

طراحی و شبیه سازی سیستم ترمز ضد قفل با کنترلر فازی

آصف زارع^۱، امید الماسی نقاش^۲

دانشگاه آزاد اسلامی واحد گناباد

^۱ O_almasi@yahoo.com ، ^۲ Asefzare@yahoo.com

چکیده

سیستم ترمز، یک سیستم شدیداً غیر خطی متغییر با زمان می باشد. سیستم های ضد قفل کنونی نسبت به گذشته از کنترل کننده های هوشمندتری، همچون کنترلر فازی برخوردارند. در این مقاله طراحی و شبیه سازی یک کنترلر فازی با ورودی لغزش (Slip) و خروجی فشار روغن ترمز برای یک مدل طولی (longitudinal model) برای سیستم ضد قفل انجام شده است. نتایج شبیه سازی نشان می دهد که کنترلر فازی پیشنهادی دارای عملکرد بهتری نسبت به کنترلر بنگ- بنگ می باشد و ضمن کاهش فاصله توقف، سرعت چرخ بهتر کنترل شده و تغییرات ضریب لغزش در این نوع کنترل، مینیمال می باشد.

واژه های کلیدی: سیستم ترمز ضد قفل، شبیه سازی، کنترلر بنگ بنگ، کنترلر فازی.

۱- مقدمه

شیوه های کنترلی گوناگونی برای سیستم ترمز ضد قفل پیشنهاد شده است که می توان از میان آن ها به کنترلرهای غیرخطی [۲]، مقاوم [۳]، عصبی [۴]، فازی [۱،۶] و فازی تطبیقی [۵] اشاره نمود.

۲- بررسی دینامیک سیستم

در رابطه (۱) مدل ریاضی دینامیک چرخشی چرخ نام $(i = 1, \dots, 4)$ خوردو با فرض نداشتن حرکت های جانبی آن ارائه می شود.

$$J\dot{\omega}_i = -T_{bi} \text{sign}(\omega_i) + R_e F_{xi} - T_{ei} - F(\omega) \quad (1)$$

که در آن J ممان اینرسی چرخ، ω سرعت زاویه ای چرخ، T_{bi} گشتاور ترمز چرخ نام، R_e شعاع موثر گردش چرخ، F_{xi} نیروی اصطکاک چرخ و جاده، T_{ei} گشتاور موتور روی چرخ نام که در هنگام ترمز، صفر در نظر گرفته می شود و $F(\omega)$ نیروی اصطکاک چرخ نسبت به محور خود می باشد که بصورت زیر مدل می گردد:

$$F(\omega) = B_r R_e F_{zi} \quad (2)$$

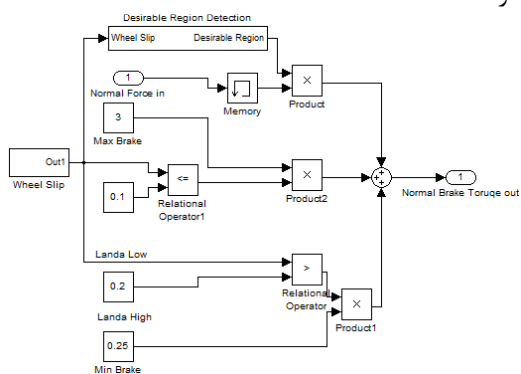
امروزه ایمنی خودروها از مهمترین مسایل مطرح شده در صنایع خودرو سازی محسوب می شوند. در سیستم های ترمز معمولی راننده هیچ کنترل دقیقی بر روی فشار ترمز اعمال شده به چرخ ها ندارد و در صورت لغزنده بودن سطح جاده و یا در مواقع ترمز گیری اضطراری، فشرده شدن بیش از حد پدال ترمز توسط راننده سبب شده تا گشتاور ترمز بیش از حد نیاز به چرخ ها اعمال شده و باعث قفل شدن چرخ ها می شود [۷]. سیستم ترمز ضد قفل (Anti-lock Braking System)، یک سیستم کنترل الکترونیکی است که فشار روغن را در هنگام ترمز گیری تنظیم می کند و از قفل شدن چرخ و در نتیجه افزایش فاصله توقف خودرو جلوگیری می کند. اگر چرخ قفل شود، پایداری جانبی و فرمان پذیری خودرو نیز از بین می رود که این امر بسیار خطر آفرین می باشد.

بطور کلی، هدف سیستم ترمز ضد قفل را می توان بیشینه کردن اصطکاک طولی بین تایرها و سطح جاده در نظر گرفت. مهمترین پارامترهایی که در کیفیت کنترل تأثیر گذارند عبارتند از: ضریب اصطکاک بین تایر و چرخ، نرخ لغزش چرخ و نیروی عمودی وارد بر چرخ [۱].

