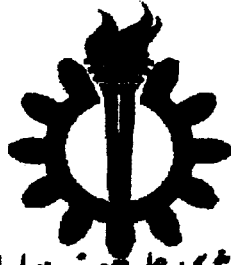


بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

وزارتخانه‌های آموزش عالی و
تعمیرات و عمران



دانشگاه علم و صنعت ایران

دانشکده مهندسی مکانیک

پایان نامه کارشناسی ارشد

۱۳۸۰ / ۸ / ۳۰

کنترل و بازی

سیستم تقوین نیمه فعال خودرور

013812

تهیه کننده:

مهدی کاشانی آزاد

استاد راهنما:

دکتر مرتضی منتظری

زمستان ۱۳۷۹

۳۷۱۹۰

تقدیم به خانواده عزیزم،
و تمام آنانکه دوستشان می دارم

خلاصه:

مشخصات ضریب سختی فنرها و ضریب میرایی کمک فنرها در سیستمهای تعلیق غیر فعال ثابت هستند. که سبب می شود به ازای اغلب ورودیهای تحریک جاده بر سیستم، عملکرد سیستم تعلیق خودرو از وضعیت بهینه و طراحی شده فاصله بگیرد. سیستمهای فعال با استفاده از عملگرهای هیدرولیکی و با یک استراتژی کنترلی مناسب این قابلیت را دارند که در لحظات مناسب و به مقدار مناسب به سیستم انرژی اضافه و یا کم کنند و رفتار مناسب سیستم تعلیق تحت شرایط تحریک جاده های مختلف در جهت دستیابی به تمامی اهداف سیستم تعلیق را ایجاد کنند. در واقع سیستم تعلیق بدین ترتیب تبدیل به یک سیستم هوشمند می گردد.

اشکال عمده سیستمهای تعلیق فعال مصرف انرژی زیاد توسط عملگرهای هیدرولیکی، وزن و قیمت زیاد آنها است که سبب شده است سیستمهای فعال کاربرد تجاری نداشته باشند. با کاهش باند فرکانسی عملکرد سیستم فعال و تولید سیستمهای تعلیق فعال محدود، این مشکل تا حد زیادی برطرف شده است. سیستمهای تعلیق نیمه فعال راه حل اساسی برای کاهش مصرف انرژی و وزن و قیمت سیستمهای فعال هستند. در سیستمهای نیمه فعال صرفاً در لحظات مناسب و به مقدار مناسب از سیستم تعلیق انرژی جذب می شود. با وضع قوانین کنترلی مناسب، عملکرد سیستمهای نیمه فعال می تواند قابل رقابت با سیستمهای فعال باشد. استراتژی کنترلی در سیستمهای نیمه فعال دقیقاً، مشابه سیستمهای فعال است. با این تفاوت که در سیستمهای نیمه فعال با فرمان افزایش نیرو به سیستم، صرفاً میرایی کمک فنر در حداقل مقدار خود قرار می گیرد یعنی کنترلر در سیستمهای نیمه فعال فقط ضریب میرایی کمک فنر را تغییر می دهد.

به علت رفتار غیر خطی مدل واقعی خودرو، همچنین غیر خطی بودن عملکرد فنر و کمک فنر، کنترلرهای غیر خطی در صورت طراحی مناسب می توانند نتایج خوبی برای کنترل سیستم تعلیق به همراه داشته باشند. یکی از این کنترلرها، کنترل فازی است که در این پروژه در کنترل سیستمهای تعلیق فعال و نیمه فعال بکار گرفته شده است.

بدینوسیله از جناب آقای دکتر منتظری،
که همواره راهنمای اینجانب در انجام این پروژه بوده اند،
تشکر و قدردانی می نمایم.
همچنین از جناب آقای دکتر حائری یزدی، که با همکاری
ایشان دستیابی به مدارک مورد نیاز در مرکز تحقیقات و
خدمات خودکفایی ایران محقق شد کمال تشکر و
قدردانی را دارم.

