

ПРИМЉЕНО	25.01.2018.
ОРГ ЈЕДНИЦА	29/1
СТАТУС	ЈЕДНОСТ

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ ФАКУЛТЕТА ТЕХНИЧКИХ НАУКА У КОСОВСКОЈ МИТРОВИЦИ

Предмет: Извештај Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације

Одлуком Наставно – научног већа Факултета техничких наука у Косовској Митровици број 1368/3-1 донетој на седници одржаној 20.12.2017. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата мр Љубише Гарића, дипломираног машинског инжењера, под насловом

Синтеза виброударних система

Након прегледа докторске дисертације, сагласно Закону о Универзитету, Закону о Високом образовању и Статуту Факултета техничких наука у Косовској Митровици, Комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

БИОГРАФСКИ ПОДАЦИ КАНДИДАТА

Љубиша Гарић је рођен 02.04.1963. године у Пећи. Основно образовање је стекао у основној школи „Вук Караџић“ у Клини 1976. године. Средње образовање 1980. године у Гимназији у Пећи (усмерено образовање, математички смер) завршио је са одличним успехом.

Машински факултет уписао је 1982. године на Универзитету у Приштини, смер производно машинство. На истом факултету дипломирао је 1987. године, са просечном оценом у току студирања 8 (осам) и оценом 10 (десет) на дипломском испиту.

Последипломске студије уписао је 1991. на Машинском факултету Универзитета у Нишу, на Катедри за машинске конструкције и механизацију, где је положио све испите предвиђене планом и програмом последипломских студија. Магистарску тезу под називом „Прилог истраживању динамичких модела транспортних машина“ са успехом је одбранио 1997. године на Машинском факултету у Нишу.

Радни однос први пут је засновао у руднику боксита у Клини, септембра 1987. године. Од октобра 1987. године ради као асистент приправник, а од септембра 1997. године као асистент на Катедри за Теоријску и примењену механику Машинског факултета у Приштини, на предметима из области Механике.

У току рада на Машинском факултету у Приштини, а потом и на Факултету техничких наука у Косовској Митровици, ангажован је на одржавању вежби из следећих предмета: Статика, Кинематика, Динамика, Програмирање (фортран).

Љубиша Гарић је ожењен и отац једног детета, говори руски и енглески језик, и користи информационе технологије: MathCad, Matlab, Wolfram Matematika, Corel Draw, Auto CAD, 3D Max.

ПУБЛИКАЦИЈЕ И ОБЈАВЉЕНИ РАДОВИ КАНДИДАТА

Кандидат је коаутор следећег помоћног универзитетског уџбеника:

Владимир Раичевић, Љубиша Гарић, Срђан Јовић:

Механика - ЗБИРКА ЗАДАТАКА ИЗ СТАТИКЕ, Факултет техничких наука у Косовској Митровици Универзитета у Приштини, 2004. године.

Кандидат је коаутор или аутор следећих објављених стручних и научних радова:

1. **Ljubiša Garić**, Šefik Bajmak, *Analiza i proračun uticaja temperature i pritiska radnog fluida na veličinu kompenzatora toplotnih mreža*, Procening 2011, Međunarodni kongres o procesnoj industriji, Beograd, jun 2011. godine.

Категоризација: M63

2. Šefik Bajmak, **Ljubiša Garić.**, *Analiza i proračun kombinovanog režima rada ejektora i centrifugalne pumpe u zavisnosti od toplotnog kapaciteta sistema grejanja*, Procening 2011, Međunarodni kongres o procesnoj industriji, Beograd, jun 2011. godine.

Категоризација: M63

3. Jović S., Raičević V., **Garić LJ.**, *Energy analysis of vibro-impact system based on oscillator with two heavy mass particles along horizontal rough line*, Third Serbian (28th Yu) Congress on Theoretical and Applied Mechanics, Vlasina lake, Serbia, 5-8 July, 2011.

Категоризација: M63

4. Jović S., Raičević V., **Garić Lj.**, *Vibro-Impact System Based on Forced Oscillations of Heavy Mass Particle Along a Rough Parabolic Line*, Hindawi Publishing Corporation, Mathematical Problems in Engineering, Volume 2012, Article ID 846390, 17 pages doi:10.1155/2012/846390, ISSN: 1024-123x, (Online First), 2012.

