



مدل سازی، شبیه سازی و کنترل سیستم محرکه هیبرید هیدرولیک

نگارش:

فرید روحی

استاد راهنما: دکتر مهرداد نوری خاجوی تهرانی

استاد مشاور: مهندس علی اصفیا

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد
در مهندسی مکانیک گرایش سیستم های محرکه خودرو

دیماه ماه ۱۳۹۱

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

بسمه تعالی



مدیریت تحصیلات تکمیلی

تعهد نامه اصالت اثر

اینجانب **فرید روحی** متعهد می شوم که مطالب مندرج در این پایان نامه حاصل کار پژوهشی اینجانب است و دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این پژوهش از آن استفاده شده است، مطابق مقررات ارجاع و در فهرست منابع و ماخذ ذکر گردیده است. این پایان نامه قبلاً برای احراز هیچ مدرک هم سطح یا بالاتر ارائه نشده است. در صورت اثبات تخلف (در هر زمان) مدرک تحصیلی صادره شده توسط دانشگاه از اعتبار ساقط خواهد شد.

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به دانشگاه تربیت مدرس شهید رجایی می باشد.^۱

فرید روحی

امضاء



دانشکده مهندسی مکانیک

مدل سازی، شبیه سازی و کنترل سیستم محرکه هیبرید هیدرولیک

نگارش:

فرید روحی

استاد راهنما: دکتر مهرداد نوری خاجوی تهرانی

استاد مشاور: مهندس علی اصفیا

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد
در مهندسی مکانیک گرایش سیستم های محرکه خودرو

دیماه ماه ۱۳۹۱

تأییدیه هیأت داوران

تقدیم به:

پدر و مادر عزیزم، دریای بی کران فداکاری و عشق که وجودم برایشان همه رنج بود و

وجودشان برایم همه مهر

تقدیر و شکر

شکر و سپاس خدا را که بزرگترین امید و یاور در محطه محطه زندگیت.

دردتوین و تکمیل این پایان نامه از راهبانهایی بزرگانی سود برده ام که آشنایی با ایشان و بهره بردن از علم و منش و الیایشان را چون فرصت و غنیمتی گرانبار برای خود می دانم.

استاد بزرگوارم جناب آقای دکتر مهرداد نوری حاجوی که همواره مشتاق توثیق و یاد دگر می برایم بوده اند. دانش گسترده و راهبانهایی ارزنده ایشان سر آغاز اولین انگیزه یاد مطالعات و تحقیقات من بوده است. در اینجا از زحمات و الطاف بزرگوارانه ایشان کمال شکر و امتنان را دارم. از جناب آقای مهندس علی اصفیاء که با صبر و حوصله بسیار در کار این پایان نامه، مرایاری نمودند، بی نهایت سپاسگزارم از تمامی معلمان و اساتید و دوستان گرامیم که مراندیشیدن و دانستن آموختند سپاسگزاری کرده و برای بکلی به روزی و شادکامی از درگاه خداوند منان خواستارم.

چکیده:

این تحقیق به ارائه ابزار و چگونگی مدل‌سازی، شبیه‌سازی و کنترل سیستم محرکه هیبرید هیدرولیک می‌پردازد. سیستم محرکه هیبرید هیدرولیک تکنولوژی نوینی می‌باشد که جهت بهبود مصرف اقتصادی سوخت به ویژه در کامیون‌ها و خودروهای خدمات شهری به کار گرفته شده است. این تکنولوژی هم‌چنین دارای محدودیت‌های می‌باشد از جمله: ظرفیت ذخیره انرژی پایین و امکان‌پذیر نبودن استفاده از شبکه شارژ سیستم محرکه.

این تحقیق جهت بررسی میزان مصرف اقتصادی سوخت سیستم محرکه هیبرید هیدرولیک نوع موازی انجام شده که مدل این سیستم در محیط سیمولینک نرم‌افزار متلب تهیه گردیده است. برای استفاده بهینه از مزایای سیستم محرکه هیبرید هیدرولیک، توسعه استراتژی مدیریت انرژی سیستم بسیار حائز اهمیت است. در این تحقیق انواع استراتژی‌های مدیریت انرژی مورد بحث قرار گرفته است.