فهرست

.....	خلاصه
۱.....	فصل اول : مقدمه
۲.....	۱-۱ تاریخچه
۵.....	۱-۲ تعاریف
۸.....	۱-۳ سیستم تعلیق خودرو
۱۱.....	۱-۴ اجزاء سیستم تعلیق
۱۱.....	۱-۴-۱ فنر
۱۲.....	۲-۴-۱ کمک فنر
.....	
۱۴.....	فصل دوم: تحریک سیستم تعلیق خودرو.
۵.....	۲-۱ مقدمه
۱۵.....	۲-۲ تحریک در حوزه فرکانس
۱۷.....	۲-۳ تحریک در حوزه زمان
۱۷.....	۲-۳-۱ پاسخ به ضربه واحد
۱۸.....	۲-۳-۲ پاسخ به پله واحد
۲۰.....	۲-۴ تحریک اتفاقی
۲۰.....	۲-۴-۱ تحریک اتفاقی در حوزه زمان
۲۳.....	۲-۴-۲ تحریک اتفاقی در حوزه فرکانس
.....	
۲۸.....	فصل سوم: کنترل سیستمهای تعلیق
۲۹.....	۳-۱ مقدمه
۳۰.....	۳-۲ ابزار کنترل
۳۰.....	۳-۲-۱ منطق و کنترل فازی
۳۱.....	۳-۲-۱-۱ تاریخچه
۳۲.....	۳-۲-۱-۲ مجموعه های فازی
۳۴.....	۳-۲-۱-۳ عملیات منطق فازی
۳۵.....	۳-۲-۱-۴ متغیرها و قواعد فازی

۳۹.....	مراحل کنترل فازی.....	۳-۲-۱-۵
۴۱.....	جعبه فازی.....	۳-۲-۱-۶
۴۴.....	کنترل بهینه.....	۳-۲-۲
۴۸.....	روشهای کنترل.....	۳-۳
۴۸.....	کنترل پسخور.....	۳-۳-۱
۴۹.....	کنترل پیشخور.....	۲-۳-۲
۵۰.....	کنترل پیشخور با تاخیر زمانی.....	۳-۳-۲-۱
۵۱.....	کنترل پیش اخطار.....	۳-۳-۲-۲
۵۳.....	فصل چهارم : سیستم تعلیق غیر فعال	
۵۴.....	مقدمه.....	۴-۱
۵۴.....	انواع سیستمهای تعلیق غیر فعال.....	۴-۲
۵۴.....	سیستمهای تعلیق غیر فعال وابسته.....	۴-۲-۱
۵۶.....	سیستمهای تعلیق غیر فعال مستقل.....	۴-۲-۲
۶۰.....	مدلسازی سیستم تعلیق غیر فعال.....	۴-۳
۶۳.....	مدل دو درجه آزادی.....	۴-۳-۱
۶۸.....	مدل هفت درجه آزادی.....	۴-۳-۲
۷۵.....	قیود طراحی.....	۴-۴
۷۶.....	بهینه سازی تعلیق غیر فعال.....	۴-۵
۷۷.....	روش بهینه سازی.....	۴-۵-۱
۷۹.....	متغیرهای بهینه سازی.....	۴-۵-۲
۸۱.....	آنالیز بهینه سازی.....	۴-۵-۳
۸۳.....	نتایج بهینه سازی.....	۴-۵-۴
۸۵.....	نتایج مدلسازی غیر فعال.....	۴-۶
۱۰۲.....	فصل پنجم : سیستم تعلیق فعال	
۱۰۳.....	مقدمه.....	۵-۱
۱۰۳.....	انواع سیستمهای تعلیق فعال.....	۵-۲
۱۰۶.....	سیستمهای تعلیق فعال کامل.....	۵-۲-۱
۱۰۷.....	سیستمهای تعلیق فعال محدود.....	۵-۲-۲
۱۰۸.....	مدلسازی سیستم تعلیق فعال.....	۵-۳

