دانشکده‌ی مهندسی مکانیک

گروه مکانیک

پایان‌نامه

برای دریافت درجه‌ی کارشناسی ارشد در رشته‌ی مهندسی مکانیک – سیستم‌های محرکه

عنوان

مدیریت مصرف بهینه انرژی برای خودروهای هیبریدی سری موازی روی جاده‌های شیب‌دار

استاد راهنما

دکتر احمد قنبری

استاد مشاور

دکتر فرامرز رنجبر

پژوهشگر

احمد ریاضی مبارکی

بهمن ۱۳۹۰

نام خانوادگی دانشجو: ریاضی مبارکی **نام:** احمد

عنوان پایان‌نامه: مدیریت مصرف بهینه انرژی برای خودروهای هیبریدی سری موازی روی جاده‌های شیب‌دار

استاد راهنما: دکتر احمد قنبری

استاد مشاور: دکتر فرامرز رنجبر

مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد **رشته:** مهندسی مکانیک **گرایش:** سیتم‌های محرکه

دانشگاه: دانشگاه تبریز **دانشکده:** مهندسی مکانیک

تاریخ فارغ‌التحصیلی: بهمن ۱۳۹۰ **تعداد صفحه:** ۹۴

کلید واژه‌ها: خودروی هیبریدی، مدیریت انرژی، دینامیک خودرو، بهینه‌سازی، سیستم هیبریدی تویوتا

چکیده: به دلیل پیامدهای زیست محیطی و انرژی بسیاری از تحقیقات روی خودروهای جدیدی همچون خودروی الکتریکی، خودروی هیبیردی الکتریکی و خودروی سلول سوختی الکتریکی متمرکز شده است. محدودیت‌هایی چون هزینه‌ی خریداری، عمر کارکرد و چگالی انرژی از سرعت توسعه‌ی چنین خودروهایی کاسته است لیکن به دلیل وجود پتانسیل زیاد برای توسعه، این خودروها در سال‌های اخیر مورد توجه واقع شده است.

این پژوهش شامل بررسی مصرف بهینه‌ی انرژی و مدیریت آن در خودروهای هیبریدی الکتریکی سری موازی در مسیرهای شیب‌دار (سربالایی و سرپایینی) می‌باشد که برای بدست آوردن نتایج قابل قیاس با داده‌های موجود، استفاده از نرم‌افزارهای مربوطه نیز مد نظر خواهد بود. بررسی کاهش تئوریک مصرف انرژی در خودروهای مرسوم در ذیل بحث مدیدیت مصرف بهینه انرژی انجام گرفته و نتایج بدست آمده از این پژوهش با نتایج موجود در ادبیات فن مقایسه خواهد گردید.

خودروی انتخابی در این پروژه، سواری تویوتا می‌باشد. جهت بهینه سازی از نرم‌افزار مهندسی متلب و کدنویسی در آن استفاده خواهد شد.

تقدیم به

پدرم و مادرم

که بودن را به من هدیه کردند

و شدن را آموختند.

بر خود فرض می دانم که مراتب احترام و سپاس خود را نسبت به استاد راهنمای ارجمندم جناب دکتر احمد قنبری که با راهنمایی‌های ارزشمند خود راهگشای اینجانب بوده‌اند اعلام بدارم. همچنین کمال تشکر و سپاس‌گزاری را از استاد گرامی جناب دکتر فرامرز رنجبر دارم و از زحمات فراوان و مشاوره ایشان در طی این پایاننامه قدردانی می‌نمایم. در نهایت از تمام دوستان و عزیزانی که با یاری‌ها و راهنمایی‌های بی‌چشم‌داشت‌شان بسیاری از سختی‌ها را برایم آسان نمودند سپاسگزارم.

