بسم الله الرحمن الرحيم

٤٧٠٣

مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران
تهیه و آرک

دانشگاه تهران
دانشکده فنی

۱۳۸۲ /۱/ ۱۵

تحلیل و بهینه سازی عملکرد دینامیکی خودرو هنگام ترمزگیری

نگارش : رضا شفیعی زاده شوشتری
استاد راهنما : دکتر محمد رضا حائری یزدی
استاد مشاور: دکتر مسعود شریعت پناهی

پایان نامه جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد
در
مهندسی مکانیک-گرایش طراحی کاربردی

۴۷۰۴۰

مهر۱۳۸۱

۴۷۰۳۰

عنوان:

تحلیل و بهینه سازی عملکرد دینامیکی خودرو هنگام ترمزگیری

توسط:

رضا شفیعی زاده

پایان نامه

جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد

رشته مهندسی مکانیک گرایش طراحی کاربردی

از این پایان نامه در تاریخ ۸۱/۷/۲۷ در مقابل هیئت داوران دفاع به عمل آمد و مورد تصویب قرار گرفت.

دانشکده فنی دانشگاه تهران
تحصیلات تکمیلی

گروه فنی و مهندسی مکانیک
آموزش

سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده: دکتر بنی هاشمی

مدیر گروه آموزشی: دکتر نیکخواه بهرامی

استاد راهنما: دکتر حائری یزدی

استاد مشاور: دکتر شریعت پناهی

داور مدعو: دکتر صالح زاده

داور داخلی: دکتر قاضوی

تقدیم به

پدر و مادرم

چکیده

با توجه به فوق ایمنی بودن سیستم ترمز خودرو و نقش حیاتی آن در پیشگیری از بوجود آمدن حوادث ناگوار، پژوهش بر روی عملکرد این سیستم و تاثیر آن بر عملکرد دینامیکی خودرو را ضروری و پراهمیت جلوه می دهد. در این پایان نامه پس از مدلسازی دینامیکی خودرو و سیستم ترمز و استخراج معادلات دیفرانسیل حاکم بر آنها، به صورت کلی حل دو نوع مساله مد نظر قرار می گیرد. ابتدا به کمک مدلهای دینامیکی بدست آمده، عملکرد دینامیکی خودرو هنگام ترمزگیری بررسی و تحلیل می گردد. سپس با استفاده ار نتایج قسمت قبل(تحلیل) و با انتخاب تابع هدف و به کمک روشهای ریاضی مبتنی بر بهینه سازی، سیستم ترمز به منظور بهبود عملکرد دینامیکی خودرو هنگام ترمزگیری بهینه سازی (طراحی بهینه) می گردد.

به طور کلی با انجام این پژوهش، علاوه بر بالا رفتن سرعت و دقت تحلیل و بررسی عملکرد دینامیکی خودرو هنگام ترمزگیری، زمان و هزینه جهت بررسی تغییرات احتمالی در خودرو و سیستم ترمز کاهش قابل ملاحظه ای یافته است. همچنین با انجام بهینه سازی، رهیافت جدیدی در طراحی بهینه سیستم ترمز خودروها به کمک کامپیوتر ارائه گردیده که به نوبه خود می تواند کمک موثری به طراحان سیستم ترمز در مراکز تحقیق و توسعه کارخانجات خودرو سازی باشد.