۱۲۴.....	۵-۴	کنترل مدل سیستم تعلیق فعال
۱۲۴.....	۵-۴-۱	کنترل فازی سیستم تعلیق فعال
۱۲۹.....	۵-۴-۲	کنترل بهینه سیستم تعلیق فعال
۱۳۱.....	۵-۵	نتایج کنترل سیستم تعلیق فعال
۱۴۷.....		فصل ششم: سیستم تعلیق نیمه فعال
۱۴۸.....	۶-۱	مقدمه
۱۴۹.....	۶-۲	انواع سیستم‌های تعلیق نیمه فعال
۱۵۰.....	۶-۲-۱	سیستم تعلیق نیمه فعال قطعی، وصلی
۱۵۳.....	۶-۲-۲	سیستم تعلیق نیمه فعال پیوسته
۱۵۴.....	۶-۳	مدلسازی سیستم تعلیق نیمه فعال
۱۵۴.....	۶-۳-۱	مدل دو درجه آزادی سیستم تعلیق نیمه فعال
۱۵۶.....	۶-۳-۲	مدل هفت درجه آزادی سیستم تعلیق نیمه فعال
۱۶۸.....	۶-۴	کنترل مدل نیمه فعال سیستم تعلیق
۱۶۸.....	۶-۴-۱	کنترل فازی سیستم تعلیق نیمه فعال
۱۷۳.....	۶-۴-۲	کنترل بهینه سیستم تعلیق نیمه فعال
۱۷۴.....	۶-۵	مدلسازی کمک فتر
۱۷۸.....	۶-۶	نتایج مدلسازی سیستم تعلیق نیمه فعال
۱۹۲.....		فصل هفتم: مقایسه و نتیجه گیری
۲۰۱.....		فهرست مراجع

فهرست شکلها

- شکل (۱-۱): زوایا و حرکات بدنه خودرو. ۵
- شکل (۱-۲): تغییرات زاویه کمبر در اثر ناهمواریهای جاده. ۷
- شکل (۱-۳): تغییر زاویه Toe در اثر ناهمواریهای جاده. ۷
- شکل (۱-۴): شکل مقایسه **Holding** و **Ride Comfort**. ۹
- شکل (۱-۵): کمک فنر. ۱۲
- شکل (۱-۶): مقایسه ضریب میرایی در مدل یک درجه آزادی. ۱۳
- شکل (۱-۷): نمودار نیرو - تغییر مکان کمک فنر. ۱۳
- شکل (۲-۱): تحریک تکیه‌گاهی مدل یک درجه آزادی. ۱۵
- شکل (۲-۲): اختلاف فاز تحریک پایه و تغییر مکان جرم ارتعاشی. ۱۶
- شکل (۲-۳): ورودی **Bump** ناهمواری جاده نوع اول. ۱۹
- شکل (۲-۴): ورودی **Bump** ناهمواری جاده نوع دوم. ۱۹
- شکل (۲-۵): نمودار طیف اتفاقی در حوزه زمان. ۲۳
- شکل (۲-۶): محاسبه تابع **Autocorrelation**. ۲۳
- شکل (۲-۷): **Power Spectral Density**. ۲۴
- شکل (۲-۸): **Power Spectral Density** در مقایسه با نمودارهای ISO برای چند نوع جاده. ۲۵
- شکل (۲-۹): **Power Spectral Density** مربوط به مدل خودرو در حوزه فرکانسی. ۲۵
- شکل (۲-۱۰): ورودی جاده در حوزه فرکانسی. ۲۷
- شکل (۳-۱): کنترل فازی. ۳۱
- شکل (۳-۲): کنترل بهینه **LQR**. ۴۵
- شکل (۳-۳): کنترل بهینه **LQG**. ۴۶
- شکل (۳-۴): فیلتر کالمن. ۴۷
- شکل (۳-۵): اجزاء سیستم کنترل پس‌خور. ۴۸
- شکل (۳-۶): دیاگرام کنترل پس‌خور. ۴۹