فهرست مطالب

فصل اول: پیشینه تحقیق ۱

۱-۱) مقدمه ۲

۱-۲) کلیات ۳

۱-۲-۱) تعریف هیبرید ۳

۱-۲-۲) خودروی هیبریدی الکتریکی ۳

۱-۲-۳) ملاحظات طراحی نیروی محرکه‌ی HEV ۶

۱-۲-۴) ساختار سری ۷

۱-۲-۵) ساختار موازی ۸

۱-۲-۶) ساختار سری-موازی ۱۰

۱-۶-۲-۱) سری- موازی، نوع تعویضی ۱۱

۱-۲-۷) انتخاب سری، موازی یا سری- موازی ۱۳

۱-۳) پیشینه ی تحقیق ۱۴

فصل دوم: مواد و روشها ۳۰

۲-۱) مقدمه ۳۱

۲-۲) اصول جلوبرندگی خودرو ۳۲

۲-۲-۱) توصیفات عمومی حرکت خودرو ۳۲

۲-۲-۲) حالتهای راندن برای سیستم هیبریدی تویوتا (THS) ۳۳

۳-۲-۲) مشخصات نیروی کشش راندن ۳۶

۴-۲-۲) تقاضاهای عملکردی خودرو ۳۸

۳-۲) معادلات دینامیکی خودروی هیبریدی ۴۱

۱-۳-۲) راندن نهایی و چرخها ۴۱

۲-۳-۲) موتور الکتریکی و ژنراتور ۴۳

۳-۳-۲) شبکهی توان الکتریکی و باتری ۴۴

۴-۳-۲) موتور احتراق داخلی ۴۵

۵-۳-۲) مجموعه چرخدنده سیارهای ۴۶

۶-۳-۲) معادلات دینامیکی ۴۷

۷-۳-۲) تعریف مسئله ۵۲

۸-۳-۲) محاسبه گشتاور و توان درخواستی ۵۳

۴-۲) روش شناسی کنترل سیستم هیبرید سری- موازی ۵۴

۱-۴-۲) سیستم کنترل ۵۴

۲-۴-۲) راهبردهای کنترل سیستم هیبریدی سری- موازی ۵۵

۳-۴-۲) راهبرد کنترل گشتاور رانشی ۵۹

۵-۲) حل معادلات دینامیکی خودرو و بحث پیرامون مودهای عملکردی سیستم هیبریدی ۶۵

۶-۲) مصرف سوخت موتور احتراقی ۶۸

فصل سوم: بحث و نتایج ۷۱

۱-۳) نتایج و بحث ۷۲

منابع ۸۰

پیوست الف ۸۵

مقدمه‌ای کلی بر پایان نامه

مقدمه‌ای کلی بر پایان نامه

اساسا هر خودرویی نیازمند توسعه‌ی توان کافی برای رسیدن به تقاضای عملکرد خودرو، انرژی کافی برای راندن در بازه‌ی مناسب، بالا بردن بازده و آلایندگی کم است[۱].

تقاضا برای اقتصاد سوخت بالاتر و صدور گازهای آلاینده‌ی کمتر در خودروها، عامل مهمی در توسعه‌ی خودروهای هیبرید الکتریکی(HEV)، خودروهای الکتریکی سلول سوختی(FCEV) و خودروهای الکتریکی با باتری(BEV) است. یکی از هدف‌های اساسی از ساخت و طراحی خودروهای هیبریدی افزایش اقتصاد سوخت است طوری‌که حالت شارژ باتری در محدوده‌ی قابل قبولی باقی بماند. اولین محصول خودروهای الکتریکی قابل دسترس برای عموم، تویوتا پریوس(Toyota Prius) بوده است. امروزه HEVها توسط اغلب کارخانه‌های خودروسازی ساخته می‌شوند و به طور فزاینده‌ای قابل دسترس هستند[۳و۲].

HEVها کاهش دهنده‌ی گازهای آلاینده‌ی خروجی از وسایط نقلیه است گرچه این خودروها همچون خودروهای BEV قادر به حذف کامل انتشار گازهای آلاینده نیستند. HEVهای متصل به برق، نوع جدیدی از HEV است که دارای باتریهای بیشتر، موتورهای راننده‌ی بیشتر و قابلیت اتصال به برق هستند طوری‌که می‌توانند در تمامی حالت‌های الکتریکی برای پیمودن مسیر، عمل کنند و باتری‌های آن قابل شارژ مجدد هستند. از مزیت های HEV متصل به برق می توان به توانایی آن به کار در ناحیه‌های متراکم، منطقه‌های وابسته به عابر پیاده و انتشار به طور محلی صفر گازهای آلاینده در مسافت پیموده شده‌ی روزانه اشاره نمود[۲].

HEVها که ازدو منبع توان استفاده می‌کنند در واقع مزیت‌های خودروها با موتور احتراق داخلی و خودروهای الکتریکی را در خود جمع می‌کنند و البته معایب مخصوص به خود را دارند[۱].

