



UNIVERSITETI I PRISHTINËS

FAKULTETI I INXHINIERISË MEKANIKE-FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

Rr. Agim Ramadani, ndertesa e "Fakultetit Teknik", 10000 Prishtinë, Kosovë

URL: <http://www/fim.uni-pr.edu> Mail: fim@uni-pr.eduNr.prot: 497
Datë: 02/04/2025RAPORT VLERËSIMI TË DORËSHKRIMIT TË PUNIMIT TE DIPLOMES
MASTER

FAKULTETI	FAKULTETI I INXHINIERISË MEKANIKE
Departamenti/ Programi	MEKATRONIKË
Projektpropozimi	Analiza dhe rregullimi i sistemeve osciluese jolineare në mekatronikë
Kandidati	Arjeta Sllamniku
Mentori	Prof.Dr.Ramë Likaj
Aprovimi i projekt propozimit në Këshillin e Fakultetit	Datë:19.11.2024 Vendimi nr.: 1841

Vlerësimi i dorëshkrimit:

Ky punim ka gjithsejtë 6 kapituj, 108 faqe dhe 38 figura. Për realizimin e këtij punimi janë shfrytëzuar 24 referenca të cilat janë cituar në punim.

Në vijim po japim përmbajtjen e shkurtër të këtij punimi:

Kapitulli i parë prezanton hyrjen dhe qëllimin e këtij punimi, duke përshkruar rëndësinë kritike të analizës dhe rregullimit të lëkundjeve dhe sistemeve osciluese. Në fushën e inxhinierisë, këto fenomene mund të jenë sa të dobishme aq edhe të dëmshme, çka e bën studimin e tyre thelbësor. Një analizë e thelluar e këtyre sistemeve jo vetëm që ndihmon në parashikimin e sjelljeve potencialisht të rrezikshme, por gjithashtu mundëson zhvillimin e strategjive efektive për stabilizimin e tyre. Kjo është veçanërisht jetike për të garantuar funksionimin e sigurt të pajisjeve të ndjeshme si robotët, motorët elektrikë dhe sistemet e kontrollit të pozicionit.

Për më tepër, ky kapitull thekson se rregullimi i saktë i oscilimeve është thelbësor për të arritur nivele të larta performance dhe për të minimizuar gabimet në operimin e pajisjeve të ndryshme.

Kapitulli i dytë tregon në detaje për sistemet osciluese jolineare, duke i përkufizuar si sisteme fizike lëkundëse që nuk ndjekin parimet lineare dhe përshkruhen nga ekuacione diferenciale jolineare. Theksohet se këto sisteme shfaqin dinamika komplekse dhe ndjeshmëri të lartë ndaj kushteve fillestare dhe parametrave. Në këtë kapitull gjithashtu shpjegohen fenomenet karakteristike kryesore: *ciklet limite*, si trajektore të izoluar që përfaqësojnë oscilime periodike të qëndrueshme ose jo, *kaosin* si një sjellje deterministe por e paparashikueshme dhe jashtëzakonisht e ndjeshme dhe *bifurkacionet*, ku ndryshimet e vogla në parametra shkaktajnë ndryshime të konsiderueshme në sjelljen e sistemit.

Kapitulli gjithashtu shpjegon edhe analizën e planit fazor si metodë grafike për studimin e sistemeve të rendit të dytë si dhe jepen përkufizime për sistemet autonome dhe joautonome si dhe tregohet dallimi thelbësor midis këtyre sistemeve.

Kapitulli i tretë përqendrohet në prezantimin e modeleve specifike matematikore që përdoren për të përshkruar oscilimet jolineare. Së pari, shtjellohet modeli i oscilatorit Van der Pol, një shembull klasik që karakterizohet nga amortizimi jolinear dhe aftësia për të prodhuar oscilime të vetë-mbajtura që stabilizohen në një cikël limit. Më pas, diskutohet modeli Duffing, i cili përfshin një term jolinear kubik për forcën rivendosëse dhe është i njohur për aftësinë e tij për të shfaqur sjellje të ndërlikuara. Së fundi, kapitulli prezanton metodat analitike Lagranzhiane dhe Hamiltoniane, të cilat ofrojnë një formulim alternativ të mekanikës bazuar në energjinë e sistemit (kinetike dhe potenciale) dhe parimin e Hamiltonit (veprimi stacionar), duke mundësuar derivimin e ekuacioneve të lëvizjes në një mënyrë shpesh më elegante dhe të përshtatshme për sisteme komplekse.

