بنام خدا

۱۳۷۸ /۷/ ۱۲

مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران
تهیه مدارک

دانشکدهٔ مهندسی برق

طراحی کنترل‌کنندهٔ فازی تطبیقی برای سیستم ترمز ضدقفل (ABS)

نصرت‌ا... صفایی‌منظر

پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد

در رشتهٔ:

مهندسی برق- کنترل

14259

استاد راهنما: دکتر علی‌اکبر جلالی

اسفندماه ۱۳۷۷

بسم الله الرحمن الرحيم

چکیده:

عیب عمدهٔ ترمزهای معمولی این است که راننده نمی‌تواند مقدار گشتاور ترمز اعمال شده بر چرخ‌ها را دقیقاً کنترل نماید و چنانچه اطلاع دقیقی از شرایط جاده نداشته باشد، فشرده شدن بیش از حد پدال ترمز، باعث قفل شدن چرخ‌ها خواهد شد. با قفل شدن چرخ‌های خودرو علاوه بر اینکه کمترین مسافت تا توقف کامل بدست نمی‌آید، پایداری جانبی خودرو نیز از دست رفته و خودرو براحتی از مسیر خود منحرف می‌گردد.

سیستم‌های ترمز ضد قفل تحت هر گونه شرایط جاده‌ای از قفل شدن چرخ‌های خودرو جلوگیری می‌کنند. با بکارگیری چنین سیستمی در خودرو یک رانندهٔ غیر ماهر می‌تواند بدون اینکه توجهی به شرایط جاده داشته باشد، پدال ترمز را فشار دهد و فشار سیال ترمز را بگونه‌ای تنظیم کند که ضمن حداقل شدن مسافت توقف، پایداری جانبی خودرو نیز حفظ گردد.

سیستم ترمز یک سیستم غیرخطی و با پارامترهای متغیر با زمان می‌باشد. چنین سیستمی را نمی‌توان با هر روشی بطور مطلوب کنترل کرد و نتایج بهینه‌ای را ارایه داد. از روش‌های مناسب در رابطه با کنترل سیستم مذکور می‌توان به روش‌های کنترل هوشمند اشاره نمود. از جمله روش‌های کنترل هوشمند کنترل فازی و کنترل عصبی هستند که نتایج مطلوبی را ارایه می‌دهند.

در این پایان‌نامه ابتدا چند روش کنترلی در رابطه با سیستم ترمز ضد قفل مورد بررسی قرار می‌گیرد. سپس یک کنترل‌کننده فازی که دارای قابلیت تطبیق است طراحی می‌شود. قابلیت تطبیق کنترل‌کننده باعث بهبود پاسخ سیستم به ازای شرایط مختلف کاری می‌گردد. نتایج شبیه‌سازی مزایای روش بکار رفته را در مقایسه با روش‌های دیگر نشان می‌دهد.

تقدیم به پدر عزیز، مادر مهربان

و برادران و خواهران گرامیم

تقدیر و تشکر:

ضمن شکر و سپاس ایزد منان، لازم است از استاد گرامی خود جناب آقای دکتر علی اکبر جلالی که با راهنمایی‌های بی‌دریغ خود، سرپرستی این پروژه را بر عهده داشته‌اند، صمیمانه تشکر و قدردانی نمایم. همچنین از استاد عزیزم جناب آقای دکتر وحید جوهری مجد که با راهنمایی‌های دلسوزانهٔ خود مرا در انجام این پروژه کمک فراوان نمودند، تقدیر و تشکر می‌کنم. در نهایت از اعضای هیأت داوری بخاطر حضور در جلسهٔ دفاعیهٔ و فراهم نمودن امکان ارایهٔ پرثمر آن، سپاسگذارم.

