**مدلسازی، شبیه سازی و کنترل برای استراتژیهای عملکردی بهینه شده در قطارهای قدرتی مبتنی بر موتور احتراق**

**چکیده**

در این تحقیق، دو استراتژی مدل سازی کنترل مختلف کنترل محور برای تحرک قطار قدرتی مبتنی بر موتور احتراق ارائه می شود. اولین دیدگاه مدلسازی با یک مدل متناظر است که مدل برعکس نامیده می شود و به یک چرخه محرک در یک جریان تراکمی سوخت و مصرف کلی سوخت وابسته است. دیگر دیدگاه مدلسازی یک سیستم مستقیم را نشان می دهد که در آن جریان تراکم سوخت به عنوان ورودی سیستم به کار گرفته می شود، در حالیکه شدت و چگالی بدست آمده با متغیرهای خروجی متناظر هستند. این مدلها برای بهینه سازی استراتژی های علمکردی باتوجه به مصرف سوخت و برای طراحی کنترل کننده های بازخوردی براساس مشاهده گر به کار گرفته می شون که در شبیه سازی های بیشماری معتبر هستند. این کنترل کننده ها به نحوی ساخته شده اند که اجرای زمان واقعی دیدگاه کنترل شدت را امکان پذیر می سازد. مدلهای سیستمی ارائه شده و همچنین بهینه سازی متناظر و کنترل استراتژی ها برای اجزای تجربی بر سوار کردن به صورت آزمایشی اساسی هستند که در حال حاضر در حال ساخته شدن در دانشگاه راستاک می باشد.

**1.مقدمه**

موتورهای احتراقی داخلی یک جزء یکپارچه در بسیاری از ساختارهای قطارهای قدرتی برای وسایل نقلیه جاده ای و غیر جاده ای می باشد. به همین دلیل، یک دیدگاه مدلسازی کنترل محور در این مقاله ارائه شد هاست. روش اجرایی مدلسازی می تواند به یک مدل معکوس تقسیم بندی شود که تعامل اجزاء سیستم اصلی را با چرخه محرک به عنوان ورودی سیستم و مصرف سوخت نشان می دهد که برای تحقق آن به عنوان خروجی متناظر مورد نیاز است. این نوع از مدل سیستمی در توضیحات در مقالات بیشماری آورده شده است. از بین آنها، مقاله گوزلا ذکر شده است. مقاله او منجر به اجرای جعبه ابزار MATLAB شد که دارای تاثیر جزئی بر ساختار مدل است که در این مقاله ارائه شده است. دیدگاه مدلسازی معکوس با این حقیقت که مدلهای جزئی دینامیک می توانند به صورت جبری ارزیابی شوند مشخص می شود. این نگه داشته می شود تا زمانیکه اطلاعاتی که بر محور چرخ دنده تمرکز می کنند به عنوان یک خروجی سیستم همراه با پروفایل های ارتفاع و چگالی برای مشخص کردن سرعت وسیله نقلیه و شرایط عملکردی ارائه شوند. از دیدگاه تئوری یک سیستم، محاسبات خالص جبری مدل سیستمی معکوس می تواند با این حقیقت توضیح داده شود که مدل معکوس به صورت هموار تحت فرضیات ذکر شده در بالا تبدیل شده است. این مدل سیستمی معکوس پایه بهینه سازی مبتنی بر مدل پارامترهای چرخه محرک در این مقاله است. در مقابل، اطلاعات محور چرخ دنده به عنوان ورودی سیستم ارائه نشده است. محور های چرخ دنده در طول ارزیابی مدل سیستم معکوس تعیین می شوند. این ارزیابی براساس مدل جعبه چرخ دنده دینامیک اصلاح شده است که بهینه سازی پارامترهای چرخه محرک و چگالی زاویه ای را امکان پذیر می سازد که محورهای چرخ دنده باید اجرا شوند تا مصرف سوخت را به حداقل برسانند. بنابراین، این گستردگی منجر به نواقصی می شود که مدل معکوس نمی تواند به مدت طولانی به روش خالص جبری ارزیابی شود. بهینه سازی پارامترهای چرخه محرک به طور ویژه ای برای عملکرد سیستم بر پایه فهرست های شناخته شده قبلی مفید است. یک مثال نوعی کاربرد غیر جاده ای موتورهای احتراقی در وسایل نقلیه راه آهنی است. علاوه بر مدل معکوس، یک سیستم مستقیم در این مقاله ارائه شده است که به طور دقیق شامل بلوک های ساختمانی مشابهی با ورودی و خروجی متناوب می شود. مدل مستقیم برای انحراف و اجرای استراتژی های کنترلی مبتنی بر مشاهده گر به کار گرفته می شود که می تواند در سیستم های کنترلی عملکرد موتور نیز استفاده می شود. در چنین کاربردی، جریان تراکم سوخت که در موتور احتراق ارائه می شود به عنوان ورودی سیستم تفسیر می شود، در حالیکه شتاب وسیله نقلیه و شدت از اصلی ترین متغیرهای خروجی هستند. استراتژی های کنترلی مشابهکه در این مقاله ایجاد شده است براساس مدل سیستم مستقیم رتبه کاهش است. روش اجرایی کنترلی توسط شبیه سازی های بسیاری با مدل سیستم مستقیم با مقیاس کامل دارای اعتبار می باشد که دینامیک سیستم را نشان می دهند که در نمایش سیستم معکوس در بالا اشاره شد اجرا شده اند. کارهای تحقیقی وابسته که دقیقا از مدلهای معکوس برای نمایش سیستم مستقیمو معکوس استفاده نکرده اند می توانند یافت شوند، به طور مثال، فواید استفاده از هر دو جهت از جریان اطلاعات به طور همزمان برای بهینه سازی و طراحی کنترل به کار گرفته نشده اند. این مقاله به صورت ذیل ادامه خواهد داشت. بخش دوم مروری بر مدلهای سیستم مستقیم و معکوس خواهد داشت. به علاوه، طراحی استثنایی برای آزمایش با مقیاس کوچک توضیح داده خواهد شد که در حال حاضر رادستاک در حال ساخت است تا استراتژی های عملیاتی برای محرک های موتور احتراق و قطارهای قدرتی هیبریدی را معتبر سازد. دیدگاه های بهینه سازی و نتایج اراقامی در بخش 3 ارائه می شود و بر کاهش مصرف سوخت تمرکز می شود. در بخش4، استراتژی های کنترلی عملکردی موتور مبتنی بر مشاهده گر ارائه می شوند. این مقاله در بخش 5 نتیجه گیری می شود و چشم اندازی در آینده مورد بحث واقع می شود.