Kapitulli i katërt përqendrohet në metodat analitike të avancuara dhe teknikat e rregullimit për sistemet dinamike, me theks të veçantë te sistemet jolineare. Fillimisht, prezantohet gjerësisht teoria e stabilitetit sipas Lyapunov-it si një mjet themelor për të analizuar stabilitetin pa pasur nevojë për zgjidhjen e ekuacioneve diferenciale. Diskutohen dy qasje kryesoret të kësaj metode: metoda indirekte (linearizimi) dhe metoda direkte. Më tej, kapitulli trajton konceptin e rregullimit robust, që synon projektimin e rregulluesve që ruajnë stabilitetin dhe performancën përballë pasigurive të modelit dhe ngacmimeve të jashtme, duke përfshirë teorinë H_∞ si një metodë kyçe për minimizimin e ndikimit më të keq të ngacmimeve. Në fund, diskutohet rregullimi optimal, i cili kërkon të gjejë strategjinë e rregullimit që minimizon ose maksimizon një funksion të caktuar kostoje, duke optimizuar performancën e sistemit në lidhje me kritere si energjia, koha apo saktësia, dhe përmenden aplikimet e tij të shumta në fusha të ndryshme inxhinierike.

Kapitulli i pestë fokusohet në rregullimin me feedback si një strategji kyçe për menaxhimin e sistemeve jolineare osciluese. Thelbi i kësaj metode është matja e daljes së sistemit dhe përdorimi i këtij informacioni nga një rregullues për të korrigjuar sjelljen e sistemit dhe për të arritur objektivat e dëshiruara. Kapitulli nënvizon katër kërkesat themelore për një rregullim efektiv: garantimin e stabilitetit, sigurimin që sistemi ndjek komandat hyrëse, minimizimin e efekteve të ngacmimeve të jashtme, dhe ruajtjen e performancës edhe kur modeli matematikor i sistemit ka pasaktësi ose kur dinamika ndryshon me kohën (robustësia). Për të ilustruar këto parime, kapitulli analizon funksionimin e një sistemi të thjeshtë feedback si termostati që rregullon ngrohjen e një shtëpie, duke identifikuar komponentët kryesorë (senzor, rregullues, aktuator, proces). Gjithashtu, jepen shembuj të tjerë si sistemi i rregullimit të shpejtësisë së një motori me rregullator centrifugal dhe sistemi i rregullimit të një krahu robotik me feedback vizual nga një kamerë.

Kapitulli i gjashtë përqendrohet në zbatimin praktik dhe simulimin në mjedisin MATLAB të shembujve të ndryshëm të sistemeve jolineare osciluese të diskutuara teorikisht më herët. Ai fillon me modelimin dhe simulimin e sistemeve themelore si sustat jolineare dhe sistemi sustë-masë-amortizator me terma jolinearë. Më pas, kapitulli demonstroi simulimin e sistemeve më komplekse si lavjerrësi i dyfishtë, duke ilustruar sjelljen e tij tipike kaotike, dhe lëkundjet jolineare të një trari. Eksplorohehen gjithashtu shembuj specifikë të kaosit, si harta logjistike dhe atraktori i Lorenzit, si dhe simulohen sisteme autonome dhe oscilatori Duffing. Pjesa e fundit e kapitullit mbulon zbatimin e metodave analitike dhe numerike në MATLAB, duke përfshirë linearizimin sipas Lyapunov-it, simulimin e sistemeve me vonesa kohore (dde23), rregullimin jolinear me linearizim feedback, zgjidhjen numerike me metodën Runge-Kutta, metodën e elementeve të fundme (Newmark-beta), dhe metodën Newton-Raphson për gjetjen e rrënjëve. Në përgjithësi, kapitulli demonstroi se ndërsa sistemet jolineare mund të jenë shumë më të

Formulari- F2

ndërlikuara se ato lineare, mjetet numerike dhe teknikat analitike mundësojnë një kuptim më të thellë të tyre. Rezultatet e fituara nga këto simulime ndihmojnë në verifikimin e analizave teorike, duke kontribuar në zhvillimin e strategjive më të mira për rregullimin dhe optimizimin e sistemeve inxhinierike.

