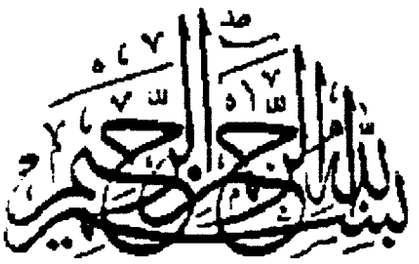

٤٢٤٤
١٠٢٠٥١
١٠

٣٨٩٢١

۱۳۸۰ /۶/ ۲۸

مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران
تسویه ملفات

دانشگاه تربیت مدرس

دانشکده فنی و مهندسی

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی برق- کنترل

طراحی کنترل‌کننده مقاوم برای سیستمهای غیرخطی آشفته تکین

12644

۳۵۹۲۰

علی اهوزی

استاد راهنما:

دکتر محمدتقی حمیدی بهشتی

استاد مشاور:

دکتر محمدجواد یزدان‌پناه

بهار ۱۳۸۰

دانشگاه تربیت مدرس

تاییدیه هیات داوران

آقای علی اهوزی پایان‌نامه ۶ واحدی خود را با عنوان طراحی کنترل‌کننده مقاوم برای سیستم‌های غیرخطی آشفته تکین در تاریخ ۸۰/۳/۲۱ ارائه کردند. اعضای هیات داوران نسخه نهائی این پایان‌نامه را از نظر فرم و محتوی تایید و پذیرش آنرا برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد رشته مهندسی برق با گرایش کنترل پیشنهاد می‌کنند.

اعضای هیات داوران	نام و نام خانوادگی	امضاء
۱ـ استاد راهنما :	آقای دکتر حمیدی‌بهشتی	
۲ـ استاد مشاور :	آقای دکتر یزدان‌پناه	
۳ـ استادان ممتحن :	آقای دکتر مؤمنی	
	آقای دکتر زرآبادی‌پور	
۴ـ مدیر گروه : (یا نمایندهٔ گروه تخصصی)	آقای دکتر مجد	

این نسخه به عنوان نسخه نهایی پایان‌نامه/رساله مورد تایید است.

امضای استاد راهنما:

بسمه تعالی

آیین‌نامهٔ چاپ پایان‌نامه (رساله)های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرّس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان‌نامه (رساله)های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرّس، مبیّن بخشی از فعالیتهای علمی - پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه، دانش‌آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می‌شوند:

مادّهٔ ۱ در صورت اقدام به چاپ پایان‌نامه (رساله)ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثار علمی» دانشگاه اطلاع دهد.

مادّهٔ ۲ در صفحهٔ سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه)، عبارت ذیل را چاپ کند:

«کتاب حاضر، حاصل پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد/رسالهٔ دکتری نگارنده در رشتهٔ برق - قدرت است که در سال ۱۳۸۰ در دانشکدهٔ فنی و مهندسی دانشگاه تربیت مدرّس به راهنمایی ~~سرکار خانم~~/جناب آقای دکتر حمیدی اشتری، مشاورهٔ ~~سرکار خانم~~/جناب آقای دکتر یزدان پناه و مشاورهٔ سرکار خانم/جناب آقای دکتر _____ از آن دفاع شده است.»

مادّهٔ ۳ به منظور جبران بخشی از هزینه‌های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت چاپ) را به «دفتر نشر آثار علمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می‌تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر در معرض فروش قرار دهد.

مادّهٔ ۴ در صورت عدم رعایت مادّهٔ ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ‌شده را به عنوان خسارت به دانشگاه تربیت مدرّس، تأدیه کند.

مادّهٔ ۵ دانشجو تعهد و قبول می‌کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می‌تواند خسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می‌دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در مادّهٔ ۴ را از محلّ توقیف کتابهای عرضه‌شدهٔ نگارنده برای فروش، تأمین نماید.

مادّهٔ ۶ اینجانب علی اهوری دانشجوی رشته برق - قدرت مقطع کارشناسی ارشد تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می‌شوم.

نام و نام‌خانوادگی: علی اهوری

تاریخ و امضا: ۸۰/۳/۲۱

تقدیم به پدر و مادر عزیزم

برخود لازم می‌دانم از استاد گرامیم جناب آقای دکتر محمدتقی حمیدی بهشتی که در انجام این پروژه و در کل دورهٔ کارشناسی ارشد از نظرات و راهنماییهای ارزشمند ایشان بهره‌مند بوده‌ام کمال تقدیر و تشکر را داشته باشم.

همچنین از استاد گرامی جناب آقای دکتر محمدجواد یزدان‌پناه که مشاوره و هدایت مرا در انجام این پروژه برعهده داشته‌اند سپاسگزارم.