فهرست مطالب

فصل۱ مقدمه ۱

۱-۱- کلیات ۱

۱-۲- هدف و انگیزه پژوهش ۴

۱-۳- سرفصلها و عناوین ۵

۱-۴- پیشینه پژوهش ۶

فصل۲ بررسی و مدلسازی سیستم ترمز خودرو ۸

۲-۱- مقدمه ۸

۲-۲- بررسی سیستم ترمز خودرو ۸

۲-۳- مدلسازی سیستم ترمز ۹

۲-۳-۱- مکانیزم پدال ۹

۲-۳-۲- مدلسازی بوستر خلاء ۱۰

۲-۴- مدلسازی مدار هیدرولیک سیستم ترمز ۱۷

۲-۴-۱- سیلندر اصلی ۱۸

۲-۴-۲- شیر تناسبی ۲۰

۲-۴-۳- جریان سیال در مدار ترمز ۲۲

۲-۴-۴- مکانیزم ترمز ۲۴

۲-۵- تحلیل ۲۵

۲-۶- جمع بندی ۳۴

فصل۳ مدلسازی دینامیکی خودرو ۳۵

۳-۱- مقدمه ۳۵

۳-۲- تعاریف و فرضیات ۳۵

۳-۳- استخراج معادلات دیفرانسیل ۳۹

۳-۳-۱- محاسبه سرعت خطی مرکز ثقل خودرو ۴۲

۳-۳-۲- محاسبه شتاب بدنه ۴۲

۳-۳-۳- محاسبه سرعت زاویه ای و ممنتوم زاویه ای ۴۳

۳-۳-۴- محاسبه شتاب و زاویه لغزش چرخها ۴۴

۳-۳-۵- معادلات حرکت انتقالی ۴۴

۳-۳-۶- معادلات حرکت دورانی ۴۶

۳-۳-۷- محاسبه نیروها ۴۸
۳-۳-۸- محاسبه گشتاورها ۵۱
۳-۳-۹- حرکت دورانی چرخها ۵۲
۳-۴- مدل تایر پجکا ۵۳
۳-۴-۱- تاریخچه مدل تایر پجکا ۵۴
۳-۴-۲- روابط جادویی برای حالت لغزش طولی خالص ۵۵
۳-۴-۳- روابط جادویی برای حالت لغزش ترکیبی ۵۶
۳-۴-۴- جمع بندی معادلات ۵۹
۳-۵- انتقال معادلات به فضای حالت ۶۲
۳-۶- حل معادلات ۶۵
۳-۷- شرایط اولیه ۶۷
۳-۸- جمع بندی ۶۸

فصل۴ شبیه سازی و تحلیل عملکرد دینامیکی خودرو هنگام ترمز گیری ۷۰
۴-۱- مقدمه ۷۰
۴-۲- شبیه سازی ترمز گیری بر روی جاده مستقیم ۷۱
۴-۲-۱- استاندارد *ECE R13* ۷۱
۴-۲-۲- شبیه سازی آزمون استاندارد *ECE R13* با شرایط بارگذاری کامل ۷۲
۴-۳- شبیه سازی ترمزگیری خودرو در هنگام دور زدن ۷۷
۴-۳-۱- استاندارد *ISO 7975* ۷۷
۴-۳-۲- شبیه سازی آزمون ترمزگیری در هنگام دور زدن بر طبق استاندارد *ISO 7975* ۷۹
۴-۴- جمع بندی ۸۸

فصل۵ بهینه سازی و تعیین تابع هدف ۸۹
۵-۱- مقدمه ۸۹
۵-۲- بررسی معیارهای مهم در بهینه سازی عملکرد دینامیکی خودرو ۹۰
۵-۲-۱- فاصله توقف ۹۰
۵-۲-۲- پایداری خودرو ۹۰
۵-۲-۳- فرمانپذیری خودرو ۹۱
۵-۳- عبارتهای تشکیل دهنده تابع هدف ۹۱
۵-۳-۱- فاصله توقف ۹۱
۵-۳-۲- حداکثر اختلاف سرعت زاویه *Yaw* نسبت به حالت مبنا ۹۲
۵-۳-۳- میانگین سرعت زاویه *Yaw* ۹۲
۵-۳-۴- فرمانپذیری خودرو ۹۳
۵-۴- تعیین ضرایب وزنی ۹۴

۵-۵- متغیرهای بهینه سازی و محدوده تغییرات هریک ۹۴
۵-۶- بررسی قیدهای مساله بهینه سازی ۹۶
۵-۷- فرمول بندی نهایی ۹۶
۵-۸- جمع بندی ۹۸