۳- طراحی کنترلر سنتی بنگ- بنگ

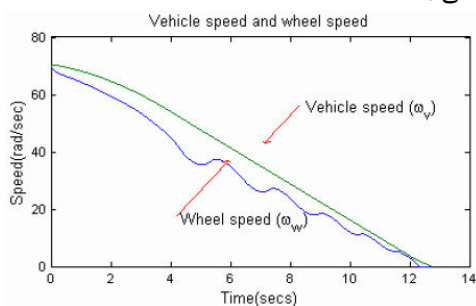
در ابتدا به طراحی و شبیه سازی یک کنترلر بنگ بنگ که در حقیقت نوعی کنترلر قطع/ وصل می باشد می پردازیم و نتایج شبیه سازی را در متلب بدست می آوریم تا در مرحله بعد، پس از طراحی کنترلر فازی نتایج شبیه سازی ها را با هم مقایسه کنیم.

در کنترلر بنگ بنگ با توجه به این که قابلیت شناسایی سطوح مختلف و در نتیجه تنظیم مقدار لغزش در نزدیکی قله برای سطوح مختلف وجود ندارد لذا مقدار لغزش یک مقدار ثابت باندازه ۰.۲ است که تقریباً برای تمامی سطوح و بخصوص سطح خشک بیشترین اصطکاک طولی بین تایر و سطح جاده را ایجاد می کند. کنترلر طراحی شده در محیط متلب ابتدا میزان لغزش چرخ را بعنوان ورودی پذیرفته و با مقدار ثابت $\lambda = 0.2$ مقایسه کرده و اگر میزان لغزش ورودی کمتر باشد گشتاور ترمز را افزایش می دهد و برعکس، و همچنین در صورتی که مقدار لغزش ورودی در ناحیه مطلوب مشخص شده شکل (۲) باشد گشتاور ترمزی را بدون تغییر در همان مقدار نگاه می دارد.



شکل ۳- کنترلر بنگ بنگ

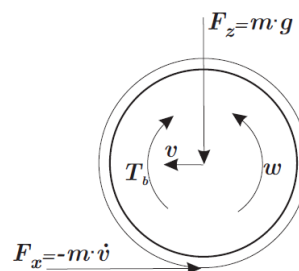
و نتایج بدست آمده از این شبیه سازی برای کنترل سرعت چرخ و سرعت خودرو، لغزش و فاصله توقف بصورت زیر می باشد.



شکل ۴- کنترلر سرعت چرخ و سرعت خودرو

در رابطه (۲)، B_T ضریب اصطکاک چرخش چرخ است که می تواند تابعی از ω باشد و F_{zi} نیروی عمودی وارد بر چرخ می باشد.

جهت اثر نیروهای وارد بر چرخ در شکل (۱) نشان داده شده است.



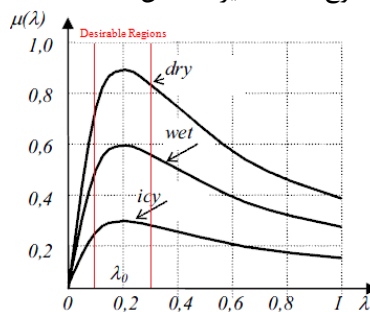
شکل ۱- جهت اثر نیروهای وارد بر چرخ خودرو

برای بدست آوردن ضریب لغزش λ نیز از رابطه (۳) استفاده می گردد:

$$\lambda = \frac{v - R_e \omega}{v} \times 100\% \quad (3)$$

که در رابطه فوق v سرعت طولی خودرو، ω سرعت زاویه ای چرخ و R_e شعاع موثر چرخ می باشند.

شکل (۲) منحنی تغییرات ضریب اصطکاک طولی بین چرخ و جاده های مختلف بر حسب ضریب لغزش (λ) را نشان می دهد که در آن محدوده مطلوب کاری ترمز ضد قفل برای سطوح مختلف نیز مشخص شده است.



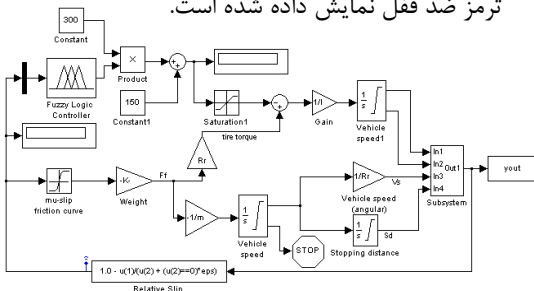
شکل ۲- منحنی تغییرات ضریب اصطکاک طولی بین چرخ و جاده بر حسب ضریب لغزش

با توجه به رابطه (۳) و شکل (۲) می توان نتیجه گرفت که ضریب لغزش صفر درصد حالتی را نشان می دهد که چرخ آزادانه حرکت می کند و با هیچ نوع مقاومتی مواجه نیست و همچنین ضریب لغزش ۱۰۰ درصد نیز نشان دهنده حالتی است که چرخ کاملاً قفل شده و تایر بر روی سطح جاده بشدت می لغزد.