[SCI] Impact Factor: currently: 0.777.

Категоризација: M22

http link: <http://www.hindawi.com>

5. **Ljubiša Garić**, "Analysis of Vibro-Impact Processes of a Single-Mass System with Viscous Damping and a Single Limiter", Transactions of FAMENA, Vol.41 No.3, 16 pages DOI: 10.21278/TOF.41303, ISSN 1333-1124, eISSN 1849-1391 (Online First), 2017.

[SCI] RG Journal Impact: 0.5

Категоризација: M23

http link: <http://hrcak.srce.hr/187772>

ПРИКАЗ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Докторска дисертација под називом „Синтеза виброударних система“ је написана је на српском језику, приказана на 206 страница формата А4.

Материја дисертације је подељена у два дела, који представљају јединствену целину, и то:

Први део-који чине теоријске основе динамике удара (основе стереомеханичке теорије удара) и осцилаторног система са једним степеном слободне-основног праволинијског принудно пригушеног осцилатора, методе за истраживање динамике виброударног система и основе оптималног управљања процесима-кретањем система;

Други део-који обухвата динамичку анализу два теоријска модела са једним степеном слободне и један теоријски модел са два степена слободне, услове (области) постојања (стабилности) виброударних режима (непарни $l = 1, 3, \dots$; парни $l = 2, 4, \dots$), оптималну динамичку синтезу ових система, истраживање оптимизације рада покретног дела виброчекића Daedong, као и синтезу двомасених и вишемасених виброударних система (три примера) насталих спајањем оптималних основних теоријских модела.

У овој дисертацији се систематизују потребна позната знања из теорије удара, теорије осцилација, теорије оптималног управљања процесима - кретањем система и других, а за истраживање динамике виброударних система који ће имати оптимални периодични виброударни режим.

У дисертацији виброударни системи се класификују:

-према броју покретних маса, на једномасене и вишемасене системе;

-према броју ударних парова, на системе са једним ударним паром и системе са више ударних парова;

-према облику кретања, на виброударне системе са периодичним, прелазним, стабилизирајућим и другим режимима кретања.

Због широке примене виброударних дејства и појединих облика режима кретања, најчешће периодичних режима, укључујући и проблем управљања при коме се процес обавља оптимално у неком смислу, од посебног значаја су одговарајућа теоријска, нумеричка и експериментална истраживања динамике (кинетики) виброударних система или виброударне динамике система. У оквиру истраживања динамике виброударних система разликује се анализа и синтеза ових система.

У техничкој пракси често се широко примењују виброударна дејства: виброударна дејства услед зазора у кинематским паровима, виброударна дејства у функцији остварења технолошких процеса, виброударна дејства у функцији пригушења примарних осцилација, виброударна дејства код машина за испитивање ефеката тог дејства на уређаје, итд.

Виброударни режими чине основу рада широке класе машина, уређаја и конструкција различитих функционалних примена. Ово се односи на машине за забијање и извлачење шипова, набијање и растресање земљишта, дробљење и млевење материјала, набијање бетонских материјала и материјала за ливење, лабораторијске столове за виброударне тестове, разне машине за бушење, машине за комадање материјала, ротационе машине за резање, итд. За ове класе система карактеристични су периодични режими кретања, који се спроводе као принудне осцилације или аутоосцилације.

Услови за остваривање оптималних процеса у материјалним динамичким системима могу бити врло различити и критеријуми оптималности произилазе непосредно из техничкоекономских захтева који се постављају у применама система аутоматског управљања. Па се критеријум оптималности може поставити тако да се цео процес у систему обавља у што је могуће краћем времену, уз најмањи утрошак расположиве енергије, са највећим дometом за одређену расположиву енергију, уз најмање трошкове производње, са највећом финансијском добити и овоме слично. Из овога се види да се у проучавању оптимизације динамичких система аутоматског управљања полази од одређених унапред постављених критеријума оптималности и да се према томе у проблемима оптимизације динамичких система не проверава целисходност и правилан избор ових критеријума. Избор критеријума оптимизације динамичких система представља посебан проблем, који је, обично, више или мање сложене природе.