فصل۶ برررسی روشهای بهینه سازی ۹۹
۶-۱- مقدمه ۹۹
۶-۲- مسائل بهینه‌سازی ۱۰۰
۶-۳- روش‌های متعارف بهینه‌سازی ۱۰۱
۶-۴- روش‌های بهینه‌سازی الهام گرفته از طبیعت ۱۰۳
۶-۵- الگوریتم ژنتیک ۱۰۵
۶-۶- الگوریتم ژنتیک ساده ۱۰۷
۶-۶-۱- معرفی الگوریتم ۱۰۷
۶-۶-۲- چگونگی عملکرد الگوریتم ۱۱۰
۶-۶-۳- نمایش رشته‌ها ۱۱۰
۶-۶-۴- محاسبه برازندگی ۱۱۲
۶-۶-۵- اندازهٔ جمعیت ۱۱۳
۶-۶-۶- انتخاب ۱۱۴
۶-۶-۷- پیوند ۱۱۵
۶-۶-۸- جهش ۱۱۶
۶-۶-۹- همگرایی ۱۱۶
۶-۶-۱۰- نمودار جریانی الگوریتم ژنتیک ساده ۱۱۷
۶-۷- انتخاب روش بهینه سازی ۱۱۸
۶-۸- جمع بندی ۱۱۸

فصل۷ بهینه سازی سیستم ترمز خودرو ۱۱۹
۷-۱- مقدمه ۱۱۹
۷-۲- روش کار ۱۱۹
۷-۳- تنظیم پارامترهای الگوریتم ژنتیک ۱۲۰
۷-۴- نتایج بهینه سازی ۱۲۰
۷-۵- مقایسه نتایج ۱۲۲
۷-۶- جمع بندی ۱۲۹

فصل۸ نتیجه گیری و پیشنهاداتی برای کارهای آتی ۱۳۰
۸-۱- جمع بندی و نتیجه گیری ۱۳۰
۸-۲- پیشنهاداتی برای کارهای آتی ۱۳۲

مراجع ۱۳۳

منابع ۱۳۵

فهرست جداول

جدول ۲-۱ ضرایب و ثابتهای سیستم ترمز ۲۶
جدول ۳-۱ مقادیر پارامترهای ثابت خودرو ۶۹
جدول ۴-۱ مقایسه شرایط استاندارد با نتایج شبیه سازی ۷۷
جدول ۵- ۱ ضرایب وزنی و تابع هدف ۹۴
جدول ۵-۲ متغیرهای بهینه سازی و محدوده تغییرات هریک ۹۵
جدول ۷-۱ مقادیر پارامترهای الگوریتم ژنتیک ۱۲۰
جدول ۷-۲ مقادیر بهینه شده متغیرهای بهینه سازی ۱۲۱