Në përfundim të këtij punimi, është theksuar rëndësia e analizës dhe rregullimit të sistemeve osciluese jolineare në përmirësimin e stabilitetit dhe performancës së tyre. Ky punim trajtoi në mënyrë të hollësishme sistemet jolineare osciluese, duke filluar nga fenomenet e tyre karakteristike si ciklet limite, kaosi dhe bifurkacionet, e deri te aplikimet e metodave analitike dhe numerike në modelimin dhe rregullimin e tyre. U trajtuan modele të ndryshme si oscilatori Van der Pol dhe Duffing, duke u theksuar rëndësinë e metodave Hamiltoniane dhe Lagranzhiane në analizën e dinamikës së këtyre sistemeve. Në pjesën e analizave numerike dhe rregullimit të sistemeve, u diskutuan metoda të rëndësishme si Metoda e Lyapunovit për stabilitet, rregullimi robust, dhe rregullimi optimal, të cilat gjejnë aplikim në inxhinieri dhe sisteme të rregullimit.

Pjesa më e madhe e punimit është fokusuar në simulimet me MATLAB, duke përfshirë modelimin e sistemeve sustë-masë-amortizim, sjelljen kaotike, sistemet autonome, dhe aplikimin e metodave numerike si Runge-Kutta, Newton-Raphson dhe Metoda e elementeve të fundme. Këto simulime demonstrojnë në mënyrë praktike konceptet teorike të diskutuara.

Përmes metodave analitike dhe simulimeve numerike në MATLAB, është vërtetuar se teknikat e stabilizimit, si metoda e Lyapunovit, rregullimi robust dhe ai optimal, ofrojnë qasje të efektshme për minimizimin e ndikimit të pasigurive dhe forcave të jashtme në sistem.

Në përgjithësi, punimi e thekson rëndësinë e analizës së sistemeve jolineare si në aspektin teorik ashtu edhe në atë praktik, duke treguar se kombinimi i metodave analitike dhe numerike është i domosdoshëm për të kuptuar dhe rregulluar sjelljen e tyre. Përmes përdorimit të simulimeve dhe metodave të ndryshme, ky studim kontribuon në thellimin e njohurive mbi sistemet jolineare, duke ofruar një bazë të fortë për studime të mëtejshme dhe aplikime inxhinierike.

Si komision, vlerësojmë se ky punim përmbush kriteret e kërkuara për nivelin master.

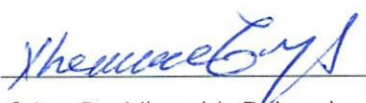
Prishtinë, 26.03.2025

Komisioni:

1. 
/ Prof. Dr. Ramë Likaj – mentor/

2. 
/ Prof. Asc.Dr. Fitore Abdullahu–

anëtar/

3. 
/ Prof. Asc.Dr. Xhevahir Bajrami –

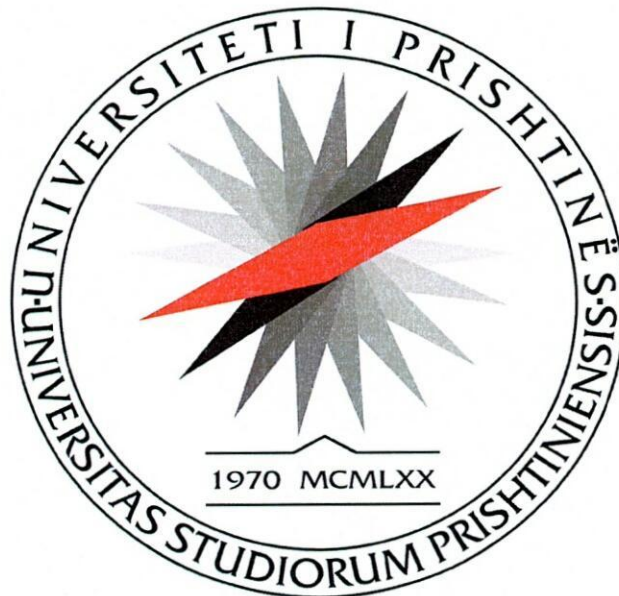
anëtar/

P.S. Numri i faqeve shtohet sipas nevojës. Vendi, data dhe nënshkrimet vijnë në fund.