- شکل (۳-۷) : اجزاء سیستم تعلیق پیش‌خور..... ۵۰
- شکل (۳-۸) : دیاگرام کنترل پیش‌خور..... ۵۰
- شکل (۳-۹) : کنترل پیش‌خور **Look Ahead Preview** ۵۱
- شکل (۳-۱۰) : کاربرد کنترل نگاه به جلو در مدل دو درجه آزادی..... ۵۲
- شکل (۴-۱) : سیستم تعلیق هاچکیس..... ۵۵
- شکل (۴-۲) : مکانیزم سیستم تعلیق چهار عضوی..... ۵۶
- شکل (۴-۳) : سیستم تعلیق مک فرسون..... ۵۷
- شکل (۴-۴) : سیستم تعلیق دو جناغی..... ۵۸
- شکل (۴-۵) : سیستم تعلیق **Semi-trailing Arm** ۵۹
- شکل (۴-۶) : سیستم تعلیق میله پیچشی..... ۵۹
- شکل (۴-۷) : سیستم تعلیق **Swing Axle** ۶۰
- شکل (۴-۸) : دینامومتر برای تست سیستم تعلیق خودرو..... ۶۲
- شکل (۴-۹) : مدل دو درجه آزادی غیر فعال..... ۶۳
- شکل (۴-۱۰) : مدل دو درجه آزادی طراحی شده با استفاده از نرم افزار **SIMULINK**..... ۶۵
- شکل (۴-۱۱) : تاثیر افزایش ضریب سختی فنر تعلیق در شتاب نوسان جرم ارتجاعی مدل دو درجه آزادی..... ۶۶
- شکل (۴-۱۲) : تاثیر افزایش ضریب میرایی کمک فنر بر جرم ارتجاعی در مدل دو درجه آزادی..... ۶۷
- شکل (۴-۱۳) : مدل هفت درجه آزادی خودرو..... ۶۸
- شکل (۴-۱۴) : حل در حوزه زمان مدل هفت درجه آزادی غیر فعال بدون دمپر..... ۷۳
- شکل (۴-۱۵) : تاثیر ضریب سختی بیشتر چرخهای عقب خودرو..... ۷۵
- شکل (۵-۱) : اجزاء سیستم تعلیق فعال کامل..... ۱۰۴
- شکل (۵-۲) : کنترل فعال زاویه **Roll**..... ۱۰۵
- شکل (۵-۳) : سیستم تعلیق فعال کامل..... ۱۰۷
- شکل (۵-۴) : مقایسه سیستم تعلیق فعال و غیر فعال در مدل دو درجه آزادی..... ۱۰۷
- شکل (۵-۵) : سیستم تعلیق فعال محدود..... ۱۰۸
- شکل (۵-۶) : مدل دو درجه آزادی فعال..... ۱۰۹