Време трајања процеса управљања представља један од основних показатеља својства динамичких система аутоматског управљања, јер скраћивање времена прелазних процеса при регулисању многих техничких постројења и уређаја доводи до повећања продуктивности, бржег реаговања, прецизнијег извршења одређених операција и овоме слично.

Динамички системи аутоматског управљања, оптимални по брзини, реализују се помоћу програмабилних логичких контролера (plc). Ови контролери управљају

технолошким процесима помоћу програма и они представљају управљачки део система аутоматског управљања.

Виброударне системе у погледу управљања основних подсистема-ударних осцилатора, сврсисходно је поделити у три групе: 1) системи енергетског управљања-системи који се управљају силом; 2) системи импулсног управљања; и 3) системи мешовитог (енергетског и импулсног) управљања. Треба још истаћи да се виброударни системи по принципу дејства деле на три групе: 1) аутоосцилаторни системи у којима се управљање синтетише као функција фазних координата (Лагранжеових или Хамилтонових променљивих); 2) системи временског дејства у којима се управљање синтетише као функција времена; и 3) мешовити системи у којима се користи свеукупност прва два управљања. Процес синтезе нових сложенијих (интегрисаних) шема-система у неким случајевима једноставно се решава (одабиром саставних елемената-делова система и системом регулатора управљања), а понекад захтева више експеримента и комплексно теоријско истраживање.

Актуелност одабране теме условљена је широко распрострањеним виброударним системима у свим областима индустрије, и високим степеном развоја виброударних система. За наставак и напредовање технолошких процеса, треба да се обезбеде услови, који реалне режиме рада машина доводе до оптималних режима рада. Разноврсност виброударних система и разноврсност рачунарских метода захтева решења задатака анализе, као и истраживање синтезе динамичке структуре, са циљем да се добију резултати који најбоље приказују процесе у виброударним системима.

Добијање решења тачним методама је веома дуготрајан и тежак поступак, и генерално ово доводи до потребе да се у прорачунима користе линеарне диференцијалне једначине, да би се дошло до резултата који се могу применити.

Већина радова о виброударним системима, посвећена је истраживању динамике модела различитих система, и то је у суштини анализа система. У тим радовима познати су параметри система и принудна сила, испитују се услови за постојање разних режима. У последњих неколико деценија појавиле су се нове тенденције, у вези са задацима избора најповољнијих, односно оптималних (на било који начин) режима рада машина. У задацима анализе динамике виброударних система са познатим вредностима сила, треба одредити и анализирати кретање система, док у новим задацима (синтеза виброударних система), силе нису потпуно познате, него само делимично (једначине кретања), а други део силе (непознати део, управљање) треба одредити на такав начин, да понашање система буде оптимално у односу на неки критеријум.

Поставка задатка синтезе, тј. изградња оптималног система када се пројектује нека машина, прво обухвата оне особине, које сваки систем научно приказују (или би требало да прикажу) на неки оптимални начин, јер када се одабере оптимални начин, онда се сматра да је бољи од других могућих начина. Друго, познавање граничних могућности неког динамичког модела, омогућава да се направи закључак о ефикасности постојећих система и да се реши питање о томе да ли је потребно да се иде на њихово усавршавање, или ће то бити непрактично. Задатак синтезе виброударних система, тј. изградња оптималног кретања, је задатак одређивања принудне силе, која испуњава неке услове оптималности и остварује режим одређеног облика. Код периодичних виброударних система удар се реализује за време које је веома мало у односу на период принудне силе, и то време не мора да се узме у прорачун. То омогућава да се уведе управљање периодичним режимом виброударних система помоћу програмабилних логичких контролера (plc), који реализују одређене етапе кретања. У том случају дефинисање карактеристика контролера своди се на налажење вредности одговарајућих нивоа управљања и на тражење времена прелаза.

Прва истраживања виброударних дејства датирају још од тридесетих година двадесетог века, а новији талас интересовања у динамици виброударних система настаје крајем двадесетог века, и интензивира се са развојем теорије бифуркација и тумачења хаотичних режима.

Најзначајнији научни резултати који су унапредили знања о динамици виброударних система, а коришћени у овој дисертацији, наведени су у списку литературе. У овим радовима аутори су користили различите методе за одређивање решења постављеног задатка динамике виброударних система, тако што су најчешће полазили од опште стереомеханичке теорије удара (судара). Најновији радови засновани су на истраживањима која су спроведена нумеричким и експерименталним путем на основу аналитичких метода.