UNIVERSITETI I PRISHTINËS “HASAN PRISHTINA”

FAKULTETI I INXHINIERISË MEKANIKE

DEPARTAMENTI: MEKATRONIKË



PUNIM DIPLOME

Analiza dhe rregullimi i sistemeve osciluese jolineare në mekatronikë

Mentor:
Prof. Dr. Ramë Likaj

Studente:
BSc. Arjeta Sllamniku

Prishtinë, 2025

Abstrakti

Ky punim diplome trajton analizën dhe rregullimin e sistemeve osciluese jolineare, të cilat shfaqin sjellje komplekse dhe shpesh të paparashikueshme për shkak të ndërveprimit të forcave rivendosëse jolineare, amortizimit dhe forcës së jashtme periodike. Fillimisht, janë diskutuar konceptet themelore të lëkundjeve jolineare, bifurkacionit dhe kaosit, si dhe janë prezantuar shembuj tipikë si oscilatori Van der Pol dhe oscilatori Duffing. Më pas, është shqyrtuar modeli Hamiltonian e Lagranzhian i sistemeve mekanike, duke theksuar rëndësinë e energjisë së ruajtur dhe analizës së hapësirës fazore.

Një vëmendje e veçantë i është kushtuar metodave të stabilizimit dhe rregullimit, duke përfshirë metodën e Lyapunovit për të vërtetuar qëndrueshmërinë, si dhe qasjet moderne të rregullimit robust dhe optimal, ku këto metoda do të analizohen dhe zbatohen për të minimizuar ndikimin e pasigurive dhe ngacmimeve të jashtme.

Studimi më tej përdor simulime numerike duke përdorur MATLAB për ndërtimin dhe simulimin e sistemeve lëkundëse komplekse, për optimizimin e parametrave të rregullimit, gjë që ndihmon në përmirësimin e përgjigjes së sistemit dhe stabilizimin e tij. Simulimet kanë mundësuar një analizë të thellë të fenomeneve karakteristike dhe vlerësimin e performancës së metodave të ndryshme të stabilizimit.

Rezultatet e këtij studimi tregojnë se analiza dhe rregullimi i sistemeve osciluese jolineare përmes metodave analitike dhe simulimeve numerike luajnë një rol kyç në sigurimin e qëndrueshmërisë dhe performancës së tyre. Ky studim kontribon në zhvillimin e metodave më të avancuara për analizën dhe rregullimin e oscilimeve jolineare, duke hapur rrugën për aplikime më të sakta dhe të besueshme në sistemet e mekatronikës.

Abstract

This thesis addresses the analysis and control of nonlinear oscillatory systems, which exhibit complex and often unpredictable behavior due to the interaction of nonlinear restoring forces, damping, and external periodic forces. Initially, the fundamental concepts of nonlinear oscillations, bifurcation, and chaos are discussed, along with typical examples such as the Van der Pol and Duffing oscillators. Furthermore, the Hamiltonian and Lagrangian models of mechanical systems are examined, emphasizing the importance of conserved energy and phase space analysis.

Special attention is given to stabilization and control methods, including Lyapunov's method for stability verification, as well as modern robust and optimal control approaches. These methods are analyzed and implemented to minimize the impact of uncertainties and external disturbances.

The study further utilizes numerical simulations in MATLAB to construct and simulate complex oscillatory systems, optimize control parameters, and improve system response and stabilization. These simulations enable an in-depth analysis of characteristic phenomena and the evaluation of the performance of different stabilization methods.

The findings of this study demonstrate that the analysis and control of nonlinear oscillatory systems through analytical methods and numerical simulations play a crucial role in ensuring their stability and performance. This research contributes to the advancement of methods for analyzing and controlling nonlinear oscillations, paving the way for more precise and reliable applications in mechatronic systems.

