

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКОГ ФАКУЛТЕТА УНИВЕРЗИТЕТА У БЕОГРАДУ

На 733. седници Наставно-научног већа Електротехничког факултета Универзитета у Београду одржаној 14.06.2011. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед и оцену докторске дисертације **Лане Поповић Манески**, дипл. инг. под насловом „**Систем за супресију тремора руке у реалном времену помоћу површинске функционалне електричне стимулације**“. Ментор докторске дисертације је проф Мирјана Поповић. Након увида у достављени материјал, проценили смо квалитет и научни допринос поднете докторске дисертације, на основу које Наставно-научном већу Електротехничког факултета Универзитета у Београду подносимо следећи

ИЗВЕШТАЈ

1.УВОД

1.1 Наслов и обим дисертације

Наслов докторске дисертације Лане Поповић Манески је „**Систем за супресију тремора руке у реалном времену помоћу површинске функционалне електричне стимулације**“. Дисертација садржи насловну страну, садржај, седам поглавља, прилог и списак литературе. Дисертација је написана на 84 стране које укључују 54 слике, 6 табела, 17 формула, 120 референци и 13 референци кандидата.

1.2 Хронологија одобравања и израде дисертације

Пријава докторске дисертације под насловом “Систем за супресију тремора руке у реалном времену помоћу површинске функционалне електричне стимулације“ је поднета 11.1.2011. На седници Комисије за трећи степен студија Електротехничког факултета Универзитета у Београду (у даљем тексту ЕТФ) одржаној 26.1.2011. године је констатовано да је Лана Поповић Манески пријавила докторску дисертацију под наведеним насловом, и у складу са Правилником о докторским студијама ЕТФ, Наставно-научном већу ЕТФ је предложена Комисија за оцену услова и прихватање теме у саставу: др Мирјана Поповић, ред.проф. (ЕТФ), др Дејан Поповић, ред.проф. (ЕТФ) и др Владимир Костић, ред.проф. (Медицински факултет Универзитета у Београду). За ментора дисертације је предложена др Мирјана Поповић. На 728. седници Наставно-научног већа Електротехничког факултета, одржаној 22.2.2011. године, прихваћен је предлог Комисије за трећи степен студија и потврђена је предложена Комисија за оцену услова и прихватање теме као и предложени ментор. На основу извештаја Комисије и пратеће документације докторске дисертације предложена тема је прихваћена на 730. седници Наставно-научног већа ЕТФ, одржаној 29.3.2011.год., а 9.5.2011. године од стране Већа научних области техничких наука Универзитета у Београду.

Докторска дисертација је предата 27.5.2011. године, а 2.6.2011. године је Комисија за трећи степен студија ЕТФ размотрила предлог Комисије за преглед и оцену докторске дисертације. На 733. седници Наставно-научног већа ЕТФ, одржаној 14.6.2011. године, је прихваћена Комисија за преглед и оцену докторске дисертације у следећем саставу: др Мирјана Поповић, ред.проф. (ЕТФ), др Дејан Поповић, ред.проф. (ЕТФ), др Владимир

Костић, ред.проф. (Медицински факултет Универзитета у Београду), др Бранко Ковачевић, ред.проф. (ЕТФ), др Томислав Шекара, доц. (ЕТФ).

После увида у текст дисертације, Комисија је написала овај извештај.

1.3 Место дисертације у одговарајућој научној области

Дисертација припада ужој научној области Биомедицинске технике.

1.4 Биографски подаци о кандидату

Лана Поповић Манески је рођена у Београду 1983. године. Тринаесту београдску гимназију завршила је 2002. године, а дипломирала на ЕТФ 2007. године, смер Аутоматика, са средњом оценом током студија 8,86. Тема дипломског рада је “Реализација секвенцијалног управљања лифтом употребом PLC-а *AllenBradley ML1100*”, ментор – проф. Србијанка Турајлић, оцена 10.