اصل اساسی در طراحی HEV، هماهنگی سیستم نیروی محرکه‌ی الکتریکی و سیستم موتور احتراق داخلی است. HEV به طور ادراکی برای رسیدن به کارآئی اصلی خودروهای مرسوم در برخی کارآئی‌ها طراحی می شود[۲]. در واقع به دلیل پیامدهای انرژی و زیست محیطی، بسیاری از تحقیقات روی خودروهای HEV تمرکز یافته است. با وجود داشتن پتانسیل زیاد از نظر زیست محیطی در سالهای آتی، محدودیت‌هایی همچون هزینه‌ی خرید، طول عمر و مسایل انرژی، توسعه‌ی این خودروها را به تعویق انداخته است[۳].

خودروی هیبریدی ترکیبی از دو منبع توان(انرژی) است که این ترکیب امکان دارد شامل دیزل/ الکتریک، گازوئیل/ چرخ لنگر و یا سلول سوخت/ باتری باشد. معمولا یک منبع انرژی برای ذخیره و دیگری برای تبدیل سوخت به انرژی به کار می رود حتی این ترکیب امکان دارد در دو سیستم راننده‌ی جداگانه به کار گرفته شود که این امر در طراحی هیبریدهای موازی به کار می رود[٤]. هر خودروی هیبریدی می تواند با انتخاب منبع توان مناسب، توان لازم را برای راندن تامین نماید[۱].

این پژوهش شامل بررسی مصرف بهینه‌ی انرژی و مدیریت آن در خودروهای هیبریدی الکتریکی سری موازی در مسیرهای شیب‌دار (سربالایی و سرپایینی) می‌باشد که برای بدست آوردن نتایج قابل قیاس با داده‌های موجود، استفاده از نرم‌افزارهای مربوطه نیز مد نظر خواهد بود. بررسی کاهش تئوریک مصرف انرژی در خودروهای مرسوم در ذیل بحث مدیدیت مصرف بهینه انرژی انجام گرفته و نتایج بدست آمده از این پژوهش با نتایج موجود در ادبیات فن مقایسه خواهد گردید.

خودروی انتخابی در این پروژه، سواری تویوتا می‌باشد. جهت بهینه سازی از نرم‌افزار مهندسی متلب و کدنویسی در آن استفاده خواهد شد.

فصل اول

پیشینه تحقیق

۱-۱) مقدمه

اساسا هر خودرویی نیازمند توسعه‌ی توان کافی برای رسیدن به تقاضای عملکرد خودرو، انرژی کافی برای راندن در بازه‌ی مناسب، بالا بردن بازده و آلایندگی کم است[۱].

تقاضا برای اقتصاد سوخت بالاتر و صدور گازهای آلاینده‌ی کمتر در خودروها، عامل مهمی در توسعه‌ی خودروهای هیبرید الکتریکی(HEV)، خودروهای الکتریکی سلول سوختی(FCEV) و خودروهای الکتریکی با باتری(BEV) است. یکی از هدف‌های اساسی از ساخت و طراحی خودروهای هیبریدی افزایش اقتصاد سوخت است طوری‌که حالت شارژ باتری در محدوده‌ی قابل قبولی باقی بماند. اولین محصول خودروهای الکتریکی قابل دسترس برای عموم، تویوتا پریوس(Toyota Prius) بوده است. امروزه HEVها توسط اغلب کارخانه‌های خودروسازی ساخته می‌شوند و به طور فزاینده‌ای قابل دسترس هستند[۳و۲].

HEVها کاهش دهنده‌ی گازهای آلاینده‌ی خروجی از وسایط نقلیه است گرچه این خودروها همچون خودروهای BEV قادر به حذف کامل انتشار گازهای آلاینده نیستند. HEVهای متصل به برق، نوع جدیدی از HEV است که دارای باتریهای بیشتر، موتورهای راننده‌ی بیشتر و قابلیت اتصال به برق هستند طوری‌که می‌توانند در تمامی حالت‌های الکتریکی برای پیمودن مسیر، عمل کنند و باتری‌های آن قابل شارژ مجدد هستند. از مزیت های HEV متصل به برق می توان به توانایی آن به کار در ناحیه‌های متراکم، منطقه‌های وابسته به عابر پیاده و انتشار به طور محلی صفر گازهای آلاینده در مسافت پیموده شده‌ی روزانه اشاره نمود[۲].

HEVها که ازدو منبع توان استفاده می‌کنند در واقع مزیت‌های خودروها با موتور احتراق داخلی و خودروهای الکتریکی را در خود جمع می‌کنند و البته معایب مخصوص به خود را دارند[۱].