**2. مدلسازی کنترل محور قطارهای قدرتی مبتنی بر موتور احتراق**

در این بخش، مدلهای سیستم مستقیم و معکوس برای قطارهای قدرتی مبتنی بر موتور های احتراقی توصیفمی شود. همانطور که در مقدمه توضیح داده شده، اولین مدل می تواند در تعیین اثرات از پیش تعریف شده چرخه محرک در مصرف سوخت به کار رود، در حالیکه دومی برای محاسبه چرخه محرک به دست آمده به عنوان خروجی سیستم برای جریان تراکم سوخت داده شده استفاده می شود. در هر دو مورد، توصیفات ریاضی شامل 5 جزء می شود که چرخه محرک، وسیله نقلیه، جعبه دنده، موتور احتراق با مصرف سوخت شبه ثابت و یک مدل برای مخزن سوخت می باشند. تعامل بین اجزاء مختلف در شکل 1 نشان داده شده است. در اینجا، متغیرهای رابطه ای بین اجزاء سیستم های مختلف در راهی نشان داده شده اند که جریان قدرتی را نشان می دهند، به طور مثال، به عنوان یک محوصل از شدت زاویه ای و پیچشی. پیکانها ترتیب ارزیابی اجزا را برای مدل سیستم معکوس نشان می دهد، در حالیکه پیکان ها با خطوط تیره با نمایش مستقیم مشابه هستند.

