به نام آن که

جان را فکرت

آموخت

۱۳۴۹.۹_۲.۱۳۸۰۴

دانشگاه تبریز

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

گروه مهندسی قدرت

پایان‌نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته برق-قدرت

عنوان

طراحی استراتژی کنترل فازی برای خودروهای هیبرید موازی

استادان راهنما

دکتر محمدباقر بناءشریفیان

دکتر محمدرضا فیضی

۱۳۸۹/۲/-۵

پژوهشگر

سید مهدی مرسلی

بهمن ماه ۸۸

۱۳۴۹۰۶

تقدیم به

پدر و مادرم

نام خانوادگی دانشجو: مرسلی **نام:** سید مهدی

عنوان پایان‌نامه: طراحی استراتژی کنترل فازی برای خودروهای هیبرید موازی

استادان راهنما: دکتر محمدباقر بناء شریفیان و دکتر محمدرضا فیضی

استاد مشاور:

مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد **رشته:** مهندسی برق **گرایش:** قدرت **دانشگاه:** تبریز

دانشکده: مهندسی برق و کامپیوتر **تاریخ فارغ التحصیلی:** ۱۳۸۸/۱۱/۳۰ **تعداد صفحه:** ۸۳

کلید واژه ها: خودروی هیبرید موازی، استراتژی کنترل، کنترل فازی

چکیده

در این پایان‌نامه انواع استراتژی کنترل خودروی هیبرید موازی مبتنی بر منطق فازی مورد بررسی قرار گرفته و شبیه‌سازی تحت نرم‌افزار MATLAB و ADVISOR صورت گرفته است. ابتدا با استفاده از صفحه مشخصات موتور احتراق داخلی، منحنی عملکرد بهینه بر اساس قیود بازده سوخت و میزان انتشار آلاینده‌ها تعیین می‌گردد. سپس با توجه به این مقدار بهینه، توابع عضویت کنترل‌گر فازی در سرعت‌های مختلف تنظیم می‌شوند. این روش باعث می‌شود اثر تغییر دور موتور، در توابع عضویت لحاظ گردد. سپس با استفاده از الگوریتم ژنتیک، قوانین و توابع عضویت فازی به صورت یک رشته از کروموزوم‌ها کد می‌شوند. با استفاده از عملگرهای ژنتیک مقادیر مختلف برای قوانین و توابع عضویت فازی در نظر گرفته می‌شوند و با ارزیابی تابع هدف در هر مرحله، مقادیر بهینه قوانین و توابع شناسایی می‌گردند. با استفاده از روش مقیاس‌بندی توابع عضویت و همچنین بهینه‌سازی قوانین و توابع عضویت فازی توسط الگوریتم ژنتیک، کاهش قابل توجهی را در میزان مصرف سوخت و همچنین میزان انتشار آلاینده‌ها شاهد خواهیم بود.