فهرست مطالب

عنوان صفحه

ضرورت انجام کار..... ۱

فصل اول: معرفی سیستم‌های ترمز..... ۳

۱-۱) مقدمه و تاریخچه..... ۳

۱-۲) سیستم ترمز معمولی (ترمز هیدرولیکی)..... ٤

۱-۳) ساختمان ترمزهای معمولی..... ٥

۱-٤) انواع مکانیزم ترمز..... ۷

۱-٥) سیستم ترمز ضد قفل..... ۱۰

فصل دوم: تئوری کنترل فازی تطبیقی..... ۱۷

۲-۱) مقدمه..... ۱۷

۲-۲) منطق و مجموعه‌های فازی..... ۱۸

۲-۳) کنترل فازی..... ۲۱

۲-٤) کنترل فازی تطبیقی..... ۳۰

فصل سوم: بررسی سیستم‌های ترمز ضد قفل..... ۳٥

۳-۱) دینامیک سیستم ترمز ضد قفل..... ۳٥

۳-۲) مدل‌های سیستم ترمز خودرو..... ٤۰

فصل چهارم: روش‌های کنترل سیستم ترمز ضد قفل..... ٥۱

٤-۱) مقدمه..... ٥۱

٤-۲) تنظیم ضریب لغزش..... ٥۳

عنوان | صفحه

۳-٤) معیار شتاب زاویه‌ای چرخ‌ها..... ۵۷

٤-٤) استراتژی‌های دیگر با استفاده از کنترل فازی..... ۵۷

فصل پنجم: کنترل فازی تطبیقی سیستم ترمز ضد قفل..... ٦۳

۱-۵) مقدمه..... ٦۳

۲-۵) کنترل‌کنندهٔ فازی تطبیقی پیشنهادی..... ٦٤

فصل ششم: نتایج شبیه‌سازی و پیشنهادات..... ۷۷

۱-٦) مقدمه..... ۷۷

۲-٦) نتایج شبیه‌سازی..... ۷۸

۳-٦) نتیجه‌گیری و پیشنهادات..... ۸۷

پیوست: لیست برنامه‌های شبیه‌سازی..... ۸۹

فهرست اشکال

شکل صفحه

۱-۱) ساختمان کامل سیستم ترمز معمولی (ترمز هیدرولیکی) ۵

۱-۲) اساس عملکرد ترمزهای دیسکی ۸

۱-۳) ساختمان ترمز استوانه‌ای ۸

۱-٤) شمای سیستم ترمز ضد قفل ۱۱

۱-۵) سیستم ترمز مجهز به شیرهای کنترلی ۱۲

۱-٦) شمای سیستم سه کاناله- سه حساسه ۱٤

۲-۱) تابع عضویت کلاسیک نمرات درسی در مجموعهٔ نمرات درسی خوب ۱۹

۲-۲) تابع عضویت فازی نمرات درسی در مجموعهٔ نمرات درسی خوب ۱۹

۲-۳) توابع عضویت با متغیرهای زبانی بیان‌کنندهٔ آن‌ها ۲۱

۲-٤) دیاگرام بلوکی کنترل‌کنندهٔ فازی ۲۲

۲-۵) توابع عضویت مثلثی خطا با سه بازهٔ فازی ۲٤

۲-٦) مراحل استنتاج دو قاعدهٔ برقرار شده به روش بیشینه- کمینه ۲۷

۲-۷) مراحل استنتاج دو قاعدهٔ برقرار شده به روش بیشینه- حاصل‌ضرب ۲۸

۲-۸) مقایسهٔ روش‌های مختلف فازی‌زدایی ۳۰

۲-۹) دیاگرام بلوکی سیستم کنترلی با فرآیند مرتبهٔ اول ۳۲

۲-۱۰) توابع عضویت گاوسی خطا و پاسخ پلهٔ سیستم ۳۳

۲-۱۱) توابع عضویت تغییر تافتهٔ خطا و پاسخ پلهٔ جدید سیستم ۳٤

۳-۱) متغیرهای سیستم تایر- جاده ۳۷

شکل صفحه

۲-۳) انتقال وزن در اثر شتاب طولی منفی خودرو..... ٤٣

۳-۳) مدل تک‌چرخ برای سیستم خودرو..... ٤٤

٤-۳) مدل دوچرخ برای سیستم خودرو..... ٤٥