مصرف سوخت به دست آمده



موتورهای احتراقی

سوخت ترزیقی از پیش تعیین شده

جعبه دنده

وسیله نقلیه

چرخه محرک

شکل 1: نمودار بلوکی سیستم مستقیم و معکوس

هنگامیکه چرخه محرک کامل برای مدل معکوس از لحاظ شتاب و سرعت وسیله نقلیه مشخص می شود، این مدل می تواند در یک روش جبری خالص ارزیابی شود، تا زمانیکه مدلهای دینامیک برای اجزاء باقیمانده معرفی شود که بر متغیرهای داخلی بستگی دارد. چنین متغیرهای داخلی ضروری می شود، اگر رفتار دینامیک برای اجزاء انتخاب شده شمرده شوند، مانند روش های اجرایی محور چرخ دنده اتوماتیک که در ذیل توضیح داده می شود. در مقابل، ارزیابی مدل سیستم مستقیم همیشه با حل مشکلات برای مجموعه ای از معادلات دیفرانسیل مشابه است.

به عنوان یک مثال، این ویژگی می تواند برای تحرک خود وسایل نقلیه نشان داده شود. در مواردی که چرخه محرک پیش تعریف شده وجود داشته باشد، سرعت  و شتاب  به عنوان ورودیهای سیستم در نظر گرفته می شوند، نیروی پیچشی به دست آمده

.

در چرخ ها با شعاع  عبارت جبری خالص ارائه شده است که به مقاومت چرخش  بستگی دارد، مقاومت هوای وابسته به شدت ، نیروی شیب پایین تپه  و نیروی اینرسی  می باشد.

برای مدل مستقیم، نیروی پیچشی  باید به سرعت  با حل کردن معادله دیفرانسیل منتقل شود.



شدت اولیه  و  تراکم چرخ است.

اطلاعات درباره دیگر اجزاء در بخشهای فرعی II-A و II-B ارائه خواهد شد.

1. مدل سیستم معکوس

همانطور که در بالا اشاره شد، چرخه محرک ورودی را برای این نوع از مدل نشان می دهد. در این مقاله، به نمایش تحلیلی پروفایل شدت مورد نظر که حاوی سه قسمت مختلف به نامهای شتاب، سرازیری (یا راندن با شتاب ثابت) و کاهش سرعت محدود است می پردازیم. برای این نوع از چرخه محرک، افق زمان  و فاصله کلی  به صورت از پیش تعیین شده فرض شده اند. به علاوه، شتاب و سرعت به صورت  و  تعیین شده اند. مسیر بهینه سازی در بخش بعدی توضیح داده می شود که نمایش چند جمله ای از پروفایل شتاب وسیله نقلیه با توجه به ذیل ارائه می دهد.



عبارت  در شکل 2 تعریف شده است



مرحله 3: کاهش سرعت

مرحله 2: سرازیری / شدت ثابت

مرحله 1: شتاب

شکل 2: تعریف نوعی از پروفایل شدت

محدودیت ها بر ضریب  با ویژگیهای سرعت صفر و شدت نهایی مشخص می شود



به علاوه، تداوم شدت و شتاب در زمان t1 و t2 با محدودیت هایی نشان داده شده اند.





محدودیت ها بر طول کلی چرخه محرک در فورمول بندی ضعیف توسط واژگان مناسب درمسیر بهینه سازی در قسمت بعدی توضیح داده شده است.

پروفایلهای سرعت و شتاب  و  به ترتیب به عنوان ورودی برای مدل جزئی آینده به کار گرفته می شود که شامل تاثیرات خارجی می شود که بر وسیله نقلیه با تراکم ، منطقه مقطع میانی ، ضریب کششی  و چگالی هوا  عمل می کند. به علاوه، ویژگیهای جاده برای زاویه انحراف ، ضریب اصطکاک  و ثابت جاذبه ای  در نظر گرفته می شود. مقاومت چرخشی  و مقاومت هوا  ، نیروی شیب پایین تپه  و نیروی اینرسی  در مدل مستقیم و معکوس به شرح ذیل است:



با استفاده از معادلات بالا، و رابطه  برای شدت زاویه ای وسیله نقلیه، مدل جعبه چرخ دنده می تواند برای ارتباط متغیرهای  و  در شدت زاویه ای و نیروی پیچشی مشابه در موتور احترامات با نسبت چرخ دنده  به کار رود. در اینجا، روابط  و  برای میزان چرخ دنده ثابت حفظ می شوند.