Кандидаткиња се одмах након дипломирања запослила на Електротехничком факултету Универзитета у Београду као сарадник у лабораторији за Биомедицинско инжењерство и технологије где и сада ради и укључена је у два међународна и два национална пројекта: 1) Програм билатералне сарадње Павле Савић између Србије и Француске (IMSi CNRS), „Методе за ресторацију моторних образаца после цереброваскуларног инсульта“, руководилац: проф. Мирјана Поповић (2008-2009); 2) EU FP7 пројекат „*An ambulatori BCI-driven tremor suppression system based on functional electrical stimulation – TREMOR*“, као сарадник српског партнера на пројекту (2008-2011); 3) Пројекат TP 11019 који финансира Министарство Науке и Технолошког Развоја Србије „Развој програмске подршке за управљање ходањем и управљање манипулацијом и хватањем“, руководилац: проф. Дејан Поповић (2008-2010); 4) Пројекат ОИ 175016 који финансира МНТР Србије „Ефекти асистивних система у неурорехабилитацији: опоравак сензорно-моторних функција“, руководилац: проф. Мирјана Поповић (2011-2014). Као резултат међународне сарадње Лана је одржала предавање на Париском Универзитету у оквиру сарадње на билатералном пројекту са Француском, као и предавање у оквиру докторског курса на Албуршком универзитету у Данској.

Од октобра 2009. године Лана је у додатном радном времену запослена у фирми „*Fatronik Serbia*“, сада *Tecnalia Int. Dev.* у Београду, где се бави истраживачким радом у области моторне контроле и рехабилитације горњих екстремитета помоћу електричне стимулације мишића.

Лана Поповић Манески је изабрана у научна звања: истраживач приправник 15.06.2010. и истраживач сарадник 17.11.2010. на Институту за мултидисциплинарна истраживања Универзитета у Београду.

Лана Поповић Манески је аутор или коаутор три рада у међународним часописима са *impact* фактором (1.144; 2.287; 1.688) који су на *SCI* листи, једног рада у националном часопису, шест радова и једног апстракта на штампаног у зборницима са међународних конференција и два рада који су саопштени на националним конференцијама. Један рад је после ревизије (условно прихваћен) послат за часопис са *impact* фактором (1,757) који је на *SCI* листи. Ови радови су у директној вези са резултатима истраживања приказаним у докторској дисертацији кандидаткиње. У докторској дисертацији се налазе и резултати који до сада нису објављени, али је планирана њихова презентација научној јавности.

Лана је положила тест и стекла звање *Certified LabVIEW Associate Developer*, *National Instruments, Austin, USA*, serial number: 100-310-2322, у току 2010 године. Лана користи и говори неколико језика (енглески, француски, португалски, немачки).

2. ПРИКАЗ ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1 Структура и садржај дисертације

Теза је организована у седам поглавља и има један прилог. Наслови поглавља су: 1) Увод; 2) Сензорски систем за мерење тремора; 3) Адаптивно филтрирање сигнала тремора; 4) Функционална електрична стимулација у против-фази тремора; 5) Селективна стимулација; 6) Замор мишића приликом функционалне електричне стимулације и 7) Закључак. Теза укључује листу референци која показује да је кандидаткиња одлично упозната како са ранијим тако и са тренутним резултатима у области истраживања.

2.2 Кратак приказ појединачних поглавља

У првом поглављу тезе описан је појам тремора, типови тремора и могући узроци настанка. Објашњене су постојеће методе потискивања тремора и указано на недостатке ових метода. Наведени недостаци су довели до потребе за развојем другачијих решења као што су активне или пасивне ортозе којима се применом контролисане силе или отпора тремор смањује, а при чему се не ограничавају вољни покрети. Покушаји механичке редукције тремора на периферији резултовали су уређајима базираним на управљању импедансом, као што су вискозна ортоза или егзоскелетон са моторним погонима у зглобовима. У овом поглављу су описани постојећи предлози решења за ортозе, и указано је на њихове недостатке који се претежно односе на ограничавање опсега покрета у зглобу, недовољан број степени слободе и велике димензије система због чега су непрактични за употребу у свакодневним активностима. Приказано је како тремор може да се смањи применом функционалне електричне стимулације (ФЕС) мишића. Објашњени су општи проблеми који постоје при употреби асистивних система на бази ФЕС-а. Приказан је концепт супресије тремора површинским ФЕС-ом антагонистичких парова мишића у против-фази тремора. Дате су четири полазне хипотезе које се односе на тестирање овог концепта, тестирање функција предложеног хардверског решења, као и на решавање неких од општих недостатака ФЕС-а као што су селективност стимулације и мишићни замор. Детаљно је описан идејни концепт и скициран је приказ жељеног коначног хардверског решења.

