕ ДОКТОРСКА ДИСЕРТАЦИЈА ПРИХВАТИ, А КАНДИДАТУ ОДОБРИ ОДБРАНА.

НАВЕСТИ ИМЕ И ЗВАЊЕ ЧЛАНОВА КОМИСИЈЕ
ПОТПИСИ ЧЛАНОВА КОМИСИЈЕ

др Зоран Митровић, ванредни професор,
Факултет техничких наука, Нови Сад

др Драган Денић, редовни професор,
Електронски факултет, Ниш

др Вања Ковић, доцент,
Филозофски факултет, Београд

др Оливера Клисурић, ванредни професор,
Природно-математички факултет, Нови Сад

др Платон Совиљ, доцент,
Факултет техничких наука, Нови Сад