از آنجا که در این کتاب
تیمبر ایران

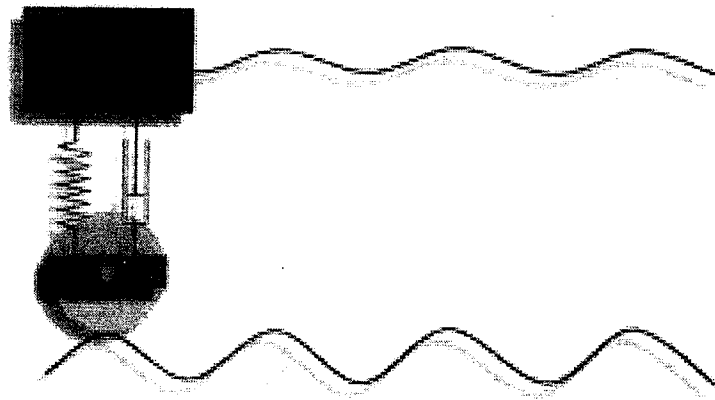
- شکل (۵-۲): تست سیستم تعلیق فعال با استفاده از مدل دو درجه درجه آزادی. ۱۱۲.....
- شکل (۵-۸): مقایسه سیستمهای فعال، غیرفعال، نیمه فعال. ۱۲۵.....
- شکل (۶-۱): سیستم نیمه فعال قطعی وصلی. ۱۵۰.....
- شکل (۶-۲): مقایسه مدلسازی سیستم تعلیق غیرفعال و نیمه فعال **Skyhook**. ۱۵۱.....
- شکل (۶-۳): مدلسازی سیستم تعلیق **Hybrid** و **Groundhook**. ۱۵۲.....
- شکل (۶-۴): عملکرد مدل ایده آل **Hybrid** به ازای مقادیر مختلف α . ۱۵۳.....
- شکل (۶-۵): محدوده تغییرات ضریب میرایی وسیعتر در سیستم تعلیق نیمه فعال پیوسته. ۱۵۳.....
- شکل (۶-۶): مدل دو درجه آزادی نیمه فعال. ۱۵۴.....
- شکل (۶-۷): کاربرد کمک فنرهای کنترل شونده روی چهار چرخ خودرو. ۱۵۶.....
- شکل (۶-۸): استفاده از کنترل بهینه **LQR** (حذف سطر متناظر ورودی تحریک جاده در ماتریس کنترل). ۱۷۳.....
- شکل (۶-۹): مدل یک کمک فنر. ۱۷۵.....
- شکل (۶-۱۰): یک کمک فنر هیدرولیکی. ۱۷۶.....

فهرست جدولها

جدول ۱: قوانین فازی استفاده شده در کنترل فازی سیستم تعلیق فعال و فعال محدود ۱۲۸

جدول ۲: قوانین فازی استفاده شده در کنترل فازی سیستم تعلیق نیمه فعال ۱۷۲

مقدمه



۱-۱ تاریخچه

پیدایش سیستم تعلیق غیر فعال به اوایل قرن بیستم برمی گردد. در آن سالها شخصی بنام راول (Rawell) در انگلستان بر روی خودروهایی که تا آن زمان فاقد هرگونه مکانیزم استهلاکی بودند، مطالعات وسیعی انجام داد. در آن زمان تنها عامل میرایی ارتعاشات در سیستم تعلیق همان استهلاک طبیعی موجود در فنرها بود. تحقیقات راول توسط دو پژوهشگر بنامهای گست (Guest) و اولی (Olley) در سال ۱۹۳۴ تکمیل شد. بررسیهای بعدی در آنالیز نمودن راحتی سفر در سال ۱۹۵۳ توسط ریچارد چسکا (Richard Jeska) توسط یک مدل با چهار درجه آزادی انجام شد. وی طی آزمایشات دقیق و با عکس برداری سریع، پروفیل‌های واقعی جاده را به ثبت رساند. طراحان سیستم تعلیق در طی دهه‌های گذشته از اصول پایه‌ای که توسط اولی تبیین شده است، به‌عنوان اساسی طراحی سیستم‌های تعلیق غیر فعال استفاده کرده‌اند.

ایده سیستم‌های تعلیق فعال در دهه ۱۹۶۰ ابتدا توسط Bender [۲] ارائه گردید و انواع روشهای کنترل در سیستم تعلیق توسط Thompson [۳] و Chalasani [۴] و دیگران مورد استفاده قرار گرفت. Sharp و Hassan و Wilson [۵] از کنترل بهینه در سیستم تعلیق فعال استفاده کردند. ایده سیستم‌های نیمه فعال ابتدا توسط Karnopp [۶] ارائه گردید سپس روشهای مختلف کنترل در سیستم‌های نیمه فعال توسط Alanoly و Sankar [۷] و Kawagoe [۸] و Hrovat [۹] بکار گرفته شد. Butsuen و Hedrick [۱۰] از کنترل بهینه در سیستم نیمه فعال استفاده کردند. Yoshimura [۱۱] از مدل کامل نیمه فعال خودرو برای بررسی تاثیر کنترل فازی بر راحتی سفر خودرو استفاده کرده.