٥-۳) مدل پسجکا برای جادهٔ خشک و سطح پوشیده از یخ..... ٤٩

٦-۳) مقایسهٔ مدل‌های مختلف سیستم تایر- جاده..... ٥٠

۱-٤) ضرایب اصطکاک طولی و جانبی برحسب ضریب لغزش..... ٥٤

۲-٤) دیاگرام بلوکی سیستم ترمز ضد قفل با کنترل قطع و وصلی..... ٥٥

۳-٤) دیاگرام بلوکی سیستم کنترل فازی با استفاده از دو معیار..... ٥٨

٤-٤) دیاگرام بلوکی سیستم کنترل فازی با استفاده از شرایط جاده..... ٦٠

٥-٤) دیاگرام بلوکی سیستم کنترلی فازی تطبیقی..... ٦٢

۱-٥) دیاگرام بلوکی سیستم کنترل فازی پیشنهادی..... ٦٥

۲-٥) توابع عضویت ورودی‌های کنترل‌کنندهٔ فازی تطبیقی..... ٦٨

۳-٥) دیاگرام بلوکی تطبیق‌دهندهٔ کنترل‌کننده..... ٧٠

٤-٥) توابع عضویت ورودی‌های محاسبه‌کنندهٔ پارامترهای کنترل‌کننده..... ٧٢

٥-٥) توابع عضویت ورودی ضریب لغزش با پارامترهای متغیر..... ٧٣

٦-٥) توابع عضویت ورودی‌های تشخیص‌دهندهٔ شرایط جاده..... ٧٤

۱-٦) نحوهٔ تغییرات مشخصهٔ و ردیابی ضریب لغزش بهینه توسط چرخ..... ٨٢

۲-٦) سرعت طولی و زاویه‌ای و خطای ردیابی بیشینه ضریب اصطکاک طولی..... ٨٣

۳-٦) نتایج شبیه‌سازی برای ضریب لغزش و سرعت زاویه‌ای چرخ‌ها و سرعت طولی خودرو..... ٨٣

شکل صفحه

٤-٦) خطای ردیابی بیشینه ضریب اصطکاک طولی (به درصد) و نیروهای عمودی چرخ‌ها.....٨٤

٥-٦) نحوهٔ تغییرات مشخصهٔ و ردیابی ضریب لغزش بهینه توسط چرخ.....٨٥

٦-٦) سرعت طولی و زاویه‌ای و خطای ردیابی بیشینه ضریب اصطکاک طولی.....٨٥

٧-٦) نتایج شبیه‌سازی برای ضریب لغزش و سرعت زاویه‌ای چرخ‌ها و سرعت طولی خودرو.....٨٦

٨-٦) خطای ردیابی بیشینه ضریب اصطکاک طولی (به درصد) و نیروهای عمودی چرخ‌ها.....٨٧

ضرورت انجام کار:

همزمان با اختراع وسایل نقلیه ابزاری که قادر به کنترل سرعت آن‌ها باشد، طراحی و ساخته شد. ابزار مذکور که ترمز نامیده می‌شود، با پیشرفت روزافزون صنعت خودروسازی تکامل یافت تا این‌که سیستم ترمز هیدرولیکی[۱] که اولین بار توسط لاکهید[۲] ساخته شد، در وسایل نقلیه تعبیه گردید. استفاده از ترمزهای مذکور عملکرد خوبی در رابطه با کنترل سرعت خودرو[۳] ارایه کرد و سرنشینان خودروها احساس امنیت بیشتری نمودند. بطوری‌که برای سال‌های متمادی از ترمز هیدرولیکی در وسایل نقلیه کمک گرفته شد. اما بدلیل مشکلات آن، پژوهشگران به دنبال طراحی سیستمی بودند که بتواند به هنگام ترمز سرعت خودرو را به نحو مطلوبی کنترل نماید. به همین جهت سیستم ترمز ضد قفل[۴] که تکامل یافتهٔ سیستم ترمز هیدرولیکی است، طراحی و ساخته شد[۴].