فهرست مطالب

فصل اول: بررسی منابع

۱-۱ مقدمه ۶

۱-۲ خودروی هیبرید الکتریکی ۶

۱-۲-۱ تاریخچه ۶

۱-۲-۲ معرفی خودروی هیبریدی ۴

۱-۲-۲-۱ خودروی هیبرید موازی ۶

۱-۲-۲-۲ خودروی هیبرید سری ۸

۱-۲-۲-۳ خودروی هیبرید سری - موازی ۹

۱-۳ اجزاء خودروی هیبرید موازی ۱۱

۱-۳-۱ موتور احتراقی ۱۱

۱-۳-۱-۱ نقشه های بازده و میزان مصرف سوخت ۱۲

۱-۳-۲ محرکه الکتریکی ۱۴

۱-۳-۲-۱ موتور سنکرون مغناطیس دائم ۱۶

۱-۳-۲-۲ موتور سوئیچ رلوکتانس ۱۸

۱-۳-۲-۳ موتور القایی ۱۹

۱-۳-۳ باتری ۲۰

۱-۳-۴ استراتژی کنترل ۲۲

۱-۳-۴-۱ استراتژی کنترل کمک الکتریکی ۲۲

فصل دوم: مواد و روش‌ها

۲-۱ مقدمه ۲۷

۲-۲ استراتژی کنترل فازی ۲۷

۲-۲-۱ منطق فازی ۲۷

۲-۲-۲ استراتژی کنترل منطق فازی ۲۹

۲-۲-۲-۱ تعیین گشتاور خروجی ۳۰

۲-۳ استراتژی کنترل فازی- ژنتیک ۳۷

۲-۳-۱ الگوریتم ژنتیک ۳۵

۲-۳-۲ بهینه‌سازی توابع عضویت کنترل‌کننده فازی توسط الگوریتم ژنتیک ۳۵

۲-۴ استراتژی کنترل فازی با توابع عضویت مقیاس‌بندی شده ۳۶

۲-۴-۱ محاسبه گشتاور بهینه ۳۵

۲-۴-۲ نحوه عملکرد کنترلر فازی بر اساس قیود سطح شارژ باتری (SOC) ۴۲

فصل سوم: نتایج و بحث

۳-۱ مقدمه ۴۴

۳-۲ روش پیشنهادی ۴۴

۳-۳ پیاده‌سازی طرح پیشنهادی ۴۶

۳-۳-۱ مقیاس‌بندی توابع عضویت ۴۶

۳-۳-۲ بهینه‌سازی توسط الگوریتم ژنتیک ۴۸

۳-۴ شبیه‌سازی ۵۱

۳-۴-۱ مدل‌سازی خودرو هیبرید موازی ۵۱

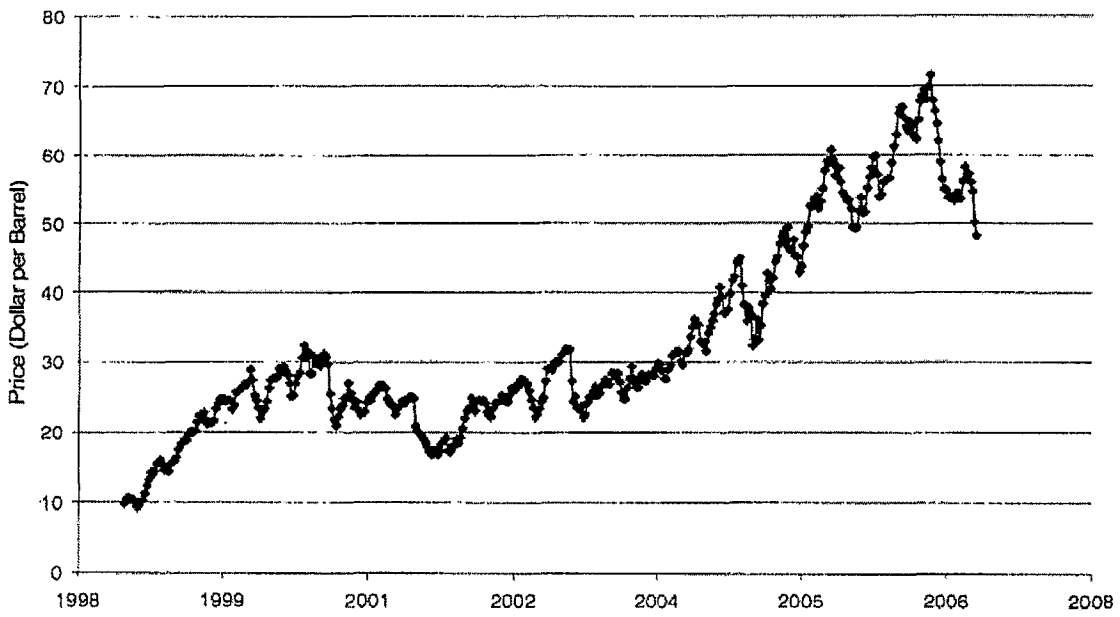
۳-۴-۲ سیکل حرکت ۵۳
۳-۵ نتایج شبیه‌سازی ۵۵
۳-۵-۱ نتایج شبیه‌سازی سیکل حرکت درون‌شهری ۵۵
۳-۵-۲ نتایج شبیه‌سازی سیکل حرکت برون‌شهری ۶۳
۳-۵-۳ نتایج شبیه‌سازی سیکل حرکت ترکیبی ۷۱
فصل چهارم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها
۴-۱ نتیجه‌گیری ۸۱
۴-۲ پیشنهادها ۸۲

فصل اول

بررسی منابع

۱-۱ مقدمه

با توجه به کاهش ذخایر جهانی نفت خام و همچنین افزایش نگرانی‌های زیست محیطی، مطالعه بر روی تکنولوژی‌های کاهش مصرف سوخت در سال‌های اخیر توسعه فراوانی یافته است. بر طبق آمارهای سازمان جهانی انرژی، قیمت نفت خام در ده سال اخیر بیش از ۴۰۰٪ افزایش یافته است (شکل (۱-۱)) و با توجه به کاهش ذخایر نفتی، احتمال می‌رود در آینده افزایش شدیدتری را در قیمت نفت شاهد باشیم.



شکل (۱-۱): تغییرات قیمت نفت در یک دهه

علاوه بر افزایش قیمت سوخت، تدابیر سخت‌گیرانه در زمینه آلودگی محیط زیست، طراحان سیستم‌های محرکه خودرو را بر آن داشته تا گرایش بیشتری به تکنولوژی‌های هیبرید و پیل سوختی نشان دهند. از آنجایی که مشکلات عدیده‌ای در زمینه تولید خودروهای پیل سوختی در مقیاس بالا وجود دارد، خودروهای هیبریدی بهترین راه‌حل در کوتاه مدت به نظر می‌رسند [۲-۱].