برای اجرای خودکار محور چرخ دنده در طول ارزیابی چرخه محرک، مدل جعبه چرخ دنده ذیل شامل یک حلقه کنترلی می شو که در توضیحات آورده شهاست. حلقه کنترلی طوری ساخته شده است که از نوسانات شدت زاویه و نیروی چرخشی موتورهای احتراقی داخلی جلوگیری می کند. نوسانات دامنه کابردی برای شدت با انتخاب میزان  برای هر تعداد چرخ دنده  جلوگیری می شود، در حالیکه نوسانات ویژگیهای نیروی پیچشی می تواند با محدود کردن انحراف  از انتقال در طول فرآیند محور جلوگیری کند. یک مثال در شکل 3 نشان داده شده است که نیروی پیچشی  که در نتیجه شتاب و کاهش سرعت موتور احتراق در محور چرخ دنده می باشند باید به صورت ذیل تعیین شوند.



به همین دلیل، تعادل نیروی پیچشی موتور در طول محور چرخ دنده در نظر گرفته شده است.



در اینجا، نیروی پیچشی  توسط موتور احتراقی ارائه شده است، در حالیکه  برای لحظه تراکن موتور اینرسی  در نظر گرفته شده است. محدودیت کمتری در (11) به نیروی پیچشی موتور پاسخ می دهد. برای نقاط عملیاتی در ذیل این خط در شکل 3 قرار دارد، ترمز گیری فعال وسیله نقلیه مورد نیاز است 

اگر ترکیب بالایی  ضروری باشد،میزان نوسان  باید براساس روش اجرایی ذیل محدود شود.

با در نظر گرفتن انحراف زمانی شدت زاویه ای موتور



و جایگزین کردن بامعادله 12، رابطه



بدست می آید. برای برآورده ساختن این تفاوت، نسبت چرخ دنده  در طول فرآیند تغییر دهی با قانون کنترل PI تعریف می شود.



با ، جاییکه  نسبت چرخ دنده ثابت مشابه با  است.نسبت چرخ دنده مورد نظر  با یک واحد با ترتیب دوم فیلتر می شود تا فرآیند تغییر همواری تضمین شود. سیگنال خروجی فیلتر شده مشابه با  نشان داده شده است. با این اطلاعات، نسبت چرخ دنده قابل قبول به صورت ذیل به دست می آید:



برای جلوگیری از اثرات پایانی انتگرال گیر،  در قانون کنترل گنجانده می شود.



دامنه قابل قبول

نقطه عملیاتی 2

نقطه عملیاتی 1

عملیات با قدرت ثابت

شکل 3: تعریف دامنه عملیاتی برای موتور احتراق در حالیکه تغییر چرخ دنده بین دو نقطه عملیاتی با درخواست قدرت مشخص وجود دارد.

توجه داشته باشید که تغییر چرخ دنده فقط به عنوان یک نقطه انتزاعی از زمان tk با میزان نمونه برداری ثابت  اجرا می شود.

بست به تعداد چرخ دنده موجود  استراتژی تغییر به صورت ذیل است:



در نهایت، دینامیک موتور احتراق توصیف می شود. به طور کلی از نقشه مصرف سوخت شبه ثابت تشکیل شده است که به نیروی پیچشی ثابت موتور  و شدت زاویه ای  در جریان تراکم سوخت  وابسته است.

برای واقعی ساختن این مدل، اجزا با زمان محدود نشان داده شده است که در حال پر کردن سیلندرها هستند و اجزاء با ترتیب اولیه تاخیر ایجاد شده توسط حجم محدود لوله ساکشن را پوشش می دهند که روابط بین نیروی پیچشی واقعی موتور  و حجم ثابت آن را  با توجه به تابع انتقالی نشان می دهد.