Проблем ефективности постојеће или нове технике која треба да замени постојећу технику, постаје једно од кључних питања индустријских програма развоја производње. У том смислу актуелан је проблем динамичке синтезе виброударних система у оквиру структура машина и механизма различитих намена. Један од приступа решавања тог проблема је коришћење оптималне динамичке синтезе, при којој се на почетку решава математички задатак оптималног управљања, а затим се довољно детаљно синтетиче структурна шема. Оптималну динамичку синтезу неких виброударних система без отпора или са отпором, при чему је систем линеаран у интервалима између судара, истраживали су: Лавендел, В.И.Бабицки, А.Е.Кобрински, Виба, и многи други.

Основни и главни део (подсистем) једног виброударног система је његов покретни део, који чине један или више осцилатора са ограниченим елоганцијама. На тај начин истраживање динамике виброударног система практично се своди на истраживање виброударне динамике осцилатора. Код ових истраживања разликује се анализа виброударних процеса и синтеза виброударних процеса. У дисертацији су разматрана три основна теоријска модела-једномасени једнострано ударни принудно пригушени осцилатор, једномасени обострано ударни принудно пригушени осцилатор и принудни двомасени осцилатор са два степена слободe-као апстракције реалних виброударних система. Анализа виброударних процеса за ова три модела је у функцији постављања (одређивања) услова (области) постојања и стабилности периодичних виброударних режима.

Предмет ове дисертације је виброударна динамика једне класе материјалних система-праволинијски неаутономни једномасени и вишемасени виброударни системи, са вискозним пригушењем и без отпора. Истражује се виброударна динамика ове класе система уз захтев да се у систему производи (реализује) оптимални периодични виброударни режим.

У том циљу, постављена је оригинална методологија за спровођење оптималне динамичке синтезе система са периодичним виброударним режимом. Методологија је показана кроз седам примера-модела (укључујући и напред поменути три основна теоријска модела) како би ова методологија добила на значају и као дати алгоритам. При томе: разматрани су модели који су апстракција реалних виброударних система; следи се напред поменути идеја, да је систем линеаран у интервалима између судара; за решавање проблема оптималног управљања користи се принцип максимума Понтрјагина; и користе се нове информационе технологије (софтверски алати - програми из софтверских пакета: Matchad 14, Wolfram Matematika7 и Matlab R2007) за прорачуне и графичку визуелизацију динамике виброударних система, тј. анализу и синтезу (оптимизацију) виброударних процеса.

РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

Предмет истраживања ове дисертације је динамика праволинијских неаутономних једномасених и вишемасених виброударних система са вискозним пригушењем или без отпора, са једним и два степена слободе. У дисертацији је постављена оригинална методологија за спровођење оптималне динамичке синтезе ове класе система уз захтев (са циљем) да се у систему реализује оптимални периодични виброударни режим. Методологија је илустрована на седам пажљиво одабраних примера, тј. модела и потврђен је њен значај и као предложени алгоритам.

Први пример у II.1. приказује математички (динамички) модел хоризонталног једномасеног једнострано ударног осцилатора, и то је први основни модел. Приказано је, при каквим односима између параметара осцилатора и параметара принудне силе, могу се успоставити таква периодична кретања, при којима је период удара осцилатора о граничник једнак или је у сразмери са периодом спољашње силе. При томе је узето у обзир да је време удара у граничник мало у поређењу са периодом кретања осцилатора између два узастопна удара, и то време не мора да се узме у прорачуну. Посматран је бесконачни ударни процес са периодичним карактером, тј. период осциловања виброударног осцилатора је једнак или сразмеран периоду принудне силе.

У првом делу задатка истражена је анализа кретања виброударног система помоћу математичког модела на слици 1. Кретање система је периодично са константним периодом T , а то је време између два узастопна удара. Виброударни систем се налази под дејством спољашње периодичне принудне силе $F(t)$. Главни закључак састоји се у томе да што је мањи коефицијент вискозног отпора средине, то је шира област постојања ударних режима.