۱-۲ خودروی هیبرید الکتریکی

۱-۲-۱ تاریخچه

نمونه اولیه خودروی هیبریدی در ابتدای قرن بیستم میلادی توسط Ferdinand Porsche ارائه گردید، اما تولید صنعتی خودروی هیبریدی بنا به دلایل فنی و اقتصادی تا اواخر قرن بیستم به تاخیر افتاد [۳]. نخستین نمونه‌های صنعتی خودروی هیبریدی، توسط شرکت هوندا و تویوتا در دهه ۹۰ میلادی به بازار ارائه گردید. در اواخر سال ۱۹۹۷، کمپانی "تویوتا موتور" اولین نسل خودروی پریوس[۱] را که از سیستم هیبرید تویوتا (THS[۲]) بهره می‌برد، ارائه کرد. این خودرو در سال ۲۰۰۰ وارد بازار آمریکا شد. چهار سال بعد، مدل ۲۰۰۴ پریوس، به بازار عرضه شد. مدل جدید پریوس، موفقیت‌آمیزترین خودروی هیبریدی تا آن زمان بود و ۳۵۰,۰۰۰ دستگاه از آن، در آمریکای شمالی فروش رفت. با این موفقیت، تویوتا خودروهای جدیدی را در این برند ارائه کرد. دو مدل SUV[۳] هیبرید LEXUS RX ۴۰۰H و HIGHLANDER در سال ۲۰۰۶ ارائه گردید و با معرفی خودروهای کمری هیبرید و Lexus GS 450h در سال ۲۰۰۷، خانواده تویوتای هیبریدی بزرگتر گردید.

هوندا دیگر شرکت پیشتاز در زمینه HEVهای تجاری بود و اولین خودروی هیبرید صنعتی خود را با نام Insight در سال ۱۹۹۹ در آمریکا ارائه کرد. این خودرو توانست بالاترین بازدهی سوخت را تا آن زمان (۶۰mpg[۴] در شهر) بدست آورد. این شرکت در سال ۲۰۰۲، خودرو Civic هیبریدی را به عنوان رقیبی برای Prius ارائه کرد.

خودروسازان آمریکایی در آغاز قرن ۲۱ به اهمیت خودروهای هیبریدی در قرن جدید پی بردند و با سرمایه‌گذاری بر روی آن، سعی کردند عقب ماندگی خود را در این زمینه پشت سر گذارند. کمپانی فورد اولین

---

[۱] Prius
[۲] Toyota Hybrid System
[۳] Sport Utility Vehicle
[۴] Mile Per Gallon

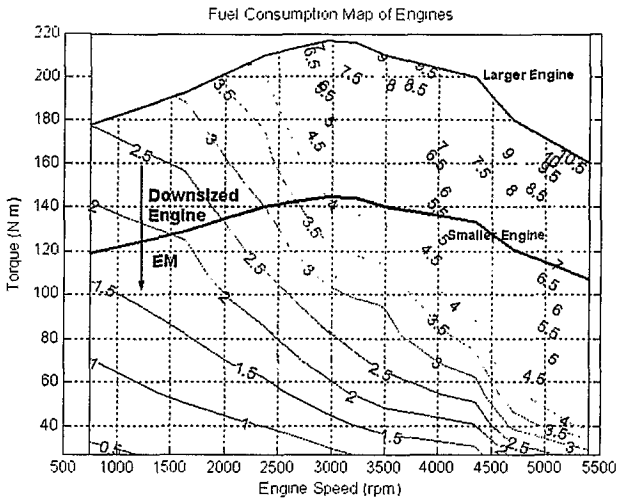
خودرو ساز آمریکایی بود که SUV هیبرید Ford Escape را در اواخر سال ۲۰۰۴ میلادی معرفی کرد. در حال حاضر شرکت‌های جنرال موتورز، کرایسلر و BMW، مدل‌های هیبریدی متنوعی را به بازار عرضه کرده‌اند و مدل‌های هیبریدی معرفی شده به بازار در دو سال اخیر، بالغ بر ۳۰ مدل است.

۱-۲-۲ معرفی خودروی هیبریدی

خودروهای هیبریدی از دو منبع انرژی برای تولید نیروی محرکه استفاده می‌کنند [۴-۲]. در خودروهای هیبریدی، علاوه بر منبع معمول تولید نیروی محرکه (موتور احتراقی)، یک منبع الکتریکی برای تبادل انرژی در نظر گرفته شده است. این مسیر انتقال انرژی الکتریکی با سطح‌بندی بار، احیای انرژی ترمزی و همچنین کوچک کردن اندازه موتور احتراقی، بازده سوخت مصرفی را بهبود می‌بخشد. یک موتور احتراقی کالیبره شده، بازده سوخت بهتر و تلفات گرمایی کمتری دارد و پیک توان آن نیز کاهش یافته است. توان کاهش یافته، توسط یک موتور الکتریکی جبران می‌گردد. در مقایسه با موتورهای احتراق داخلی، ماشین‌های الکتریکی می‌توانند گشتاور را سریعتر در سرعت‌های پایین تولید کنند، بنابراین عملکرد راه‌اندازی می‌تواند بهبود یابد. علاوه بر این، سطح‌بندی بار از طریق مسیر الکتریکی امکان‌پذیر می‌گردد. با استفاده از سیستم محرکه الکتریکی کمکی، بدون در نظر گرفتن بار جاده، موتور احتراقی (ICE[۵]) می‌تواند به صورتی کنترل گردد که در ناحیه بهینه عمل کند. در نهایت هنگامی که خودرو در حال کاهش سرعت است، ماشین الکتریکی می‌تواند با جذب مقداری از انرژی جنبشی وسیله نقلیه، باتری را شارژ کند.