نگارنده خود را اخلاقاً مدیون زحمات جناب آقای دکتر حسین‌نیا در رساله دکتری ایشان که در یادگیری مفاهیم اولیه مربوط به این تحقیق نقش بسزایی داشته است می‌داند و از ایشان تشکر می‌نماید.

چکیده :

در این پایان‌نامه، طراحی کنترل‌کننده مقاوم برای یک سیستم آشفته تکین غیرخطی مورد بحث و بررسی قرارگرفته است. سیستمهای آشفته تکین گروهی از سیستمهای غیرخطی هستند که می‌توان درجه معادله دینامیکی آنها را با صرفنظرکردن از یک پارامترکوچک سیستم کاهش داد. در این پروژه ابتدا به بررسی خصوصیات سیستمهای آشفته تکین و مبانی نظریهٔ کنترل H_∞ برای سیستمهای غیرخطی می‌پردازیم. سپس با استفاده از مدل غیرخطی جسم صلب یک ماهواره و بهره گیری از کواترنین های واحد جهت بیان سینماتیک دورانی ماهواره، سیستم حلقه بسته را به فرم استاندارد آشفته تکین تبدیل نموده و یک کنترل‌کننده H_∞ غیرخطی طراحی می‌نمائیم.در انتها نیزشبیه‌سازیهای لازم را جهت بررسی تأثیر پارامترهای مختلف مانند اغتشاشات وارده بر مولدهای گشتاور، اشباع عملگرها می‌دهیم.

کلمات کلیدی:

سیستم غیرخطی، مدل‌سازی تقریبی، نظریه آشفتگی تکین، پایداری، کنترل‌کننده مقاوم، نظریهٔ کنترل H_∞، سیستمهای متداخل، کنترل موقعیت، کواترنین، ماهواره.

فهرست مطالب

شماره صفحه

فصل اول : مقدمه ۱

فصل دوم : سیستمهای آشفته تکین ۵

۲-۱ مقدمه ۵

۲-۲ مدل استاندارد آشفتگی تکین ۷

۲-۳ مدل های کاهش مرتبه یافته و لایه مرزی ۹

۲-٤ تحلیل پایداری ۱٤

فصل سوم : کنترل H_∞ غیرخطی ۱۸

۳-۱ مقدمه ۱۸

۳-۲ سیگنال ها ۱۹

۳-۲-۱ فضای ۲ لبگ ۱۹

۳-۲-۲ فضای ۲ هاردی ۲۱

۳-۳ سیستم ها ۲۲

۳-۳-۱ فضای ∞ لبگ ۲۲

۳-۳-۲ فضای ∞ هاردی ۲٤

۳-۳-۳ بهره افزایشی سیستم و نرم القایی ۲۵

۳-۳-٤ قضیه بهره کوچک و بررسی پایداری ۲٦

۳-٤ نظریه کنترل H_∞ غیرخطی ۲۸

۳-٤-۱ تعریف مسأله کنترل H_∞	۲۸
۳-٤-۲ انرژی بری	۳۱
۳-٤-۳ بازی های دیفرانسیلی	۳۲
۳-۵ نامعادله هامیلتون-جاکوبی-ایزاک	۳۵
۳-٦ سیستم های شبه خطی نامتغیر با زمان	۳۷
۳-٦-۱ تبدیل نامعادله HJI به فرم مناسب	۳۸
۳-٦-۲ حل مسأله H_∞ با پسخور حالت-بررسی پایداری	٤۰
۳-٦-۳ سیستم های غیرخطی متداخل	٤۳
۳-٦-٤ نکته ای درباره سیستم های شبه خطی متغیر با زمان	٤۷
فصل چهارم : کنترل موقعیت ماهواره	**٤۹**
٤-۱ مقدمه	٤۹
٤-۲ بیان هدف طراحی	۵۲
٤-۳ بدست آوردن مدل استاندارد آشفته تکین	۵۵
٤-٤ محاسبه دینامیک خطا	۵۹
٤-۵ تشکیل نامعادله HJI	٦۱
٤-٦ حل نامعادله HJI - تابع گرین	۷۰
٤-٦-۱ تقریب ساده کننده	۷۱
٤-٦-۲ تابع گرین	۷۲
٤-٦-۳ حل معادلات با استفاده از تابع گرین	۷۳
٤-۷ بدست آوردن قانون کنترل	۷٦

