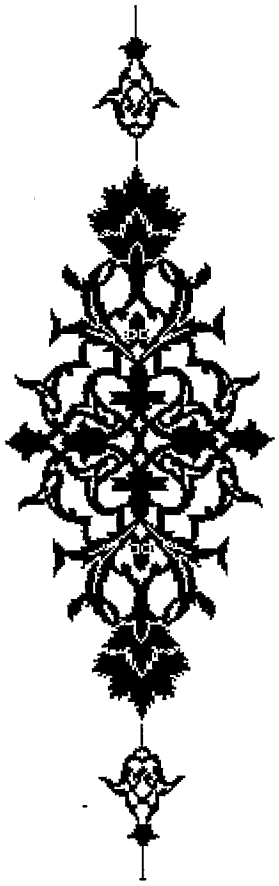
بنام خداوند جان آفرین حکیم سخن در زبان آفرین



۴۲۹۹۲

۱۳۸۱ /۱۰/ ۲۵

مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران

دانشگاه علم و صنعت ایران

دانشکده مهندسی مکانیک

مدل‌سازی عملکرد خودروهای هیبرید الکتریکی

بهمن بیرانوند

پایان‌نامه کارشناسی ارشد

در رشتهٔ

مهندسی مکانیک - طراحی کاربردی

استاد راهنما: دکتر مرتضی منتظری

۴۲۹۹۲

بهمن ماه ۱۳۸۰

تقدیم به:

پیشگاه پدر و مادر بزرگوارم

معلمان تلاش و مهربانی

که بدون آنها پیمودن ره زندگی بسی سخت و دشوار است.

سپاس فراوان نثار سیمای صادقشان باد.

مدل‌سازی عملکرد خودروهای هیبرید الکتریکی

از اهداف بسیار مهم در مهندسی خودرو، بهبود مصرف سوخت و کاهش آلاینده ها می باشند. خودروهای هیبرید به عنوان راه حلی برای رسیدن به این اهداف مطرح شده اند. در یک زنجیره قدرت هیبرید دو نوع محرکه احتراقی و الکتریکی به منظور بدست آوردن نتایجی که با یک زنجیره قدرت تک محرکه بدست نمی آید،با هم ترکیب می شوند. از آنجائیکه تجربه عملی کار با این سیستم‌ها کم است و سخت‌افزارهای آنها نیز گرانقیمت می‌باشند ، استفاده از مدل‌سازی ریاضی و تکنیک‌های شبیه‌سازی به منظور بررسی طرح‌های اولیه بسیار مناسب می‌باشد. توسعهٔ خودروهای هیبرید الکتریکی مستلزم تصمیم‌گیری در مورد انتخاب بهترین ساختار و بهترین ترکیب اجزاء می‌باشد. با استفاده از آنالیز سیستم بکمک ابزارهای موثر مدل‌سازی کامپیوتری می‌توان به مطالعات مصالحه بین انتخاب‌های مختلف سیستم پرداخت. مدل‌های کامپیوتری تصمیم‌گیری در مورد مشخصات انتخاب‌های مختلف را تسهیل بخشیده و به تدوین اهداف مهندسی برای ساخت و تست اتومبیل‌های نمونه کمک می‌کنند.

مشخصات موردنیاز در طراحی خودروهای هیبرید را می توان در دو دسته جای داد. دسته اول مشخصات خودرو براساس مسایل زیست محیطی تعیین شده که مهمترین آنها آلاینده های خودرو می باشد. طراحی استراتژی کنترلی نقش اصلی را در تولید میزان آلاینده ها ایفا می کند. وظیفه سیستم کنترلی تطبیق زنجیره قدرت با شرایط رانش است. به بیان دیگر استراتژی کنترلی در هرلحظه، براساس تقاضای بارجاده، نقاط کاری موتوراحتراقی والکتریکی را تعیین می کند.