اصل اساسی در طراحی HEV، هماهنگی سیستم نیروی محرکه‌ی الکتریکی و سیستم موتور احتراق داخلی است. HEV به طور ادراکی برای رسیدن به کارآئی اصلی خودروهای مرسوم در برخی کارآئی‌ها طراحی می شود[۲]. در واقع به دلیل پیامدهای انرژی و زیست محیطی، بسیاری از تحقیقات روی خودروهای HEV تمرکز یافته است. با وجود داشتن پتانسیل زیاد از نظر زیست محیطی در سالهای آتی، محدودیت‌هایی همچون هزینه‌ی خرید، طول عمر و مسایل انرژی، توسعه‌ی این خودروها را به تعویق انداخته است[۳].

۲-۱) کلیات

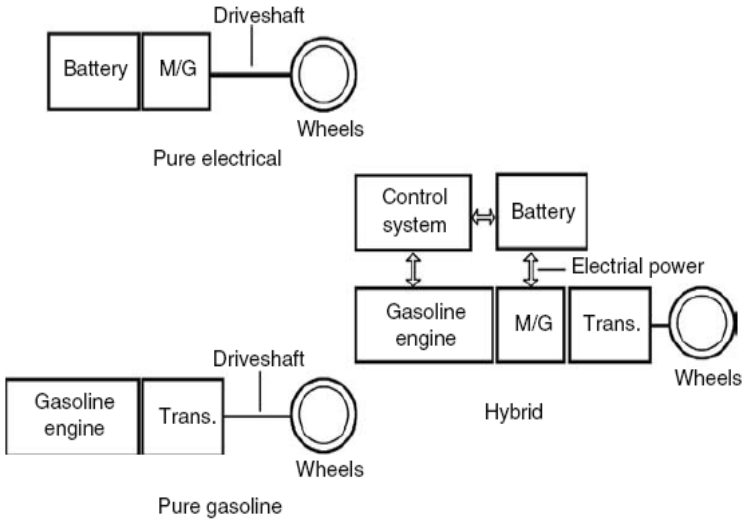
۱-۲-۱) تعریف هیبرید

خودروی هیبریدی ترکیبی از دو منبع توان(انرژی) است که این ترکیب امکان دارد شامل دیزل/ الکتریک، گازوئیل/ چرخ لنگر و یا سلول سوخت/ باتری باشد. معمولا یک منبع انرژی برای ذخیره و دیگری برای تبدیل سوخت به انرژی به کار می رود حتی این ترکیب امکان دارد در دو سیستم راننده‌ی جداگانه به کار گرفته شود که این امر در طراحی هیبریدهای موازی به کار می رود[٤]. هر خودروی هیبریدی می تواند با انتخاب منبع توان مناسب، توان لازم را برای راندن تامین نماید[۱].

۲-۲-۱) خودروی هیبریدی الکتریکی

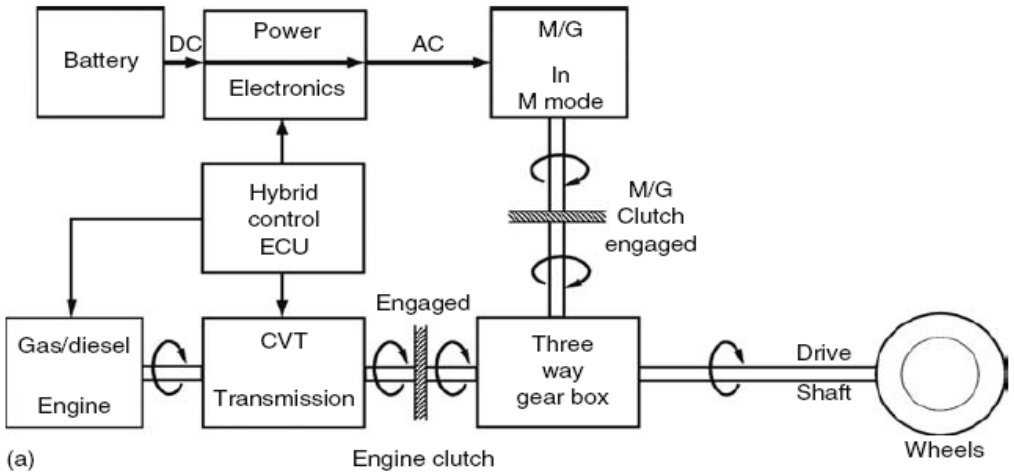
خودروی هیبریدی الکتریکی ترکیب یک موتور گازوئیلی با یک موتور الکتریکی است که در آن موتور دیزلی می‌تواند جایگزینی برای موتور گازوئیلی باشد یعنی ترکیب موتور دیزلی با موتور

