

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата Небојше Малешевића
Београд, 16. април 2014. године.
Одлуком 5003/2007-3 бр. од 31.03.2014. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Небојше Малешевића под насловом

“Систем за функционалну електричну стимулацију базиран на електродама са већим бројем проводних поља”

После прегледа достављене Дисертације и других пратећих материјала и разговора са Кандидатом, Комисија је сачинила следећи

РЕФЕРАТ

1. УВОД

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

- 31.10.2012. год. Небојша Малешевић је пријавио тему под насловом:
“Систем за функционалну електричну стимулацију базиран на електродама са већим бројем проводних поља” за израду докторске дисертације.
- 06.11.2012. год. Наставно-научно веће Факултета именовало је Комисију за оцену услова и прихватање теме у саставу:
1. др Дејан Поповић, редовни професор, дописни члан САНУ
Универзитет у Београду - Електротехнички факултет
 2. др Мирјана Поповић, редовни професор,
Универзитет у Београду -Електротехнички факултет
 3. др Ласло Швиртлих, редовни професор,
Државни Универзитет у Новом Пазару
- 12.03.2013. год. Наставно-научно веће Факултета прихватило је Извештај Комисије за оцену услова и прихватање теме докторске дисертације.
- 15.04.2013. год. Тема је прихваћена од стране Универзитетског већа научних области техничких наука.
(Број одлуке: 61206-1547/2-13 од 15.04.2013. год.)
- 25.03.2014. год. Наставно-научно веће Факултета именовало је Комисију за оцену и одбрану урађене докторске дисертације у саставу:
1. др Дејан Поповић, редовни професор, дописни члан САНУ
Универзитет у Београду - Електротехнички факултет
 2. др Мирјана Поповић, редовни професор,

Универзитет у Београду - Електротехнички факултет
3. др Ласло Швиртлих, редовни професор,
Државни универзитет у Новом Пазару
4. др Бранко Ковачевић, редовни професор,
Универзитет у Београду - Електротехнички факултет
5. др Љубица Константиновић, ванредни професор,
Универзитет у Београду – Медицински факултет
Број одлуке: 5003/2007-3 од 31.03.2014. године.

1.2. Научна област дисертације

Научна област: техничке науке, електротехника

Ужа научна област: биомедицинско инжењерство

Ментор: Проф. др Дејан Поповић, Универзитет у Београду, Електротехнички факултет,
дописни члан САНУ

1.3. Биографски подаци о кандидату

Дипл. инж. Небојша Малешевић рођен је 09. марта 1983. у Београду где је завршио Трећу београдску гимназију, природно-математички смер, 2002. године и дипломирао на Електротехничком факултету Универзитета у Београду, смер Медицинска и нуклеарна техника. Дипломски рад под насловом " Моторни погон за контролу положаја карлице при ходу ", код ментора проф. др Дејана Поповића је одбранио 2007. године. Исте године уписује докторске студије на смеру Управљање системима и обрада сигнала. На докторским студијама је положио свих 10 испита у предвиђеном року са просечном оценом 10 и тако стекао квалификацију (90 ЕПСБ) да пријави докторску дисертацију. По истеку законског рока за завршетак докторских академских студија, на захтев студента, одобрено је продужење рока за завршетак ових студија за још два семестра, сагласно члану 92. став 4 Статута Универзитета у Београду.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација “Систем за функционалну електричну стимулацију базиран на електродама са већим бројем проводних поља” је изложена на 118 страна укључујући списак цитиране и коришћене литературе.