مسئله اصلی در زمینه کنترل سیستم‌های محرکه هیبرید هیدرولیک هماهنگ کردن هر دو منبع توان آکومولاتور و موتور احتراق داخلی می‌باشد به نحوی که بیشترین میزان مصرف اقتصادی سوخت حاصل گردد. برای این منظور از استراتژی مدیریت انرژی برنامه‌نویسی دینامیکی بهره برده‌ایم.

مدل تهیه شده در محیط سیمولینک نرم‌افزار متلب شامل اجزای سیستم از جمله موتور احتراق داخلی، پمپ/موتور هیدرولیکی و آکومولاتور می‌باشد. این مدل بر سیکل رانندگی شهری فدرال (FUDS) آزمایش شده و نتایج آن ارائه گردیده است.

واژه‌های کلیدی: سیستم محرکه هیبرید هیدرولیک، استراتژی مدیریت انرژی، مصرف اقتصادی سوخت، موتور احتراق داخلی، آکومولاتور.

فهرست

صفحه

عنوان

فصل اول: مقدمه

- ۱-۱- خودرو هیبرید-----۲
- ۲-۱- خودرو هیبرید هیدرولیک-----۲
- ۳-۱- بیان مسأله و اهداف تحقیق-----۳
- ۴-۱- روند تحقیق-----۴

فصل دوم: زمینه تحقیق و مروری بر ادبیات موضوع

- ۱-۲- خودرو هیبرید-----۶
- ۲-۲- خودرو هیبرید هیدرولیک-----۷
- ۳-۲- پیکربندی‌های خودرو هیبرید هیدرولیک-----۹
- ۱-۳-۲- سیستم محرکه هیبرید هیدرولیک موازی-----۹
- ۲-۳-۲- سیستم محرکه هیبرید هیدرولیک سری-----۱۰
- ۳-۳-۲- سیستم محرکه هیبرید هیدرولیک سری-موازی-----۱۲
- ۴-۲- مروری بر مدل‌های سیستم محرکه هیبرید هیدرولیک-----۱۳

فصل سوم: سیستم محرکه هیبرید هیدرولیک موازی و اجزای آن

- ۱-۳- ساختار کلی سیستم-----۱۷
- ۲-۳- اجزای مکانیکی سیستم محرکه هیبرید-----۱۸
- ۱-۲-۳- موتور احتراق داخلی-----۱۸
- ۲-۲-۳- کلاچ-----۱۹
- ۳-۲-۳- گیربکس-----۲۰
- ۴-۲-۳- دیفرانسیل-----۲۱
- ۵-۲-۳- ترمزها-----۲۲
- ۳-۳- اجزای هیدرولیکی-----۲۳

فهرست

صفحه	عنوان
۲۴	۱-۳-۳- پمپ/موتور جابجای متغییر
۲۶	۲-۳-۳- شیر هیدرولیکی دو راهه ۲/۲
۲۷	۳-۳-۳- آکومولاتور
۲۷	۴-۳- سنسورها

فصل چهارم: استراتژی مدیریت توان سیستم هیبرید هیدرولیک

۳۲	۱-۴- استراتژی مدیریت توان قاعده‌مند
۳۳	۱-۱-۴- مد کنترلی تقسیم توان
۳۴	۲-۱-۴- مد کنترلی شارژ آکومولاتور
۳۴	۳-۱-۴- مد کنترلی ترمزگیری
۳۶	۲-۴- استراتژی مدیریت توان برنامه‌نویسی دینامیکی

فصل پنجم: مدل‌سازی سیستم محرکه هیبرید هیدرولیک

۴۳	۱-۵- مشخصات کلی سیستم
۴۵	۲-۵- مدل‌سازی اجزای اصلی سیستم
۴۵	۱-۲-۵- مدل دینامیک خودر
۴۸	۲-۲-۵- مدل موتور احتراقی
۵۵	۳-۲-۵- مدل پمپ/موتور هیدرولیکی
۵۷	۴-۲-۵- مدل آکومولاتور
۵۹	۳-۵- مدیریت توان در مدل سیستم محرکه هیبرید هیدرولیک
۶۰	۱-۳-۵- مد تحویل توان به چرخ‌های محرک
۶۱	۲-۳-۵- مد بازیافت توان