دسته دوم مشخصات موردتقاضای مصرف کننده هستند. این مشخصات شامل عملکردشتابگیری، ماگزیمم سرعت شیب پیمائی و مصرف اقتصادی سوخت خودرو می باشند. رسیدن به مشخصات عملکردی مطلوب و مصرف سوخت اساساً در گرو اندازه بندی (SIZING) بهینه اجزاء خودرو می باشد. برای نمونه اجزاء یک خودروی هیبرید موازی شامل موتورالکتریکی ،موتوراحتراقی، باتری و سیستم انتقال قدرت می باشد که در واقع سخت افزار خودروی هیبرید را تشکیل می دهند.

در این پروژه مدل‌سازی ساختارهای مختلف هیبریدی، به منظورمطالعه و تحلیل عملکرد دینامیکی، مصرف سوخت و آلاینده‌های این خودروها انجام شده است. روش انتخاب شده برای مدل‌سازی روش روبه‌عقب است.

اما بااین حال در این پروژه سعی شده است تا علاوه بر مبحث مهم مدل‌سازی جهت شروع مطالعات طراحی، در حد امکان، به این مباحث نیز پرداخته شود.

نتایج بدست آمده در بخش مدل‌سازی شامل مدل موتوراحتراقی، اجزاء برقی(شامل موتورالکتریکی/کنترلر، ژنراتور/کنترلر و باتری) ، سیستم‌های انتقال قدرت(شامل جمع‌کننده گشتاور، کلاچ، جعبه‌دنده دستی، جعبه‌دنده خودکار، جعبه‌دنده متغیرپیوسته و دیفرانسیل) ، سیکل رانندگی، دینامیک طولی خودرو، چرخ و اکسل و ترمزگیری می‌باشند. ازجمله نتایج مهم این قسمت، با توجه به اهمیت منحنی‌های مشخصه در مدل‌سازی موتوراحتراقی، تهیه منحنی‌های مشخصه با استفاده از روشUnified است. در بخش شبیه‌سازی با مقایسه سه خودروی هیبریدسری، هیبرید موازی و معمولی، از طریق شبیه‌سازی کامپیوتری، میزان پتانسیل خودروهای هیبرید برای کاهش مقدار مصرف سوخت و آلاینده‌ها بررسی شده است. در بخش اندازه‌بندی دو روش اندازه‌بندی با محاسبات دستی و اندازه‌بندی با روش بهینه‌سازی عددی باهم مقایسه شده‌اند. نتایج هر دو روش طراحی نشان می دهد که ساختار بدست آمده با روش بهینه سازی عددی می تواند مصرف سوخت کمتری را نتیجه دهد. البته نتایج حاصله حاکی از حساسیت روش و نتایج اندازه بندی به سیکل رانندگی می باشد. نتایج بدست آمده ،برای یک خودوری سواری، نشان دهنده ۱۱٪ کاهش مصرف سوخت با استفاده از روش بهینه سازی در مقایسه با روش مرسوم می باشد. البته روش بهینه سازی ارائه شده نسبت به سیکل رانندگی حساس می باشد. در بخش استراتژی کنترلی سه استراتژی تقویت الکتریکی، موازنه بار- سطح شارژ و تطبیقی، برای یک خودروی هیبرید موازی، با هم مقایسه شده‌اند. نتایج بدست آمده نشان می دهد که مصرف سوخت و آلاینده های HC,CO استراتژی تقویت الکتریکی از دو استراتژی دیگر بهتر است لکن آلاینده NOx در استراتژی تطبیقی از دو استراتژی دیگر خیلی کمتر است .

تقدیر و تشکر :

در اینجا بر خود لازم می‌دانم از زحمات آقای دکتر منتظری در جهت انجام این پروژه کمال تقدیر و تشکر را بعمل بیاورم.