Докторска дисертација је подељена у 8 поглавља:

1. Увод
2. Нумеричка симулација ефеката електричне стимулације у биолошком ткиву
3. Дизајн стимулаторског система базираног на матричним електродама
4. Просторно-временска дистрибуирана електрична стимулација: Метода за смањење замора мишића
5. Селективност и оптимизација стимулације матричним електродама
6. Примена система за електричну стимулацију за контролу скочног зглоба
7. Закључак
8. Предлог за даљи рад

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У уводном поглављу изложени су основни биолошки механизми функционисања неуро-мишићног система. Описани су процеси који доводе до губитка моторне контроле и принцип електричне стимулације који се користи као једна од рехабилитационих метода. Детаљно су размотрени параметри стимулације и њихови утицаји на мишићни одговор.

У другом поглављу је приказан утицај електричне стимулације матричном електродом на контролисано уношење јона у одабрану запремину ткива у којој се налази мотоневрон. Ова

студија обухвата симулацију електричне стимулације коришћењем методе коначних елемената, *in vitro* и *in vivo* мерење електричних потенцијала унутар ткива током електричне стимулације и анализу локално депоноване енергије услед топлотних (*Joules*-ових) губитака током електричне стимулације.

У трећем поглављу приказан је развој матричних електрода таквих да анатомски и електрично одговарају функционалности којој су намењене и стимулатора способног да одговори захтевима управљања системом са великим бројем степени слободe. Овде је посебна пажња посвећена хардверској оптимизацији и модуларности система, аутоматизованим алгоритмима управљања.

У четвртном поглављу дефинисана је и потврђивања хипотезе о смањењу замора мишића услед ФЕС-а. Спроведене клиничке студије на клиници за рехабилитацију "др Мирослав Зотовић" су показале предности коришћења парадигме просторно-временски дистрибуиране стимулације на смањење брзине настанка мишићног замора у односу на конвенционалну стимулацију. Студије су обухватиле мерења на квадрицепсу пацијената са параплегијом и мишићима флексорима прстију пацијената са хемиплегијом.

У петом поглављу приказана је хипотеза о повећаној селективности матричне електроде. Мерењима на здравим испитаницима са инерцијалним сензорима као повратном спрегом и пацијентима са сензорима савијања у повратној спрези су потврдила потенцијал матричних електрода да генеришу селективне покрете. У овом делу тезе су детаљно описани аутоматизовани алгоритми за дефинисање стимулационих шема које резултују жељеним покретима.

У шестом поглављу приказана је примена потврђених парадигми стимулације матричним електродама на контролу скочног зглоба код пацијената са хемиплегијом. Описани клинички протокол укључује дизајн анатомски прилагођене матричне електроде, сензора на основу којих се врши управљање протезом, оптимизацију стимулационих шема за постизање дорзифлексије и плантарне флексије и алгоритам асистираних хода пацијената са падајућим стопалом.

У седмом поглављу је приказан збирни преглед постигнутих резултата и изведених закључака.

У осмом поглављу дате су препоруке за будући рад.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Докторска дисертација "Систем за функционалну електричну стимулацију базиран на електродама са већим бројем проводних поља" представља савремен, оригиналан и значајан допринос области биомедицинског инжењерства. Значај ових истраживања се огледа у актуелности теме и веома великом броју радова који се појавио у претходних двадесет и више година у овој области. Оригиналност истраживања је и идејна и техничка: предлаже се принципи дистрибуиране и асинхроне стимулације налик системима у здравом организму, и предлаже и реализује се техничко решење на бази савремених технологија и знања у домену неурорехабилитације. Резултат овог оригиналног приступа је побољшање селективности при примени електричне стимулације користећи површинске електроде, смањењу количине електрицитетa на појединим контактима тела и електрода, и успоравања замора при електричној стимулацији у поређењу са конвенционалном применом електричне стимулације.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

За формирање концепта и писање докторске дисертације је коришћена најсавременија литература из области рехабилитационог и биомедицинског инжењерства. Списак литературе јасно показује зрелост и вештину аутора да размотри релевантне радове у вези са електричном стимулацијом и различитим приступима контроле покрета генерисаних стимулацијом. У дисертацији је 98 референци, од чега је већина на *Thomson WoS* листи.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Методологија истраживања у оквиру докторске дисертације укључује:

- Проучавање физиологије и ефеката примене електричног поља на неуро-мишићне структуре.
- Пројектовање матричних електрода и електронског стимулатора намењених имплементацији контролних алгоритама који омогућују тестирање хипотеза о селективној стимулацији и успорењу замора мишића.
- Разматрање постојећих и развој нових управљачких алгоритама.
- Клинички рад са испитаницима после можданог удара у циљу тестирања хипотезе о повећаној селективности стимулације матричном електродом у односу на конвенционалну стимулацију.
- Клинички рад са испитаницима после повреде кичмене мождине и после можданог удара у циљу тестирања хипотезе о смањењу мишићног замора.
- Квантитативна и статистичка анализа резултата мерења који су добијени у клиничким испитивањима.
- Приказ резултата рада на дисертацији научној јавности у часописима и у зборницима састанака посвећених примени електричне стимулације и моторне контроле.

3.4. Променљивост остварених резултата

Тема докторске дисертације је веома актуелна што показује велики број научних публикација објављених у последњих десет година из области функционалне електричне стимулације. Матричне електроде су као нова технологија у експанзији, али нису и поред великих потенцијала прихваћени јер интерфејси за њихову примену нису на нивоу који је неопходан за свакодневну клиничку/кућну употребу. Основни допринос дисертације је клинички уређај који је одговара захтевима лекара, терапеута и пацијената. Уграђени контролер успешно решава питања која су највећа препрека широкој примени конвенционалне електричне стимулације: недовољно селективна активација мишића који су потребни за покрет и постуру и брз настанак мишићног замора.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Кроз рад на докторској дисертацији, као и кроз вишегодишње радно искуство у области електричне стимулације, кандидат се успешно развио у самосталног истраживача. Поседује разноврсно искуство, неопходно стручно и теоријско знање и друге индивидуалне квалитете неопходне за успешан научно-истраживачки рад.

Небојша је показао да је устању да пројектује и припреми клиничко истраживање и да на савремени начин гарантује безбедност и етичност испитивања.

Небојша је показао да уме да припреми патентну документацију и тиме заштити резултате свог рада, али много важније омогући трансляцију научног рада у индустрију.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

Основни научни доприноси у оквиру докторске дисертације су:

- Допринос бољем разумевању електричних ефеката при стимулацији матричном електродом.
- Потврда хипотезе о повећаној селективности електричне стимулације у односу на конвенционалну површинску стимулацију.
- Потврда хипотезе да просторно-временски дистрибуирана стимулација производи мишићну контракцију отпорнију на замор у односу на конвенционалну стимулацију.
- Развој алгорита за аутоматско одређивање параметара стимулације који гарантују производе жељени покрет.
- Примену својих општих разматрања на управљање скочним зглобом током хода које је од посебног интереса за хемиплегичне пацијенте (проблем падајућег стопала).
- Развој технологије матричних електрода и електронског стимулатора са отвореношћу платформе тако да је могућа имплементације комплексних управљачких алгоритама и примене на другим системима у организму. Резултати су општи тако да омогућују у примену са имплантираним системима.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Сагледавањем постављеног проблема, циљева истраживања и добијених резултата рада констатујемо да је кандидат успешно одговорио на сва битна питања и проблеме који су се наметнули у току истраживања. Развијена методологија електричне стимулације употребом електрода са већим бројем независних проводних поља представља потпуно нови концепт у истраживањима у области електричне стимулације. Резултати су у потпуности применљиви у пракси што је и показано експериментима и мерењима на пацијентима који потенцијално имају највеће користи од развоја ове методологије електричне стимулације. Поређењем ефеката стимулације матричним и конвенционалним електродама јасно је приказана предност коришћења нових парадигми електричне стимулације.

