دانشگاه زنجان

دانشکده مهندسی

گروه برق

پایان نامه کارشناسی

مهندسی برق- کنترل

کنترل نقطه به نقطه کشتی زیر تحریک

نگارش

حمید اسماعیلی جزوان

استاد راهنما

دکتر صالح مبین

زمستان ۹۴

به پاس تعبیر عظیم و انسانی شان از کلمه ایثار و از خودگذشتگان

به پاس عاطفه سرشار و گرمای امیدبخش وجودشان که در این سردترین روزگاران بهترین پشتیبان است

به پاس قلب های بزرگشان که فریاد رس است و سرگردانی و ترس در پناهشان به شجاعت می گراید

و به پاس محبت های بی دریغشان که هرگز فروکش نمی کند

این مجموعه را به پدر و مادر عزیزم تقدیم می کنم.

قدر دانی

پروردگارا به حرمت آنکه تو آنی و به حرمت آن صفات که چنانی ،یاری ام کن که عمر به نادانی به آخر نرسانم، بیاموزم و بیاموزانم .

بر خود لازم می دانم که قدردان کسانی باشم که به نوعی در پیشرفت این پایان نامه موثر بوده اند .

از استاد گرانقدر جناب آقای دکتر صالح مبین که راهنمایی های ایشان راهگشای تمامی مراحل انجام این پروژه بوده کمال تشکر را دارم .

حمید اسماعیلی جزوان

زمستان۹۴

چکیده

بدلیل وجود چالش تئوری و کاربردهای مهمی که مسئله کنترل وسایل حمل ونقل دریایی شامل کشتی ها و زیردریایی ها دارند ،این موضوع زمینه بسیارفعالی در پژوهش ها طی دهه های اخیر داشته است. برخی از کاربرد های این وسایل حمل ونقل دریایی عبارتند از: مسافربری، حمل ونقل مطمئن ، سرکشی به کابل های موجود زیر دریا ، تاسیسات نفتی و مسائل ساحلی و... .در اغلب کشتی ها بدلیل در دسترس نبودن ورودی کنترلی برای حرکت در تمامی جهت ها ، کشتی زیرتحریک نامیده می شود. اگر در سیستمی تعداد درجه های آزادی سیستم در مقایسه با ورودی های مستقل بیشتر باشند ، سیستم مورد نظر یک سیستم زیرتحریک نامیده می شود.خاصیت زیر تحریکی در یک سیستم ممکن است در دینامیک خود سیستم موجود باشد و یا با هدف صرفه جویی اقتصادی در سیستم به وجود آمده باشد.در این پروژه ابتدا تعریف کوتاهی از سیستم ها و کشتی های زیرتحریک خواهیم داشت.سپس در فصل دوم قضایا و روش های پایداری و کنترل پذیری سیستم ها مورد بحث قرار می گیرد. در فصل سوم آشنایی با مدل کشتی زیر تحریک و نحوه ی طراحی کنترل کننده ها بیان می شود.در فصل چهارم طراحی ورودی های کنترلی در دسترس صورت می گیرد و در فصل پنجم نتایج شبیه سازی مسائل مسیریابی ، مسیریابی نقطه به نقطه و پارک کردن کشتی زیر تحریک نمایش داده می شوند و در انتها نتیجه گیری و پیشنهادات بیان می گردد.

