بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده برق

گروه کنترل

کنترل فازی تطبیقی امپدانس سیستم تعلیق فعال خودرو

دانشجو :

احسان حسینی

استاد راهنما :

دکتر محمد مهدی فاتح

پایان نامه ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

شهریور ۱۳۹۳

دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده برق

گروه کنترل

پایان نامه کارشناسی ارشد آقای احسان حسینی

تحت عنوان:

کنترل فازی تطبیقی امپدانس سیستم تعلیق فعال خودرو

در تاریخ ..... توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد مورد ارزیابی و با درجه ..... مورد پذیرش قرار گرفت.

اساتید راهنما	امضاء	اساتید مشاور	امضاء
نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی :	
نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی :	

اساتید داور	امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء
نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی :	
نام و نام خانوادگی :			
نام و نام خانوادگی :			
نام و نام خانوادگی :			

تقدیم به:

بی بدیل‌ترین سرمایه‌های هستی، پدر و مادرم،

که نهال وجودم بر فرسودگی قامت آنان جان گرفت.

تشکر و قدردانی:

پس از حمد و ثنای ایزد یکتا که توفیق کسب علم و دانش را به من عطا نمود بر خود واجب می‌دانم که از حسن نیت و زحمات صادقانه استاد بزرگوار و ارجمند جناب آقای **دکتر محمد مهدی فاتح** که از ابتدا تا پایان کار تدوین پایان نامه اینجانب را مورد راهنمایی لازم قرار داده‌اند صمیمانه قدردانی و تشکر نمایم.

تعهد نامه

اینجانب احسان حسینی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی کنترل دانشکده برق دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه کنترل فازی تطبیقی امپدانس سیستم تعلیق فعال خودرو تحت راهنمائی دکتر محمد مهدی فاتح متعهد می شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است

.

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده فارسی:

در این پایان‌نامه طرح نوینی برای کنترل سیستم تعلیق فعال خودرو با بهره‌گیری از مفهوم امپدانس در سیستم‌های مکانیکی ارائه شده است که می‌تواند رفتار دینامیکی سیستم تعلیق را در برابر ناهمواری‌های جاده کنترل کند. سیستم تعلیق فعال با مدل یک-چهارم خودرو و با در نظر گرفتن اثرات غیرخطی محرک هیدرولیکی طراحی شده است. طرح کنترل پیشنهادی از دو حلقه کنترلی تشکیل می شود که حلقه بیرونی به طراحی نیروی مطلوب و حلقه درونی به کنترل نیرو با روش تناسبی-انتگرالی می پردازد. این تحقیق به بررسی پایداری سیستم کنترل می‌پردازد و درستی روش کنترل با تحلیل پایداری و نتایج شبیه‌سازی تایید می‌گردد. در ابتدا کنترل تطبیقی جهت غلبه بر عدم قطعیت پارامتری سیستم تعلیق فعال طراحی می‌شود. کنترل فازی تطبیقی یک کنترل کننده‌ی موثر برای کنترل عدم قطعیت در سیستم‌های غیر خطی است. در ادامه روش کنترل فازی تطبیقی مستقیم و فازی تطبیقی غیرمستقیم به دلیل عملکرد ردیابی مقاوم، تضمین پایداری و پاسخ با دقت بالا مطرح شده است. ورودی‌های کنترل کننده فازی، سیگنال‌های جابه‌جایی و سرعت بدنه می‌باشد. کنترل لغزشی یک رهیافت قدرتمند در جهت کنترل سیستم‌های غیرخطی و غیرقطعی می‌باشد. در پایان کنترل لغزشی که یک روش کنترل مقاوم است، برای غلبه بر عدم قطعیت و اغتشاش مطرح شده است. روش‌های کنترلی پیشنهادی در هنگام عبور خودرو از دست‌انداز، راحتی مطلوب برای سرنشین فراهم می‌نماید و بعد از عبور، رانندگی مطمئن را نیز مهیا می‌سازد. روش پیشنهادی با سیستم تعلیق غیرفعال مقایسه می‌شود. نتایج شبیه سازی برتری سیستم تعلیق فعال را نسبت به سیستم تعلیق غیرفعال در موارد رانندگی مطمئن و راحتی سرنشین نشان می دهد.

کلمات کلیدی : سیستم تعلیق فعال؛ محرک هیدرولیکی؛ کنترل فازی تطبیقی؛ کنترل لغزشی؛ کنترل امپدانس؛ عدم قطعیت؛ رانندگی مطمئن؛ راحتی سرنشین.