4.3. Верификација научних доприноса

Доприноси научног истраживања су верификовани и кроз радове објављене у часописима са *WoS Thomson Reuters* листе, али и радове на конференцијама. Увидом у базу података *WoS Thomson Reuters* се види да је цитирано укупно 9 радова укупно 18 пута, и индекс $h=2$. Прегледом базе података *SCOPUS* ја да постоји укупно 11 радова на листи. Према подацима од 16. априла смо утврдили да су радови Небојше Малешевића цитирани 22 пута и да је Хиршов фактор: $h=3$. Ако се искључе самоцитати добија се укупно 13 цитата, и индекс $h=2$. На Google Scholar листи је преко 20 радова и цитираност близу 100.

Радови у часописима који су основа садржај докторске дисертације су:

1. **N. Malešević**, L. Popović, L. Schwirtlich and D.B. Popović, "Distributed low-frequency functionalelectrical stimulation delays muscle fatigue compared to conventional stimulation", *Muscle & Nerve*, 42(4): 556-562, 2010, DOI: 10.1002/mus.21736, M23, IF=2,314
2. **N. Malešević**, L. Popović Maneski, V. Ilić, N. Jorgovanović, G. Bijelić, T. Keller, D. Popović, "A Multi-Pad Electrode based Functional Electrical Stimulation System for Restoration of Grasp", *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*, 9(1):66, 2012, DOI:10.1186/1743-0003-9-66, M21, IF=2,57
3. L. Z. Popović Maneski, **N. M. Malešević**, A. M. Savić, T. Keller, and D. B. Popović, "Surface distributed low-frequency asynchronous stimulation (sDLFAS) delays fatigue of stimulated muscles", *Muscle & Nerve*, 48(6): 930-937, 2013, DOI: 10.1002/mus.23840 M23, IF=2,314
4. A. Savić, **N. Malešević**, M.B. Popović, Feasibility of a Hybrid Brain-Computer Interface for Advanced Functional Electrical Therapy, *The Scientific World Journal*, (2014), Article ID 797128, DOI:10.1155/2014/797128, M23, IF=1,73

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу изложеног констатујемо да докторска дисертација Небојше Малешевића, под називом “Систем за функционалну електричну стимулацију базиран на електродама са већим бројем проводних поља” садржи оригиналан научни и стручни допринос стимулационим системима и дефинисању нових парадигми електричне стимулације. Узимајући у обзир оно што је приказано у докторској дисертацији и чињеницу да је анализирана проблематика веома актуелна у научној јавности, са задовољством констатујемо да је кандидат Небојша Малешевић, дипл. инж. успешно приказао своје резултате у докторској дисертацији у складу са предвиђеним планом и постављеним циљевима. Кандидат је приказао оригиналне, проверљиве, поновљиве и у пракси применљиве резултате у области функционалне електричне стимулације, и показао висок ниво способности и самосталности у доношењу и спровођењу одлука у току свог научног рада. На тај начин је демонстрирао способност за самосталан научни рад.

На основу изложеног Комисија за оцену са задовољством констатује да је докторска дисертација Небојше Малешевића, дипл. инж., под називом “Систем за функционалну електричну стимулацију базиран на електродама са већим бројем проводних поља” написана према високим стандардима за научно-истраживачки рад и да испуњава све услове предвиђене Законом о високом образовању, стандардима и Статутом Електротехничког факултета Универзитета у Београду. Комисија предлаже Наставно-научном већу Електротехничког факултета у Београду да овај Извештај прихвати, дисертацију стави на увид јавности и упути Извештај на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду чиме би се омогућило да кандидат приступи јавној одбрани рада.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

др Дејан Поповић, редовни професор, дописни члан САНУ
Универзитет у Београду - Електротехнички факултет

др Мирјана Поповић, редовни професор,
Универзитет у Београду - Електротехнички факултет

др Ласло Швиртлих, редовни професор,
Државни универзитет у Новом Пазару

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

др Љубица Константиновић, ванредни професор,
Универзитет у Београду – Медицински факултет