فهرست مطالب

فصل اول : کلیاتی در مورد سیستم های زیر تحریک ۱

۱-۱ سیستم زیر تحریک ۲

۱-۲ دلایل زیرتحریکی در سیستم ها ۳

۱-۳ کشتی زیر تحریک ۳

۱-۴ نگاهی به پیشرفت های کنترلی غیر خطی: ۴

فصل دوم : قضایا و روش های پایداری و کنترل پذیری ۶

۲-۱ مقدمه ۷

۲-۲ پایداری لیاپانوف ۷

۲-۲-۱ تعاریف.. ۸

۲-۲-۱-۱ نقطه تعادل ۸

۲-۲-۱-۲ توابع کلاس $\boldsymbol{k}$ و $\boldsymbol{k\infty}$ ۸

۲-۲-۱-۳ توابع کلاس $\boldsymbol{KL}$ و $\boldsymbol{KL\infty}$ ۸

۲-۲-۱-۴ انواع پایداری برای نقطه تعادل ۸

۲-۲-۱-۵ انواع پایداری نمایی برای نقطه تعادل... ۹

۲-۲-۱-۶ انواع کرانداری ۱۰

2-2-2 قضایا و لم ها ۱۰

۲-۲-۳ پایداری سیستم های کاسکود... ۱۵

۲-۳ پایداری ورودی - حالت ۱۸

۲-۴ توابع کنترلی لیاپانوف ۲۰

۲-۵ روش بازگشت به عقب.. ۲۱
۲-۶ پایدارسازی در حضور نامعینی ها... ۲۳
۲-۷ کنترل پذیری و رؤیت پذیری... ۲۶
2-7-1 کنترل پذیری و رؤیت پذیری سیستم های خطی نامتغیربازمان.......................... ۲۶
2-7-2 کنترل پذیری و رؤیت پذیری سیستم های خطی متغیربازمان.......................... ۲۸
۲-۷-۳ کنترل پذیری و رؤیت پذیری سیستم های غیرخطی.. ۳۰
2-7-4 قضیه براکت در پایدارسازی فیدبکی ۳۳
فصل سوم : معادلات کشتی زیر تحریک و انواع کنترلها...................................... ۳۴
۳-۱ معادلات و پارامترهای کشتی زیر تحریک و کنترلرها ۳۵
۳-۲ انواع کنترلرها.. ۳۸
۳-۳ خطی سازی فیدبکی کنترلرها ۳۹
فصل چهارم : مسیریابی و کنترل نقطه به نقطه کشتی زیرتحریک ۴۱
۴-۱ مسیریابی و دنبال کنندگی کشتی زیر تحریک ۴۲
۴-۲ طراحی کنترلی.. ۴۵
4-2-1 طراحی متغیرهای مجازی ۴۵
4-2-2 طراحی ورودی های کنترلی کشتی واقعی ۴۶
4-2-3 طرح تطبیقی قوانین کنترلی ۴۷
4-2-4 الگوریتم محاسبه proj ۴۹
۴-۳ بررسی پایداری زیر سیستم $(\psi e, u, r)$.. ۵۰
۴-۴ بررسی کرانداری ze ۵۱
4-4-1 کران پایین ze ۵۱
4-4-2 کران بالای ze... ۵۲

۴-۵ کنترل نقطه به نقطه کشتی زیر تحریک ۵۵
۴-۶ پارک کردن کشتی زیرتحریک.. ۵۵
فصل پنجم : نتایج شبیه سازی ۵۶
۵-۱ مقدمه ۵۷
۵-۲ مسیریابی کشتی زیر تحریک ۵۸
۵-۳ کنترل نقطه به نقطه.. ۶۱
۵-۴ پارک کردن ۶۳
فصل ششم : نتیجه گیری.. ۶۶
۶-۱ نتیجه گیری ۶۷
۶-۲ پیشنهادات ۶۷
مراجع ۶۸

فهرست تصاویر

شکل 1,1 : پاندول معکوس ۲
شکل 1,3 : مختصات حرکت کشتی در جهت های مختلف... ۳۵
شکل 1,4 : حرکت کشتی های واقعی و مجازی ۴۳
شکل 1,5 :کشتی دارای یک پروانه و یک رادار.. ۵۷
شکل 2,5 :دنبال کنندگی مسیر از پیش تعیین شده ۵۸
شکل 3,5 :خطای دنبال کنندگی ze ۵۹
شکل 4,5 : خطای جهت یابی ψe.. ۵۹