لیست مقالات مستخرج شده از پایان نامه:

[۱]. Fateh .M. M., Hoseini H, "Impedance adaptive control of an active suspension system", Journal of Solid and Fluid Mechanics. (ISC)

Under review:

[۲]. Fateh. M. M., Hoseini H, "Impedance direct adaptive fuzzy control of an active suspension system", Journal of Solid and Fluid Mechanics. (ISC)

فهرست مطالب:

تقدیم اثر ..... ث

تشکر و قدردانی. .....ح

چکیده فارسی. .....خ

لیست مقالات مستخرج شده از پایان‌نامه ..... د

فهرست مطالب. ..... ذ

فهرست اشکال ..... س

فهرست جداول ..... ض

فهرست علائم و اختصارات ..... ط

فصل اول :مقدمه **۱**

۱-۱-مقدمه: ۲

۱-۲-بررسی انواع سیستم تعلیق ۲

۱-۲-۱ -سیستم تعلیق غیر فعال ۴

۱-۲-۲ -سیستم تعلیق نیمه فعال ۴

۱-۲-۳ -سیستم تعلیق فعال ۵

۱-۳ -مروری بر کنترل سیستم تعلیق ۶

۱-۴ -مروری بر ساختار پایان نامه ۸

فصل دوم:مدلسازی سیستم تعلیق خودرو **۹**

۲-۱ -سیستم تعلیق ۱۰

فصل سوم: کنترل امپدانس ۱۵

۳-۱- مقدمه: ۱۶

۳-۲-کنترل امپدانس: ۱۶

۳-۳-بیان مفهوم امپدانس: ۱۸

۳-۴-ساختار کنترل کننده: ۲۰

فصل چهارم: مدل محرک هیدرولیکی و کنترل نیرو ۲۱

۴-۱-مقدمه: ۲۲

۴-۲-دینامیک شیر سوزنی و محرک هیدرولیکی: ۲۳

۴-۳ -کنترل نیرو: ۲۴

فصل پنجم: کنترل کننده تطبیقی سیستم تعلیق فعال خودرو ۲۵

۵-۱-مقدمه: ۲۶

۵-۲-طراحی کنترل کننده تطبیقی: ۲۷

۵-۳- شبیه سازی کنترل کننده تطبیقی: ۳۰

۵-۴-طراحی و شبیه سازی کنترل کننده ردیابی نیرو: ۳۸

فصل ششم: کنترل فازی تطبیقی مستقیم سیستم تعلیق فعال خودرو ۴۱

۶-۱-مقدمه: ۴۲

۶-۲-طراحی کنترل کننده فازی تطبیقی مستقیم ۴۳

۶-۳-شبیه سازی کنترل کننده فازی تطبیقی مستقیم ۴۸

۶-۴–طراحی و شبیه سازی کنترل کننده ردیابی نیرو: ۵۳

فصل هفتم: کنترل فازی تطبیقی امپدانس غیرمستقیم سیستم تعلیق فعال خودرو ۵۷

۷-۱ – مقدمه: ۵۸

۷-۲– طراحی کنترل کننده فازی تطبیقی امپدانس غیرمستقیم: ۵۸

۷-۳– شبیه سازی کنترل کننده فازی تطبیقی غیرمستقیم: ۶۴

۷-۴–طراحی و شبیه سازی کنترل کننده ردیابی نیرو: ۶۸

فصل هشتم: کنترل مدلغزشی سیستم تعلیق فعال خودرو ۷۳

۸-۱مقدمه: ۷۴

۸-۲ طراحی کنترل کننده مد لغزشی: ۷۴

۸-۳ تخمین fzs با استفاده از سیستم فازی تطبیقی غیرمستقیم: ۷۸

۸-۴ شبیه سازی کنترل کننده مدلغزشی با تخمین گر فازی تطبیقی غیرمستقیم ۷۹

۸-۵ – طراحی و شبیه سازی کنترل کننده ردیابی نیرو: ۸۳

فصل نهم: نتیجه گیری و پیشنهادات ۸۷

۹-۱- نتیجه گیری: ۸۸

۹-۲ -پیشنهادات ۸۹

مراجع ۹۱

فهرست اشکال:

شکل ۲-۱: سیستم تعلیق فعال ۱۰

شکل ۲-۲: محرک هیدرولیکی ۱۲

شکل ۳-۱: سیستم مکانیکی با قانون کنترل ۱۹

شکل ۳-۲: سیستم مکانیکی با فنر و میرا کننده ۱۹

شکل ۳-۳: سیستم مکانیکی با محرک ۱۹

شکل ۳-۴: ساختار سیستم کنترل ۲۰

شکل ۴-۱ دیاگرام مجموعه تجهیزات محرک هیدرولیکی ۲۲

شکل ۴-۲: ساختار کنترل ردیابی نیرو محرک هیدرولیکی ۲۴

شکل ۵-۱: ناهمواری جاده ۳۲

شکل ۵-۲:مقایسه جابه جایی عمودی بدنه خودرو در سیستم تعلیق فعال و غیرفعال ۳۲

شکل ۵-۳: مقایسه شتاب عمودی بدنه خودرو در سیستم تعلیق فعال و غیرفعال ۳۳

شکل ۵-۴: مقایسه جابجایی محور جرم غیرمعلق نسبت به جاده در سیستم تعلیق فعال و غیرفعال ۳۴

شکل ۵-۵: مقایسه تغییرات دامنه سیستم تعلیق در سیستم تعلیق فعال و غیرفعال ۳۴

شکل ۵-۶: نیروی مطلوب حاصل از طراحی کنترل کننده تطبیقی ۳۵

شکل ۵-۷: نیروی تایر ۳۶

شکل ۵-۸: پارامتر تطبیق bs ۳۶

شکل ۵-۹: پارامتر تطبیق ks ۳۷

شکل ۵-۱۰: پارامتر تطبیق ms ۳۷

شکل ۵-۱۱: جریان ورودی شیر سیستم تعلیق فعال ۳۸

شکل ۵-۱۲: نیروی محرک هیدرولیکی ۳۹

شکل ۵-۱۳: خطای ردیابی کنترل کننده داخلی ۳۹
شکل ۶-۱: توابع تعلق ورودی ZS ۴۹
شکل ۶-۲: مقایسه جابه جایی عمودی بدنه خودرو در سیستم تعلیق فعال و غیرفعال ۵۰
شکل ۶-۳: مقایسه شتاب عمودی بدنه خودرو در سیستم تعلیق فعال و غیرفعال ۵۰
شکل ۶-۴: مقایسه جابجایی محور جرم غیرمعلق نسبت به جاده در سیستم تعلیق فعال و غیرفعال ۵۱
شکل ۶-۵: مقایسه تغییرات دامنه سیستم تعلیق در سیستم تعلیق فعال و غیرفعال..... ۵۲
شکل ۶-۶: نیروی مطلوب ۵۲
شکل ۶-۷: نیروی تایر ۵۳
شکل ۶-۸: همگرایی پارامترهای y ۵۴
شکل ۶-۹: جریان ورودی شیر سیستم تعلیق فعال ۵۵
شکل ۶-۱۰: نیروی محرک هیدرولیکی ۵۵
شکل ۶-۱۱: خطای ردیابی کنترل کننده تناسبی-انتگرالی ۵۶
شکل ۷-۱: مقایسه جابه جایی عمودی بدنه خودرو در سیستم تعلیق فعال و غیرفعال ۶۵
شکل ۷-۲: مقایسه شتاب عمودی بدنه خودرو در سیستم تعلیق فعال و غیرفعال ۶۶
شکل ۷-۳: مقایسه جابجایی محور جرم غیرمعلق نسبت به جاده در سیستم تعلیق فعال و غیرفعال .۶۷
شکل ۷-۴: مقایسه تغییرات دامنه سیستم تعلیق در سیستم تعلیق فعال و غیرفعال ۶۷
شکل ۷-۵: نیروی مطلوب تولید شده توسط کنترل کننده ۶۸
شکل ۷-۶: نیروی تایر ۶۹
شکل ۷-۷: همگرایی پارامترهای p ۶۹
شکل ۷-۸: جریان ورودی شیر سیستم تعلیق فعال ۷۰
شکل ۷-۹: نیروی محرک هیدرولیکی..... ۷۱
شکل ۷-۱۰: خطای ردیابی کنترل کننده تناسبی-انتگرالی..... ۷۱