У другом поглављу тезе је дат преглед постојећих сензорских система који се у клиничкој и инжењерској пракси користе за мерење амплитуде и учестаности тремора, са нагласком на електромиографији (ЕМГ) и сензорима покрета - гониометрима и инерцијалним сензорима. Приказано је како се акцелерометри могу користити за мерење угаоних убрзања у зглобу или при специфичној ротацији подлактице (супинација и пронација) без утицаја гравитационе компоненте. Сумиране су предности и недостаци наведених типова сензора и објашњени разлози за избор оптималног сензорског система за мерење тремора на бази жироскопа.

У трећем поглављу тезе је објашњен значај адаптивног филтрирања сигнала тремора снимљених помоћу било ког од сензорских система наведених у другом поглављу. Проблем активног потискивања тремора помоћу ФЕС-а се може представити као

управљање системом стимулације у повратној спрези са сензора који детектују тремор у реалном времену. Да би ефекат ФЕС-а био усмерен искључиво на потискивање тремора без ограничавања вољних покрета неопходно је филтрирање сигнала у повратној спрези, који мере збирни ефекат вољних контракција мишића и тремора. Оптималан учинак стимулације се може постићи искључиво уколико је кашњење у оквиру повратне спреге минимизирano, тј. уколико филтрирање сензорских сигнала не уноси фазно кашњење у систем. Комплексност проблема је садржана у природи сигнала тремора који се може окарактерисати као квази-стационаран осцилаторни сигнал, са споро променљивом учестаношћу. У овом поглављу је детаљно описан оригинални алгоритам за адаптивно филтрирање сигнала тремора без фазног кашњења. Ефикасност предложеног решења приказана у раду [L. Popović, T. Šekara, M. B. Popović, Adaptive band-pass filter (ABPF) for tremor extraction from inertial sensor data, *Comp Meth and Prog in Biomed*, 2010], на коме је базирано ово поглавље, упоређена је са до сада опште прихваћеним алгоритмом за адаптивно филтрирање тремора у реалном времену. Резултати су показали да је предложени алгоритам значајно једноставнији за коришћење, робуснији и бржи од постојећег решења.

У четвртном поглављу је описано софтверско решење концепта електричне стимулације мишића у против-фази тремора на бази сензорских сигнала. Најпре је на здравим испитаницима показано да наизменична стимулација антагонистичких мишићних парова у отвореној спрези не ограничава вољне покрете, као и да је немогуће вољним напором спречити брзе покрете узроковане стимулацијом. Затим је на пацијентима тестиран систем за потискивање тремора у затвореној спрези са адаптивним филтром описаним у трећем поглављу. Резултати су детаљно дискутовани за сваког од девет пацијената који су учествовали у студији на Институту за Неурологију Клиничког Центра Србије у Београду, и указано је на одређене проблеме који се јављају при примени предложеног концепта стимулације. Дискутоване су могућности унапређења хардвера и алгоритма.

У петом поглављу тезе је објашњен метод селективне стимулације мишића употребом матричних електрода са већим бројем поља која се могу независно активирати. Предложена је процедура за аутоматску калибрацију произвољно постављене електроде (избор оптималне површине за стимулацију у смислу броја и распореда активних поља) на бази минималног броја сензора. Показано је да се селективан одзив прстију може постићи калибрацијом матричне електроде на основу сигнала са само једног акцелерометра на руци, чиме се значајно скраћује време потребно за поставку система и поједностављује руковање. Постављањем сензора на надлактицу може се избећи употреба сензорских рукавица са прстима чије је навлачење захтеван процес код пацијената са моторним дефицитима у шасти и прстима (тремор или друго), и која ограничава опсег покрета и прекрива површину за хват. Предложена комбинација хардвера и софтвера пружа могућност осамостаљивања пацијената који могу користити асистивне системе за горње екстремитете на бази ФЕС-а без помоћи обученог особља.

У шестом поглављу тезе је предложен метод за смањење мишићног замора при ФЕС-у употребом дистрибуиране асинхроне површинске стимулације, чиме се делимично опонашају природни механизми побуђивања мишићних влакана. Хипотеза је тестирана на доњим екстремитетима пацијената који немају вољне покрете у Клиници за рехабилитацију “Др Мирослав Зотовић” у Београду. Показано је да предложени концепт

омогућава значајно продужење времена коришћења система на бази ФЕС-а пре настанка замора мишића.