Përmbajtja

Abstrakti.....	2
Abstract	3
Lista e figurave	6
Hyrje	Error! Bookmark not defined.
2.2. Fenomenet karakteristike të sistemeve jolineare: ciklet limite, kaosi dhe bifurkacionet....	11
2.2.1. Kaosi.....	12
2.2.3. Bifurkacioni	14
2.3. Analiza e planit fazor.....	15
2.3.1. Portretet fazore	16
2.4. Sistemet autonome dhe joautonome.....	19
3. Modelet e oscilimeve jolineare	21
3.1.1. Oscilatori Van der Pol me ngacmimin e jashtëm periodik	22
3.2. Modeli Duffing për sistemet jolineare	27
3.3. Metoda Hamiltoniane dhe Lagranzhiane	29
3.3.1. Interpretimi në formulimin Hamiltonian	32
3.3.2. Modeli ekuivalent Hamiltonian	32
4. Metodatat analitike dhe rregullimi.....	36
4.1. Metoda e Lyapunovit për stabilitet.....	36
4.1.1. Metoda indirekte e Lyapunovit (metoda e linearizimit)	37
4.1.2. Metoda direkte e Lyapunovit.....	38
4.2. Rregullimi robust.....	40
4.2.1. Teoria e rregullimit H_∞	42
4.2.2. Zbatimi i teorisë së rregullimit robust në inxhinieri	43
4.3. Rregullimi optimal	45
4.3.2. Aplikimet e teorisë së rregullimit optimal në botën reale.....	45
5. Rregullimi me Feedback për sistemet jolineare osciluese	47
5.1. Një sistem i thjeshtë Feedback-u.....	48
5.1.2. Shembuj të sistemeve me rregullim feedback	50
6. Simulimi i disa shembujve në MATLAB për sistemet jolineare osciluese.....	56
6.1.1. Modelimi i një sistemi sustash jolineare.....	56

6.1.2 Sistemi jolinear sustë-masë-amortizim.....	58
6.1.4. Simulimi i një trari jolinear me devijime të mëdha (Sistemi gjeometrikisht jolinear)	64
6.1.5. Lëvizja rrotulluese e një trupi të lidhur me një sustë përdredhëse	67
6.2. Kaosi.....	69
6.2.1. Simulimi i sjelljes kaotike të një sistemi me hartë logjistike	69
6.2.2. Simulimi i Lorenz Atraktorit	72
6.3. Sistemet autonome	75
6.3.1. Simulimi i një sistemi autonom	75
6.3.2. Simulimi i një sistemi autonom (lekundja e lirë e një trari)	77
6.4.1. Simulimi i një oscilatori Duffing.....	79
6.5. Metoda e Lyapunovit.....	81
6.5.1. Linearizimi i një sistemi jolinear rreth një pike ekuilibri (metoda e Lyapunovit).....	81
6.6. Sistemet jolineare me vonesa kohore	84
6.6.1. Simulimi i një sistemi jolinear me vonesë kohore.....	84
6.7. Rregullimi jolinear	88
6.7.1. Simulimi i një lavjerrësi të përmbysur me linearizimin feedback.....	88
6.8. Metoda Runge Kutta për zgjidhjen numerike të ekuacioneve diferenciale jolineare	91
6.8.1. Zgjidhja numerike e oscilatorit Van der Pol duke përdorur metodën Runge-Kutta të Rendit të Katërt"	91
6.8.2. Zgjidhja numerike e lavjerrësit pa amortizim me metodën Runge-Kutta për formulimin Hamiltonian.	94
6.9. Metoda e Elementeve të Fundme për analiza komplekse dinamike	97
6.9.1. Simulimi i një sistemi jolinear të tipit oscilator me dy masa dhe një sustë jolineare duke përdorur Metodën e Elementeve të Fundme.....	97
6.10. Metodatat numerike për sistemet jolineare	102
6.10.1. Analiza numerike e stabilitetit të një sistemi jolinear përmes funksionit Lyapunov	102
6.10.2. Zbatimi i metodës Newton-Raphson për të gjetur një rrënjë (zgjidhje) të një ekuacioni jolinear	104
6.10.3. Projektimi i një Rregullatori jolinear duke përdorur linearizimin Feedback.....	105
8. Përfundimi.....	107
Referencat	108