شکل ۸-۱: سطح لغزش در صفحه فاز ۷۶
شکل ۸-۲: مقایسه جابه جایی عمودی بدنه خودرو در سیستم تعلیق فعال و غیرفعال ۸۰
شکل ۸-۳: مقایسه شتاب عمودی بدنه خودرو در سیستم تعلیق فعال و غیرفعال ۸۱
شکل ۸-۴: مقایسه جابجایی محور جرم غیرمعلق نسبت به جاده در سیستم تعلیق فعال و غیرفعال ۸۱
شکل ۸-۵: مقایسه تغییرات دامنه سیستم تعلیق در سیستم تعلیق فعال و غیرفعال..... ۸۲
شکل ۸-۶: نیروی مطلوب تولید شده توسط کنترل کننده..... ۸۲
شکل ۸-۷: نیروی تایر ۸۳
شکل ۸-۸: همگرایی پارامترهای p ۸۴
شکل ۸-۹: جریان ورودی شیر سیستم تعلیق فعال ۸۵
شکل ۸-۱۰: نیروی محرک هیدرولیکی ۸۵
شکل ۸-۱۱: خطای ردیابی کنترل کننده تناسبی-انتگرالی..... ۸۶

فهرست جداول:

جدول ۵-۱: پارامترهای سیستم تعلیق ۳۱

جدول ۶-۱: قوانین فازی ۴۵

علائم و اختصارات:

ماتریس حالت ..... A

سطح مقطع پیستون..... A_p

سیستم تعلیق فعال ..... ASS

ضریب میرایی جرم معلق ..... b_s

ضریب میرایی جرم غیر معلق ..... b_t

ضریب تخلیه ..... C_d

ضریب نشست ..... C_{tp}

نیروی محرک ..... f_a

تقریب نیروی محرک ..... $\hat{f}_a$

نیروی تایر ..... f_t

جریان شیر ..... i_{sv}

بهره‌ی انتگرالی ..... k_I

بهره‌ی تناسبی ..... k_P

ضریب سختی جرم معلق ..... k_s

ضریب سختی جرم غیر معلق ..... k_t

جرم معلق ..... m_s

جرم غیر معلق ..... m_u

فشار سیلندر ..... P_L

کنترل کننده تناسبی انتگرالی ..... PI

سیستم تعلیق غیر فعال ..... PSS

فشار برگشتی ..... P_r

فشار ورودی ..... P_s

ماتریس مثبت معین متقارن ..... Q

ماتریس مثبت معین متقارن ..... S

حجم محرک ..... V_t

عرض شیر ..... w

جابه‌جایی شیر ..... x_{sp}

جابه‌جایی جاده ..... z_r

جابه‌جایی جرم معلق ..... z_s

جابه‌جایی جرم معلق مطلوب ..... z_{sd}

جابه‌جایی جرم غیر معلق ..... z_u

ثابت زمانی شیر ..... τ

ضریب کشیدگی سیال هیدرولیکی ..... β_e

چگالی سیال هیدرولیکی ..... ρ

فصل اول :مقدمه

۱-۱ مقدمه:

امروزه تقاضا برای امنیت و راحتی از اساسی‌ترین پارامترها در طراحی هر سیستم می‌باشد و از ضروریاتی است که طراح هر سیستم باید آن را در نظر بگیرد. پیشرفت تکنولوژی و تقاضا برای راحتی بهتر در رانندگی باعث شده است که اکثر کمپانی‌های خودروسازی در یک رقابت سنگین جهت تولید مدل پیشرفته شرکت کنند. یکی از مسائل بسیار مهم و مورد توجه این کمپانی‌های خودروسازی، افزایش کیفیت رانندگی مطمئن و همچنین راحتی بیشتر سرنشین می‌باشد. جهت دستیابی به این اهداف زمینه‌های متعددی برای تحقیق و بررسی وجود دارد. از مسائل تأثیرگذار بر روی این اهداف طراحی مناسب خودرو است. اما شاید بتوان گفت مهم‌ترین عامل تاثیر گذار بر این اهداف ساختار مکانیکی سیستم تعلیق خودرو است. همانطور که می‌دانیم ناهمواری‌های سطح جاده از عوامل لرزش در خودرو می‌باشد. نوسان سطح جاده از طریق چرخ‌ها به بدنه خودرو منتقل می‌گردد و باعث رانندگی ضعیف، کاهش راحتی سرنشین به علت لرزش زیادی بدنه و در نتیجه آن محدودیت در سرعت وسیله نقلیه، کاهش طول عمر مفید خودرو و دیگر عواقب زیان بار آن در حمل و نقل می‌شود[۱]. بنابراین در این بین وظیفه سیستم تعلیق خودرو مشخص می‌گردد. وظیفه سیستم تعلیق خودرو به حداکثر رساندن اصطکاک بین لاستیک و سطح جاده برای فراهم آوردن هدایت پایدار، رانندگی خوب و اطمینان از راحتی سرنشین خلاصه می‌شود. با ارائه مطالب بیان شده ملاحظه می‌گردد که این بخش از اهمیت بسزایی برخوردار است و از این رو کمپانی‌های خودروسازی جهان سرمایه‌گذاری گسترده‌ای بر روی این بخش از تحقیقات کرده‌اند و محققان زیادی این سیستم را از جنبه‌های مختلف بررسی نموده‌اند.