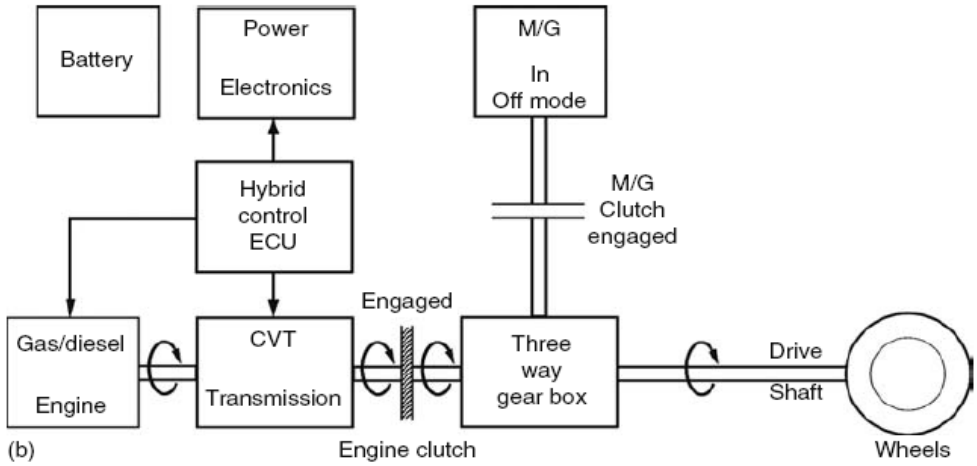
الکتریکی، خودروی هیبریدی را تشکیل می‌دهد. شکل (۱) نشانگر مولفه‌های مختلف خودروی هیبریدی است. مولفه‌ی جدید یک سیستم کنترلی است که به خودروی هیبریدی اضافه می گردد. توابع اساسی در این سیستم کنترلی، ماکزیمم کردن مسافت پیموده نسبت به میزان سوخت مصرفی یا mpg(مایل در هر گالن) و مینی‌موم کردن گازهای خروجی با در نظر گرفتن ماکزیمم mpg به عنوان هدف طراحی است. میتوان به طور خلاصه چنین گفت که در حالت کلی خودروی هیبریدی از ترکیب مولفه‌های مکانیکی، مولفه‌های الکتریکی و مولفه‌ی کنترلی حاصل می‌شود. تاثیر متقابلی بین موتور احتراق داخلی و موتور الکتریکی وجود دارد که این تاثیر متقابل، وابسته به تقاضای راننده و شرایط عملکرد است.



شکل ۱) مولفه‌های اساسی در خودروی هیبریدی[٤]

مولفه‌های خودروی هیبریدی براساس حالت عملکردهای مختلف، وظایف خاصی دارند. شکل (۲) سه حالت عملکرد متفاوت را برای هیبریدی موازی نشان می دهد: شتاب گیری از حالت سکون، حرکت در مسیر آزاد، و بالا رفتن از سربالایی[٤]. هر یک از این شرایط به طور مفصل بحث خواهد گردید.





شکل ۲) عملکردهای متفاوت در خودروهای هیبریدی a) حالت شتاب‌گیری و بالا رفتن از سربالایی. b) حرکت در مسیر آزاد[٤].

چرخه ی رانندگی المان‌هایی از شرایط موثر از جمله شتاب‌گیری از حالت سکون، حرکت در مسیر آزاد و بالا رفتن از سربالایی، زمان بی‌باری و ... را شامل می شود. داده‌های بدست آمده از چرخه‌ی رانندگی برای طراحی هیبرید بسیار مهم هستند. عامل مهم دیگر در طراحی هیبریدی، باز تولید ترمزی در چرخه‌ی رانندگی است که بخشی از انرژی سینماتیک حرکت HEV را به باتری باز می-

گرداند. باز تولید در حرکت با دنده خلاص، حرکت در سرازیری یا با سرعت کم، از دیگر عوامل باز تولید انرژی است که از موتور الکتریکی/ ژنراتور(M\G) در حالت G برای شارژ باتری استفاده می شود. بسته‌ی باتری معمولا در ولتاژ بالا است. سیستم توزیع توان با توجه به گستره‌ی وسیع توان و ولتاژ به دو بخش مجزا می‌گردد، یک بخش آن مربوط به توان کم و ولتاژ کم و بخش دیگر مربوط به توان بالا و ولتاژ بالا است[٤و١].