У другом делу задатка истражена је синтеза (оптимизација) модела на слици 1. Помоћу принципа максимума Понтрјагина, одређен је оптимални закон управљања спољашњом принудном силом F_0 , са циљем да се обезбеди оптимални закон кретања масе по брзини, односно да се за најкраће време T_{\min} обезбеди померање масе из тачке А у тачку С (слика 9).

Оригинални допринос у овом примеру:

А) У анализи је истражен виброударни систем са једноударним интеракцијама. Такви режими се највише користе у радним процесима и истражују се да би се проценили штетни и корисни ефекти интеракције. У општем случају, одређене су области постојања виброударних режима на основу услова периодичности. Истражена су три постојећа режима за овај пример и резултати су приказани на слици 3 и слици 3а, а који су добијени помоћу два софтверска пакета: Matkad 14 и Wolfram Matematika 7. Дијаграм на слици 3 омогућава да се одреди фреквентни интервал реализације виброударног процеса када је позната вредност инсталационог зазора Δ .

Б) У синтези виброударног система, помоћу принципа максимума Понтрјагина, одређен је оптимални закон управљања спољашњом принудном силом F_0 , са циљем да се обезбеди оптимални закон кретања масе по брзини, односно да се за најкраће време T_{\min} обезбеди померање масе из тачке А у тачку С (слика 9). На овај начин спроведено је истраживање и дефинисан је оптимални закон управљања по брзини.

Други пример у II.2. приказује истраживање оптимизације рада покретног дела виброчекића марке Daedong, чији изглед и принципијелна шема је представљена на слици 1. На слици 2 приказан је математички модел покретног дела виброчекића.

Кретање система је периодично са константним периодом T , а то је време између два удара.

А) Није истражена анализа модела јер је прорачун исти као за хоризонтални једномасени виброударни осцилатор са непокретним граничником из II.1.

Б) При синтези (оптимизацији) истражен је проблем оптимизације рада покретног дела виброчекића по брзини, који се користи за забијање у земљу носача, шипова, цеви и других елемената. Основно истраживање приказано је на виброчекићу марке Daedong. У синтези виброударног система, помоћу принципа максимума Понтрјагина, одређен је оптимални закон управљања спољашњом принудном силом F_0 , са циљем да се обезбеди оптимални закон кретања масе по брзини, односно да се за најкраће време T_{\min} обезбеди померање масе из тачке А у тачку D (слика 5 и слика 7).

Оригинални допринос у овом примеру:

При синтези виброударног система основно истраживање приказано је на виброчекићу марке Daedong, чије су конкретне вредности коришћене за прорачун. При прорачуну су коришћена два софтверска пакета Matcad 14 и Matlab R2007.

Као резултат истраживања добијен је оптимални закон управљања принудном силом, који обезбеђује брзину удара покретног дела виброчекића без промене било ког параметра конструкције. Та сила мора бити регулисана системом аутоматског управљања у складу са законом који је представљен на графику (слика 4).

Овај закон може обезбедити смањење времена између два удара за два пута и то се добија на основу количника времена $k = \frac{T}{T_{\min}} = \frac{0.15s}{0.07s} = 2.14$, где је време између два узастопна удара $T = 0.15s$, а минимално време (оптимално време) $T_{\min} = 0.07s$.

То значи, на градилиштима за забијање цеви, шипова и разних предмета продуктивност се може удвостручити. Резултати неких испитивања виброчекића на терену показали су да је реално смањење времена једног удара за $k = 1.8$, а то се мало разликује од резултата који је добијен у овој дисертацији.

На овај начин у овом примеру спроведено је истраживање и дефинисан је оптимални закон управљања по брзини.

Трећи пример у II.3. приказује истраживање синтезе (оптимизације) праволинијског неаутономног двомасеног виброударног система, који је настао спајањем два једномасена једнострано ударна осцилатора (слика 1). У овом примеру приказани су ударни осцилатори истог типа, који је динамички истражен у наслову II.1.

Оптимална динамичка синтеза обухвата три случаја:

Случај 1 -не мењају се конструктивне карактеристике, усваја се Δ и мења се F_2 ;

Случај 2 -не мењају се конструктивне карактеристике, усваја се F_2 и мења се Δ ;

Случај 3 -мењају се и конструктивне карактеристике осцилатора.