۱-۲ بررسی انواع سیستم تعلیق

در بخش قبل به اهمیت سیستم تعلیق اشاره شد. به مجموعه‌ای از قطعات که به طور فیزیکی اعضای بدنه ماشین را از چرخ‌ها جدا می‌کند، سیستم تعلیق گفته می‌شود. همانگونه که در بخش قبل بیان شد یکی از عوامل ایجاد لرزش در خودرو، ناهمواری‌های سطح جاده است. به عبارت دیگر نوسان سطح جاده

از طریق چرخ‌ها به بدنه خودرو منتقل شده و باعث ایجاد ناراحتی در سرنشینان و همچنین کاهش کیفیت رانندگی می‌گردد. در این میان سیستم تعلیق خودرو وظیفه دارد که تا حد امکان نوسان ناشی از ناهمواری‌های جاده را که از طریق چرخ‌ها به بدنه خودرو منتقل می‌گردد را در خود جذب نموده و از انتقال آن به سرنشین خودرو جلوگیری نماید. این سیستم در خودرو مجموعه‌ای از فنر و کمک فنر می‌باشد. فنر عنصری انرژی دهنده و انرژی گیرنده است. این عنصر انرژی اعمالی از طرف جاده به چرخ را ذخیره و آزاد می‌کند. تا زمانی که خودرو فاقد یک ساختار تقلیل دهنده نیرو باشد، فنر این انرژی جذب شده را با آهنگ کنترل نشده‌ای رها می‌سازد. فنر در بسامد طبیعی خود باز و بسته می‌شود تا جایی که همه‌ی انرژی جذب شده را از دست بدهد. کمک فنر وسیله‌ای برای کنترل حرکات نامطلوب فنر در طی فرآیند تقلیل است. کمک‌فنر سبب کاهش نیروی حرکات لرزشی فنر شده، بدین صورت که انرژی جنبشی به انرژی گرمایی تبدیل می‌شود و انرژی گرمایی نیز در سیال روغنی از بین می‌رود[۲]. عامل دیگری که بر کیفیت راحتی سرنشین و رانندگی خوب وسیله نقلیه موثر است، ساختمان چرخ‌ها و لاستیک‌ها می‌باشد. لاستیک به دلیل خاصیت ارتجائی، عملکردی مانند فنر داشته و این مشخصه در خودروهای سواری منجر به نوسان‌های فرکانس بالا می‌گردد. بنابراین نیروی اعمالی به چرخ‌ها به دلیل ناهمواری‌های جاده، بین سیستم تعلیق و بدنه خودرو تقسیم می‌شود و هر اندازه که سیستم تعلیق انرژی بیشتری را در خود ذخیره نماید و جابه‌جا شود راحتی سرنشین بیشتر تامین می‌گردد. ولی به دلیل کران دار بودن میزان جابه‌جایی مجموعه فنر و کمک فنر، سیستم تعلیق نمی‌تواند بیش از حد مجاز کشیده یا فشرده شود و یک تقابل ذاتی بین کاهش شتاب عمودی بدنه و افزایش جابه‌جایی سیستم تعلیق وجود دارد که هنگام طراحی کنترل‌کننده باید مورد توجه قرار گیرد. بنابراین وظیفه سیستم تعلیق، کنترل نسبی موقعیت و جابه‌جایی بین جرم معلق (جرم بدنه) و جرم نامعلق (جرم چرخ‌ها و فنرها) است، که سبب بهبود راحتی سرنشین و افزایش سطح تماس چرخ با جاده خواهد شد. برای افزایش راحتی سرنشین، باید اثر لرزش‌های فرکانس بالا ناشی از ناهمواری‌های جاده بر بدنه خودرو را کاهش داده، در نتیجه نیاز به یک سیستم تعلیق نرم داریم. جهت رسیدن به رانندگی مطمئن و