فهرست اشکال

شکل ۱-۱ حوزه مسائل سیستمهای دینامیکی ۲
شکل ۱-۲ تعامل بین اجزا دینامیکی خودرو ۳
شکل ۲-۱ سیستم ترمز هیدرولیک خودرو سواری ۹
شکل ۲-۲ بوستر خلا ۱۱
شکل ۲-۳ عملکرد شیر کنترل بوستر ۱۲
شکل ۲-۴ محدوده عملکرد شیر کنترل بوستر ۱۵
شکل ۲-۵ سیلندر اصلی ترمز ۱۸
شکل ۲-۶ ساختمان و عملکرد شیر تناسبی ۲۱
شکل ۲-۷ عملکرد شیر کنترل بوستر ۲۳
شکل ۲-۸ سیستم ترمز دیسکی ۲۴
شکل ۲-۹ سیستم ترمز کفشکی ۲۴
شکل ۲-۱۰ تغییرات جرم هوا در محفظه عملگر ۲۷
شکل ۲-۱۱ تغییرات جرم هوا در محفظه خلا ۲۸
شکل ۲-۱۲ جابجایی پیستون در سیلندر اصلی ۲۸
شکل ۲-۱۳ تغییرات فشار هوا در محفظه عملگر ۲۹
شکل ۲-۱۴ تغییرات فشار هوا در محفظه خلا ۲۹
شکل ۲-۱۵ نیروی خروجی از بوستر برحسب زمان ۳۰
شکل ۲-۱۶ نمودار مشخصه بوستر ۳۰
شکل ۲-۱۷ تغییرات فشار در سیلندر اصلی ۳۱
شکل ۲-۱۸ تغییرات فشار در ترمز چرخ جلو ۳۱
شکل ۲-۱۹ تغییرات فشار در ترمز چرخ عقب ۳۲
شکل ۲-۲۰ نقطه شکست در شیر تناسبی ۳۲
شکل ۲-۲۱ گشتاور ترمزی در چرخهای جلو ۳۳
شکل ۲-۲۲ گشتاور ترمزی در چرخهای عقب ۳۳
شکل ۳-۱ مدل دینامیکی در نظرگرفته شده برای خودرو ۳۶
شکل ۳-۲ پارامترها و نیروهای وارد شده به خودرو ۳۷
شکل ۴-۱ فاصله توقف خودرو ۷۳
شکل ۴-۲ تغییرات سرعت خودرو ۷۳
شکل ۴-۳ تغییرات شتاب کاهنده خودرو ۷۴
شکل ۴-۴ تغییرات نیروی طولی در چرخها ۷۵
شکل ۴-۵ تغییرات نیروی عمودی در چرخها ۷۵
شکل ۴-۶ تغییرات سرعت دورانی چرخها ۷۵

شکل ۴-۷ تغییرات شتاب زاویه Pitch خودرو ۷۶
شکل ۴-۸ مسافت پیموده شده خودرو ۸۰
شکل ۴-۹ تغییرات سرعت طولی ۸۰
شکل ۴-۱۰ تغییرات شتاب کاهنده ۸۱
شکل ۴-۱۱ تغییرات شتاب جانبی ۸۱
شکل ۴-۱۲ تغییرات سرعت دورانی خودرو حول محور قائم ۸۲
شکل ۴-۱۳ تغییرات سرعت دورانی خودرو حول محور طولی ۸۲
شکل ۴-۱۴ تغییرات زاویه دوران خودرو حول محور عرضی ۸۳
شکل ۴-۱۵ تغییرات زاویه دوران خودرو حول محور قائم ۸۳
شکل ۴-۱۶ تغییرات زاویه دوران خودرو حول محور طولی ۸۴
شکل ۴-۱۷ تغییرات سرعت دورانی چرخها ۸۴
شکل ۴-۱۸ تغییرات نیروی طولی در چرخها ۸۵
شکل ۴-۱۹ تغییرات نیروی جانبی در چرخها ۸۵
شکل ۴-۲۰ تغییرات نیروی عمودی در چرخها ۸۶
شکل ۴-۲۱ تغییرات زاویه لغزش جانبی چرخها ۸۶
شکل ۴-۲۲ مقایسه بین سرعت yaw خودرو با حالت مطلوب ۸۸
شکل ۶-۱ کدگذاری متغیرهای پیوسته ۱۱۱
شکل ۶-۲ تقسیمات نامساوی گردونه شانس ۱۱۴
شکل ۶-۳ پیوند تک نقطه ای ۱۱۵
شکل ۶-۴ نمودار جریانی الگوریتم ژنتیک ساده ۱۱۸
شکل ۷-۱ نمودار همگرایی الگوریتم ژنتیک ۱۲۱
شکل ۷-۲ مسیر طی شده خودرو هنگام ترمزگیری ۱۲۲
شکل ۷-۳ تغییرات شتاب طولی خودرو ۱۲۳
شکل ۷-۴ تغییرات سرعت طولی خودرو ۱۲۳
شکل ۷-۵ تغییرات شتاب جانبی خودرو ۱۲۴
شکل ۷-۶ تغییرات سرعت جانبی خودرو ۱۲۴
شکل ۷-۷ تغییرات سرعت yaw خودرو ۱۲۵
شکل ۷-۸ تغییرات زاویه yaw خودرو ۱۲۵
شکل ۷-۹ تغییرات زاویه roll خودرو ۱۲۶
شکل ۷-۱۰ تغییرات سرعت roll خودرو ۱۲۶
شکل ۷-۷ تغییرات زاویه لغزش خودرو ۱۲۷
شکل ۷-۷ تغییرات سرعت زاویه ای چرخها ۱۲۷

