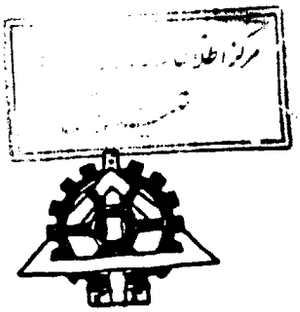
٣٤١١٣

مرکز اطلاعات ...



دانشگاه تهران

دانشکدهٔ فنی

گروه برق و کامپیوتر

۱۳۷۹ /۷/ ۲۵

عنوان پایان‌نامه :

پایدارسازی سیستم‌های غیرخطی نامعین

توسط :

شاهین فراهانی

۱۰۳۹۹

استاد راهنما :

دکتر محمدجواد یزدانپناه

استاد مشاور :

دکتر پرویز جبه‌دار مارالانی

پایان‌نامه جهت دریافت درجهٔ کارشناسی ارشد

در رشتهٔ :

برق –کنترل

تیرماه ۷۹

۳۴۱۱۳

عنوان :

پایدار سازی سیستم های غیر خطی نامعین

توسط:

شاهین فراهانی

پایان نامه جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد

مهندسی برق - کنترل

از این پایان نامه در تاریخ ۷۹/۴/۲۰ در مقابل هیأت داوران دفاع به عمل آمد و مورد تصویب قرار گرفت.

سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده فنی: دکتر محمد علی بنی هاشمی

مدیر گروه مهندسی برق و کامپیوتر : دکتر محمود کمره ای

سرپرست تحصیلات تکمیلی گروه برق و کامپیوتر: دکتر جواد فیض

استاد راهنما: دکتر محمد جواد یزدانپناه

استاد مشاور: دکتر پرویز جبه دار مارالانی

عضو هیأت داوران: دکتر کارو لوکس

عضو هیأت داوران : دکتر بهزاد مشیری

عضو هیأت داوران : دکتر محمد موبد

به نام نور

فداکاری و مهر مادرم، مردانگی و تلاش پدرم، به من زندگی دوباره بخشید....

و ...

شور ، پاکی و مهر تو، به من سعادت ابدی را نوید می دهد...

این اثر کوچک، به این بزرگان، تقدیم می گردد.

قدر دانی

شاید هیچ کاری در ذات خود مستقل نباشد، این پایان نامه هم جدای از این قانون نیست.

پیش از همه لازم است از صبر و همراهی استاد راهنمای پروژه، جناب آقای دکتر یزدانپناه قدردانی کنم. در بسیاری از موارد ایده هایی که مطرح می کردم، سر درگم و خام بودند، روحیه مثبت ایشان امید دستیابی به هدف را تقویت می کرد.

اصول یک تحقیق صحیح، طریقهٔ بیان یک دستاورد علمی و بسیار بیشتر از آن را. استاد مشاور محترم پروژه، جناب آقای دکتر جبه دار مارالانی ، از مفاخر جامعهٔ علمی مهندسی برق، به من آموختند. همواره به شاگردی ایشان افتخار خواهم کرد.

برخود لازم می دانم از کسی قدردانی کنم که نخستین بار در کلاس درس ایشان میل به تحقیق و مقاله نویسی در من بیدار شد، جناب آقای دکتر لوکس که با شور و نشاط علمی به من یاد دادند که چگونه از علم لذت ببرم.

همچنین از جناب آقای دکتر مشیری، که علاوه بر داوری پایان نامه، با راهنمایی های ارزنده خود زمینه استمرار حرکت ایجاد شده در پایان نامه را فراهم نمودند، تشکر می کنم.

ازجناب آقای دکتر موبد نیز که زحمت داوری را قبول نمودند سپاسگذارم.

همچنین لازم است از جناب آقای مهندس رازقی که با تیزبینی و نظم خاص خود به من کمک فراوان نمودند تشکر کنم. مطمئناً این پایان نامه به بحث های پربار، با ایشان و سایر دوستان وام دار است.

چکیـــده

در این پایان نامه به بحث در مورد پایدارسازی سیستمهای غیر خطی نامعین پرداخته شده است. در ابتدا دلایل اهمیت این بحث و مشکلات پیش روی آن مطرح می‌شود و بر اساس آن یک جهت مناسب برای تحقیق، انتخاب می‌گردد.