۱مقدمه ۱

۱-۱ خودروهای برقی ۲

۱-۲ خودروهای الکتریکی پیل سوختی ۴

۱-۳ خودروهای هیبرید الکتریکی ۵

۱-۴ ویژگیها و مزایای خودروهای هیبرید ۷

۱-۴-۱ صرفه‌جوئی در مصرف سوخت ۷

۱-۴-۲ کاهش آلاینده‌های خودرو ۸

۱-۴-۳ افزایش مسافت رانشی در سیکل کارکرد شهری در مقایسه با اتوبان ۸

۱-۴-۴ حذف استارتر و کاهش نویز ناشی از آن ۸

۱-۴-۵ کاهش تلفات ۹

۱-۵ انواع خودروهای هیبرید ۱۱

۱-۵-۱ خودروهای هیبرید سری ۱۱

۱-۵-۲ خودروهای هیبرید موازی ۱۵

۱-۵-۳ خودروهای الکتریکی هیبرید سری/ موازی (ترکیبی) ۱۸

۱-۶ مقایسه سیستم‌های مختلف ۲۰

۱-۷ مطالعات طراحی خودروهای هیبرید الکتریکی واهداف این پروژه ۲۱

۲ مدل‌سازی اجزاء- قسمت اول ۲۳

۲-۱نرم‌افزارهای موجود برای شبیه‌سازی عملکرد خودرو ۲۴

۲-۲ روش‌های مدل‌سازی خودرو ۲۶

۲-۲-۱ مدل‌سازی روبه عقب ۲۷

۲-۲-۲ مدل‌سازی روبه جلو ۲۸

۲-۲-۳ روش شبیه‌سازی روبه‌عقب/ روبه‌جلو *ADVISOR* ۲۹

۲-۲-۳-۱ مسیر روبه‌عقب محاسبات ۳۲

۲-۲-۳-۲ مسیرمحاسبات روبه‌جلو ۳۸

۳مدل‌سازی اجزاء – قسمت دوم ۳۹

۳-۱ موتور احتراق داخلی ۴۰

۳-۱-۱ تعیین نقاط کاری موتور احتراق داخلی در ساختارهای مختلف ۴۱

۳-۱-۱-۱ تعیین نقطه کاری موتور احتراق داخلی خودروی هیبرید سری ۴۱

۳-۱-۱-۲ تعیین نقطه کاری موتور احتراق داخلی خودروی هیبرید موازی ۴۵

۳-۱-۱-۳ تعیین نقطه کاری موتور احتراقی خودروی معمولی ۴۸

۳-۱-۲ مدل حرارتی موتور احتراق داخلی ۴۸

۳-۱-۲-۱ سیلندر ۴۹

۳-۱-۲-۲ بلوک داخلی موتور ۵۱

۳-۱-۲-۳ متعلقات خارجی موتور ۵۳

۳-۱-۲-۴ کاپوت ۵۴

۳-۱-۲-۵ معادلات دما ۵۴

۳-۱-۲-۶ فاکتورهای تصحیح برای حالت سرد موتور ۵۵

۳-۱-۳ روشهای بکارگیری منحنیهای مشخصه برنامه شبیه سازی ۵۹

۳-۱-۳-۱ روش اول : اصلاح منحنیهای مشخصه ۵۹

۳-۱-۳-۱-۱ مقیاس گذاری منحنیهای مشخصه برای موتورهای با حجم جابجائی مختلف ۵۹

۳-۱-۳-۱-۲ مقیاس گذاری اجزاء در *ADVISOR* ۶۰

۳-۱-۳-۲ ایجاد منحنیهای مشخصه با استفاده از مشخصات موتور ۶۱

۳-۱-۳-۲-۱ روش مدل سازی *UNIFIED* ۶۳
۳-۱-۳-۲-۲ مدل مقیاس پذیر موتور احتراق داخلی ۶۴
۳-۲مدل‌سازی اجزاء برقی ۶۷
۳-۲-۱موتورالکتریکی/ کنترلر ۶۷
۳-۲-۱-۱اصول مدل‌سازی موتور الکتریکی/ کنترلر ۶۷
۳-۲-۱-۲مدل حرارتی موتورالکتریکی ۷۰
۳-۲-۲ژنراتور/ کنترلر ۷۱
۳-۲-۳باتری ۷۴
۳-۲-۳-۱معرفی باتری‌ها ۷۴
۳-۲-۳-۲مشخصات باتری‌ها ۷۵
۳-۲-۳-۳انواع باتریها ۷۷
۳-۲-۳-۴روش‌های مدل‌سازی باتری ۷۹
۳-۲-۳-۴-۱مدل مدار معادل ۷۹
۳-۲-۳-۴-۲الگوریتم محاسبه سطح شارژ ۸۳
۳-۲-۳-۴-۳مدل حرارتی باتری ۸۵
۳-۳سیستم های‌انتقال قدرت ۸۹
۳-۳-۱جمع‌کننده گشتاور ۸۹
۳-۳-۲کلاچ ۹۱
۳-۳-۳جعبه دنده ۹۴
۳-۳-۳-۱جعبه دنده دستی ۹۴
۳-۳-۳-۲جعبه‌دنده خودکار ۹۸