این که طرح خودروهای هیبریدی با شکست مواجه شده و یا موفق بوده است اساسا وابسته به چگونگی ترکیب سیستم کنترلی، توزیع و مدیریت توان حاصله از دو منبع مختلف انرژی است. فعل و انفعال پیچیده‌ی حاصل از جریان توان بین موتور الکتریکی و موتور احتراق داخلی باید به طور شفاف و اطمینان بخش، قابل کنترل باشد. علاوه بر این فاکتورها HEV باید نمودهایی از کارآیی‌اش را ارائه دهد که بسیار بهتر از خودروهای مرسوم(CV) باشد طوریکه گران‌قیمت بودنش توجیه گردد[٤].

۳-۲-۱) ملاحظات طراحی نیروی محرکه‌ی HEV

سه نوع اصلی سیستم های هیبریدی در بازار موجود است: سری، موازی و سری- موازی[۵]. در نوع سری، موتورهای احتراق داخلی، ژنراتور را برای شارژ باتری به کار می‌اندازد و موتور الکتریکی(EM) خودرو را به تنهایی به جلو می‌راند. این نوع خودروها به آسانی قابل کنترل هستند ولی باید باتری و ژنراتور آن دارای اندازه‌ی بزرگی باشند. خودروهای هیبریدی الکتریکی موازی ساختاری ساده با یک موتور احتراق داخلی و یک موتور الکتریکی است و هر دوی آن‌ها قابلیت رساندن توان به طور موازی در جهت راندن چرخه های خودرو را دارند مگر در مواقعی که موتور الکتریکی به عنوان شارژ کننده‌ی باتری به کار می رود. سیستم هیبریدی سری برای شرایط راندن در

شهر بسیار مناسب بوده در حالی‌که در شرایط مسیرهای طولانی رفتار هیبرید موازی مطلوب است[٦].

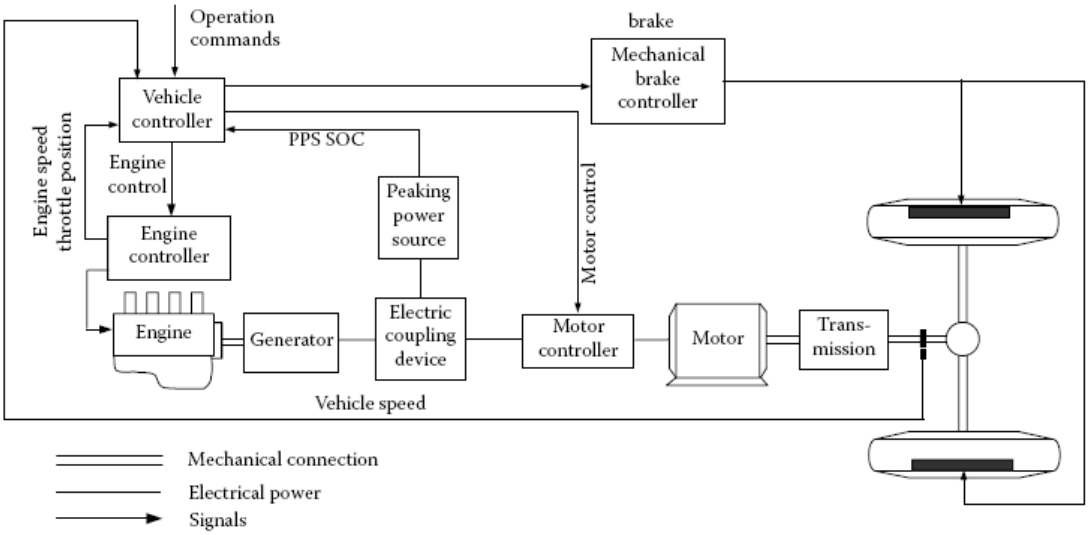
سیستم‌های هیبریدی الکتریکی سری- موازی(SPHEV) ترکیبی از یک سیستم هیبریدی سری با یک سیستم هیبریدی موازی است که مزایای هر دو سیستم را در سیستمی واحد جمع نموده است[٧و٦]. بنابراین برای شرایط راندن مختلف بسیار مناسب است، مانند چرخه‌ی اتوبوس های حمل و نقل شهری که موجب سهولت در روان کردن ترافیک می‌شود. نوع سری- موازی را می‌توان در انواع مختلف خودروهایی چون تویوتا-THS، Ford-THS و GM-Allison AHS مشاهده نمود[٩و٨]. این سیستم‌های کامل هیبریدی مجموعه چرخدنده‌ای سیاره‌ای با دو درجه آزادی که همواره کوپله می باشد را به عنوان واحد توزیع توان به کار می‌گیرد، که این امر می تواند در تقویت پر اهمیت اقتصاد سوخت موثر باشد ولی به سختی قابل کنترل است[٥].