شکل 5,5 : ورودی کنرلی τu ۶۰

شکل 6,5 : ورودی کنترلی τr.. ۶۰

شکل 7,5 : تعدادی از پارامترهای الگوریتم محاسبه ی پارامترها ۶۱

شکل 8,5 : مسیر یابی نقطه به نقطه کشتی زیرتحریک... ۶۲

شکل 9,5 : خطای ze مسیر یابی نقطه به نقطه.. ۶۲

شکل 10,5 : خطای ψe مسیر یابی نقطه به نقطه ۶۳

شکل 11,5 : پارک کردن کشتی زیرتحریک در نقطه مشخص.. ۶۴

شکل 12,5 : خطای ze در پارک کردن کشتی ۶۴

شکل 13,5 : خطای ψe در پارک کردن کشتی... ۶۵

فهرست جداول

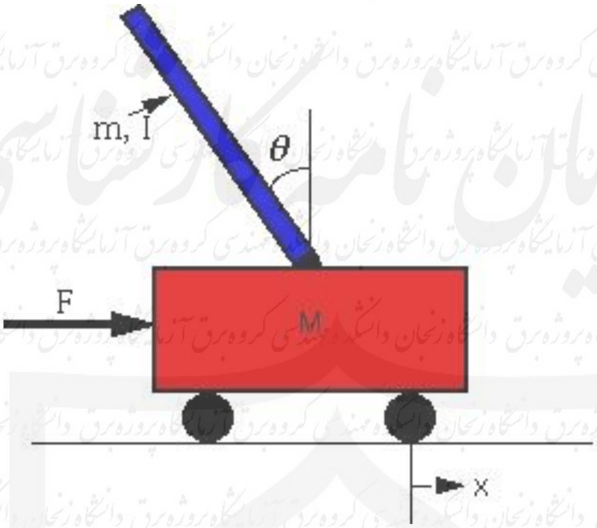
جدول ۱,۳ : متغیرهای بردارهای $\boldsymbol{\eta}$ و $\boldsymbol{v}$.. ۳۸

جدول ۲,۳ : انواع کنترلر ۳۸

فصل اول : کلیاتی در مورد سیستم های زیر تحریک

1-1 سیستم زیر تحریک

اگر در سیستمی تعداد درجه های آزادی سیستم در مقایسه با ورودی های مستقل، بیشتر باشند ، سیستم مورد نظر یک سیستم زیرتحریک[1] نامیده می شود . برای مثال سیستم پاندول معکوس شکل ۱,۱ را در نظر بگیرید.



شکل 1,1 : پاندول معکوس

این سیستم دارای دو درجه آزادی x و در خروجی و یک ورودی کنترلی F می باشد به همین دلیل یک سیستم زیر تحریک نامیده می شود .

در دهه های اخیر مسئله کنترل سیستم های زیرتحریک،زمینه بسیار فعالی در تحقیقات مهندسان کنترل داشته است ..به دلیل وجود کاربرد های مختلف در زمینه های مختلف مانند :رباتیک،سیستم های فضایی،سیستم های دریایی،و سیستم های متحرک مختلف ،مطالعه سیستم های زیرتحریک موضوع مورد بحث جامعه مهندسی کنترل بوده است.

خاصیت زیرتحریکی در یک سیستم ممکن است به یکی از دلایل زیر به وجود بیاید :[1]

[1] underactuated

2-1 دلایل زیرتحریکی در سیستم ها

۱) دینامیک و طبیعت خود سیستم
۲) کاهش تعداد محرک ها با هدف کاهش هزینه
۳) افزایش قابلیت اطمینان سیستم وقتی یک یا چند محرک دچار نقص می شوند
۴) کاهش تعداد محرک ها با هدف کاهش مرتبه سیستم غیرخطی و مطالعه این سیستم به جای مطالعه سیستم های غیرخطی مرتبه بالا