۳-۳-۳-۳جعبه‌دنده‌متغیرپیوسته ۱۰۱
۳-۳-۴دیفرانسیل ۱۰۵
۳-۴ سیکل رانندگی ، دینامیک طولی خودرو ، چرخ اکسل و ترمزگیری ۱۰۸
۳-۴-۱ سیکل رانندگی ۱۰۸
۳-۴-۲خودرو ۱۰۹
۳-۴-۳چرخ و اکسل ۱۱۰
۳-۴-۳-۱کلیات مدل‌سازی ۱۱۰
۳-۴-۳-۲مدل‌سازی لغزش تایر ۱۱۱
۳-۴-۳-۳مدل‌سازی روبه‌عقب ۱۱۳
۳-۴-۳-۴مدل‌سازی روبه‌جلو ۱۱۳
۳-۴-۴ترمزگیری در خودرو ۱۱۴
۳-۴-۴-۱کلیات و تشریح فرآیند مدل‌سازی ۱۱۴
۳-۴-۴-۲ترمزگیری بازگشتی ۱۱۴
۴شبیه‌سازی ۱۲۰
۴-۱مقدمه ۱۲۰
۴-۲خودروهای مورد مقایسه ۱۲۰
۴-۲-۱مشخصات خودروها ۱۲۰
۴-۲-۲مقیاس‌گذاری(بدنه،چرخ،اجزاء ۱۲۲
۴-۲-۳استراتژی کنترلی خودروی هیبرید سری ۱۲۴
۴-۲-۴استراتژی کنترلی خودروی هیبرید موازی ۱۲۵
۴-۳ارزیابی خودروها ۱۲۶

۴-۳-۱محاسبات مصرف سوخت و آلاینده‌ها ۱۲۶
۴-۳-۱-۱روش تصحیح خطی سطح شارژ ۱۲۶
۴-۳-۱-۲روش تصحیح دلتا سطح شارژ برابر صفر ۱۲۷
۴-۴میزان مصرف سوخت و آلاینده‌ها برای سیکل‌های مختلف ۱۲۸
۴-۵تاثیر پارامتر دراگ خودرو و راندمان اجزاء ۱۳۳
۴-۶تاثیر قدرت ویژه اجزاء ۱۳۶
۴-۷تاثیر سیستم انتقال قدرت ۱۳۷
۴-۸تاثیر نوع موتور احتراقی ۱۴۵
۴-۹تاثیر استراتژی کنترلی ۱۴۶
۴-۹-۱خودروی هیبرید موازی ۱۴۶
۴-۹-۲خودروی هیبرید سری ۱۴۶
۵اندازه‌بندی اجزاء ۱۴۸
۵-۱مقدمه ۱۴۸
۵-۲قیدهای عملکردی ۱۴۹
۵-۳روش مرسوم اندازه بندی اجزای خودروی هیبرید موازی ۱۴۹
۵-۳-۱اندازه موتور احتراقی ۱۵۰
۵-۳-۲اندازه موتور الکتریکی ۱۵۱
۵-۳-۳ظرفیت باتری ۱۵۲
۵-۴روش بهینه سازی عددی برای اندازه بندی اجزاء خودرو ۱۵۳
۵-۵روش‌های بهینه‌سازی ۱۵۴
۵-۵-۱روش‌های بهینه‌سازی مبتنی بر گرادیان ۱۵۵