برای بدست آوردن یک تقریب حداقل، معکوس و متداول، جزء وقت تلف شده توسط ترتیب اول با گستردگی بیشتر با دو جز بار برای حفظ می شود. این منجر به تابع انتقالی می شود:





که برای ارزیابی مدل سیستمی معکوس استفاده می شود. مصرف کلی سوخت (متناظر با مدل مخزن سوخت) به راحتی با یکپارچگی جریان توده که از نقشه مصرف که در شکل 4 نشان داده شده است نتیجه گیری می شود با توجه به زمان به دست آید.

b. اجرای مدل سیستمی مستقیم

مدل سیستمی مستقیم به طور دقیق از اجزاء سیستمی مشابهی تشکیل شده است که در قسمت قبلی توضیح داده شد. همانطور که قبلا ذکر شد، مدلهای اجزاء جبری مانند آن مورد که دینامیک وسیله نقلیه را نشان می داد که به مجموعه از معادلات دیفرانسیل در طول تبدیل مدل تبدیل می شد. مدل وسیله نقله در حال حاضر توسط 2 ارائه شده است که پروفایل شدت به دست امده و مسافت به عنوان راحه حل در یک مشکل اولیه محاسبه می شوند. مدل جعبه چرخ دنده که قبلا توصیف شده بر حسب نمایش دینامیک در مدل معکوس بدون تغییر باقی می ماند.

در نهایت مدل موتور احتراق معکوس شده از ویژگیهای نیروی پیچشی که در شکل 4b نشان داده شده است استفاده می کند. در نقشه مصرف سوخت در شکل 4a، امکان پذیر است که استقلال شبه استاتیک را با تقریب چند فورمولی توصیف کنیم. به علاوه، تابع انتقالی  در حال حاضر به جای استفاده می شود تا نیروی پیچشی ورودی جعبه چرخ دنده را تعیین کند که به عمل نیروی پیچشی در وسیله نقلیه تبدیل شده بود. ویژگیهای موتور احتراق در شکل 4a و 4b از (3) گرفته شده است. آنها براساس قدرت و شدت که بعدا توضیح داده خواهد شد مقیاسی هستند.



شکل 4: ویژگیهای شبه استاتیک موتور داخلی احتراق

c. طراحی مفهومی تست نصب

برای اعتبار نتایج ارقامی که در بخش بعدی خلاصه می شود، یک تست نصب برای موتور احتراق با مقیاس کوچک در حال حاضر در دانشگاه راستاک در حال اجرا است. در این تست، یک موتور احتراق (شکل 5، چپ) به طور مستقیم به موتور ناهمزمان متصل می شود (شکل 5، راست)که در یک روش کنترل شده با نیروی پیچشی عمل می کند. در چنین روشی، نیروی پیچشی به دست آمده در موتور احتراق جعبه چرخ دنده که در شکل 1 مشخص است به عنوان نیوری پیچشی مقابل مشخص می شود که توسط موتور ناهمزمان به دست آمده است. مدلهای دینامیک برای وسایل نقلیه و جعبه چرخ دنده (شامل تغییر شکل چرخ دنده ) باید در زمان واقعی براساس نمایش سیستم که در بالا ارائه شد ارزیابی شوند. در چنین روشی، امکان پذیر است که از نظر تجربی اثرات جعبه چرخ دنده های مختلف که اسرتراتژی ها و چرخه محرک بر مصرف سوخت موتور احتراق داخلی عمل می کنند را مقایسه کنیم. به علاوه در وسیله نقلیه هیبریدی مجازی می تواند بر این تست نصب به راحتی اجرا شود. به این منظور، نیروی پیچشی به دست آمد در جعبه چرخ دنده به صورت آن لاین بعد از گنجاندن مدلهای شبیه سازی کاربردی در زمان واقعی برای یک واحد ژنراتور – موتور و همچنین وسایل ذخیره انرژی مانند باطری محاسبه می شود. یک مدل باطری کنترل محور می تواند در 10 یافت شود.



شکل 5:نصب آزمایشی موتور احتراق با مقیاس کوچک

iii. بهینه سازی چرخه محرک و استراتژی های عملکردی

در این بخش، دو طرح بهینه سازی مختلف مطرح می شود. اول، پارامترهای  و t2 چرخه محرک در 3 تعریف می شوند که با روش یک جهتی نلدر مید بهینه شده اند طوریکه مصرف سوخت کلی با تغییر چرخ دنده ثابت از  و  کاهش می یابد. دوم اینکه، ارزش  و  به طور همزمان با پارامترهای چرخه محرک بهینه شده اند. در هر دو مورد، محدودیت های متفاوتی به طور دقیق در نظر گرفته شده اند. موانع بر ارزشهای حداکثر قابل قبول شتاب و شدت، طول مسیر s(tf)، امنیت حداکثر در مرز بالایی  برای نیروی پیچشی موتور، حداقل مسافت  و  و همچنین جلوگیری از شتاب مثبت در طول فاز C برای واژگان اضافی در تابع هزینه که با مصرف سوخت متناظر است محاسبه می شود. نتایج بهینه در شکل 6 و 7 برای هر دو طرح خلاصه شده اند که مصرف سوخت برای طرح 1  و برای طرح 2  می باشد.