- ۱.If(CurrSlip is normal) Then (Torchange is no_change)
- ۲.If(CurrSlip is high) Then (Torchange is low_change)
- ۳.If(CurrSlip low) Then (Torchange is increase)
- ۴.If(CurrSlip is very_high) Then (Torchange is decrease)

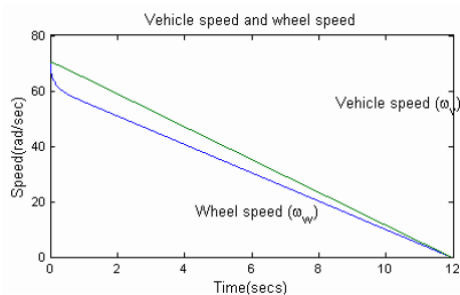
شبيه سازی در نرم افزار متلب با زمان نمونه برداری ۰.۱ میلی ثانیه و با استفاده از حل کننده قدم متغیر برای سیستم های پیوسته (Variable Step Continuous Solvers) انجام شده است. استفاده از این نوع حل کننده این امکان را فراهم می کند که شبيه سازی برای مدلی که تغییرات مقادیر آن سریع است، با قدم های کوچکتر و در نتیجه دقت بیشتر، و برای مدل هایی که سرعت تغییرات مقادیر آن کم است، با قدم های بلند تر و در نتیجه سرعت بیشتر اجرا شود. در این شبيه سازی از حل کننده قدم متغیر برای سیستم های پیوسته از نوع ode15s(Stiff) برای شبيه سازی دقیق تر استفاده شده است.

در شکل (۱۰) بلوک دیاگرام کنترلر فازی سیستم ترمز ضد قفل نمایش داده شده است.

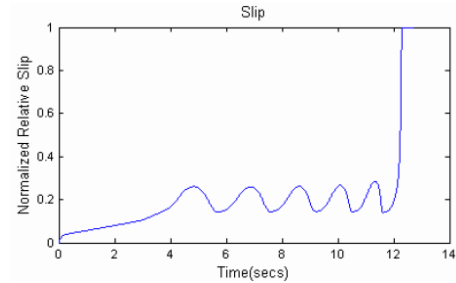


شکل ۱۰- مدل کامل کنترلر فازی سیستم ترمز ضد قفل

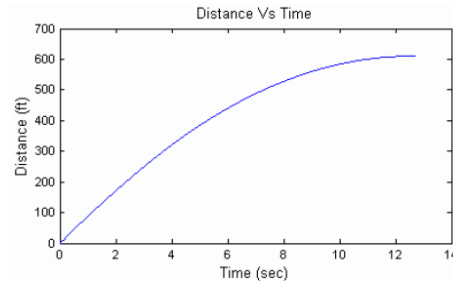
نتایج حاصل از اعمال کنترلر فازی برای کنترل سرعت چرخ و سرعت خودرو، کنترل لغزش و فاصله توقف بصورت زیر می باشد.



شکل ۱۱- کنترلر سرعت چرخ و سرعت خودرو



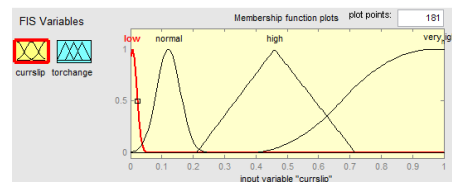
شکل ۵- لغزش



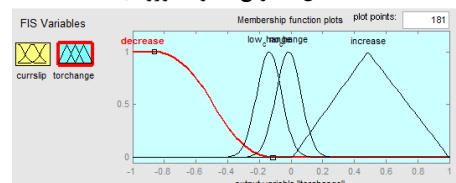
شکل ۶- فاصله توقف

۴- طراحی کنترلر فازی

در این کنترلر از مدل فازی ممدانی جهت استنتاج فازی استفاده می شود. در این استنتاج فازی از عملگر ضرب و جمع جبری به ترتیب برای اشتراک (T-norm) و اجتماع (S-norm) فازی و از میانگین مراکز بعنوان غیر فازی ساز (Defuzzifier) استفاده شده است. در کنترلر فازی لغزش کنونی چرخ بعنوان ورودی کنترلر و گشتاور ترمز بعنوان خروجی غیر فازی ساز تعیین شده است و توابع عضویت ورودی و خروجی بترتیب در شکل (۷) و شکل (۸) نشان داده شده است.