٤-٢-١) ساختار سری

شکل (٣) خودروی هیبریدی الکتریکی سری را نشان می دهد که تنها دو شفت انتقال قدرت دارد و این دو شفت به یکدیگر متصل نیستند. موتور احتراق داخلی می‌تواند در دور موتور بهینه کار کرده و دریچه‌ی تنظیم سوخت در مصرف مینی‌موم سوخت تنظیم گردد. علاوه بر آن، کنترل نقطه ی عملکرد ICE کنترل ساده‌ای از مینی‌موم کردن گازهای آلاینده‌ی خروجی را فراهم می‌سازد. ICE و ژنراتور به عنوان یک واحد به شفت انتقال قدرت متصل نیستند[٤]. HEV سری دارای دو مرحله ی تبدیل انرژی است:

Mechanical→ Electrical→ Mechanical

تمام توان مکانیکی به الکتریکی تبدیل شده و دوباره به توان مکانیکی باز می‌گردد. هر مرحله‌ی تبدیل انرژی تلفات خاص خود را دارد[٤].



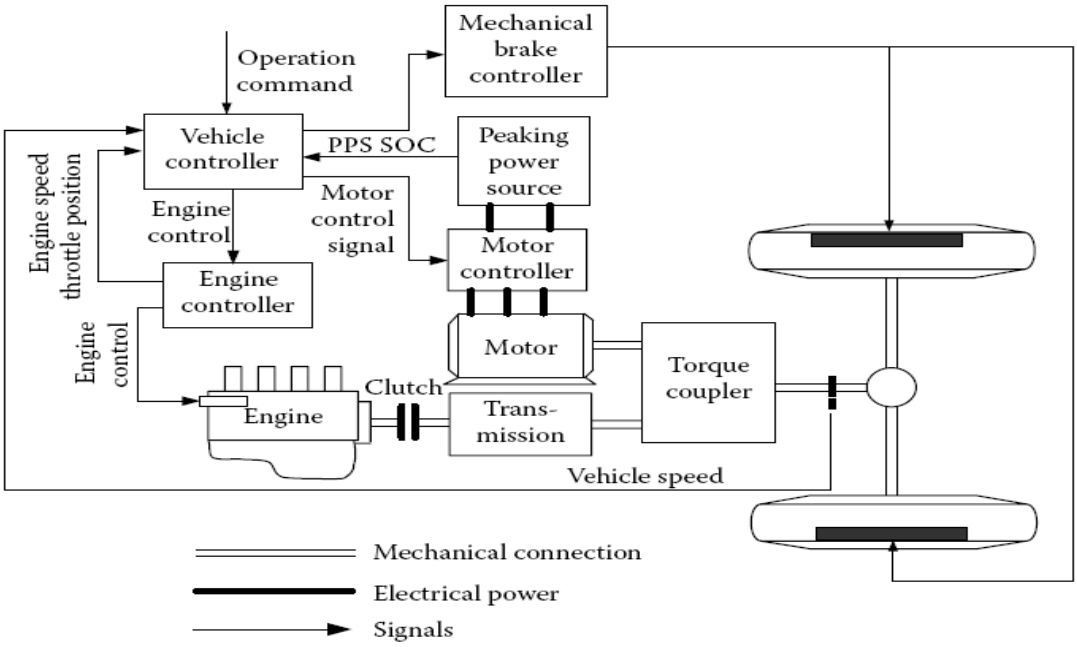
شکل ۳) شماتیک خودروی هیبریدی سری، اتصال مستقیم موتور الکتریکی به چرخ‌ها[۱].