У седмом поглављу је приказан збирни преглед постигнутих резултата и изведених закључака, као и смернице за будућа истраживања у циљу побољшања ефикасности предложеног решења.

У прилогу је приказан *Matlab Simulink* модел и пратећи кодови за реализацију адаптивног филтра који је описан у трећем поглављу.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1 Савременост, оригиналност и значај

Проблематика дисертације је изузетно актуелна с обзиром да тремор – као моторни дефицит у оквиру различитих патологија (нпр. Паркинсонова болест, есенцијални тремор, дистонични тремор, церебеларни тремор) омета свакодневне активности. Сва досадашња техничка решења за супресију тремора на нивоу периферне нервно-мишићне структуре су се показала непрактичним за употребу јер, нпр. ограничавају опсег покрета и/или су великих димензија. ФЕС је техника којом се електричним импулсима активирају моторни неурони или сензорно-рефлексни путеви, чиме се постиже контролисана активација инервисаних мишића. У питању је метода за коју је показано да је ефикасна у неурорехабилитацији пацијената после možданог удара и представља основу за развој неуралних ортоза за асистенцију у свакодневном животу. Овакви системи не ограничавају природне опсеге покрета у зглобовима и димензионо су знатно мањи од својих механичких парњака.

Оригиналност дисертације се огледа у свеобухватном сагледавању постављеног проблема и пројектовању новог система за супресију тремора задатих карактеристика, полазећи од четири хипотезе: 1) сензорски систем базиран на инерцијалним сензорима (акцелерометри и жирокопи) је довољно осетљив за детекцију тремора и довољно је малих димензија да се може уградити у неку врсту одевног предмета; 2) на смањење тремора се може утицати искључиво и само уколико је филтрирање сензорских сигнала адаптивно, не уноси кашњење у повратну спрегу и довољно је брзо и стабилно да испрати природне промене у фреквенцији, пре свега у тренуцима јављања и заустављања тремора; 3) употребом матричних електрода може се постићи селективно управљање мишићима око различитих зглобова руке, чиме се вишеструко скраћује време потребно за правилно позиционирање низа појединачних стимулационих електрода; 4) замор мишића индукован употребом ФЕС-а се може значајно успорити коришћењем дистрибуиране површинске стимулације.

Значај ове дисертације је вишеструк. Развијени сензорски систем, алгоритам за адаптивно филтрирање сигнала тремора и контролни алгоритам за супресију у против-фази тремора омогућавају, не само праћење карактеристика тремора са циљем његове супресије, већ омогућавају и праћење као и анализу промена параметара тремора у динамичким условима свакодневних активности. То би могло да буде од интереса за испитивање утицаја појединих лекова на тремор. Развој и унапређење селективне стимулације као погодне методе за супресију тремора је решење које због својих карактеристика може да се примени, осим за супресију тремора као невољног покрета и за

активацију парализованих/паретичних неуромишићних структура које треба да обезбеде вољни покрет. Смањење мишићног замора у условима дистрибуиране електричне стимулације, осим конкретног практичног, има и теоријски значај у анализи замора.

3.2 Осврт на референтну и коришћену литературу

У овој дисертацији је наведено 120 референци, од тога 6 књига/поглавља, 97 радова у часописима, 15 радова на конференцијама и 2 патента. Од наведених референци 72 су из периода од 2000. године до данас. Међу овим референцама налази се 13 радова у којима је кандидат један од аутора. Све наведене референце су уско везане за тему дисертације и објављене су у релевантним рецензираним часописима, књигама и зборницима са конференција у области биомедицинске технике. Референтна литература садржи референце досадашњих решења проблематике из домена ове дисертације.

3.3 Анализа примењених научних метода и њихова адекватност за спроведено истраживање

Истраживање у оквиру предложене докторске дисертације је обухватило следеће фазе: 1) Проучавање карактеристика различитих типова тремора и ограничења постојећих метода за контролу тремора; 2) Објективизација карактеристика тремора коришћењем инерцијалних сензора и снимака мишићне активности (ЕМГ); 3) Решавање проблема селективне стимулације мишића; 4) Проучавање механизма мишићног замора и предлог новог метода стимулације ради смањења истог; 5) Развој алгоритма за филтрирање тремора без фазног кашњења из сигнала покрета снимљених инерцијалним сензорима и мишићне активности користећи ЕМГ; 6) Развој алгоритма за контролу тремора који у реалном времену управља електричном стимулацијом антагонистичких парова мишића; 7) Клиничко тестирање развијених метода на пацијентима са тремором различитих етиологија; 8) Сумирање резултата и анализа утицаја електричне стимулације на тремор различитих етиологија.

