

ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА

ИЗВЕШТАЈ О ОЦЕНИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

-обавезна садржина- свака рубрика мора бити попуњена

(сви подаци уписују се у одговарајућу рубрику, а назив и место рубрике не могу се мењати или изоставити)

I ПОДАЦИ О КОМИСИЈИ

1. Датум и орган који је именовао комисију
27.10.2017. Наставно-научно веће Факултета техничких наука
2. Састав комисије са назнаком 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:
 1. **др Владимир Катић**, редовни професор, уно Енергетска електроника, машине и погони и ОИЕЕ, изабран у звање 30.10.2002. године, Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду
 2. **др Драган Шешлија**, редовни професор, уно Мехатроника, роботика и аутоматизација и интегрални системи, изабран у звање 04.10.2007. године, Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду
 3. **др Веран Васић**, редовни професор, уно Енергетска електроника, машине и погони и ОИЕЕ, изабран у звање 14.04.2011. године, Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду
 4. **др Бранко Блануша**, ванредни професор, уно Електроника и електронски системи, изабран у звање 16.01.2014. године, Електротехнички факултет, Универзитет у Бањој Луци
 5. **др Дарко Марчетић**, редовни професор, уно Енергетска електроника, машине и погони, изабран у звање 23.02.2017. године, Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду

II ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ

1. Име, име једног родитеља, презиме:
Бојан, Зденко, Кнежевић
2. Датум рођења, општина, држава:
26.10.1982., Бања Лука, Република Српска, БиХ
3. Назив факултета, назив студијског програма дипломских академских студија – мастер и стечени стручни назив
Електротехнички факултет Београд, Електротехника и рачунарство, мастер инжењер електротехнике и рачунарства
4. Година уписа на докторске студије и назив студијског програма докторских студија
2010. Енергетика, електроника и телекомуникације
5. Назив факултета, назив магистарске тезе, научна област и датум одбране:
нема
6. Научна област из које је стечено академско звање магистра наука:
нема

III НАСЛОВ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Побољшање управљачких и енергетских карактеристика погона мехатроничког система лифта

IV ПРЕГЛЕД ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Навести кратак садржај са назнаком броја страна, поглавља, слика, шема, графикана и сл.

Докторска дисертација написана је на 130 страна. Садржи 11 поглавља, 11 табела, 73 слике и 124 навода из литературе. Кључна документација написана је на српском и енглеском језику.

Дисертација садржи следећа поглавља:

1. Увод
2. Стање у области истраживања
3. Математичко моделовање мехатроничког система лифта
4. Сузбијање вибрација у мехатроничком систему лифта
5. Трајекторија брзине са дефинисаним трзајем
6. Побољшање енергетске ефикасности мехатроничког система лифта
7. Предложене управљачке шеме
8. Опис експерименталне апаратуре
9. Резултати провера предложених решења
10. Закључак
11. Литература

V ВРЕДНОВАЊЕ ПОЈЕДИНИХ ДЕЛОВА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Модерни лифт јесте сложени мехатронички систем у коме централно место заузима електромоторни погон. Да би овај систем постигао високе перформансе неопходно је побољшати управљачке и енергетске карактеристике коришћеног електромоторног погона. Под високим перформансама лифта се првенствено подразумева удобност путника уз минимално трајање вожње, али једнако важно и продужен век трајања механичких компоненти система као и енергетски ефикасно управљање у свим режимима рада лифта.

У дисертацији се предлаже синергијско решење које се реализује простом надоградњом контролне структуре погона и којим се остварује контрола трзаја и елиминација нежељених вибрација. Тиме се првенствено враћа удобност вожње која се губи у модерним брзим лифтовима али и продужава радни век механичког дела лифта чија резонантна кола буду неминовно побуђена неадекватним управљањем.

Сваки мехатронички систем лифта садржи механички подсистем који је карактерисан својом резонантном фреквенцијом. У функцији постизања високих перформанси укупног система, електромоторни погон као управљачки део мехатроничког система лифта неизбежно побуђује резонантна кола механичког дела и тиме проузрокује појаву вибрација. У дисертацији је предложена надоградња регулационе контуре брзине електромоторног погона филтером непропусником опсега учестаности са циљем елиминације оних компоненти у спектру момента, као управљачке променљиве погона, које могу проузроковати вибрације. У дисертацији је представљен оригинални метод за подешавање антирезонантног филтера базиран на примени Герцеловог алгоритма и Киферовог алгоритма претраживања. Овим алгоритмима се проналазе резонантне компоненте механичког подсистема (једна или више њих) и филтер се подешава тако да се оне елиминишу из спектра сигнала референтног момента на излазу брзинског регулатора.