فهرست علائم

m_s : جرم بدنه خودرو

m_f : جرم چرخ جلو و ملحقات آن

m_r : جرم چرخ عقب و ملحقات آن

I_{xx} : گشتاور اینرسی بدنه خودرو حول محور طولی

I_{yy} : گشتاور اینرسی بدنه خودرو حول محور عرضی

I_{xz} : گشتاور حاصل ضرب اینرسی بدنه خودرو حول محورهای طولی و قائم

I_{zz} : گشتاور اینرسی کل خودرو حول محور قائم

t_f : فاصله عرضی بین چرخهای جلو

t_r : فاصله عرضی بین چرخهای عقب

l_f : فاصله طولی بین مرکز ثقل خودرو و چرخهای جلو

l_r : فاصله طولی بین مرکز ثقل خودرو و چرخهای عقب

h_{cg} : ارتفاع مرکز ثقل خودرو از سطح زمین در حالت تعادل

K_{sf} : ضریب سختی فنر سیستم تعلیق جلو

C_{sfc} : ضریب میرایی کمک فنر سیستم تعلیق جلو در هنگام جمع شدن

C_{sfr} : ضریب میرایی کمک فنر سیستم تعلیق جلو در هنگام باز شدن

K_{sr} : ضریب سختی فنر سیستم تعلیق عقب

C_{src} : ضریب میرایی کمک فنر سیستم تعلیق عقب در هنگام جمع شدن

C_{srr} : ضریب میرایی کمک فنر سیستم تعلیق عقب در هنگام باز شدن

l_{Af} : طول بازوی طولی میله پاد غلت جلو

t_{Af} : فاصله عرضی دو سر میله پاد غلت جلو

K_{Af} : ضریب سختی پیچشی میله پاد غلت جلو

l_{Ar} : طول بازوی طولی میله پاد غلت عقب

t_{Ar} : فاصله عرضی دو سر میله پاد غلت عقب

K_{Ar} : ضریب سختی پیچشی میله پاد غلت عقب

h_{Rf} : ارتفاع مرکز غلت جلو از سطح زمین

h_{Rr} : ارتفاع مرکز غلت عقب از سطح زمین

u : سرعت طولی خودرو

v : سرعت جانبی خودرو

ϕ : زاویه $Roll$

θ : زاویه $Pitch$

ψ : زاویه Yaw

δ_f : زاویه فرمان برای چرخهای جلو

κ : نسبت لغزش طولی

فصل۱ مقدمه

۱-۱- کلیات

به طور کلی مسائل حوزه سیستمهای دینامیکی را می توان به دو دسته، مسائل مستقیم و مسائل معکوس تقسیم کرد(شکل ۱-۱). در مسائل مستقیم هدف پیش بینی رفتار دینامیکی سیستم مورد مطالعه می باشد به طوریکه لازم است مدل ریاضی سیستم در قالب مجموعه ای از معادلات ورودی – خروجی، مشخص شده و سپس بر آن مبنا، پاسخ سیستم به ورودیهای دلخواه تعیین شود. مسائل معکوس نیز شامل سه دسته طراحی سیستم، شناسایی ورودی و شناسایی سیستم می باشد. به طور کلی در این دسته بندی طراحی سیستم به این معناست که ساختار و پارامترهای سیستم به شکلی تعیین شوند که سیستم به ازای ورودی مشخصی، رفتار دینامیکی مورد نظر را داشته باشد. همچنین در شناسایی سیستم هدف تعیین ساختار و پارامترهای یک سیستم مجهول از طریق رفتار