به‌حداقل رساندن تلفات توان منجر به افزایش بازده و کاهش مصرف سوخت خواهد شد. طراحی بهینه سیستم قدرت، شامل طراحی اجزا و طراحی نحوه آرایش آنها می‌باشد. بهینگی ساختارسیستم قدرت و هر یک از اجزا به تنهایی کافی نیست، بلکه اجزا باید از نظر نوع و اندازه نیز با یکدیگر هماهنگ باشند.

[۵] Internal Combustion Motor



شکل (۱-۲): اثر کاهش اندازه موتور احتراقی

اندازه موتور احتراقی، فاکتور مهمی در مصرف سوخت اتومبیل است. شکل ۱-۲ مصرف سوخت دو موتور احتراقی مشابه با اندازه متفاوت را نشان می‌دهد. تفاوت این دو موتور در مقدار گشتاور ماکزیمم در یک سرعت مشخص است. در نواحی با گشتاور کم، مصرف سوخت دو موتور مشابه است. در خودروهای مرسوم، موتور احتراقی تنها منبع تولید انرژی است که معمولا اندازه آن بر اساس بیشترین تقاضای انرژی همانند زمان شتاب گرفتن، سربالایی و قابلیت یدک‌کشی در نظر گرفته می‌شود. بنابراین موتور احتراقی اندازه بزرگتری نسبت به نیاز روزانه برای رانندگی شهر و آزادراه دارد. اما در HEV، ماشین الکتریکی به همراه بسته باتری، به عنوان بافر انرژی عمل می‌کند و اجازه می‌دهد که ICE، در گشتاور ثابت پایین‌تری عمل کند.

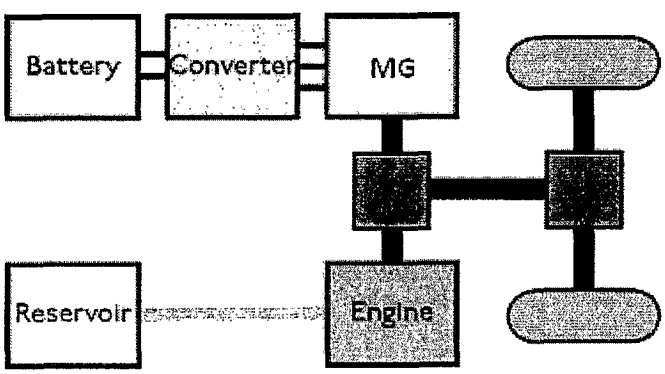
همچنانکه پیشرفت HEV توجه‌ها را هر چه بیشتر به سمت خود جلب می‌کند، طراحی‌ها و تکنولوژی‌های متنوعی برای ساخت این نوع وسایل نقلیه ارائه می‌گردد. بر اساس نوع طراحی سیستم قدرت، انواع مدل‌های HEV به سه دسته زیر تقسیم می‌شود: هیبرید موازی، هیبرید سری و هیبرید سری- موازی (قدرت مجزا[۶]). جزئیات و مشخصات هر یک از مدل‌ها در بخش‌های بعدی مورد بررسی قرار می‌گیرد. البته این پروژه بر روی

[۶] Power split

HEVهای موازی تمرکز می‌کند.

۱-۲-۲-۱ خودروی هیبرید الکتریکی موازی

ساختار موازی، در شکل ۱-۳ نشان داده شده است و شامل دو مسیر قدرت جداگانه است [۵]. علاوه بر سیستم انتقال قدرت مرسوم، یک وسیله کمکی که معمولا یک موتور/ ژنراتور (MG[۷]) است و از طریق باتری تغذیه می‌گردد، به عنوان سیستم محرکه دوم بکار می‌رود. هنگامی که منبع توان ثانوی نسبتا کوچک باشد (هیبرید ملایم یا هیبرید توان-کمکی)، نمی‌توان خودرو را به صورت کامل بدون توان موتور احتراقی به حرکت در آورد. هنگامی که منبع قدرت ثانوی به نسبت بزرگ باشد (هیبرید کامل)، موتور احتراقی و MG می‌توانند خودرو را به صورت جداگانه یا همزمان به حرکت درآورند.Con