Контрола трзаја обезбеђује рад брзинског регулатора у линеарном режиму као и повећање удобности вожње. У дисертацији је предложен оригинални генерализовани модел референце брзине у функцији жељеног трзаја. Овим моделом је могуће генерисати трајекторију референтне брзине мотора којом се остварују различити облици и амплитуде трзаја. Кроз експерименталне провере је показано да је контрола трзаја од изузетног значаја, и да се само синергијом контроле трзаја и елиминацијом нежељених спектралних компоненти референтног момента могу у потпуности елиминисати резонантне вибрације.

Енергетска ефикасност је следећа важна карактеристика мехатроничког система лифта. Познато је да рад лифта са кабином и протутегом омогућава значајну уштеду енергије у режимима са средњим оптерећењима. У дисертацији су предложени поступци и развијени алгоритми за повећање енергетске ефикасности погона у свим режимима рада. Предложени алгоритми су комбинација метода базираних на моделу мотора и алгоритмима претраживања. Додатан допринос дисертације је у томе да су енергетски ефикасни алгоритми управљања осмишљени тако да раде у интеракцији са планираном трајекторијом брзине са контролисаним трзајем и елиминисаним вибрацијама.

Сви предложени алгоритми су интегрисани у јединствен алгоритам управљања погонским мотором и имплементирани на дигиталном сигнал процесору. За верификацију предложених алгоритама пројектована је и реализована експериментална апаратура умањеног модела мехатроничког система лифта са векторски управљаним трофазним асинхроним мотором која је описана у дисертацији.

Материја која је изложена у дисертацији организована је и подељена по поглављима и потпоглављима у три нивоа. На самом почетку текста дат је кратак резиме дисертације на српском и енглеском језику, а након тога поглавље са уводним разматрањима.

Након Увода у Поглављу 2 дат је преглед досадашњих истраживања објављених у доступној литератури на теме којима се дисертација бави. Први део посвећен је прегледу литературе која се бави појавом вибрација у лифтовским системима и предложеним методама за њихову елиминацију. Други део поглавља даје преглед развијених метода за минимизацију губитака у погонима са индукционим мотором. Наведена решења класификована су и подељена на два начина. Прва подела је на основу принципа рада, а друга на основу подручја примене.

Развој решења која су предложена у дисертацији започиње извођењем математичког модела мехатроничког система лифта (МСЛ) који је представљен у Поглављу 3. Детаљан математички модел МСЛ рашчлањен је на математичке моделе подсистема МСЛ који су описани у засебним потпоглављима. Опис МСЛ са свим својим подсистемима и функционалним везама између њих дат је на почетку поглавља.

Детаљна анализа појаве резонантних вибрација код МСЛ са математичким моделом филтера непропусника опсега и његовом дигиталном имплементацијом дата је у Поглављу 4. Предложена процедура за подешавање антирезонантног филтера представљена је у овом поглављу као и њена математичка дефиниција и дигитална реализација.

Поглавље 5 се бави анализом различитих облика трзаја и презентује математички модел предложеног генерализованог генератора референце брзине у функцији трзаја. Развијени математички модел дат је у потпуном облику са развијеним једначинама за трзај, убрзање, брзину и положај.

Предложена решења чији је циљ повећање енергетске ефикасности погона мехатроничког система лифта описана су у Поглављу 6. Детаљно су приказана математичка извођења и дигиталне имплементације предложених алгоритама.

Резултат предложених решења која су описана у дисертацији резултовала су са две нове управљачке шеме које су описане у Поглављу 7. Предложене управљачке шеме су надоградња стандардног векторског управљања индукционим мотором.

Предложени алгоритми проверени су експериментално на посебно развијеној и реализованој експерименталној апаратури. Експериментална апаратура је заправо умањени модел реалног МСЛ. У Поглављу 8 описана је конструкција механичког подсистема апаратуре са машинским цртежима и свим димензијама као и електричне шеме свих електронских кола потребних интерфејса између фреквенцијског регулатора и ДСП-а. Да би се индиректно векторско управљање могло реализовати потребни су одређени прорачуни који су такође детаљно приказани.

Сви предложени алгоритми проверени су рачунарским симулацијама и/или експерименталним проверама. Резултати провера детаљно су приказани и коментарисани у Поглављу 9.