نبود اتصال مکانیکی بین موتور احتراق داخلی و چرخ‌ها عامل اساسی کارکرد موتور احتراق داخلی در بازه‌ی بازدهی مناسب است و هم‌چنین راهبرد کنترل خودروهای هیبریدی سری نسبت دیگر ساختارها بسیار ساده است که این امر مزیتی برای خودروهای هیبریدی سری است البته معایبی چون اندازه و هزینه‌ی بیشتر موتورهای الکتریکی، تبدیل انرژی‌های الکتریکی و مکانیکی به یکدیگر، گسترش این نوع خودروها را با مشکل مواجه نموده است[۱].

۵-۲-۱) ساختار موازی

شکل (٤) نشان دهنده‌ی مولفه‌های سیستم موازی از خودروهای هیبرید الکتریکی است. در ساختار موازی، اتصال مکانیکی مستقیمی بین M\G و چرخ دیسک وجود دارد. به همین منوال اتصال مکانیکی مستقیمی بین موتور احتراق داخلی و چرخ‌های دیسک وجود دارد و به دلیل همین اتصال

مکانیکی مستقیم، انتقال قدرت نیازمند تطبیق سرعت موتور احتراق داخلی با سرعت شفت است. در این عملکرد، انتقال قدرت به طور پیوسته متغیر برای انتقال قدرت با مقادیر محدودی از نسبت ثابت چرخدنده‌ای بسیار مناسب است[٤].



شکل ٤) شماتیک خودروی هیبریدی موازی، موتور الکتریکی و موتور احتراقی می‌توانند به‌طور مستقیم به چرخ‌ها متصل گردند[١].

یکی از مزیت‌های اصلی سیستم موازی وجود تنها یک تبدیل انرژی است. این تبدیل به شکل زیر می‌باشد:

Engine Mechanical→ Drive Shaft Mechanical

Motor Electrical→ Drive Shaft Mechanical

به جز در SOCکم باتری این موتور احتراق داخلی است که به تنهایی خودرو را پیش می‌راند. لازم به ذکر است که هیبرید موازی به مولفه‌های سنگینی نیاز نداشته و طراحی انعطاف پذیر قابل ملاحظه‌ای

در انتخاب اندازه‌ی M\G وجود دارد. M\G نسبت به توان کامل هیبرید می‌تواند اندازه‌ی کوچکتری نیز داشته باشد[۱].

برخی از ویژگی‌های هیبرید موازی، توانایی در کار کردن تنها با موتور احتراق داخلی، با موتور الکتریکی یا ترکیبی از این دو برای تامین گشتاور مورد نیاز است. حالت کار با موتور الکتریکی برای تقویت mpg در عملکرد توقف یا راه افتادن، بسیار مهم است. هیبرید موازی همچنین پاسخ بسیار سریعی نسبت به هیبرید سری داشته و این امر در تغییر آنی گشتاور یا توان مشاهده می‌شود. پاسخ سریع مزیتی در موقعیت ترافیک است[۱].

از معایب هیبرید موازی می توان به نیاز به مولفه‌های بیشتر که ضرورتی در هیبریدهای سری ندارند اشاره نمود. از این مولفه‌ها می‌توان از سیستم انتقال قدرت و کلاچ نام برد. معمولا سه نوع شفت انتقال قدرت ضروری است: دو شفت ورودی و یک شفت خروجی. به علاوه مجموعه سوپاپ‌های موتور بنابه سختی در کنترل گازهای خروجی، متغیر است، متغیر بودن مجموعه سوپاپ موتور منجر به عملکرد موتور احتراق داخلی در مصرف ویژه‌ی سوخت بالاتر می‌شود. به دلیل نیاز به اتصال مکانیکی موتور احتراق داخلی با محور محرک، گزینه های انتخاب موقعیت موتور محدود است[٤و١].

٦-٢-١) ساختار سری-موازی

سیستم هیبریدی سری موازی یا به بیانی دیگر سیستم هیبریدی کوپلینگ گشتاور/ سرعت مزیت‌های سیستم‌های سری و سیستم‌های موازی را یک‌جا جمع می‌کند. این سیستم، موتور احتراق داخلی را از چرخ‌های راندن در محدودیت‌های سرعت و گشتاور آزاد می‌نماید، لذا گشتاور و سرعت آنی موتور احتراق داخلی می‌تواند از گشتاور اعمالی و سرعت خودرو مستقل باشد که این امر منجر به عملکرد