IV: طراحی روش اجرایی کنترل شدت

1. طراحی استراتژیهای کنترل عملکرد موتور براساس مشاهده گر

در این بخش، یک روش اجرایی پایه برای پیگیری پروفایل شدت مطلوب در کاربرد کنترل عملکرد موتور ارائه می شود. در اینجا لازم است که جریان توده سوخت را که در موتور احتراق ایجاد شده تنظیم کنیم، طوری که اختلاقات شناخته شده قبلی جبران شوند. این اختلالات به طور کلی از نیرویی که در 7 و 9 خلاصه شده اند به دست می آید، جاییکه کاربرد عملی تراکم وسیله نقلیه ، زاویه انحراف جاده ، ضریب برای مقاومت کششی و ضریب برای مقاومت چرخشی به طور دقیق شناخته شده است.



نسبت انتقال جعبه چرخ دنده

پروفایل شدت بهینه شده

نقطه عملیاتی بهینه شده

پروفایل شدت بهینه شده

شکل6: طرح بهینه سازی 1



نقاط عملیاتی بهینه شده

پروفایل شدت بهینه شده

جدول 7: طرح بهینه سازی 2

برای این دلایل، نیروی پیچشی اختلالی در موتور احتراق عمل می کند توسط مشاهده گر مناسب تخمین زده می شود. این تخمین در آگاهی نادرست به کار می رود که نیروی پیچشی و سرعت نقشه مصرف سوخت را در نظر می گیرد. این نقشه مصرف سوخت در شرایط عملیاتی شبه استاتیک ارائه شده است. انحراف بین مصرف سوخت شبه استاتیک موتور احتراق و منطقه عملیاتی دینامیک در طول طراحی کنترل نادیده گرفته شده است و در نهایت با دینامیک روش اجرایی تغییر چرخ دنده تخمین زده می شود تا سختی را افزایش دهد.

در این فرض، مدل سیستم بهسازی شده که پایه طراحی کنترل عملکرد موتور خودکار است به صورت ذیل ارائه شده است:



در (22)،  تمامی اختلالات که به طور مستقیم در وسیله نقلیه عمل می کند را نشان می دهد (مانند مقاومت هوا یا نیروی شیب پایین تپه) همچنین بهینه سازی مدل بر حسب متغیرهای یکپارچه

معادله 22 با رابطه ذیل برابر است.



اگر نسبت چرخ دنده بزرگ از صفر فرض شود که در پارامترهای سیستم ثابت فرض شده است.نیروی پیچشی اختلالی مشابه توسط نیروی پیچشی در محور موتور احتراق نشان داده شده است که توسط مشاهده گر تخمین زده می شود. به علاوه، نیروی پیچشی  که توسط موتور احتراق ارائه می شد به عنوان ورودی سیستم به کار برده می شود.

این می تواند توسط قانون بازخورد خطی محاسبه شود.



جاییکه  و  شدت زاویه ای واقعی و مورد نظر چرخ را به ترتیب نشان می دهد.

این ورودی کنترلی به سیگنال خواسته شده برای جریان تراکم سوخت براساس قسمت فرعی III-A منتقل می شود. اول، نیروی پیچشی موتور شب استاتیک  با ارزیابی تابع انتقالی که در شکل 21 ارائه شده است تعیین می شود. دوم اینکه، نقشه مصرف سوخت در شکل 4A ارائه شده است برای نیروی پیچشی  و سرعت دوار موتور احتراق برای نسبت چرخ دنده شبه سابت ارزیابی می شود که به صورت ذیل است



جریان تراکم سوخت متناظر ، یا  مساوی قرت آن به عنوان ورودی مدل سیستم مستقیم در شکل 1 استفاده می شود.