За потребе реализације свог докторског рада кандидаткиња је остварила контакте на Неуролошкој клиници КЦС и на Клиници за рехабилитацију „Др Мирослав Зотовић“, где је директно реализовала и руководила мерењима са пацијентима. Примењујући научне методе Лана је у оквиру Лабораторије за биомедицинско инжењерство и технологије (БМИТ) на ЕТФ-у развила уређаје и алгоритме за потребе ових мерења.

3.4 Оцена примењивости и верификације остварених резултата

Резултати приказани у дисертацији и њихова експериментална верификација, имају директну примењивост у помоћи пацијентима са тремором приликом обављања свакодневних активности, као и у превазилажењу социјалних баријера.

3.5 Оцена способности кандидата за самостални научни рад

Кандидаткиња је током израде докторске дисертације показала способност за самостални научни рад. Посебно истичемо да је Лана остварила одличне контакте у одговарајућим медицинским установама, где је самостално реализовала и руководила мерењима са пацијентима. У оквиру Лабораторије за БМИТ на ЕТФ-у кандидаткиња је самостално развила уређаје и алгоритме за потребе ових експеримената. Током рада на тези кандидаткиња је успоставила одличну стручну и научну међународну сарадњу (Француска, Шпанија, Белгија, Данска) и учествовала у мерењима у Белгији. Ова сарадња је део активности на пројекту ТРЕМОР у оквиру ФП програма, а део резултата се

директно користи за развој система који ће бити понуђен за клиничко тестирање у оквиру конзорцијума којим руководи партнер из Шпаније.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1 Приказ остварених научних доприноса

У оквиру предложене докторске дисертације истичемо следеће научне доприносе: 1) развијен је нови алгоритам за адаптивно филтрирање сензорских сигнала који одражавају тремор у реалном времену (без фазног кашњења) са минималним бројем променљивих параметара у почетним условима; 2) извршена је анализа утицаја различитих модалитета стимулације на тремор код пацијената са различитим патологијама; 3) остварен је детаљни увид у механизме одговорне за настанак и/или модулацију тремора анализом мишићног одговора на различите параметре стимулације; 4) развијен је универзални метод за редукцију тремора користећи функционалну електричну стимулацију примењену на неколико група мишића ради контроле више зглобова руке; 5) анализиран је оригинални метод успорења мишићног замора при површинској функционалној електричној стимулацији применом матричних електрода и асинхроне побуде мишића; и 6) анализиран је ефекат примена матричне електроде у циљу осигурања селективне побуде мишића.

4.2 Критичка анализа резултата истраживања

Увидом у постављене хипотезе, циљеве истраживања и добијене резултате, констатовали смо да је кандидаткиња успешно одговорила на суштинска питања која су од значаја за решење проблема који јој је постављен. Развијени алгоритми и урађене анализе, као и добијена експериментална решења представљају значајан научни и стручни допринос у области асистивних технологија у оквиру рехабилитационог инжењерства. Резултати имају теоријски значај и практичну вредност. Посебан значај се састоји у развијању система за супресију тремора који узима у обзир неурофизиолошке карактеристике неуромишићног система који резултује патолошким тремором, а значајна практична вредност је у пројектовању система који омогућава неинвазивну супресију тремора у реалном времену применом методологије која смањује замор узрокован електричном стимулацијом.

4.3 Очекивана примена резултата у пракси

Резултати остварени у оквиру ове дисертације се већ тестирају у оквиру пројекта ЕУ ФП7–ТРЕМОР на већем броју пацијената на клиникама у Шпанији и Белгији. Прелиминарни резултати указују да развијени управљачки алгоритми као и развијен систем омогућују селекцију потенијалних корисника овог система. Посебно се очекује да примена дистрибуиране електричне стимулације повећа број потенијалних корисника.