Оригинални допринос у овом примеру:

У случају када се спроводи оптимална синтеза виброударног система који је настало спајањем два једнострано ударна осцилатора (слика 1), до судара долази када је минимално (оптимално) T_{\min} време исто за оба подсистема. За леви подсистем (осенчени део на слици 2) узети су познати подаци из наслова II.1., а варирају се параметри за десни подсистем. На сликама које приказују фазни дијаграм оптималног кретања два ударна осцилатора (слика 9, слика 14 и слика 16) види се да су оптималне путање левог и десног подсистема различите.

Четврти пример у II.4. приказује математички (динамички) модел хоризонталног једномасеног виброударног осцилатора са два непокретна граничника, који су распоређени симетрично на две стране, и то је други основни модел.

У првом делу задатка истражена је анализа система, посебно је истражено кретање када је у диференцијалној једначини на десној страни само један члан принудне силе и посебно када принудна сила има k чланова. Прорачуном су добијени изрази који објашњавају периодична кретања, при којима је период удара осцилатора о граничник једнак или је у сразмери са периодом спољашње силе. Главни закључак састоји се у томе да што је мањи коефицијент вискозног отпора средине, то је шире подручје постојања ударних режима.

У другом делу задатка истражена је синтеза (оптимизација) модела на слици 1. Помоћу принципа максимума Понтрјагина, одређен је оптимални закон управљања спољашњом принудном силом F_0 , са циљем да се обезбеди оптимални закон кретања масе по брзини, односно да се за најкраће време $T_{\min}/2$ обезбеди померање масе из тачке А у тачку С (слика 14 и слика 18).

Оригинални допринос у овом примеру:

А) У првом делу задатка истражена је анализа кретања виброударног система на слици 1, спроведен је оригинални прорачун при решавању диференцијалне једначине кретања система у интервалима између два узастопна судара. Прво је приказан прорачун када је на десној страни узет у обзир само први члан принудне силе. Затим је приказан прорачун када је на десној страни узето у обзир k чланова принудне силе. Посебно је истражено кретање када је непарно $l = 1, 3, 5, \dots$ и када је парно $l = 2, 4, 6, \dots$ У општем случају, одређене су аналитичке границе области постојања на основу услова периодичности. Истражени су постојећи режими за овај модел и резултати су приказани на сликама 4, 5, 8, 9 и 10, а који су добијени помоћу математичког пакета Matkad 14.

Б) У синтези (оптимизацији) система, помоћу принципа максимума Понтрјагина, одређен је оптимални закон управљања спољашњом принудном силом F_0 , са циљем да се обезбеди оптимални закон кретања масе по брзини, односно да се за најкраће време $T_{\min}/2$ обезбеди померање масе из тачке А у тачку С (сл. 14 и сл. 18).

Овде су посматрана два периода.

Први период приказује кретање виброударног осцилатора од десног према левом граничнику, управљање је дато формулом (103) и на слици 14 приказан је фазни дијаграм оптималног кретања виброударног осцилатора. Други период приказује кретање виброударног осцилатора од левог према десном граничнику, управљање је дато формулом (102) и на слици 18 приказан је фазни дијаграм. На основу резултата који су добијени види се да су дијаграми симетрични, време прелаза (прекида) $t_1 = 0.76 \text{ s}$ је исто за оба периода, координата тачке прелаза (прекида) је једнака по апсолутној вредности за оба периода, брзина осцилатора у тачки прелаза (прекида) је једнака по апсолутној вредности за оба периода.

На овај начин у овом примеру спроведено је истраживање и дефинисан је оптимални закон управљања по брзини.

Пети пример у II.5. приказује истраживање синтезе (оптимизације) праволинијски неаутономног двомасеног виброударног система, настао спајањем једномасеног обострано ударног осцилатора и једномасеног једнострано ударног осцилатора. У овом примеру приказани су ударни осцилатори различитог типа, који су динамички истражени у II.1. и II.4.

Оптимална динамичка синтеза обухвата два случаја, не мењају се конструктивне карактеристике система и за две различите усвојене вредности растојања Δ варира се сила F_2 .