مهمترین نتیجه این پایان نامه، ارائه روشی به نام "روش زمان مجازی" است. مفهوم کلی روش زمان مجازی، استفاده از نگاشت زمانی برای حذف یا کاهش نامعینی‌های یک سیستم غیرخطی نامعین است. در حالت اول، مسئله پایدار سازی یک سیستم غیرخطی نامعین به مسئله پایدار سازی یک سیستم غیرخطی بدون نامعینی کاهش می یابد. به عبارت دیگر کافی است به جای طراحی یک کنترل کننده غیر خطی مقاوم، یک کنترل کننده غیرخطی عادی طراحی شود. بدیهی است این کار باعث سادگی عمل طراحی خواهد شد. این عمل برای یک کلاس مشخص از سیستم های غیرخطی نامعین امکان پذیر است و پایداری مجانبی، پایداری مجانبی یکنواخت و پایداری نمایی در دسترس خواهند بود. در صورتی که شرایط لازم روش زمان مجازی به صورت محلی (جامع) برآورده شوند، پایداری قابل دسترسی از نوع محلی (جامع) خواهد بود. در حالتی که این نگاشت زمانی، باعث حذف کامل نامعینی نشود، مسئله پایدارسازی فوق به یک مسئله پایدارسازی غیرخطی نامعین شناخته شده ساده‌تر کاهش پیدا می‌کند. در واقع در این حالت روش زمان مجازی باعث افزایش حوزه کاربرد آن روش پایدارسازی خاص گردیده است.

از طرف دیگر روش زمان مجازی می‌تواند برای تحلیل پایداری کلاس مشخصی از سیستم‌های غیرخطی نامعین بکار رود. به عنوان مثال، با کمک روش زمان مجازی می‌توان از تحلیل صفحه - فاز (که عموماً برای سیستم‌های غیرخطی معین تغییرناپذیر با زمان کاربرد دارد) برای کلاس خاصی از سیستم‌های غیرخطی نامعین تغییرپذیر با زمان، استفاده نمود.

برای روشن‌تر شدن خواص روش زمان مجازی، از مثالهای مفهومی استفاده شده است.

عنوان

صفحه

فصل اوّل : مقدمه

۱-۱ مقدمه ۱
۱-۲ صورت مسئله پایدار سازی سیستم‌های غیر خطی نامعین ۳
۱-۳ تاریخچه ۴
۱-۴ دسته‌بندی کارهای انجام شده ۵
۱-۵ ساختار پایان نامه ۷

فصل دوّم : روشهای پایدارسازی سیستم‌های غیرخطی نامعین

۲-۱ مقدمه ۸
۲-۲ پایدارسازی سیستم‌های غیرخطی نامعین به روش Min-Max ۸
۲-۲-۱ مقدمه ۸
۲-۲-۲ صورت مسئله ۹
۲-۲-۳ سیستم‌های دینامیکی توسعه یافته ۱۰
۲-۲-۴ پایداری مجانبی در GDS ۱۳
۲-۲-۵ پایداری مجانبی در سیستم‌های دینامیکی نامعین ۱۵
۲-۳ کراندار نهایی یکنواخت نمودن حالت‌ها ۱۷
۲-۳-۱ مقدمه ۱۷
۲-۳-۲ صورت مسئله ۱۹
۲-۳ قانون کنترل فیدبک ۲۰
۲-۴ تنظیم مقاوم برای نامعینی‌هایی با بهرهٔ کراندار ۲۵
۲-۴-۱ مقدمه ۲۵
۲-۴-۲ تنظیم خروجی ۲۶

عنوان

صفحه

۲-۵ پایدارسازی مقاوم سیستم‌های غیرخطی با دینامیک مدل نشدهٔ ورودی ۳۴
۲-۵-۱ مقدمه ۳۴
۲-۵-۲ میراسازی غیرخطی دینامیکی ۳۵
۲-۵-۳ سیستم‌های فیدبک اکید با دینامیک‌های مدل نشدهٔ "ورودی مجازی" ۳۸
۲-۶ سیستم‌های غیرفعال مقاوم ۴۲
۲-۶-۱ مقدمه ۴۲
۲-۶-۲ غیرفعال بودن و لم KYP ۴۳
۲-۶-۳ غیرفعال بودن مقاوم ۴۵
۲-۶-۴ معادل فیدبکی برای یک سیستم اکیداً غیرفعال ۴۸
۲-۶-۵ پایدارسازی جامع سیستم‌های غیرخطی نامعین ۵۰
۲-۷ پایدارسازی به کمک فیدبک خطی‌ساز مقاوم ۵۲
۲-۷-۱ مقدمه ۵۲
۲-۷-۲ مفاهیم و نتایج پایه‌ای ۵۴
۲-۷-۳ پایدارسازی مقاوم ۵۵
۲-۸ پایدارسازی به روش Backstepping مقاوم ۶۲
۲-۸-۱ مقدمه ۶۲
۲-۸-۲ طراحی Backstepping مقاوم ۶۴
۲-۹ جمع‌بندی ۶۸