در (24)،  بازخورد قسمتی و همچنین  بازخورد یکپارچه بوسط قطب با  تعیین می شود که با نسبت چرخ دنده مستقل است. با این انتخاب، کنترل کننده به صورت ذیل ارائه می شود



هدف استفاده از یکپارچه سازی بازخورد شدت جبران خطای مدل ثابت است که به طور دقیق با مشاهده گر اختلالی تخمین زده نمی شود.

مشاهده گر اختلالی برای نیروی پیچشی  براساس معادله ذیل است



دومین معادله دیفرانسیل یک مدل اختلالی یکپارچه برای نیروی پیچشی است. این نیروی پیچشی و همچنین تخمین  ( که شدت  را در در 24 و 25 جایگزین می کند برای شدت وسیله نقلیه  تعیین می شود.

 به عنوان خروجی سیستم اندازه گیری شده با تخمین خروجی متناظر است.در اینجا، قطب برنامه ریزی شده با مقدار مشخصه  براساس ذیل است.





تخمین اختلال

خطای کنترلی 

جریان حجم سوخت

پروفایل شدت

شکل8: نتایج کنترل شدت براساس مشاهده گر

b. کنترل مدل داخلی غیر خطی

به عنوان یک جایگزین در کنترل شدت براساس مشاهده گر در مقطع IV-A ، یک ساختار IMCمی تواند به کار گرفته شود. در یک حلقه کنترلی، سرعت وسیله نقلیه با قانون کنترل سهمی ثابت می شود.



بنابراین پیگیری پروفایل شدت مطلوب را تضمین نمی کند. در اینجا کنترل کننده KP براساس ذیل انتخاب می شود



با مقدار مشخصه ثابت حلقه بسته.

قسمت کنترلی IMC نیروی پیچشی به صورت ذیل است.



جاییکه  با انتقال لاپلاس خطای کنترل  متناظر است، که با ثابت زمان T1MC عاملیت تابع انتقالی را تضمین می کند. واژه  از ارزیابی مدل برابر اصلاح شده برای پیچشی ورودی نتیجه گیری می شود که نیروی پیچشی اختلالی صفر است.

عملکرد پیگیری هر دو کنترل کننده در شکل 8 و 9 دیده می شود که  برای شبیه سازی اختلالات به کار برده می شود. در هر دو مورد، جریان توده سوخت توسط  تنظیم می شود تا تلاش ترمز گیری را کم کند که جریان متراکم به طور غیر ضروری بزرگ است.



خطای کنترلی

شدت مطلوب (خط چین) ، شدت واقعی

شکل 9: نتایج کنترل مدل داخلی غیر خطی

نتیجه گیری و چشم انداز مقالات آینده

در این مقاله، دیدگاه های بهینه سازی بسیاری برای بهینه سازی مصرف سوخت در قطارهای قدرتی براساس موتور احتراقی ارائه شده است. به طور ویژه ای برنامه ریزی آف لاین پروفایل های شدت بهینه برای وسایل نقلیه که براساس بارهای زمانی ثابت در یک کاهش مشخص از مصرف سوخت عمل می کنند اگر نقاط تغییری برای تغییر چرخ دنده منطبق شده است. در چنین روشی، امکان پذیر است که موتور احتراق در یک نقطه عمل کند که مصرف سوخت را کاهش دهد. به علاوه، مدلهای سیستم متناظر برای طراحی روش اجرایی کنترل عملکرد موتور استفاده شده اند که می تواند برای پیگیری پروفایل شدت از پیش تعیین شده به جای اختلال مانند نیروی شیب پایین تپه که از قبل شناخته شده است به کار گرفته شود.

برای به کار بردن نتایج کنترل بهینه در این مقاله، مقاله آینده انطباق آن لاین استراتژی های عملکردی وسایل نقلیه را بر اساس روش اجرایی کنترلی پیش بینی کننده عمل می کند. به علاوه، تحقیق آینده با هدف اجرای تمامی روش های اجرایی کنترلی و مشاهده گر بر تست قطعات در دانشگاه راداستاک براساس بخش II-C اجرا خواهد شد.