4.4 Верификација научних доприноса

Кандидаткиња је у току свог научно-истраживачког рада у области докторских студија објавила више научних радова.

Радови у часописима са SCI листе за које се рачуна *Impact Factor*:

1. **L. Popović**, T. Šekara, M. B. Popović, Adaptive band-pass filter (ABPF) for tremor extraction from inertial sensor data, *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, Sept. 2010, 99 (3): 298-305, DOI: 10.1016/j.cmpb.2010.03.018.
M23 (Engineering, Biomedical, IF(2009)=1.144)
2. N. Malešević, **L. Popović**, L. Schwirtlich, D.B. Popović, Distributed low-frequency functionalelectrical stimulation delays muscle fatigue compared to conventional stimulation, *Muscle and Nerve*, 2010, 42(4): 556-562, DOI 10.1002/mus.21736.
M23 (Neuroscience, IF(2009)= 2.287)
3. M. Manto, G. Grimaldi, T. Lorivel, D. Farina, **L. Popović**, S. Conforte, T. D'alessio, J. Belda-Lois, E. Rocon, Bioinformatic Approaches Used In Modeling Human Tremor, *Current Bioinformatics*, May 2009, 4(2): 154-172, DOI: 10.2174/157489309788184747
M23 (Mathematical & Computational Biology, IF(2009)= 1.688)

Поред ова три рада кандидаткиња је и први аутор рада на раду у часопису са SCI листе за које се рачуна *Impact Factor*:

1. **L. Popović-Maneski**, N. Jorgovanović, S. Došen, T. Keller, M. B. Popović, D. B. Popović, Electrical Stimulation for the Suppression of Pathological Tremor, *Medical & Biological Engineering & Computing*, ревидиран рад на рецензији
M22 (Engineering, Biomedical, IF(2009)=1,757)

Рад у националном часопису:

1. N. Malešević, **L. Popović**, G. Bijelić, G. Kvašček, „Muscle twitch responses for shaping the multi-pad electrode for functional electrical stimulation“, *Journal of Automatic Control* , Vol. 20, No. 1, pp. 53-58, Dec 2010, DOI: 10.2298/JAC1001053M.

Радови изложени на научним скуповима међународног значаја и штампани у целини у зборницима радова:

1. **L. Popović**, M. B. Popović, Extraction of Tremor for Control of Neural Prostheses: Comparison of Discrete Wavelet Transform and Butterworth Filter, Proc of 9th NEUREL 2008, Editors: Reljin B, Stanković S, Belgrade, Sept 25-27, 2008, pp. 137-140, ISBN: 978-1-4244-2903-5, IEEE Catalog Number: CFP08481-PRT.
2. **L. Popović**, N. Malešević, M. B. Popović, Optimization of Multi-pad Surface Electrode: Selective Stimulation of Wrist, Proc of IEEE EuroCON, St. Petersburg, Russia, May 18-23, 2009, pp.142-145, ISBN: 978-1-4244-3967-6, Print ISBN: 978-1-4244-3860-0, DOI: 10.1109/EURCON.2009.5167619
3. **L. Popović**, N. Malešević, Muscle Fatigue of Quadriceps in Paraplegics: Comparison between Single vs. Multi-pad Electrode Surface Stimulation, Proc of IEEE EMBC, Minneapolis, MN, Sept 2-6, 2009, pp.6785-6788. ISBN: 978-1-4244-3295-0, Print ISBN: 978-1-4244-3296-7 ISSN: 1557-170X DOI: 10.1109/IEMBS.2009.5333983
4. N. Malešević, **L. Popović**, G. Bijelić, G. Kvašček, Classification of muscle twitch response using ANN: Application in multi-pad electrode optimization, Proc of 10th

- NEUREL 2010, Editors: Reljin B, Stanković S, Belgrade, Sept 23-25, 2010, pp.11-13, Print ISBN: 978-1-4244-8821-6 DOI: 10.1109/NEUREL.2010.5644042
5. **L. Popović**, N. Malešević, I. Petrović, M. B. Popović, Semi-closed loop tremor attenuation with FES, Proc of IFESS, Sept 8-12, 2010, Vienna, Austria, pp.65-67 (M33) printed as abstract in *Artificial Organs* 34(8), 2010, A31, DOI: 10.1111/j.1525-1594.2010.01075.x
 6. E. Rocon, J.A. Gallego, L. Barrios, A.R. Victoria, J. Ibáñez, D. Farina, F. Negro, J. L. Dideriksen, S. Conforto, T. D'Alessio, G. Severini, J.M. Belda-Lois, **L. Z. Popovic**, G. Grimaldi, M. Manto, J.L. Pons. Multimodal BCI-mediated FES suppression of pathological tremor. Proc of 32nd Ann Int Conf of the IEEE, EMBC'10, August 31.-September 4., 2010, art. no. 5627914, pp. 3337-3340