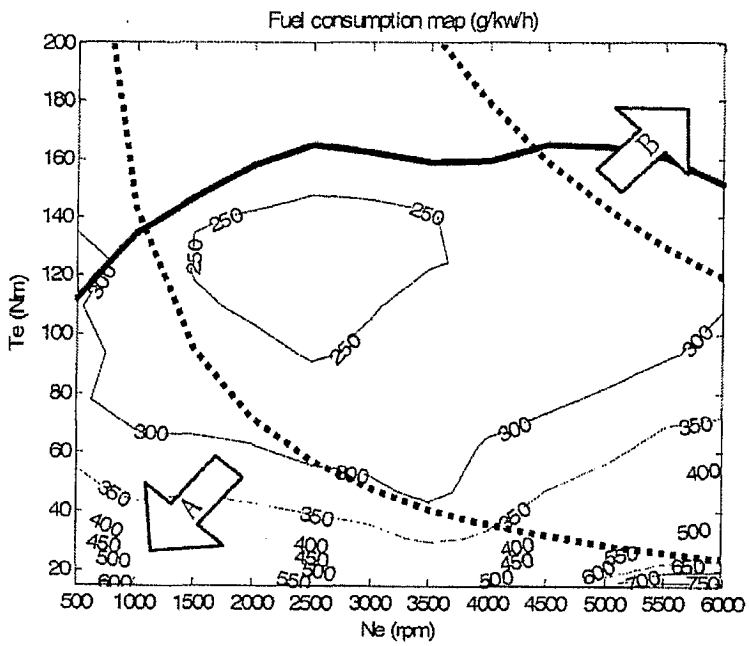


شکل (۱-۳): ساختار خودروی هیبرید الکتریکی موازی

نقش MG این است که به موتور احتراقی کمک می‌کند تا به صورت بهینه عمل کند. همچنین انرژی ترمز را احیا کرده و در باتری ذخیره می‌کند. به عنوان نمونه، نقشه مصرف سوخت مربوط به یک موتور ۱/۹ لیتری (۹۵ kW)، در شکل ۱-۴ نشان داده شده است. نقطه ماکزیمم بازده درمیانه محدوده عملکرد (بین دو خط نقطه‌چین) آن قرار گرفته است. در خارج از این محدوده، بازده سوخت کاهش می‌یابد. در ناحیه‌ای که با A

[۷] Motor-Generator

نشان داده شده است، MG بکار گرفته می‌شود تا از استفاده ناکارآمد از موتور احتراقی، جلوگیری گردد. در انتهای دیگر که با B نشان داده شده است، توانی که موتور احتراقی می‌تواند تولید کند به نهایت خود می‌رسد. در این حالت MG روشن می‌شود تا در تامین توان درخواستی به موتور احتراقی کمک کند.



شکل (۱-۴): نقشه مصرف سوخت یک موتور احتراقی ۱/۹ لیتری

بسته به نوع اتصال بین سیستم انتقال قدرت، MG و موتور احتراقی، ساختار موازی می‌تواند شکل‌های مختلفی داشته باشد. با این حال تحلیل فلوی توان یکسان و نسبتاً آسان می‌باشد. در هیبرید موازی ملایم، از آنجایی که دو منبع انرژی به صورت همزمان کار نمی‌کنند، کنترل و مدیریت توان بسیار آسان‌تر است.

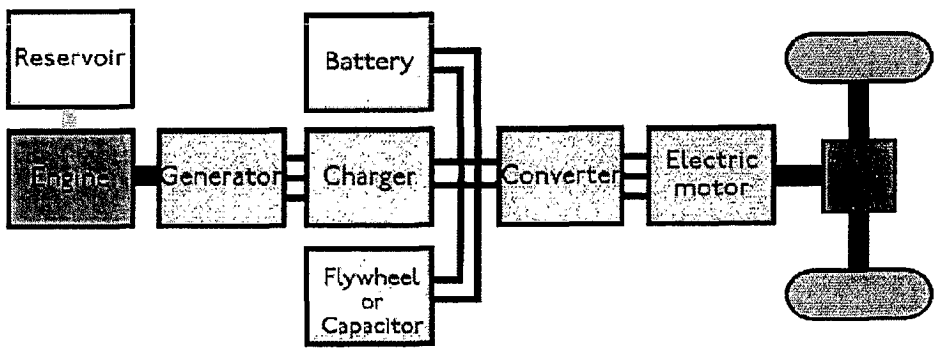
بر خلاف هیبرید موازی ملایم، الگوریتم کنترل هیبرید موازی کامل بسیار پیچیده است. از آن جایی که MG نمی‌تواند به طور همزمان هم برای شارژ باتری و هم برای کمک به موتور احتراقی استفاده شود، بنابراین توان کمکی MG باید به گونه‌ای باشد که از خالی شدن باتری جلوگیری کند. این حالت بیشتر در طول رانندگی در شهر که مستلزم توقف و حرکت‌های پیاپی است، روی داده و باعث می‌شود که موتور احتراقی در محدوده با

بازده پایین عمل کند. بنابراین در این گونه خودروها استراتژی کنترل نقش عمده‌ای را ایفا می‌کند. در طراحی استراتژی کنترل باید به گونه‌ای عمل گردد تا نقاط کار موتور احتراقی به نقاط با بازده ماکزیمم سوق داده شود. خودروی هیبرید Civic محصول هوندا یک خودروی هیبرید موازی است.