۵-۵-۲روش‌های غیرمبتنی برمشتق ۱۵۵
۵-۵-۳روش مدل جایگزین یا ابرمدل ۱۵۶
۵-۶روش بکارگرفته شده برای بهینه‌سازی ۱۵۷
۵-۷نتایج بهینه سازی عددی و روش مرسوم ۱۵۷
۵-۸تحلیل نتایج ۱۵۹
۶استراتژی‌های کنترلی خودروهای هیبرید ۱۶۰
۶-۱ استراتژی‌های کنترلی خودروی هیبرید سری ۱۶۱
۶-۱-۱ استراتژی کنترلی تعقیب کننده قدرت ۱۶۱
۶-۱-۱-۱کلیات ۱۶۱
۶-۱-۱-۲تعیین قدرت خروجی موتوراحتراقی ۱۶۴
۶-۱-۱-۳تعیین گشتاور و سرعت موتور احتراقی ۱۶۵
۶-۱-۱-۴حالت خاص ۱۶۶
۶-۱-۲استراتژی ترموستاتیک ۱۶۷
۶-۲استراتژی‌های کنترلی خودروی هیبرید موازی ۱۶۷
۶-۲-۱استراتژی کنترلی تقویت الکتریکی ۱۶۸
۶-۲-۲استراتژی کنترلی تطبیقی ۱۷۱
۶-۲-۲-۱ضرورت ایجاد استراتژی تطبیقی ۱۷۱
۶-۲-۲-۲تشریح استراتژی تطبیقی ۱۷۳
۶-۲-۲-۲-۱مرحله(۱) : تعیین محدوده نقاط کاری ۱۷۵
۶-۲-۲-۲-۲مرحله ۲ محاسبه فاکتورهای سازنده تابع ارزش برای هر نقطه ۱۷۵
۶-۲-۲-۲-۳مرحله ۳ : نرمال‌سازی فاکتورهای سازنده ۱۸۵

۶-۲-۲-۲-۴مرحله ۴ : اعمال وزن‌گذاری دلخواه به نتایج مرحله ۳ (K_{USER}) ۱۸۶

۶-۲-۲-۲-۵مرحله ۵ : اعمال وزن‌گذاری اهداف عملکردی به نتایج مرحله ۴ (K_{TARGET}) ۱۸۶

۶-۲-۲-۲-۶مرحله ۶ : محاسبه تابع تاثیر کلی برای همه نقاط کاری ۱۸۸

۶-۳مقایسه استراتژیهای کنترلی خودروی هیبرید موازی ۱۹۰

۶-۳-۱استراتژی کنترلی موازنه بار-سطح شارژ ۱۹۰

۶-۳-۲مشخصات خودروی موردمطالعه ۱۹۰

۶-۳-۳تحلیل نتایج شبیه سازی کامپیوتری ۱۹۱

۶-۳-۳-۱نتایج استراتژی تقویت الکتریکی ۱۹۱

۶-۳-۳-۲نتایج استراتژی موازنه بار- سطح شارژ ۱۹۲

۶-۳-۳-۳نتایج استراتژی کنترلی تطبیقی ۱۹۲

۶-۳-۴نتیجه گیری ۱۹۶

ججدول(۱-۱) آلاینده‌های خروجی از اگزوز خودروی هیبرید تینو و حد مجاز استاندارد معرفی شده جهت آن در ژاپن

جدول(۲-۱)مقایسه طرح‌های خودروهای هیبرید سری از نظر نسبت توان سیستم احتراقی به سیستم الکتریکی

جدول(۳-۱) مقایسه طرح‌های خودروهای هیبرید سری از نظر نسبت توان سیستم احتراقی به سیستم الکتریکی

جدول (۴-۱) مقایسه انواع سیستم‌های هیبرید برقی نسبت به خودروهای احتراقی متداول

جدول(۱-۳) ضرایب سرد به گرم نتایج آزمایشگاهی و ضرایب بدست آمده با استفاده از روش ضرایب ثابت

جدول(۲-۳) مقادیرمصرف سوخت و آلاینده‌ها برای دو موتورMB وVW با استفاده از دو روش مطرح شده