Рад изложен на научном скупу међународног значаја и штампан као абстракт у зборнику радова:

1. **L. Popović**, N. Malešević, I. Petrović, M. B. Popović, Closed-loop tremor attenuation with Functional Electrical Stimulation, Abstract on XVIII ISEK Conference, June 16-19, 2010, Aalborg, Denmark, ISBN: 978-87-7094-047-4.

Радови изложени на научним скуповима националног значаја и штампани у целини у зборницима радова:

1. N. Malešević, **L. Popović**, Proracun elektricnog polja tkiva pri stimulaciji matricnom elektrodom, Proc of 52nd ETRAN, June 2008, Palic, Serbia, ME1.3.
2. **L. Popović**, J. Robertson, Estimation of forearm rotation with a "Virtual Stick, Proc of 53rd ETRAN, 15-18 June 2009, Vrnjacka Banja, Serbia, ME1.2-1.4

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

5.1 Кратак осврт на дисертацију у целини

У докторској дисертацији „Систем за супресију тремора руке у реалном времену помоћу површинске функционалне електричне стимулације“ предложен је нови систем за неинвазивну редукцију тремора применом површинске електричне стимулације за који је кандидаткиња Лана Поповић Манески: 1) развила алгоритам за адаптивно филтрирање тремора у реалном времену (без фазног кашњења) са минималним бројем променљивих параметара у почетим условима; 2) анализира утицај различитих модалитета стимулације на тремор код пацијената са различитим патологијама; 3) приказала детаљни увид у механизме одговорне за настанак и/или модулацију тремора анализом мишићног одговора на различите параметре стимулације; 4) развила универзални метод за редукцију тремора помоћу ФЕС-а у зглобовима горњих екстремитета; 5) приказала методу успорења мишићног замора при површинској функционалној електричној стимулацији применом матричних електрода и асинхроне побуде мишића; и 6) приказала метод за селективну побуду мишића применом матричних електрода.

Анализирана проблематика је веома актуелна и савремена са становишта научног, стручног и практичног доприноса и њом се тренутно бави неколико водећих истраживачких институција у свету. Кандидаткиња је своје резултате приказала и верификовала у релевантним часописима који имају *impact* фактор (1.144; 2.287; 1.688).

5.2 Предлог Комисије Наставно-научном већу

Комисија констатује да је дисертација кандидаткиње дипл. инж. Лане Поповић Манески под насловом „Систем за супресију тремора руке у реалном времену помоћу површинске функционалне електричне стимулације“ написана према прихваћеним стандардима у научно-истраживачком раду, као и да испуњава све законске, формалне и суштинске услове, као и све критеријуме који се примењују за вредновање докторских дисертација на ЕТФ-у. Констатовано је да је кандидаткиња дипломирала на ЕТФ-у, и да је урадила све предвиђене обавезе на докторским студија са просечном оценом 10. Из достављене документације која укључује биографију и библиографију кандидата закључујемо да се ради о успешној и мотивисаној младој научници. Такође, на основу података из биографије и библиографије закључили смо да је кандидаткиња успешно интегрисана у рад у овој области са истраживачима у Европи.

Комисија констатује да докторска дисертација садржи оригиналан и савремен научни допринос у домену асистивних технологија у области рехабилитационог инжењерства.

У складу са наведеним, Комисија са задовољством предлаже Наставно - научном већу Електротехничког факултета Универзитета у Београду да ову дисертацију прихвати и одобри кандидаткињи њену усмену јавну одбрану.

У Београду,
17.06.2011

Комисија

Мирјана Поповић, ред. проф.

Дејан Поповић, дописни члан САНУ, ред. проф.

Владимир Костић, Академик САНУ, ред. проф.

Бранко Ковачевић, ред. проф.

Томислав Шекара, доцент