۱-۲-۲-۲ خودروی هیبرید سری

در ساختار سری، تنها موتور الکتریکی چرخ‌ها را به حرکت در می‌آورد (موتور احتراقی به صورت مستقیم به چرخ‌ها متصل نیست) (شکل ۱-۵). تامین انرژی موتور الکتریکی، از طریق منبع ذخیره انرژی (باتری) و یا از طریق ژنراتور (با تبدیل انرژی مکانیکی موتور احتراقی به انرژی الکتریکی) و یا ترکیبی از این دو حالت (با استفاده از یک ضریب تقسیم که توسط کنترلگر مدیریت انرژی تعیین می‌شود)، انجام می‌پذیرد. از آنجایی که عملکرد موتور احتراقی مستقل از سرعت اتومبیل و شرایط جاده است، معمولا به گونه‌ای کنترل می‌شود تا در بیشتر زمان‌ها در نزدیکی ناحیه بهینه عمل کند. علاوه بر این چون مسیر انتقال انرژی مکانیکی حذف شده است، تلفات انرژی مربوط به مبدل گشتاور و سیستم انتقال حذف می‌گردد.

همچنین، از آنجایی که جریان توان یک جهته است و موتور احتراقی به صورت جداگانه نسبت به عملکرد خودرو کنترل می‌شود، استراتژی کنترل مدل سری، به نسبت ساده است. بسیاری از نمونه‌های نسل اولیه خودروهای هیبریدی و همچنین اتوبوس‌های هیبریدی از ساختار هیبرید سری استفاده می‌کنند.

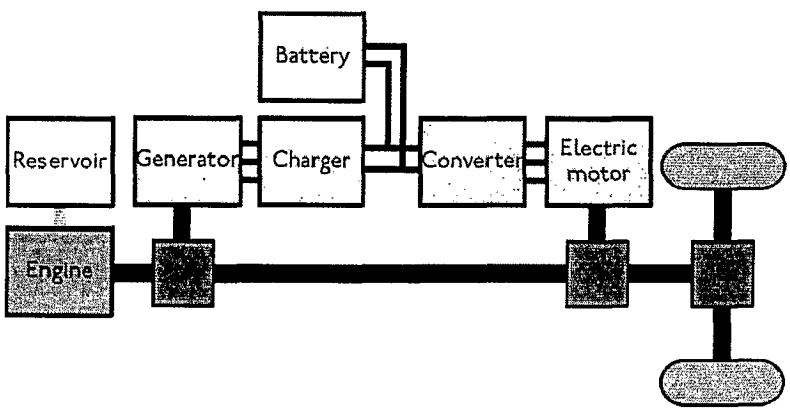


شکل (۱-۵): ساختار خودروی هیبرید سری

با این حال، مشکل اصلی ساختار سری این است که بازده پایین مسیر الکتریکی، کارایی کل را کاهش می‌دهد. بازده جریان قدرت از مسیر الکتریکی پایین‌تر از یک مسیر مکانیکی است. از آنجایی که قدرت حرکت در مدل سری، در تمامی زمان‌ها از طریق مسیر الکتریکی تامین می‌گردد، زمانی که اتومبیل سرعت می‌گیرد، از اتومبیلی که به طور مستقیم از موتور احتراقی استفاده می‌کند، بازده کمتری دارد. این مسئله مخصوصا زمانی صادق است که اتوموبیل در بزرگراه در حال حرکت است.

۱-۲-۲-۳ خودروی هیبرید سری-موازی (قدرت مجزا)

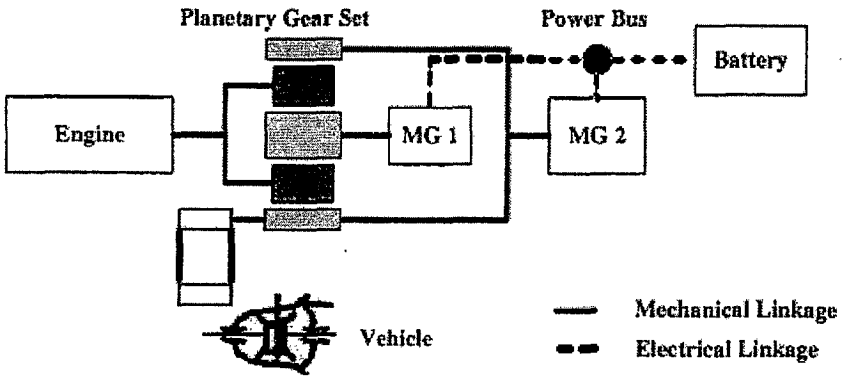
ساختار هیبرید خودروی سری- موازی که "قدرت مجزا" نیز خوانده می‌شود، از این جهت حائز اهمیت است که با یک استراتژی کنترل مناسب می‌توان مزایای مربوط به هر دو مدل سری و موازی را بدست آورد [۶].