در سیستم جدید نیروی ترمز که گشتاور[۵] حاصل از آن بر چرخ‌های خودرو اعمال می‌شود، بگونه‌ای کنترل می‌گردد که مسیر پیموده شده از لحظهٔ شروع ترمزگیری تا توقف کامل خودرو حداقل شود. همچنین از قفل شدن چرخ‌ها که باعث لغزیدن[۶] خودرو و برهم خوردن پایداری جانبی[۷] آن می‌گردد، جلوگیری بعمل می‌آید. مزیت دیگر سیستم فوق این است که از اعمال شوک به سیستم ترمز توسط راننده ممانعت می‌شود. با توجه به مزایای سیستم ترمز ضد قفل درمی‌یابیم که به کنترل‌کننده‌ای مناسب جهت برآورده شدن خواسته‌های فوق نیازمندیم[۶][۷].

---

[1] Hydrolic Brake

[2] Lakhid

[3] Vehicle

[4] Antilock Braking System

[5] Torque

[6] Slippage

[7] Lateral Stability

سیستم ترمز ضد قفل اولین بار بصورت مکانیکی کنترل گردید ولی بدلیل خواص انعطاف‌ناپذیر سیستم‌های مکانیکی، نتایج رضایت‌بخشی بدست نیامد تا این‌که از سیستم‌های الکتریکی و الکترونیکی در این راستا کمک گرفته شد. در این میان کنترل فازی که عملکرد مطلوبی از فرآیندهای صنعتی ارایه داده است، در سیستم ترمز نیز بکار گرفته شد. باتوجه به قابلیت‌های سیستم‌های فازی، طراحی کنترل‌کننده‌ای که سیستم را بهتر و مطلوب‌تر کنترل نماید، امکان‌پذیر است[۶][۷][۱۱].

از جملهٔ این قابلیت‌ها افزودن قابلیت آموزش روی خط[1] به کنترل‌کننده‌های فازی است که انعطاف بیشتری به عملکرد سیستم‌های کنترلی می‌بخشد. لذا استفاده از کنترل فازی تطبیقی[2] می‌تواند نتایج خوبی را به‌همراه داشته باشد. در این پایان‌نامه یک کنترل‌کنندهٔ فازی تطبیقی برای سیستم ترمز ضد قفل با مدل‌های تک‌چرخ و دوچرخ طراحی و شبیه‌سازی شده است.

---

[1] On-Line

[2] Adaptive Fuzzy Control

فصل اول: معرفی سیستم‌های ترمز

۱-۱) مقدمه و تاریخچه:

همچنانکه نیروی محرکهٔ موتور باعث به حرکت درآمدن وسایل نقلیه می‌شود، ابزاری برای آهسته‌کردن حرکت و در صورت لزوم ایست کامل خودرو لازم است. ابزار مذکور ترمز نامیده می‌شود. ایمنی سرنشینان خودرو وابسته به عملکرد مناسب ترمزهای آن می‌باشد. لذا طراحان سیستم ترمز باید کلیهٔ نکات ضروری را در رابطه با ساخت آن رعایت نمایند[۱].

اولین ترمز وسایل نقلیهٔ موتوری در سال ۱۸۸۵ توسط دایملر بنز[1] ساخته شد. در ترمز مذکور با استفاده از نیرویی که یک کفشکک[2] بر یک محور دندانه‌دار اعمال می‌نمود، سرعت خودرو کاسته می‌شد. اما معایب ترمز فوق باعث شد که طرحی موسوم به پانها و لواسور[3] ساخته شده و در وسایل نقلیه تعبیه گردد. در این طرح فشرده شدن پدال ترمز باعث جمع شدن یک باند فلزی که در جدارهٔ خارجی هر یک از چرخ‌ها قرار داشت، می‌شد و توقف خودرو ممکن می‌گشت[۴].