فصل سوّم: روش زمان مجازی

۳-۱ مقدمه ۶۹
۳-۲ روش زمان مجازی ۷۰

عنوان

صفحه

۳-۳ بحث مفهومی ۸۰
۳-۴ مباحث ویژهٔ روش زمان مجازی ۸۲
۳-۴-۱ مقدمه ۸۲
۳-۴-۲ تحلیل صفحه - فاز ۸۲
۳-۴-۳ تئوری‌های مجموعهٔ تغییرناپذیر ۸۸
۳-۴-۴ قضیهٔ کراسوفسکی ۹۱
۳-۵ مثالهای مفهومی ۹۲
۳-۶ جمع بندی ۹۶

فصل چهارم : مقایسهٔ روش زمان مجازی و سایر روشهای پایدارسازی سیستم‌های غیرخطی نامعین

۴-۱ مقدمه ۹۷
۴-۲ مقایسهٔ روش زمان مجازی پایه و روش پایدارسازی غیرخطی Min-Max ۹۷
الف) توصیف سیستم ۹۸
ب) عامل نامعینی ۹۸
پ) قانون کنترل ۹۹
ت) نوع پایداری ۱۰۰
ث) بررسی امکان ترکیب دو روش ۱۰۰
۴-۳ مقایسهٔ روش زمان مجازی پایه و روش کراندار یکنواخت نهایی نمودن حالتها ۱۰۰
الف) توصیف سیستم ۱۰۱
ب) عامل نامعینی ۱۰۲
پ) قانون کنترل ۱۰۲
ت) نوع پایداری ۱۰۳

عنوان

صفحه

ث) بررسی امکان ترکیب دو روش ۱۰۳
۴-۴ مقایسهٔ روش زمان مجازی پایه و روش تنظیم مقاوم با نامعینی با بهرهٔ کراندار..... ۱۰۴
الف) توصیف سیستم..... ۱۰۵
ب) عامل نامعینی ۱۰۶
پ) قانون کنترل ۱۰۶
ت) نوع پایداری..... ۱۰۷
ث) بررسی امکان ترکیب دو روش ۱۰۸
۴-۵ مقایسه روش زمان مجازی پایه و روش پایدارسازی مقاوم سیستم‌های غیرخطی با دینامیک مدل نشدهٔ ورودی..... ۱۰۹
الف) توصیف سیستم..... ۱۰۹
ب) عامل نامعینی ۱۱۰
پ) قانون کنترل ۱۱۱
ت) نوع پایداری..... ۱۱۱
ث) بررسی امکان ترکیب دو روش ۱۱۲
۴-۶ مقایسهٔ روش زمان مجازی پایه و روش غیرفعال مقاوم ۱۱۳
الف) توصیف سیستم..... ۱۱۳
ب) عامل نامعینی ۱۱۴
پ) قانون کنترل ۱۱۴
ت) نوع پایداری..... ۱۱۴
ث) بررسی امکان ترکیب دو روش ۱۱۵
۴-۷ مقایسهٔ روش زمان مجازی پایه و روش خطی‌سازی مقاوم..... ۱۱۵
الف) توصیف سیستم..... ۱۱۶
ب) عامل نامعینی ۱۱۷
پ) قانون کنترل ۱۱۷
ت) نوع پایداری..... ۱۱۸

عنوان

صفحه

ث) بررسی امکان ترکیب دو روش ۱۱۸
۴-۸ مقایسهٔ روش زمان مجازی پایه و روش Backstepping مقاوم ۱۱۹
الف) توصیف سیستم ۱۱۹
ب) عامل نامعینی ۱۲۰
پ) قانون کنترل ۱۲۱
ت) نوع پایداری ۱۲۱
ث) بررسی امکان ترکیب دو روش ۱۲۱
۴-۹ جمع‌بندی ۱۲۲