یکی از بحث های مورد چالش در رابطه با سیستم های زیرتحریک،طراحی کنترل کننده برای یک سیستم زیر تحریک در مقایسه با یک سیستم زیرتحریک است.طراحی کنترل کننده ها برای سیستم های تمام تحریک اغلب بر پایه خصوصیاتی از قبیل : قابلیت کنترل پذیری خطی،پایدار پذیری فیدبکی و پسیو بودن سیستم نهاده می شود ولی در سیستم های زیرتحریک به دلیل فقدان چنین خصوصیاتی طراحی کنترل کننده به روش های کنترل خطی میسر نیست. پس ناگزیر باید به سراغ کنترل غیرخطی سیستم های زیرتحریک برویم.اگرچه روش هایی برای خطی سازی سیستم های غیر خطی وجوددارد ولی این روش ها محدود به نقطه تعادل [1] سیستم ها می باشند که تنها پایداری سیستم ها را حول نقطه تعادل تضمین می کنند.امادر حالت کلی بدلیل وجود پیچیدگی های مختلف در سیستم ها، ممکن است سیستمی دارای چندین نقطه تعادل مختلف باشد که خود به مراتب مشکلات موجود را برای استفاده از روش خطی سازی دو چندان می کند.

3-1 کشتی زیر تحریک

بر طبق آنچه که در بخش قبل برای سیستم های زیر تحریک گفته شد، اگر در یک کشتی درجه های آزادی بیشتری در مقایسه با ورودی های کنترلی وجود داشته باشداین کشتی یک کشتی زیرتحریک خواهد بود.

مسئله کنترل وسایل حمل ونقل دریایی شامل کشتی ها و زیردریایی ها بدلیل وجود چالش تئوری و کاربردهای مهمی که دارند زمینه بسیارفعالی طی دهه های اخیر داشته است. برخی از کاربرد های این وسایل حمل ونقل دریایی عبارتند از: مسافربری، حمل ونقل مطمئن ، سرکشی به کابل های موجود زیر دریا ، تاسیسات نفتی و مسائل ساحلی و... . وسایل حمل ونقل دریایی در اکثرموارد زیرتحریک هستند که دراین میان کشتی ها معمولا

[1] equilibrium

تحریک مستقل برای حرکت به طرفین ندارند وزیردریایی ها علاوه بر فقدان تحریک مستقل برای حرکت به طرفین[1]، تحریک مستقلی برای جابه جایی ها به بالا و پایین[2] ندارند.

در بحث کنترل این گونه سیستم ها اگرروش کنترل کلاسیک که برای سیستم های تمام تحریک[3] طراحی شده اند، مستقیما برای سیستم های زیر تحریک استفاده شوند، نتیجه اجرای سیستم کنترل شده بسیار ضعیف خواهد بود و به هدف کنترلی مطلوب نخواهیم رسید. وسایل حمل ونقل دریایی نمی توانند باهیچ کنترلر فیدبک متغیر بازمان به پایداری برسند، هرچند اگر کنترل پذیر حلقه باز باشند. این حقیقت ازیکی از شرایط ضروری براکت برای پایداری وسایل حمل ونقل دریایی نتیجه شده است که در بخش های بعدی این شرایط بررسی خواهدشد.

طرح کنترل وسایل حمل ونقل دریایی زمینه جدیدی برای بکارگیری روش های کنترل غیرخطی را فراهم نمود و توجه هردو حوزه ، یعنی علوم دریایی و جامع مهندسی کنترل را برانگیخت . درادامه نگاهی به پیشرفت های کنترل غیر خطی خواهیم داشت.

4-1 نگاهی به پیشرفت های کنترلی غیر خطی:

دردودهه ی اخیر تئوری کنترل غیرخطی از موضوعات مهم پژوهش های مهندسی بوده است و پیشرفت های زیادی داشته است.

حقیقت این است که در دنیای واقعی در اغلب موارد مسائل ذاتا غیرخطی هستند. مهندسان کنترل ابتدا بااستفاده از روش های مدل سازی ، مدل ریاضی از سیستم بدست می آورند وسپس بااستفاده از روش های خطی سازی مدل ریاضی سیستم ها، حول نقطه کار آن سیستم را مطالعه می کنند و درادامه با تطبیق قوانین سیستم های خطی به کنترل اینگونه سیستم ها می پردازند.

محدودیت بنیادی خطی سازی مدل سیستم ها این است که پایداری و پاسخ سیستم تنها در نزدیکی نقطه کار تضمین می شوند در نتیجه مطالعه سیستم های غیرخطی برپایه مدل خطی شده به شدت محدود است.