طرح‌های مختلفی از ترمز طراحی و ساخته شد. اما ضعف هر یک از آن‌ها متخصصین را به فکر ساخت ترمز بهتری وامی‌داشت. تا اینکه در سال ۱۹۳۰ ترمزهای هیدرولیکی توسط لاکهید ساخته شد و انقلابی در صنعت خودروسازی ایجاد گشت. ترمزهای هیدرولیکی برای سال‌های زیادی در وسایل نقلیه به خدمت گرفته شدند. امروزه خودروهای زیادی مجهز به اینگونه ترمزها می‌باشند. اما علیرغم پیشرفت‌های قابل توجهٔ انجام شده در ساخت ترمزهای هیدرولیکی، معایب عمده‌ای در آن‌ها به چشم می‌خورد. وجود معایب مذکور منجر به ساخت سیستم ترمز ضد قفل که تکامل یافتهٔ ترمزهای هیدرولیکی می‌باشد، گردید[۴].

ترمزها ابزاری هستند که انرژی جنبشی وسایل نقلیه را به انرژی گرمایی تبدیل می‌کنند. این تبدیل انرژی که توسط پدیدهٔ اصطکاک انجام می‌شود، باعث کم شدن سرعت خودرو و در نهایت

---

[1] Daimler Benz

[2] Shoe

[3] Panha and Levasor

ایست کامل آن می‌گردد در ساختمان ترمز از عناصر اصطکاک‌زا جهت کاهش سرعت چرخ‌ها استفاده می‌شود. در صورت فعال شدن ترمز، عنصر اصطکاک‌زا با یک قسمت متحرک که حرکت خود را از چرخ‌ها دریافت می‌کند، درگیر می‌شود. این درگیری باعث کم شدن سرعت قسمت متحرک و کاهش سرعت چرخش چرخ و در نهایت کاهش سرعت خودرو می‌گردد[۱].

۲-۱) سیستم ترمز معمولی (ترمز هیدرولیکی):

ترمزهای معمولی که خودروهای زیادی به آن مجهزند، از فشار یک سیال مناسب برای بکار انداختن یک مکانیزم بخصوص که در هر یک از چرخ‌های خودرو تعبیه شده است، کمک می‌گیرند. مکانیزم تعبیه شده در چرخ‌ها قسمتی است که عمل تبدیل انرژی جنبشی چرخ‌ها را به انرژی گرمایی انجام می‌دهد. مکانیزم ترمز در خودرو به دو صورت می‌تواند فعال گردد. به همین منظور دو سیستم ترمز که برخی از قسمت‌های آن‌ها از یکدیگر مستقل است، در خودرو تعبیه می‌شود. ابتدا این دو سیستم را مورد بررسی قرار می‌دهیم[۱]:

۱-۲-۱) ترمز پارک[1]: هنگامی‌که خودرو در محلی پارک می‌شود، عدم حرکت آن برای حفظ مسایل ایمنی ضروری است. برای این‌که خودرو در اینگونه مواقع ثابت بوده و حرکتی نداشته باشد، از ترمز پارک کمک گرفته می‌شود. ترمزهای پارک مستقیماً بصورت مکانیکی درگیر می‌شوند.

۲-۲-۱) ترمز سرویس[2]: در طول رانندگی سرعت خودرو باید بطور مرتب توسط راننده کنترل شود. کنترل سرعت به دو شکل انجام می‌گیرد. اگر هدف افزایش سرعت باشد، با استفاده از نیرویی که توسط موتور تولید می‌گردد، قادر خواهیم بود سرعت خودرو را بیفزاییم. در صورتی‌که ملزم به کاهش سرعت باشیم، از نیروی ترمز گشتاوری بر چرخ‌های خودرو اعمال گشته و رفته‌رفته از سرعت آن کاسته می‌شود. ترمزی که از آن برای کنترل سرعت خودرو و یا متوقف کردن

---

[1] Parking Brake

[2] Service Brake