شکل (۱-۶): ساختار خودروی هیبرید سری- موازی

همانطور که در شکل ۱-۶ دیده می‌شود، ساختار خودروی هیبرید سری- موازی ترکیبی از ساختار سری و موازی است. به عبارت دیگر همانند مدل موازی، مسیر جریان توان موتور احتراقی و مسیر جریان توان باتری- موتور، از یکدیگر مجزا هستند. به جای سیستم انتقال توان مرسوم به چرخ‌ها، از یک جعبه دنده سیاره‌ای که تقسیم‌کننده توان است، استفاده می‌شود. از طرف دیگر همانند ساختار سری، دارای یک مسیر انتقال انرژی موتور احتراقی- ژنراتور است. موتور احتراقی، ژنراتور را برای شارژ باتری و یا تغذیه موتور الکتریکی به حرکت در

می‌آورد. این مدل در سرعت‌های پایین می‌تواند همانند هیبرید سری و در سرعت‌های بالا همانند هیبرید موازی عمل کند.



شکل (۱-۷): ساختار هیبرید خودروی سری- موازی

در شکل ۱-۷ ساختار هیبرید سری- موازی نشان داده شده است. یک مجموعه دنده سیاره ای به عنوان یک وسیله تقسیم قدرت، قدرت موتور احتراقی را از دو راه به خودرو منتقل می‌کند: یک راه الکتریکی و یک راه مکانیکی. قدرت موتور احتراقی از طریق راه مکانیکی به صورت مستقیم موجب حرکت خودرو می‌گردد. باقیمانده انرژی موتور احتراقی از طریق ژنراتور به الکتریسیته تبدیل می‌شود. این انرژی می‌تواند در باتری ذخیره گردد و یا از طریق باس قدرت کنترل شده، به سوی موتور الکتریکی هدایت شود. ساختار دنده سیاره‌ای اجازه می‌دهد تا سرعت موتور احتراقی با یک ضریب متغیر پیوسته نسبت به سرعت اتومبیل، در حال تغییر باشد که باعث افزایش بازده سوخت می‌گردد. این سیستم انتقال قدرت متغیر، با مانور بر روی موتور الکتریکی کنترل می‌گردد. واضح است که اگر انرژی موتور احتراقی به طور مستقیم به چرخ‌ها برسد بازده بیشتری را نسبت به حالتی که از مسیر الکتریکی منتقل شود، خواهیم داشت. با این حال با ذخیره انرژی در باتری، می‌توان از این انرژی در آینده به صورت مطلوب‌تری استفاده نمود که سبب بالا رفتن کارایی سوخت اتومبیل خواهد گردید.

در ساختار دنده سیاره‌ای مورد استفاده در خودروی هیبرید سری- موازی، دنده حامل متصل به موتور احتراقی، گره[۸] ورودی است و دنده حلقوی متصل به محرکه اتومبیل (نهایی)، گره خروجی است. یکی از ماشین‌های الکتریکی نیز به گره خروجی متصل است، در حالی که ماشین الکتریکی دیگر به گره سوم دنده سیاره‌ای متصل است. این آرایش ورودی- مجزا نام دارد، زیراگشتاور موتور احتراقی از نقطه ورودی به دو راه تقسیم می‌شود. توان تقسیم شده بدون هیچ ضریب دیگری به گره خروجی انتقال داده می‌شود.

با توجه به اینکه تمرکز این پروژه بر روی خودروی هیبرید موازی است در ادامه به معرفی اجزای این خودرو می‌پردازیم.

۱-۳ اجزای خودرو هیبرید موازی

خودروهای هیبرید موازی همانند سایر خودروها از بخش‌های متنوعی همچون سیستم تولید گشتاور، سیستم تعلیق و ترمز، سیستم محرکه الکتریکی و ... تشکیل شده است. در این قسمت به معرفی چند بخش اصلی آن اکتفا می‌کنیم.

۱-۳-۱ موتور احتراقی

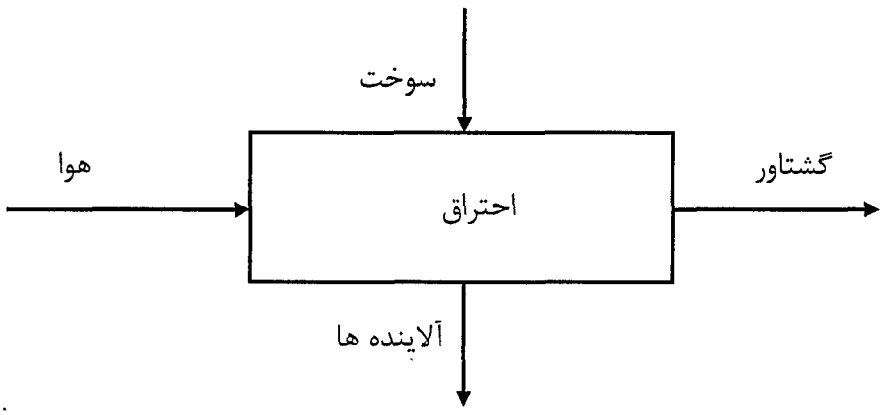
در خودروهای هیبریدی همانند خودروهای معمولی موتور احتراقی منبع اصلی تولید نیروی محرکه است. موتورهای احتراق داخلی (ICEs) با مکش هوا و سوخت وسوزاندن آن درون موتور، انرژی آزاد می‌کنند. در این موتورها با استفاده از جرقه، ترکیب هوا و سوخت (تولید شده توسط کاربراتور یا انژکتور) منفجر می‌گردد و باعث به حرکت درآمدن پیستون می‌گردد. مدلی از ICE که در تحلیل خودرو هیبریدی استفاده می‌شود، مدل مبتنی بر نقشه‌های عملکرد است که به صورت تجربی با آزمایش بر روی موتور، در سرعت و گشتاورهای مختلف بدست آمده است. این مدل شامل نقشه بازده و همچنین نقشه‌های مربوط به میزان آلاینده‌ها می‌باشد.