فهرست

صفحه

عنوان

فصل ششم: نتایج شبیه‌سازی

۶۳-----۱-۶- سیکل رانندگی

۶۴-----۲-۶- نتایج شبیه‌سازی مدل کامیون معمولی

۶۷-----۳-۶- نتایج شبیه‌سازی کامیون هیبرید هیدرولیک

۷۴-----پیوست‌ها

۸۳-----منابع

فهرست جدول‌ها

۴۰-----جدول ۴-۱ مقایسه تأثیر استراتژی مدیریت توان بر مصرف اقتصادی سوخت

فهرست شکل‌ها

۳-----شکل ۱-۱- مقایسه نسبت وزن به توان موتورهای هیدرولیکی و الکتریکی

۷-----شکل ۱-۲- چهار نمونه خودرو هیبرید

۸-----شکل ۲-۲- درصد بازیافت انرژی یک کامیون در سیکل شهری- مرکز مطالعات خودرو دانشگاه میشیگان

۱۰-----شکل ۳-۲- شماتیک سیستم محرکه هیبرید هیدرولیک موازی

۱۱-----شکل ۴-۲- شماتیک پیکربندی سری

۱۲-----شکل ۵-۲- شماتیک پیکربندی سری-موازی سیستم محرکه هیبرید هیدرولیک

۱۳-----شکل ۶-۲- محدوده عملکرد بهینه موتور احتراقی

۱۴-----شکل ۷-۲- مقایسه نتایج شبیه‌سازی و تجربی برای مدل سیستم محرکه چو و هدریک

فهرست

عنوان	صفحه
شکل ۳-۱- شماتیک سیستم محرکه هیبرید هیدرولیک موازی	۱۸
شکل ۳-۲- دو نمونه موتور احتراقی	۱۹
شکل ۳-۳- شماتیک کلاچ مکانیکی در دو حالت آزاد و درگیر	۲۰
شکل ۳-۴- یک نمونه دیفرانسیل	۲۱
شکل ۳-۵- عملکرد دیفرانسیل در سرپیچ	۲۲
شکل ۳-۶- سیستم ترمز و اجزای آن	۲۲
شکل ۳-۷- مدل سیمولینک مدار هیدرولیکی یک نمونه سیستم هیبرید هیدرولیک	۲۴
شکل ۳-۸- مقطع طولی پمپ جابجای متغییر پیستونی	۲۵
شکل ۳-۹- عملکرد پمپ در حالت‌های مختلف	۲۶
شکل ۳-۱۰- شیر هیدرولیکی ۲/۲	۲۶
شکل ۳-۱۱- یک نمونه آکومولاتور	۲۷
شکل ۴-۱- شماتیک نحوه تعامل اجزای سیستم محرکه هیبرید	۳۰
شکل ۴-۲- الگوریتم کنترلی خودرو هیبرید هیدرولیک موازی	۳۲
شکل ۴-۳- نقشه توان ترمزی موتور دیزل با خطوط توان ثابت	۳۳
شکل ۴-۴- تقسیم توان در طی فرآیند شتاب‌گیری و توقف کامیون با استراتژی کنترلی قاعده‌مند	۳۵
شکل ۴-۵- نتایج برنامه‌نویسی دینامیکی در طی سیکل <i>FUDS</i>	۴۰
شکل ۵-۱- شماتیک کامیون هیبرید هیدرولیک	۴۴
شکل ۵-۲- نیروهای اعمالی بر خودرو	۴۶
شکل ۵-۳- گشتاورهای وارد بر خودرو	۴۶
شکل ۵-۴- دیاگرام محاسبه بارهای جاده‌ای در نرم‌افزار سیمولینک متلب	۴۷
شکل ۵-۵- محاسبه وزن خودرو و وزن معادل قطعات گردنده در سیمولینک	۴۸
شکل ۵-۶- سیمولینک موتور دیزل مدل زوران فیلیپی و دنیس آسانیس	۴۹
شکل ۵-۷- سیکل دیزل موتور احتراقی	۵۱
شکل ۵-۸- نمودارهای گشتاور و توان برحسب سرعت برای موتور احتراقی	۵۴