ایده سیستم‌های تعلیق اتوماتیک (فعال) ابتدا توسط لابروس (Labrosse) و فدرسپیل (Federspeil) در سال ۱۹۵۴ ارائه گردید، از آن زمان تاکنون چندین نوع مکانیزم و راه حل برای تولید نیروهای کنترل کننده سیستم تعلیق فعال ارائه گردیده است. راکویل (Rockwell) و لادر (Lawther) در سال ۱۹۶۴، سیستم تعلیق فعال را با استفاده از مدل یک درجه آزادی بررسی کردند. سیستم‌های تعلیق نیمه فعال در سال ۱۹۷۳ توسط کارنوپ (Karnopp) و کروسبای (Crosby) معرفی شدند.

سیستم تعلیق فعال با استفاده از مدل دو درجه آزادی توسط تامسون (Thompson) در سال ۱۹۷۹، مورد بررسی قرار گرفت و در کنترل آن از تئوری کنترل خطی بهینه استفاده کرد. چلسانی (Chalasani) در سال

۱۹۸۶ تحقیق جامعی روی سیستمهای فعال انجام داد. او از مدل یکچهارم و مدل کامل خودرو استفاده کرد و بهبود عملکرد سیستمهای فعال را نسبت به سیستمهای غیر فعال مورد بررسی قرارداد. در سال ۱۹۸۷، شارپ (Sharp) و کرولا (Crolla)، ضمن گردآوری کارهای انجام شده روی سیستمهای فعال ونیمه فعال، آنها را مورد بررسی قرار دادند. و ثابت کردند که مدل دو درجه آزادی یکچهارم خودرو قابلیت استفاده برای تحلیل راحتی سفر را دارد. و پیشنهاد کردند که برای در نظر گرفتن خوش فرمانی در کنار راحتی سفر، می توان از پارامتر جابجائی تعلیق (حرکت نسبی جرم ارتجاعی نسبت به جرم غیر ارتجاعی) در تابع هدف استفاده کرد.

هدریک (Hedrick) و مالک (Malek) در سال ۱۹۸۵ و المدنی (El-Madani) در سال ۱۹۸۷ و کرولا و عبدالهادی (Abdol hady) در سال ۱۹۹۱، از مدل نصف و یا مدل کامل خودرو که قابلیت اندازه گیری زوایای Pitch و Roll در آن باشد، برای بررسی دقیقتر خوش فرمانی خودرو استفاده کردند. ویلیامز (Williams) در سال ۱۹۸۵ و اکاموتو (Okamoto) در سال ۱۹۸۷ و زیمنس (Gimenz) در سال ۱۹۸۸، استفاده از سیستم تعلیق فعال را بر روی قطار مورد بررسی قرار دادند. در سال ۱۹۸۷، آلانولی (Alanoly) و سنکر (Sankar) از مدل یک درجه آزادی برای مقایسه روشهای مختلف کنترل استفاده کردند. با افزودن یک درجه آزادی حرکت عمودی صندلی خودرو، تحلیل راحتی سفر دقیقتر انجام می شود این بررسی، خصوصا برای محاسبه راحتی سفر آمبولانسها توسط هنک (Henneke) و زیگمیر (Zieglmeier) در سال ۱۹۸۸ انجام شد و سپس در سال ۱۹۸۹، چوک سیستم کنترل فعال را تنها در محل صندلی راننده برای افزایش راحتی سفر مورد بررسی قرار داد.

کرولا در سال ۱۹۸۸، مراحل طراحی و تحلیل مدل خودرو برای کنترل فعال را به ترتیب زیر پیشنهاد کرد.

۱- تحلیل معادلات حرکت برای مدل یکچهارم خودرو.

۲- نوشتن قوانین کنترل سیستم فعال.

۳- استفاده از یک تابع اتفاقی ورودی برای بررسی عملکرد سیستم بدست آمده.

۴- تکرار محاسبات برای محدوده مشخصی از ناهمواریهای سطح جاده و سرعت خودرو.

سیوالد (Seewold) و جانکر (Junker)، با در نظر گرفتن درجه آزادی صندلی، در تراکتور خود برای راحتی