Закључци настали на основу истраживања описаног у дисертацији наведени су у Поглављу 10.

Литература садржи библиографске податке о цитираним изворима коришћеним у дисертацији. Систем навођења референци у тексту и Литератури је нумерички IEEE систем.

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

M21 – Рад у врхунском међународном часопису

1. **Кнежевић, В.З.**; Blanus, B.; Marcetic, D.P., " A synergistic method for vibration suppression of an elevator mechatronic system," Journal of Sound and Vibration, vol.407, pp. 29 - 50, June 2017, doi: 10.1016/j.jsv.2017.06.006

M33 – Саопштење са међународног скупа штампаног у целини

1. **В. Кнежевић**, В. Blanuša and D. Marčetić, "Design of Elevator Drive With Jerk Control", in Proc. of 16th International Symposium on Power Electronics - Ee 2011, Novi Sad, Serbia, 2011, pp. 1-4.
2. **В. Кнежевић**, В. Blanuša and D. Marčetić, "Model of Elevator Drive With Jerk Control", in Proc. of XXIII International Conference on Information, Communication and Automation Technologies IEEE ICAT 2011, Sarajevo, Bosnia and Herzegovina, 2011, pp. 1-5.
3. **Б. Кнежевић**, Б. Блануша, П. Матић и Д. Марчетић, "Реализација индиректног векторског управљања асинхроним мотором у аритметици са покретном тачком", у Збор. INFOTEN 2013, Jahorina, 2013, стр. 1081-1086.

M63 – Саопштење са скупа националног значаја штампано у целини

1. **Б. Кнежевић**, Б. Блануша, "Управљање кретањем лифта у функцији вриједности трзаја," у Збор. INFOTEN 2011, Март 2011, стр. 40-44.
2. **В. Кнежевић**, В. Blanuša, "One Solution for Efficiency Optimized Control of Elevator Drive", in Proc. of 38. JUPITER, Belgrade, Serbia, 2012, pp. 4.19-4.23.
3. **Б. Кнежевић**, Б. Блануша, П. Матић и Д. Марчетић, "Реализација индиректног векторског управљања асинхроним мотором у аритметици са покретном тачком", у Збор. INFOTEN 2013, Jahorina, 2013, стр. 1081-1086.

VII ЗАКЉУЧЦИ ОДНОСНО РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

Почетни резултат дисертације је изведени и детаљно описани математички модел мехатроничког система лифта. Математички су моделовани механички, погонски и управљачки подсистем мехатроничког система лифта.

Након потпуно анализираних проблема резонантних вибрација који је и математички формулисан, у дисертацији је дато решење за елиминацију вибрација коришћењем филтера непропусника опсега. Доказано је да се филтрирањем управљачког сигнала погона (референце момента) елиминишу хармонијске компоненте на резонантним фреквенцијама тако да електромоторни погон својим деловањем не побуђује резонантна кола механичког подсистема.

Значајнији део предложеног решења јесте подешавање филтера непропусника опсега: аутоматски се подешавају основна фреквенција, ширина непропусног опсега и ниво слабљења. Предложени и потврђени метод за подешавање филтера непропусника опсега један је од основних доприноса ове дисертације.

Кроз истраживање је показано да предложена процедура за подешавање антирезонантног филтера функционише адекватно очекивањима што је и потврђено кроз експерименталне провере. Оно што је битан закључак јесте да сам антирезонантни филтер, без обзира на тачно подешавање, није у могућности да потпуно сузбије појаву вибрација. Уз филтрирање референце покретачког момента неопходно је коришћење и глатких референци брзине, односно положаја, што се обезбеђује контролом трзаја.

У дисертацији је изведен генерализовани модел трајекторије брзине који је дефинисан трзајем било којег облика и амплитуде. У изведеном моделу могуће је независно дефинисати облик трзаја и његову амплитуду током убрзавања и током успоравања. Такође, модел пружа могућност да се користи и код брзински управљаних и код управљаних по положају мехатроничких система лифта. Једном речју, у дисертацији изведени математички модел је јединствено флексибилно решење за генерисање трајекторија брзине или положаја које у доступној литератури није регистровано.