فهرست

عنوان	صفحه
شکل ۵-۹ - پمپ/موتور هیدرولیکی جابجای متغییر	۵۷
شکل ۵-۱۰ - چند نمونه آکومولاتور	۵۸
شکل ۵-۱۱ - تعامل پمپ/موتور هیدرولیکی و آکومولاتورها	۵۹
شکل ۶-۱ - سیکل رانندگی شهری فدرال	۶۴
شکل ۶-۲ - مصرف اقتصادی سوخت متوسط در سیکل رانندگی شهری فدرال	۶۵
شکل ۶-۳ - گشتاور موتور احتراقی در زمان طی سیکل رانندگی	۶۶
شکل ۶-۴ - منحنی توان سیستم محرکه کامیون معمولی	۶۶
شکل ۶-۵ - منحنی توان سیستم محرکه کامیون معمولی در بازه زمانی ۴۰۰ تا ۶۰۰ ثانیه	۶۷
شکل ۶-۶ - مصرف اقتصادی سوخت متوسط کامیون هیبرید هیدرولیک موازی	۶۸
شکل ۶-۷ - گشتاور تولیدی موتور احتراقی کامیون هیبرید هیدرولیک	۶۹
شکل ۶-۸ - منحنی توان کامیون هیبرید هیدرولیک	۷۰
شکل ۶-۹ - منحنی توان کامیون هیبرید هیدرولیک در بازه زمانی ۴۰۰ تا ۶۰۰ ثانیه	۷۰

فصل اول

مقدمه و طرح تحقیق

۱-۱- خودرو هیبرید

اصطلاح هیبرید در مورد خودروهای به کار می رود که در آنها از دو یا بیشتر از دو منبع توان مجزا برای تأمین توان جلوگیری استفاده می گردد. خودروهای متداول به یک موتور احتراق داخلی مجهز می باشند که از سوخت های فسیلی برای تولید توان استفاده می کند. توان تولید شده از طریق سیستم انتقال قدرت مکانیکی به چرخ ها انتقال می یابد. حال اگر علاوه بر موتور احتراق داخلی منبع توان دیگری در خودرو مورد استفاده واقع گردد اصطلاح هیبرید برای آن به کار می رود. منبع توان ثانویه می تواند به صورت های مختلفی باشد از جمله: الکتریکی، شیمیایی، هیدرولیکی و هر روش دیگر ذخیره و تولید توان.

دلایل مختلفی برای هیبریدسازی وجود دارد که مهمترین آنها عبارتند از: کاهش آلاینده های محیط زیست و صرفه جویی در مصرف سوخت های فسیلی. آلاینده های بالای خودروهای متداول در شهرهای بزرگ صنعتی نیاز به منابع توان جایگزین را ایجاد می کند. قیمت بنزین و گازوئیل به عنوان اصلی ترین سوخت های مورد استفاده در خودروها به دلیل نوسانات قیمت نفت خام همواره در حال افزایش بوده است. به منظور صرفه جویی در مصرف سوخت و کاهش تقاضا برای سوخت های فسیلی از هیبریدسازی خودروها به عنوان راه حلی عاجل استفاده می شود.

۱-۲- خودرو هیبرید هیدرولیک^۲

خودروهای هیبرید علاوه بر موتور احتراق داخلی به عنوان منبع اصلی توان، از سیستم ویژه ای برای بازیافت انرژی جنبشی خودرو در زمان ترمزگیری و ذخیره آن جهت استفاده مجدد بهره می برند. خودرو