دردنیای واقعی سیستم ها معمولا دارای تعداد زیادی نقطه کار می باشند.بعلاوه پدیده هایی همچون وجود معادلات چندگانه ونقاط کارمختلف، تغییر متغیر دوره ای ، چرخه محدود، زمان محدود و... باعث هر چه

[1] sway
[2] leave
[3] Full actuated

محدودتر شدن این امر می شوند .سیستم هایی ازاین قبیل نمی توانند با استفاده از کنترل خطی توصیف و پیش بینی شوند. این محدودیت ها پژوهشگران کنترل را به مطالعه سیستم های غیرخطی واداشته است.

در حرکت از حوزه ی کنترل خطی به حوزه کنترل غیر خطی با مشکلات بیشتری مواجه خواهیم شد. قوانین قراردادی حوزه ی خطی دیگر معتبر نیستند و ابزار آنالیز ریاضی پیشرفته تری لازم است. بطور جاری تکنیک هایی که برای طراحی سیستم های غیرخطی وجوددارند ، موارد زیر راشامل می شوند: تکنیک های خطی سازی و بهره زمان بندی شده، خطی سازی فیدبک، معیارچرخه (پوپو[1])، قضیه بهره پایین میانگین، انحراف منفرد، مدل کنترل لغزان ، طراحی لیاپانوف و طراحی مجدد آن ،کنترل تطبیقی پایداری و... .[2]

[1] popov

دانشجویان محترم:

جهت دسترسی به متن کامل پایان نامه‌ها به کتابخانه دانشکده مهندسی و یا آزمایشگاه پروژه گروه برق مراجعه فرمایید.

1-6 نتیجه گیری

در این پژوهش مسائل دنبال کنندگی مسیر ، دنبال کنندگی نقطه به نقطه و پارک کردن کشتی زیرتحریک در نقطه مشخص مورد بررسی قرار گرفتند. کنترل کشتی در مسیر منظم با روش دنبال کنندگی مسیر انجام می شود و در صورتی که این مسیر منظم نباشد مسئله دنبال کنندگی نقطه به نقطه مطرح می شود.بدیل نزدیکی این دو مسئله به یکدیگر ما برای هر دو مورد از یک کنترلر استفاده کردیم. نتایج شبیه سازی بدست آمده در فصل پنجم از کار آمدی کنترلرها حکایت دارد. تمامی موارد ذکر شده برای کشتی زیر تحریک با سه درجه آزادی (حرکت در سه جهت) بررسی شده اند.

۶-۲ پیشنهادات

- ✓ بررسی کنترل کشتی زیر تحریک با شش درجه آزادی در خروجی
- ✓ بررسی کنترل کشتی زیر تحریک در حوزه کنترل فازی
- ✓ مقایسه نتایج روش های کنترل فازی و لیاپانوف

مراجع

[1] Dr. Ravi N. Banavar , Dr.Velupillai Sankaranarayanan.Switched finite time control of a class of underactuated systems.2005

[2] Khak Duc Do , Jie Pan .Control of ships and underwater vehicles , Design for underactuated and nonlinear marin systems.2009

[3] Kristin Ytterstad Pettersen.Norwegian university of science and tecnology department of engineering cybernetics. path following of underactuated marine vessels in the presence of ocean currents.2013

[4] K.D. Do , J. Pan .Global robust adaptive path following of underactuated ships.2006

[5] K.D. Do ,Z.P.Jiang, J. Pan.Robust adaptive path following of underactuated ships.2004

[6] Ji-Hong Li,Pan-Mook Lee,Bong-Huan,Yong-Kon Lim. Point-to –point navigation of underactuated ships.2008

[7] Simulink.simulation and model-based design.mathworks.version6.

University of Zanjan

Engineering faculty

Department of Electrical engineering

Bachelor thesis

Point to point control of underactuated ship

by

Hamid Esmaieli Jozvan

supervisor

Dr.Saleh Mobayen

Winter 2016