فصل پنجم : روشهای ترکیبی

۵-۱ مقدمه ۱۲۳
۵-۲ ترکیب روش کراندار نهایی یکنواخت نمودن حالت‌ها و روش زمان مجازی ۱۲۳
۵-۳ ترکیب روش غیرفعال مقاوم و روش زمان مجازی ۱۳۰
۵-۴ ترکیب روش فیدبک خطی‌ساز مقاوم و روش زمان مجازی ۱۳۳
۵-۵ ترکیب روش Backstepping مقاوم و روش زمان مجازی ۱۳۸
۵-۶ جمع‌بندی ۱۴۲

فصل ششم : جمع‌بندی و پیشنهادات

۶-۱ جمع‌بندی ۱۴۳
۶-۲ پیشنهادات ۱۴۴

ضمیمه : تعاریف پایداوی و کراندار بودن

منابع

اعلام

واژه‌نامه

فصل اوّل

مقدمہ

۱-۱ مقدمه

موضوع این پایان نامه، پایدار سازی سیستم‌های غیر خطی نامعین[۱] است و بهتر است در ابتدای کار دلیل این انتخاب روشن شود:

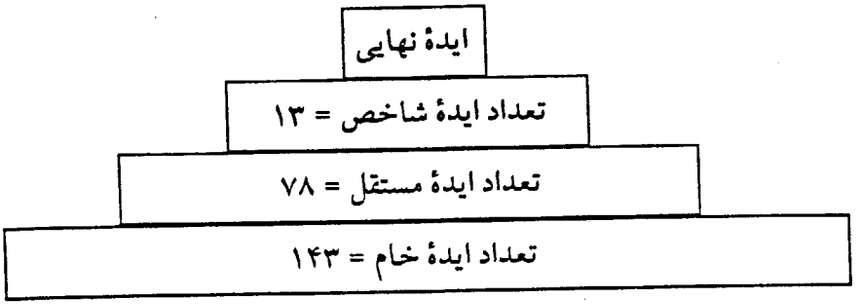
۱ـ **بحث پایدار سازی:** شاید مهمترین خاصیت یک سیستم کنترل، پایداری آن باشد. یعنی اولین انتظار از یک سیستم کنترل، پایدار بودن آن است و بعد از آن بحث عملکرد[۲]، بهینه‌سازی[۳] و مانند آن مطرح می‌شود. همچنین مباحثی مانند ردیابی[۴] سیگنالهای مرجع، قابل بازنویسی بصورت یک مسئله پایدار سازی هستند.

۲ـ **سیستم‌های غیر خطی:** در توصیف یک سیستم، می‌توان از مدل خطی یا غیر خطی استفاده کرد. بدیهی است مدل غیر خطی می‌تواند توصیف دقیقتر و کاملتری را از سیستم مورد نظر ارائه کند. استفاده از مدل غیر خطی باعث پیچیدگی بیشتر حل مسائل می‌شود و این هزینهٔ دستیابی به مدل کاملتر است.

۳ـ **عامل نامعینی:** در حالت کلی در مدلسازی یک سیستم واقعی، حتی اگر از توصیف غیر خطی استفاده شود، تمام زوایا و خواص یک سیستم در این مدل لحاظ نخواهد شد. در نتیجه اضافه کردن بخش‌هایی نامعین به سیستم باعث واقع‌گرایی بیشتر خواهد شد.

بنابراین بحث پایداری‌سازی سیستم‌های غیر خطی نامعین دارای جایگاهی ویژه در علم روز کنترل است. افزایش حجم مقالات در سالهای اخیر در این زمینه بیانگر همین موضوع است. در این بحث دو نکتهٔ شاخص وجود دارد:

1- Nonlinear Uncertain
2- Performance
3- Optimization
4- Tracking



شکل ۱-۱ هرم دستیابی به ایدهٔ نهایی

۱- روشهای ارائه شده دارای پیچیدگی نسبتاً زیادی هستند.

۲- این روشها کلاسهای بسیار خاصی از سیستم‌ها را تحت پوشش قرار می‌دهند.