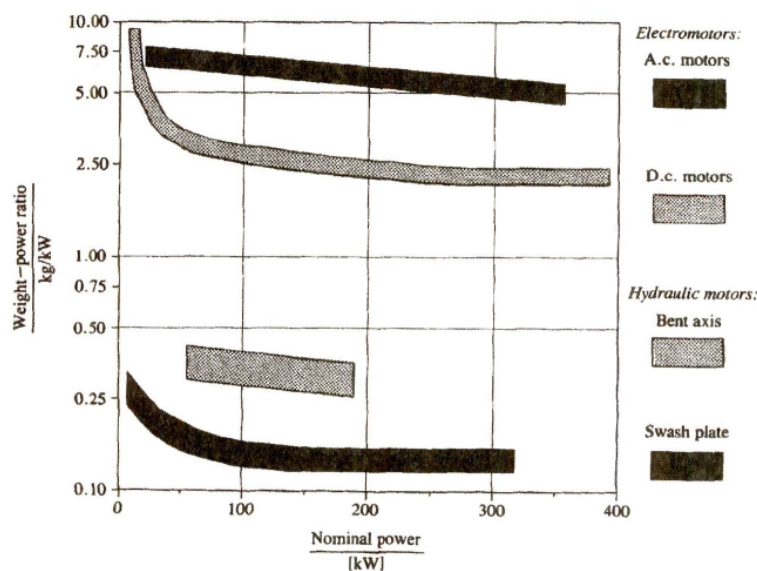
^۲ -Hybrid Hydraulic Vehicle

هیبرید هیدرولیک به سیستمی مجهز است که انرژی جنبشی خودرو را در زمان ترمزگیری به صورت توان هیدرولیکی در آکومولاتور ذخیره می کند. خودرو هیبرید هیدرولیک از خودرو هیبرید برقی متفاوت خواهد بود. خودرو هیبرید هیدرولیک انرژی را در آکومولاتورها ذخیره می کند و واحد محرک آن پمپ/موتور هیدرولیکی می باشد. خودرو هیبرید برقی انرژی را در مجموعه باتری ها ذخیره می کند و واحد محرک آن موتور/ژنراتور الکتریکی خواهد بود.

امروزه اکثر خودروهای هیبرید موجود اعم از سواری ها و کامیون های سبک از نوع هیبرید برقی هستند. از آنجا که بیش از ۹۰ درصد تلاش ها در جهت تجاری سازی خودروهای هیبرید بر نوع برقی متمرکز بوده است، خودروهای هیبرید هیدرولیک چندان مورد توجه قرار نگرفته اند. از کل بودجه ای که صرف تحقیق در زمینه خودروهای هیبرید و توسعه آنها می شود، درصد کمی به خودروهای هیبرید هیدرولیک اختصاص یافته است. لذا تحقیق در این زمینه هنوز در ابتدای راه می باشد. آژانس حفاظت از محیط زیست ایالات متحده آمریکا از جمله پیش گامان در عرصه تحقیق و توسعه خودروهای هیبرید هیدرولیک می باشد [۱].

۱-۳- بیان مسأله و اهداف تحقیق

انگیزه اصلی تحقیق فراهم کردن وسیله ای برای مطالعه رفتار سیستم محرکه هیبرید هیدرولیک و مقایسه آن با سیستم محرکه خودروهای سنتی می باشد. دلیل انتخاب سیستم هیبرید هیدرولیک برتری منحصر به فرد آن نسبت به هیبرید برقی در بحث ذخیره و توزیع توان است. مزیت اصلی سیستم محرکه هیبرید هیدرولیک نسبت بالای توان به وزن (kW/kg) موتورهای هیدرولیکی به کار رفته در آن است. همان طور که از شکل ۱-۱ پیداست، نسبت توان به وزن موتورهای هیدرولیکی حدود ده برابر الکتروموتورها می باشد. این مزیت سیستم را برای کامیون ها که وزن بالای دارند بسیار مناسب می سازد.



شکل ۱-۱: مقایسه نسبت وزن به توان موتورهای هیدرولیکی و الکتریکی [۲]

مزیت دیگر سیستم هیبرید هیدرولیک به سرعت بالای شارژ و تخلیه آکومولاتورها مربوط می باشد. این مزیت سیستم را برای کاربرد در خودروهای که در سیکل شهری کار می کنند بسیار جذاب می کند [۲].

سیستم هیبرید هیدرولیک به راحتی می تواند انرژی جنبشی خودرو را در زمان ترمزگیری جذب و در آکومولاتور ذخیره کند. با توجه به اینکه بازده اجزای سیستم بالا می باشد، بازده عملکرد سیستم می تواند بیشتر از ۷۰ درصد باشد [۱ و ۳].