Оригинални допринос у овом примеру:

У случају када се спроводи оптимална синтеза виброударног система који је настао спајањем једномасеног обострано ударног осцилатора и једномасеног једнострано ударног осцилатора (слика 1), до судара долази када је минимално (оптимално) време T_{\min} исто за оба подсистема. За леви подсистем (осенчени део на слици 2) узети су познати подаци из наслова П.4., а варирају се параметре за десни подсистем. На сликама које приказују фазни дијаграм оптималног кретања два ударна осцилатора (слика 12 и слика 16) види се да су оптималне путање левог и десног подсистема различите.

Шести пример у П.6. приказује истраживање синтезе (оптимизације) тромасеног виброударног система, настао спајањем једномасеног обострано ударног осцилатора и два једномасена једнострано ударна осцилатора (слика 1). У овом примеру приказана су три ударна осцилатора при чему су два различитог типа, који су динамички истражени у делу П.1. и П.4. У наслову П.5., истражена је оптимална синтеза осенченог дела система на слици 2, и ти резултати се користе за приказивање резултата за систем у овом наслову.

Оптимална динамичка синтеза обухвата два случаја, не мењају се конструктивне карактеристике система и за две различите усвојене вредности растојања Δ варира се сила F_3 .

Оригинални допринос у овом примеру:

У случају када се спроводи оптимална синтеза виброударног система који је настао спајањем три ударна осцилатора на слици 1, до судара долази када је минимално време T_{\min} исто за три подсистема. За осенчени део система (слика 2), узети су познати подаци из наслова П.5., а варирају се параметри за леви подсистем. Када је $F_3 = 1.45N$, добијени су оптимални параметри за леви подсистем и завршен је прорачун. На сликама које приказују фазни дијаграм оптималног кретања два ударна осцилатора (слика 5 и слика 8) види се да су оптималне путање сва три подсистема различите.

Седми пример у П.7. приказује математички (динамички) модел двомасеног виброударног система са два степена слободе и без отпора, који се налази под дејством спољашње периодичне принудне силе $F(t)$, која дејствује на прву масу. То је трећи основни модел и први модел са два степена слободе кретања. Приказано истраживање је много компликованије и обимније у односу на претходне моделе са једним степеном слободе кретања.

У првом делу задатка истражена је анализа кретања система на слици 1, у зависности од различитих параметара и без пригушења, тј., задатак је истражен у средини без отпора. Додатна маса (друга маса) "омета" пуну реализацију виброударних режима који се понављају периодично. Кретање система је периодично са константним периодом T , а то је време између два узастопна удара. Додавањем друге масе знатно су се сузиле области постојања вишеструких виброударних режима и успорава се кретање прве масе.

У другом делу задатка истражена је синтеза система на оптималан начин. Помоћу принципа максимума Понтрјагина, одређен је оптимални закон управљања спољашњом принудном силом F_0 , са циљем да се обезбеди оптимални закон кретања

месе по брзини, односно да се за најкраће време T_{\min} обезбеди померање масе из тачке А у тачку D (слика 15).

Оригинални допринос у овом примеру:

А) У анализи модела истражено је кретање двомасеног виброударног система са два степена слободe и без отпора и при томе је спроведен оригинални прорачун при решавању диференцијалних једначина кретања модела у интервалима између судара. Истражено је кретање када је непарно $l = 1, 3, 5, \dots$ и када је парно $l = 2, 4, 6, \dots$. У општем случају, одређене су аналитичке границе области постојања на основу услова периодичности. Истражени су постојећи режими за овај модел и резултати су приказани на сликама од 2 до 10. Присуство друге масе смањује области где постоје периодични режими осцилација са једном масом, и успорава кретање прве масе.

Б) У синтези модела помоћу принципа максимума Понтрјагина, одређен је оптимални закон управљања спољашњом принудном силом F_0 , са циљем да се обезбеди оптимални закон кретања масе по брзини, односно да се за најкраће време T_{\min} обезбеди померање масе из тачке А у тачку D (слика 15).

У овом примеру истражен је утицај друге масе на карактер оптимизације, тако што је за две групе параметара спроведена оптимална динамичка синтеза система. На основу добијених резултата види се да друга маса не "дозвољава" да се реализује оптималан процес у пуној мери и процес оптимизације је продужен у односу на пример са једном масом из II.1.