Lista e figurave

Figura 1. Lëkundjet jolineare të sistemit oscilues me ndryshim të amplitudës [3].....	10
Figura 2. Ciklet limite: i qëndrueshëm, i paqëndrueshëm dhe gjysmë i qëndrueshëm [7].....	11
Figura 3. Sjellja kaotike e një sistemi linear [4]	13
Figura 4. Bifurkacioni nyje-shufër [9]	14
Figura 5. Sistemi sustë- masë dhe portreti i fazës së tij	17
Figura 6. Portreti fazor i një sistemi linear	18
Figura 7. Orbitat e ciklit limit në hapësirën fazore për oscilatorin Van der Pol të shprehura me ekuacionet e mësipërme.....	24
Figura 8. a) Orbitat në hapësirën fazore dhe (b) variacionet kohore në x dhe y në oscilatorin Van der Pol për vlera të ndryshme të μ . [11].....	25
Figura 9. Ndryshimi periodik i tërheqësit kaotik të oscilatorit Duffing për $\alpha=1$, $\beta=-1$, $\delta=0.2$, $\gamma=0.3$ dhe $\omega=1$ [15]	29
Figura 10. Lakoret e nivelit dhe rrjedha fazore e oscilatorit harmonik [17].....	34
Figura 11. Lakoret e nivelit dhe rrjedha fazore e lavjerrësit.....	35
Figura 12. Sistemi jolinear sustë- masë-amortizator.....	39
Figura 13. Rrjeti i rregullimit të një sistemi fizik me pasiguri [19].....	41
Figura 14. Komponentët e rregullimit H^∞ [21]	42
Figura 15. Blloku i komponentëve të sistemit të rregullimit të temperaturës së dhomës; (b) grafiku i temperaturës së dhomës dhe ngrohësit në veprim [22].....	50
Figura 16. Rregullimi i sistemit të shpejtësisë [23]	52
Figura 17. Roboti duke përdorur një proces të njohjes së modelit	54
Figura 18. Forca në funksion të zhvendosjes për një sustë jolineare.....	57
Figura 19. Diagrami i paraqitur në MATLAB për zhvendosjen dhe shpejtësinë e sistemit sustë- masë- amortizator.....	59
Figura 20. Skema e lavjerrësit të dyfishtë.....	60
Figura 21. Diagrami i paraqitur me simulimin e një lavjerrësi të dyfishtë	63
Figura 22. Diagrami i simulimit të trarit jolinear me devijime të mëdha	66

Figura 23. Sjellja e zhvendosjes këndore të një sistemi rrotullues	68
Figura 24. Diagrami i simulimit të sistemit me hartë logjistike	70
Figura 25. Diagrami i simulimit të sistemit me hartë logjistike me parametrin $r = 2.5$	71
Figura 26. Diagrami i simulimit të Lorenz Atraktorit.....	74
Figura 27. Diagrami i simulimit të një sistemi autonom	76
Figura 28. Diagrami i paraqitur nga simulimi i sistemit autonom	78
Figura 29. Diagrami i paraqitur nga simulimi i oscilatorit Duffing.....	80
Figura 30. Portreti fazor i sistemit të linearizuar	83
Figura 31. Diagrami i paraqitur nga simulimi i një sistemi me vonesë kohore	85
Figura 32. Diagrami i paraqitur nga simulimi i një sistemi me vonesë kohore më të vogël	86
Figura 33. Skema e lavjerrësit të përmbysur	88
Figura 34. Diagrami i lavjerrësit të përmbysur me linearizimin feedback	90
Figura 35. Simulimi i oscilatorit Van der Pol me metodën Runge Kutta	93
Figura 36. Diagrami i simulimit të lavjerrësit me metodën Runge Kutta.....	96
Figura 37. Sistemi jolinear me dy masa.....	98
Figura 38. Analiza e zhvendosjes dhe shpejtësisë në një sistem jolinear me dy masa	101