Планирана трајекторија положаја искоришћена је и као саставни део метода за повећање енергетске ефикасности који је развијен током истраживања. Побољшање енергетских карактеристика погона мехатроничког система лифта базиран је на идеји да се у прелазним

периодима, убрзавању и успоравању користи оптимизација изведена из модела губитака мотора. У ту сврху изведени су изрази за израчунавање оптималне вредности магнетизационе компоненте струје статора. Показано је да ови изрази зависе од параметара мотора који су променљиви током рада погона. Због тога је осмишљен додатни корективни механизам који је базиран на алгоритму претраживања и који има задатак да у стационарном стању коригује израз за израчунавање оптималне вредности магнетизационе компоненте струје статора.

С обзиром да се при примени метода за повећање енергетске ефикасности мења и магнетизациона компонента струје статора, а не само активна, појава вибрација се дешава и уз примену предложеног решења за сузбијање вибрација. Настали проблем решава се коришћењем предложене нове управљачке шеме која учинковито сузбија вибрације и у случају примене предложеног метода за повећање енергетске ефикасности мехатроничког система лифта.

Рачунарским симулацијама детаљно је тестиран предложени алгоритам који је ново решење у области и представља трећи значајан допринос дисертације. Остварене су значајне уштеде енергије, и до 70% у одређеним режимима рада, без пулсација момента или овисности о параметрима мотора.

Сва решења предложена у дисертацији могу се лако имплементирати у стандардне управљачке јединице мехатроничких система лифтова и могу да се користе као софтверско унапређење дигитално контролисаних погона у склопу свих модерних лифтова. Осим код мехатроничког система лифта предложена решења могу да се адаптирају и користе и у другим сличним мехатроничким системима као што су све врсте транспортних уређаја у индустрији, роботима, разним индустријским машинама и сл.

VIII ОЦЕНА НАЧИНА ПРИКАЗА И ТУМАЧЕЊА РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА

Експлицитно навести позитивну или негативну оцену начина приказа и тумачења резултата истраживања.

Тумачење добијених резултата је јасно и прегледно. Формирани закључци у раду су поткрепљени одговарајућим теоријским анализама и резултатима мерења, добијеним из сопствених експерименталних истраживања. Резултати су приказани исцрпно и прегледно, уз навођење претходних истраживачких резултата у овој области.

IX КОНАЧНА ОЦЕНА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

1. Да ли је дисертација написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме

Да. Докторска дисертација је написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме.

2. Да ли дисертација садржи све битне елементе

Да. Дисертација садржи све битне елементе.

3. По чему је дисертација оригиналан допринос науци

Дисертација доноси три оригинална научна доприноса која могу да се посматрају интегрисано али и независно један од другог: елиминација нежељених вибрација, контрола трзаја и повећање енергетске ефикасности мехатроничког система лифта. Контрола трзаја кроз синергијско деловање са друга два резултата даје два главна научна производа дисертације: алгоритме за елиминацију вибрација и алгоритме за повећање енергетске ефикасности погона мехатроничког система лифта.

Сва предложена решења су могућа као просте софтверске надоградње стандардних управљачких алгоритама и могу лако да се примене у постојећим системима. Учинковитост и функционалност предложених решења проверене су рачунарским симулацијама и експерименталним тестирањима.

Резултати дисертације су објављени у врхунском међународном часопису (M21) и саопштени на међународним и националним скуповима.

4. Недостаци дисертације и њихов утицај на резултат истраживања

Дисертација нема битне недостатке који утичу на резултате истраживања.

X ПРЕДЛОГ:

На основу укупне оцене дисертације, комисија предлаже:

Комисија предлаже да се докторска дисертација Бојана Кнежевић под називом “Побољшање управљачких и енергетских карактеристика погона мехатроничког система лифта” прихвати, а кандидату одобри одбрана.

НАВЕСТИ ИМЕ И ЗВАЊЕ ЧЛАНОВА КОМИСИЈЕ
ПОТПИСИ ЧЛАНОВА КОМИСИЈЕ

Др Владимир Катић, редовни професор,
Факултет техничких наука, Нови Сад,
председник комисије

Др Драган Шешлија, редовни професор,
Факултет техничких наука, Нови Сад,
члан комисије

Др Веран Васић, редовни професор,
Факултет техничких наука, Нови Сад,
члан комисије

Др Бранко Блануша, ванредни професор,
Електротехнички факултет, Бања Лука,
члан комисије

Др Дарко Марчетић, редовни професор,
Факултет техничких наука, Нови Сад,
ментор

НАПОМЕНА: Члан комисије који не жели да потпише извештај јер се не слаже са мишљењем већине чланова комисије, дужан је да унесе у извештај образложење односно разлоге због којих не жели да потпише извештај.