فصل پنجم : شبیه سازی ۷۷

۵-۱ مقدمه ۷۷

۵-۲ نکته ای در مورد معیار اندازه گیری خطا ۸۳

۵-۳ شبیه‌سازی های انجام شده ۸٤

۵-۳-۱ شبیه‌سازی بدون درنظر گرفتن اغتشاش ۸٤

۵-۳-۲ شبیه‌سازی با درنظر گرفتن اغتشاشات وارده بر عملگرها ۹۸

فصل ششم : نتایج و پیشنهادات ۱۲٦

٦-۱ نتیجه گیری ۱۲٦

٦-۲ پیشنهادات ۱۳۰

فهرست مراجع ۱۳۲

واژه نامه ۱۳۷

ضمیمه الف : مبانی دستگاههای مختصات دوران ۱٤٦

الف-۱ دستگاه مختصات بدنی ۱٤٦

الف-۲ مختصات دورانی ۱٤۷

ضمیمه ب : تبدیل کواترنین‌ها به زوایای اویلر ۱۵۳

ضمیمه پ : دیسکت ضمیمه ۱۵۵

فهرست جداول

شماره صفحه

جدول (۵-۱) : پارامتر های فیزیکی ماهواره مورد شبیه‌سازی ۷۸

جدول (۵-۲) : مقادیر مؤثر خطای قابل قبول برای دو نمونه ماهواره واقعی ۸۳

فهرست نمودارها و اشکال

شماره صفحه

شکل ۳-۱ : قضیهٔ بهرهٔ کوچک ۲۷

شکل ۳-۲ : سیستم دارای عدم قطعیت به همراه کنترل‌کننده مقاوم ۲۷

شکل ۳-۳ : مسأله کنترل H_∞ ۲۸

شکل ٤-۱ : دیاگرام بلوکی سیستم کنترل موقعیت ۵۸

شکل ۵-۱ : ورودی های کنترلی مرجع ۷۹

شکل ۵-۲ : سرعتهای زاویه‌ای مرجع ۸۰

شکل ۵-۳ : کواترنین‌های مرجع ۸۱

شکل ۵-٤ : سرعتهای زاویه‌ای مرجع و واقعی در حالت بدون اغتشاش ۸٦

شکل ۵-۵ : خطای سرعتهای زاویه ای در حالت بدون اغتشاش ۸۷

شکل ۵-٦ : ورودیهای کنترل مرجع و واقعی در حالت بدون اغتشاش ۸۸

شکل ۵-۷ : کواترنین‌های مرجع و واقعی در حالت بدون اغتشاش ۸۹

شکل ۵-۸ : سرعتهای زاویه ای مرجع و واقعی برای $\omega_0 = [0.002 \quad -0.001 \quad 0.003]$ ۹۲

شکل ۵-۹ : خطای سرعت های زاویه‌ای برای $\omega_0 = [0.002 \quad -0.001 \quad 0.003]$ ۹٤

شکل ۵-۱۰ : ورودیهای کنترل مرجع و واقعی برای $\omega_0 = [0.002 \quad -0.001 \quad 0.003]$ ۹٤

شکل ۵-۱۱ : کواترنین‌های مرجع و واقعی برای $\omega_0 = [0.002 \quad -0.001 \quad 0.003]$ ۹٦

شکل ۵-۱۲ : سرعتهای زاویه‌ای مرجع و واقعی با در نظر گرفتن اغتشاش پالسی معمولی $d_1(t)$ ۹۹

شکل ۵-۱۳ : خطای سرعتهای زاویه‌ای با در نظر گرفتن اغتشاش پالسی معمولی $d_1(t)$ ۱۰۱

شکل ۵-۱٤ : ورودیهای کنترل مرجع و واقعی با در نظر گرفتن اغتشاش پالسی $d_1(t)$ ۱۰۱

شکل ۵-۱۵ : کواترنین‌های مرجع و واقعی با در نظر گرفتن اغتشاش پالسی معمولی $d_1(t)$ ۱۰۳