از جمله معایب اصلی سیستم می توان به نویز بالا، نشتی روغن هیدرولیک و ظرفیت ذخیره پایین انرژی اشاره کرد. انتظار می رود در آینده نزدیک این معایب تا اندازه زیادی برطرف شوند و توان هیدرولیکی به انرژی قابل اعتمادتری تبدیل گردد. در حال حاضر تحقیقات فراوانی در زمینه اجزای سیستم هیدرولیکی در جریان است و سیستم محرکه هیبرید هیدرولیکی در کامیون های شهری به کار گرفته شده اند [۴].

اهداف اصلی این تحقیق عبارتند از: ۱- بررسی سیستم محرکه هیبرید هیدرولیک و تشریح ساختار و اجزای آن (نوع موازی). ۲- تهیه مدل سیستم محرکه سنتی و سیستم محرکه هیبرید هیدرولیک در محیط متلب/سیمولینک. ۳- بررسی نحوه کنترل و استراتژی مدیریت انرژی سیستم (EMS). ۴- بررسی رفتار سیستم محرکه هیبرید هیدرولیک و مقایسه آن با سیستم محرکه سنتی.

۱-۴- روند تحقیق

این تحقیق در پنج فصل تهیه گردیده است. فصل دوم به ارزیابی زمینه تحقیق می‌پردازد. مختصری از انواع مدل‌های ارزیابی شده در زمینه خودروهای هیبرید تهیه شده است. همچنین پیکربندی‌های سیستم محرکه هیبرید هیدرولیک مورد بحث واقع می‌شود.

فصل سوم به تشریح مفصل سیستم محرکه هیبرید هیدرولیک موازی و بررسی اجزای آن می‌پردازد.

فصل چهارم به مدل‌سازی سیستم و اجزای آن اختصاص یافته است.

فصل پنجم به بررسی انواع استراتژی‌های مدیریت انرژی سیستم محرکه هیبرید و کنترل آن می‌پردازد.

در فصل ششم نتایج مدل‌سازی و مقایسه رفتار سیستم محرکه هیبرید هیدرولیک و سیستم محرکه سنتی ارزیابی گردیده است.

فصل دوم

زینہ تحقیق و مروری بر ادبیات

موضوع

در این فصل به معرفی خودرو هیبرید هیدرولیک و پیکربندی‌های آن می‌پردازیم. همچنین مروری خواهیم داشت بر تحقیقات صورت گرفته در زمینه مدل‌سازی سیستم‌های محرکه با تمرکز بر سیستم محرکه هیبرید هیدرولیک.

۲-۱- خودرو هیبرید

تکنولوژی هیبرید ایده جدیدی نیست، بلکه قدمتی به اندازه‌ی تاریخ ساخت خودرو توسط بشر دارد. اولین هیبریدهای ساخته شده بنزینی- برقی بودند. در اوایل هدف از هیبریدسازی خودرو نه کاهش آلایندگی و مصرف سوخت بلکه کمک به موتور احتراق داخلی و افزایش سرعت خودرو بود. در سال‌های اخیر به دلایلی از جمله افزایش قیمت فرآورده‌های نفتی، کاهش منابع نفت خام و افزایش آلودگی هوا هیبریدسازی بار دیگر در کانون توجه خودروسازان به عنوان یک راه‌حل فوری قرار گرفته است [۵و۶]. در خودروهای هیبرید حجم موتور کاهش یافته و انرژی جنبشی خودرو در زمان ترمزگیری جهت استفاده مجدد بازیافت می‌شود. همچنین موتور احتراقی خودروهای هیبرید در زمان‌های که مورد نیاز نیست خاموش می‌گردد.

برخی از رخدادهای مهم در رابطه با خودروهای هیبرید به صورت زیر می‌باشد:

- ۱- در سال ۱۹۶۶ کنگره آمریکا به منظور جلوگیری از آلودگی هوا اولین بودجه را به توسعه و تولید خودروهای الکتریکی اختصاص داد [۵].
- ۲- بحران‌های نفتی سال ۱۹۷۳ (جنگ اعراب و اسرائیل) و سال ۱۹۷۹ (انقلاب ایران)، ضرورت تحقیق در زمینه خودروهای هیبرید و توسعه آنها را افزایش داد و شرکت‌های بیشتری به فعالیت در این زمینه روی آوردند [۵].