بنابراین یک جهت گیری مناسب برای تحقیق در این زمینه می‌تواند تلاش برای دستیابی به روشهایی باشد که از میزان پیچیدگی این روشها کم کنند و بتوانند به گسترش حوزهٔ سیستم‌های تحت پوشش روشهای پایدارسازی غیر خطی نامعین موجود کمک کنند. ایدهٔ زمان مجازی[1] به عنوان اصلی‌ترین نتیجهٔ این پایان نامه به همین منظور معرفی شده است. این ایده که در فصل سوم بطور مفصل مورد بررسی قرار گرفته است، با کاهش مسئله پایدار سازی یک کلاس مشخص از سیستم‌های غیر خطی نامعین به مسئله پایدار سازی یک سیستم غیر خطی بدون نامعینی، باعث سادگی عمل پایدار سازی می‌شود.

علاوه بر این بدلیل امکان ارائه روشهای ترکیبی[2] (فصل پنجم) می‌توان حوزهٔ تحت پوشش برخی از روشهای پایدار سازی غیر خطی نامعین را افزایش داد.

روال دستیابی به این ایده در شکل ۱-۱ نشان داده شده است. در کل ۱۴۳ ایدهٔ خام و اولیه مطرح شدند که از بین آنها ۷۸ عدد ایدهٔ مستقل و ۶۰ ایده در دنبالهٔ ایده‌های مستقل مطرح شده بودند. ۵ ایده نیز ربط مستقیمی به بحث پایدار سازی سیستم‌های غیر خطی نامعین نداشتند. از بین ایده‌های مستقل، به روی ۱۳ ایده کار بیشتری صورت گرفت و نتایج اولیه‌ای بدست آمد. در نهایت ایدهٔ زمان مجازی به عنوان ایدهٔ اصلی انتخاب گردید و به فرجام رسانده شد. [17 , 18]

1- Pseudo Time

2- Mixed Methods

در این پایان نامه فرض شده‌است که خواننده با بحث‌های "پایدارسازی سیستم‌های غیر خطی" و "سیستم‌های نامعین" آشنایی دارد. به همین دلیل جهت‌گیری مطالب در راستای "پایدار سازی سیستم‌های غیر خطی نامعین" خواهد بود.

در ادامهٔ این فصل ابتدا صورت مسئله پایدارسازی سیستم‌های غیرخطی نامعین مطرح می‌شود. سپس سیر تاریخی آن مورد بررسی قرار می‌گیرد. در بخش ۱-۴ دسته‌بندی کارهای مختلف انجام شده در زمینه‌های مرتبط با بحث پایدارسازی سیستم‌های غیرخطی نامعین آورده شده است. در نهایت ساختار این پایان نامه در بخش ۱-۵ مرور گردیده است.

۱-۲ صورت مسئله پایدار سازی سیستم‌های غیر خطی نامعین

سیستم زیر را در نظر بگیرید:

$$\begin{cases} \dot{x} = f(t,x) + \Delta_u(t,x) + g(t,x)(\Delta_m(t,x) + u(t,x)) \\ x(t_0) = x_0 \end{cases} \qquad (۱-۲-۱)$$

که در آن $f : R \times R^n \to R^n$ و $g : R \times R^n \to R^{n\times m}$ دارای مقادیر معلوم و $\Delta_m : R \times R^n \to R^m$ و $\Delta_u : R \times R^n \to R^n$ دارای مقادیری نامعین می‌باشند. $u : R \times R^n \to R^m$ سیگنال کنترل است.

سیستم فوق یک نمونهٔ نسبتاً کامل از سیستم‌های غیر خطی نامعین است. عوامل نامعین Δ_m و Δ_u به ترتیب، نامعین جور[۱] و نامعین غیر جور[۲] نامیده می‌شوند. منظور از جور بودن نامعینی، قابلیت جمع شدن آن با سیگنال کنترل است. هدف، یافتن قانون کنترل مناسب $u(t,x)$ است بگونه‌ای که سیستم فوق به ازای تمام مقادیر نامعینی پایدار باقی بماند. در صورتی که نامعینی در شرایطی از پیش تعیین شده صدق نماید، نامعینی مجاز نامیده می‌شود.

راههای دیگری نیز برای لحاظ کردن نامعینی وجود دارد. مثلاً می‌توان نامعینی را بصورت پارامترهایی نامعین درون خود سیستم در نظر گرفت :

$$\begin{cases} \dot{x} = f(t, x(t), u(t), v(t)) \\ x(t_0) = x_0 \end{cases} \qquad (۱-۲-۲)$$

1- Matched

2- Unmatched