---

[۸] node

۱-۳-۱-۱ نقشه‌های بازده و میزان مصرف سوخت

ساده‌ترین مدل موتور احتراقی، مدلی است که در آن موتور به عنوان یک مبدل انرژی، انرژی شیمیایی را به انرژی مکانیکی با یک بازده معین، تبدیل می‌کند. شکل ۱-۸ مدل بلوکی ساده یک موتور احتراقی را نشان می‌دهد. در این مدل، موتور احتراقی هوا و سوخت را به عنوان ورودی دریافت می‌کند و گشتاور و دود را طی فرایند احتراق تولید می‌کند. بیشتر موتورهای احتراقی معمولا بازدهی کمتر از ۳۵٪ دارند. نقاط ماکزیمم بازده معمولا در سرعت‌های نسبتا پایین و گشتاورهای نسبتا بالا روی می‌دهد.

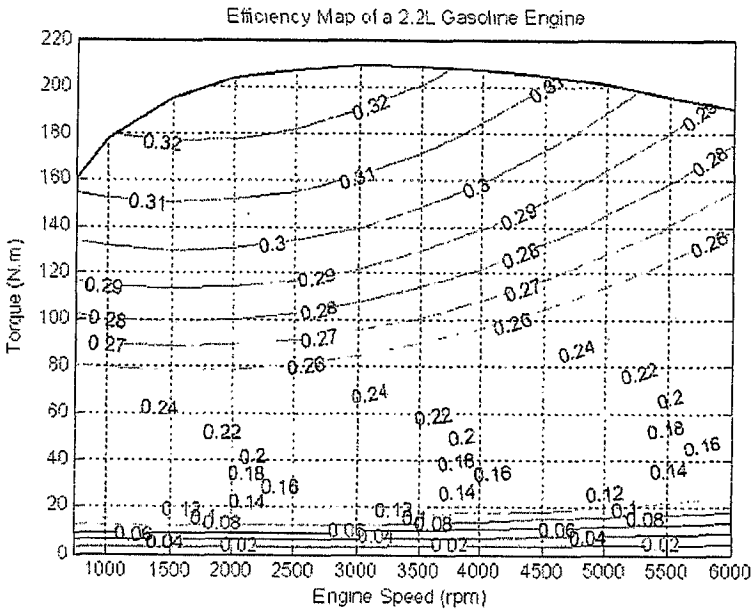


شکل (۱-۸): مدل موتور احتراقی

نقشه بازده یک موتور احتراقی، یک نقشه کانتور[۹] است که بر اساس داده‌های بازده موتور احتراقی ترسیم می‌گردد [۷]. اطلاعات بازده مربوط به نقشه‌های بازده در حالت کار دائم گرفته شده‌است و بنابراین رفتار دینامیک موتور را نشان نمی‌دهد.

شکل ۱-۹ نقشه بازده یک موتور احتراقی بنزینی ۲/۲ لیتری را نشان می‌دهد. همانطور که در این شکل مشاهده می‌گردد، نقاط ماکزیمم بازده در سرعت‌های پایین (بین ۱۰۰۰ تا ۳۵۰۰ دور در دقیقه) و گشتاورهای بالای ۱۸۰ N.m روی می‌دهد.

[۹] Contour map



شکل (۱-۹): نقشه بازده یک مدل موتور احتراقی

نقشه مصرف سوخت موتور احتراقی (شکل۱-۱۰) برای نشان دادن تلفات موتور احتراقی استفاده می‌گردد. در شبیه سازی خودرو معمولا برای محاسبه بازده سوخت، از نقشه مصرف سوخت استفاده می‌کنند.

$$P_{in_ice} = H_v \times \dot{m}_f \qquad (۱-۱)$$

$$P_{out_ice} = T_{ice} \times \omega_{ice} \qquad (۱-۲)$$

$$\eta_{ice} = \frac{P_{out_{ice}}}{P_{in_{ice}}} \times ۱۰۰ \qquad (۱-۳)$$

از روابط بالا برای تبدیل این دو نقشه به یکدیگر استفاده می‌شود که در آن H_v ضریب گرمایش بنزین، $\dot{m}_f$ دبی ماده سوختی در موتور احتراقی، P_{in_ice} توان ورودی موتور، P_{out_ice} توان خروجی موتور، T_{ice} گشتاور موتور، ω_{ice} دور موتور و η_{ice} بازده موتور احتراقی می‌باشد.