شکل ۸- توابع عضویت ورودی



شکل ۹- توابع عضویت خروجی

لیست قواعد بکار رفته در کنترلر فازی به شرح زیر می باشد:

مراجع

[۱]. A Fuzzy Logic Controller for ABS Braking system, Georg.F.Mauer, IEEE transactions on fuzzy systems, Vol.۳, No.۴, Nov ۱۹۹۵.

[۲]. S.Darkunov, U.Ozguner, P.Dix and B.Ashrafi (۱۹۹۵) "ABS Control using Optimum Search via Sliding Modes", IEEE Trans. On control System Technology, Vol.۳, No.۱, PP.۷۹-۸۵.

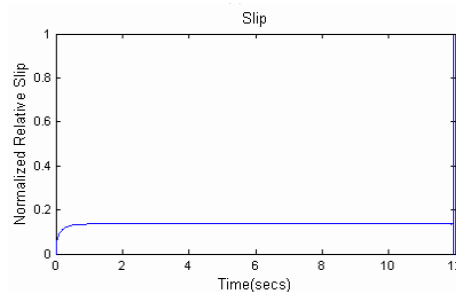
[۳]. Li Fa-Zong Hu Ru-fu Yao Huan-xin, "The performance of Automobile Antilock Brake System Based on Fuzzy Robust Control", Intelligent Computation Technology and Automation (ICICTA), Changsha, April ۲۰۱۰, pp.۸۷۰-۸۷۳.

[۴]. Y.Lee and S. H. Zak (۲۰۰۲) "Designing a Genetic Neural Fuzzy Antilock-Brake System Controller", IEEE Trans. On Evolutionary Computation, Vol.۶, No.۲, PP.۱۹۸-۲۱۱.

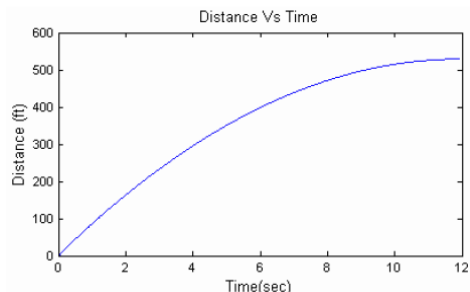
[۵]. Akbarzadeh-T, M.-R. Emami, K.-J. Pariz, N. (۲۰۰۲) "Adaptive discrete-time fuzzy sliding mode control for anti-lock braking systems", IEEE Fuzzy Information Processing Society, Meeting of the North American, PP. ۵۵۴ - ۵۵۹.

[۶]. جوهری مجد، وحید، صفایی منظر، نصرت (۱۳۸۱) "طراحی یک کنترلر فازی دیجیتال خود تنظیم برای سیستم ترمز ضد قفل"، کنفرانس سالانه بین المللی مکانیک-صص ۵۲۴-۵۵۱.

[۷]. مجتبی بهنام تقدیسی، وحید جوهری مجد، حمیدرضا مومنی (۱۳۸۳) "طراحی و شبیه سازی زمان واقعی سیستم ترمز ضد قفل پیش بین فازی" پنجمین کنفرانس سیستمهای فازی ایران.



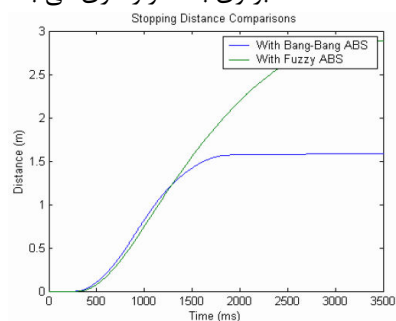
شکل ۱۲- لغزش



شکل ۱۳- فاصله توقف

۵- نتیجه گیری

از مقایسه نتایج بدست آمده از طراحی کنترلر فازی و کنترلر بنگ بنگ مشهود است که کنترلر فازی توانسته لغزش را حول لغزش قلّه نگاه دارد و به همین علت سیستم ترمز ضد قفل با کنترلر فازی دارای عملکرد بهتری در کنترل سرعت چرخ بوده و همچنین توانسته که تغییرات لغزش را به حداقل برساند و در مقایسه فاصله توقف کنترلر فازی و کنترلر بنگ بنگ که در شکل (۱۴) نشان داده شده است برتری با کنترلر فازی می باشد.



شکل ۱۴- مقایسه فاصله توقف کنترلر فازی و بنگ بنگ