شکل ۵-۱۶ : سرعتهای زاویه‌ای مرجع و واقعی برای اغتشاش بلندمدت $d_2(t)$ ۱۰۶

شکل ۵-۱۷ : خطای سرعتهای زاویه‌ای برای اغتشاش بلندمدت $d_2(t)$ ۱۰۷

شکل ۵-۱۸ : ورودیهای کنترل مرجع و واقعی برای اغتشاش بلندمدت $d_2(t)$ ۱۰۸

شکل ۵-۱۹ : کواترنین‌های مرجع و واقعی برای اغتشاش بلندمدت $d_2(t)$ ۱۰۹

شکل ۵-۲۰ : سرعتهای زاویه‌ای مرجع و واقعی برای اغتشاش غیرمجاز $d_3(t)$ ۱۱۲

شکل ۵-۲۱ : خطای سرعتهای زاویه‌ای برای اغتشاش غیرمجاز $d_3(t)$ ۱۱۴

شکل ۵-۲۲ : ورودیهای کنترل مرجع و واقعی برای اغتشاش غیرمجاز $d_3(t)$ ۱۱۴

شکل ۵-۲۳ : کواترنین‌های مرجع و واقعی برای اغتشاش غیرمجاز $d_3(t)$ ۱۱۶

شکل ۵-۲۴ : سرعتهای زاویه‌ای مرجع و واقعی برای اغتشاش سینوسی دائمی $d_4(t)$ ۱۱۹

شکل ۵-۲۵ : خطای سرعتهای زاویه‌ای برای اغتشاش سینوسی دائمی $d_4(t)$ ۱۲۰

شکل ۵-۲۶ : ورودیهای کنترل مرجع و واقعی برای اغتشاش سینوسی دائمی $d_4(t)$ ۱۲۱

شکل ۵-۲۷ : کواترنین‌های مرجع و واقعی برای اغتشاش سینوسی دائمی $d_4(t)$ ۱۲۲

شکل ۵-۲۸ : ورودی کنترل کانال رول برای یک اغتشاش سینوسی دائمی با فرکانس بالا ۱۲۵

شکل الف-۱ : دستگاه مختصات بدنی ۱۴۷

شکل الف-۲ : دورانهای رول ، پیچ و یاو ۱۴۸

شکل الف-۳ : محور دوران ۱۵۰

شکل ب-۱ : زاویه اویلر (کانال فراز) مربوط به شبیه‌سازی با اغتشاش سینوسی ۱۵۴

مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران
تهیه مدارک

فصل اول

مقدمه

گرچه کنترل‌کننده های PID [1] خطی مدت مدیدی است که در بسیاری از سیستمها عملاً بکار گرفته شده و دارای عملکردی مثبت بوده‌اند اما گاهی اوقات کارایی این کنترل‌کننده ها به دلایل متفاوت کاهش یافته یا به‌طورکلی از دست می‌رود. این کاهش در کارایی ممکن است ریشه در خود فرایند داشته باشد، به عنوان مثال ممکن است مدل دینامیکی فرایند تحت کنترل بسیار پیچیده بوده یا مدل دقیق فرایند موجود نباشد. یا اینکه معلول وجود تناقض در قیود طراحی و برآورده نشدن توأم آنها باشد. در مواجهه با چنین وضعیتی طراح دو راه‌حل پیش رو دارد، اول آنکه (درصورت امکان)، به نحوی قیود طراحی یا مدل فرایند را ساده نموده و از همان کنترل‌کننده سابق استفاده نماید و دوم آنکه

[1] Proportinal Integral Derivative

(در صورت امکان) مدل یا قیود طراحی را دست‌نخورده باقی گذاشته و از روشهای طراحی پیشرفته‌تری برای طراحی کنترل‌کننده استفاده نماید.

بدیهی است که هرکدام از این دو استراتژی دارای مزایا و معایبی می‌باشد. ایده اول منجر به طراحی ساده‌تری نسبت به حالت دوم می‌گردد اما این خطر نیز وجود دارد که کنترل‌کننده عملکرد مورد انتظار را از خود بروز ندهد. در ضمن ممکن است شرایطی وجود داشته باشد که اصلاً امکان ساده‌سازی فراهم نباشد. به همین ترتیب در روش دوم ممکن است مسأله طراحی کلاً فاقد جواب باشد اما در صورت وجود جواب قیود طراحی کاملاً برآورده می‌شوند.

کوششهای اولیه برای یافتن چنین روشهایی به دهه ۵۰ میلادی بازمی‌گردد. در اواخراین دهه با اوج گرفتن مسابقه موشکی و تسخیر فضا بین دو قطب غرب و شرق، نیاز به وجود روشی سامان یافته برای کنترل سیستمهای پرنده (هواپیما، موشک، ماهواره و امثال آن) بصورت جدی احساس گشت و متعاقب آن نظریه LQG[2] در اوایل دهه ۶۰ پا به عرصه وجود نهاد و خود را به عنوان روشی کارآمد جهت طراحی کنترل‌کننده برای سیستمهای خطی دارای اغتشاش مطرح ساخت. این روش برای سیستمهای پرنده که میزان اثرات غیرخطی در آنها ناچیز می‌باشد به خوبی پاسخگو بود، اما طبیعتاً از ارائه قانون کنترلی مناسب برای فرایندهایی که دارای اثرات شدید غیرخطی بودند ناتوان بود، لذا تلاشهای پیگیرانه جهت ارائه متدهایی که محدودیتهای LQG را نداشته باشند آغاز و منجر به پیدایش مجموعه‌ای از نظریه های نوین در مهندسی کنترل گشت که از آنها تحت عنوان کنترل مقاوم[3] نام برده می‌شود.

[2] Linear Quadratic Gaussian

[3] robust control