جدول (۳-۳) انواع باتریها

جدول (۱-۴) داده‌های مربوط به خودروهای موردمطالعه

جدول(۲-۴) داده‌های استانداردهای مختلف مقادیر آلاینده‌ها

جدول(۳-۴) داده‌های استانداردهای مختلف مقادیر آلاینده‌ها

جدول(۴-۴) ضرایب حساسیت مصرف سوخت(درصد تغییر در مصرف سوخت به ازای یک درصد افزایش پارامتر مربوطه)

جدول(۵-۴) ضرایب حساسیت مصرف سوخت(درصد تغییر به ازای یک درصد افزایش در پارامتر مربوطه) نسبت به قدرت ویژه اجزاء

جدول(۱-۵) اندازه های بهینه اجزا با روش مرسوم .

جدول(۲-۵) هشت نقطه شروع مختلف .

جدول(۳-۵) نتایج بهینه سازی در ۸ مجموعه .

جدول(۴-۵) ساختار بهینه با روش بهینه سازی عددی .

جدول(۵-۵) مقایسه اندازه اجزا با دو روش طراحی .

جدول(۱-۶) متغیرهای استراتژی کنترلی تعقیب کننده قدرت

جدول(۲-۶) متغیرهای استراتژی کنترلی تقویت الکتریکی برای خودروی هیبرید موازی

جدول(۳-۶) اهداف مقادیر اهداف مصرف سوخت و آلاینده‌ها

فهرست اشکال

شکل(۱-۱) خودروی برقی

شکل(۱-۲) بلوک دیاگرام یک خودروی هیبرید برقی

شکل (۱-۳) خودروی الکتریکی پیل سوختی

شکل(۱-۴) خودروهای هیبرید حدواسط خودورهای معمولی و خودروهای برقی

شکل(۱-۵) تقاضای قدرت برحسب سرعت برای خودروی مشخص شده

شکل(۱-۶) خودروی هیبرید سری

شکل(۱-۷) بلوک دیاگرام یک خودروی هیبرید سری

شکل(۱-۸) خودروی هیبرید موازی

شکل (۱-۹) بلوک دیاگرام یک خودروی هیبرید موازی

شکل(۱-۱۰) خودروی هیبرید سری/ موازی

شکل(۱-۱۱) بلوک دیاگرام یک خودروی هیبرید سری/ موازی

شکل(۲-۱) صفحهٔ واسط گرافیکی ADVISOR

شکل(۲-۲) بلوک دیاگرام یک خودروی هیبرید سری

شکل(۲-۳) مسیر محاسبات روبه‌عقب برای یک خودروی هیبرید سری

شکل(۲-۴) مسیر محاسبات روبه‌جلو برای یک خودروی هیبرید سری

شکل(۲-۵) نیروی رانشی موردنیاز : F_{req} نیروی موردنیاز برای طی کردن مسیر و $F_{req,\lim}$ نیروی رانشی موردتقاضا با توجه به محدودیت‌های رانشی تایر

شکل(۲-۶) سرعت موردتقاضا و واقعی خودرو

شکل(۲-۷) بلوک دیاگرام مدل موتور الکتریکی/ کنترلر

شکل(۲-۸) گشتاور موردتقاضا از موتور الکتریکی : $\tau_{mot,req}$ گشتاور موردتقاضا از طرف جعبه‌دنده $\tau_{mot,\lim,req}$ گشتاور موردتقاضا با توجه به محدودیت قدرت موتور الکتریکی

شکل(۲-۹) سرعت موردتقاضا از موتور الکتریکی : $\omega_{mot,req}$ سرعت موردتقاضا از طرف جعبه‌دنده از موتور الکتریکی $\omega_{mot,\lim,req}$ سرعت موردتقاضا با توجه به محدودیت سرعت موتور الکتریکی

شکل(۲-۱۰) قدرت موردتقاضای ورودی به موتور الکتریکی : $P_{mot,in,map}$ قدرت محاسبه شده از منحنی مشخصه $P_{mot,in,req}$ قدرت موردتقاضا با توجه به محدودیت قدرت موتور الکتریکی

شکل(۳-۱) بلوک دیاگرام موتور احتراقی یک خودروی هیبرید سری