Када је истражен систем са једном масом у II.1., добијено је да је тачка прелаза (прекида) $t_1 = 0.112 \text{ s}$ и минимално (оптимално) време је $T = 1.655 \text{ s}$. Додавањем друге масе добија се следећа слика: не само да се повећа период скоро два пута (добијено је минимално време $T = T_{\min} = 3.364 \text{ s}$), него је порасла и вредност времена за тачку прелаза (прекида) $t_1 = 2.134$. Из овога се јасно види да друга маса успорава прву масу.

Кроз наведених седам примера - модела (укључујући и три основна теоријска модела) показана је постављена оригинална методологија и потврђен је њен значај и као алгоритам. При томе се: разматрају модели који су апстракција реалних виброударних система; следи идеја да је систем линеаран у интервалима између судара; за решавање проблема оптималног управљања користи се принцип максимума Понтрјагина; и користе се нове информационе технологије (софтверски алати-програми из софтверских пакета: Matcad14, MatlabR2007 и Wolfram Matematika7) за прорачуне и графичку визуелизацију динамике виброударних система, анализе и синтезе (оптимизације) виброударних процеса. Оригинално у приступу решавања проблема и добијених резултата у оквиру дисертације потврђен је публикавањем рада у реномираном часопису.

На основу резултата добијених у овој дисертацији на тему оптималне динамичке синтезе виброударних система, могу се наставити истраживања у више праваца. Први правац односи се на показивање ове методологије кроз сложеније системе, са више степени слободe, зашта би требало да се претходно спроведе анализа виброударних процеса за нове и сложеније теоријске моделе. Други правац односи се на примену друге методе (или других метода) теорије оптималног управљања виброударним системима: метода варијационог рачуна, метода момената, Рицова метода, Белманова метода, итд.. Било би корисно истражити исте примере помоћу две или три методе и упоредити добијене резултате. Трећи правац односи се на истраживање оптималне динамичке синтезе виброударних система са путањама које нису праволинијске и са косим сударом, итд.

ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу прегледа и детаљне анализе докторске дисертације под називом „*Синтеза виброударних система*“, кандидата **мр Љубише Гарића**, дипл. инж. маш., Комисија за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације закључује да је:

* Кандидат је испунио услове Правилника о пријави, изради и одбрани докторске дисертације;

* Тема предметне докторске дисертације актуелна је за истраживање;

* Комисија констатује да је кандидат на основу резултата и закључака приказаних у докторској дисертацији, успешно завршио докторску дисертацију у складу са предвиђеним предметом и постављеним циљевима истраживања при чему је кандидат дошао до оригиналних научних резултата који су и успешно верификовани и

* Урађена докторска дисертација представља оригинално научно дело кандидата са научним доприносима у области машинства, ужа научна област Механика.

Чланови Комисије предлажу Наставно – научном већу Факултета техничких наука у Косовској Митровици да прихвати оцену Комисије о писаном делу дисертације под насловом: „*Синтеза виброударних система*“, дисертацију стави на увид јавности и упути Извештај на коначно усвајање Сенату Универзитета у Приштини са седиштем у Косовској Митровици, а да се након тога кандидат позове на јавну одбрану.

У Косовској Митровици, Београду

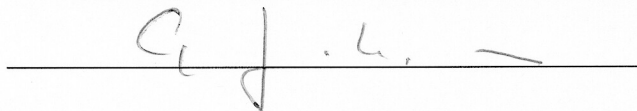
15.01.2018. год.

Чланови комисије:

Проф.др Срђан Јовић

ванредни професор Факултета техничких наука у Косовској Митровици
Универзитет у Приштини

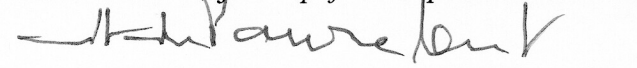
Област компетенције: *Теоријска и примењена механика*



Проф.др Владимир Раичевић

редовни професор Факултета техничких наука у Косовској Митровици
Универзитет у Приштини

Област компетенције: *Теоријска и примењена механика*



Проф.др Михаило Лазаревић

редовни професор Машинског факултета у Београду
Универзитет у Београду

Област компетенције: *Теоријска и примењена механика, Роботика, Техничка физика*

