بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه ارومیه

دانشکده فنی و مهندسی

گروه مهندسی برق

پایان نامه کارشناسی ارشد (قدرت)

کنترل محرکه ی موتور جریان مستقیم بدون جاروبک(BLDC) برای خودرو های برقی و ارائه ی یک روش جدید کنترلی

نگارنده:

حمیده اجتماعی

استاد راهنما:

دکتر مرتضی فرسادی

بهمن ماه ۹۲

کنترل محرکه ی موتور جریان مستقیم بدون جاروبک(BLDC) برای خودرو های برقی و ارائه ی یک روش جدید کنترلی

دانشجو:
حمیده اجتماعی

این پایاننامه به عنوان بخشی از فعالیتهای علمی - پژوهشی مقطع کارشناسی ارشد مهندسی **برق** گرایش **قدرت** در تاریخ توسط هیئت داوران ذیل مورد پذیرش قرار گرفت.

استاد راهنمای اول: دکتر مرتضی فرساد

داور خارجی:

داور داخلی:

نماینده تحصیلات تکمیلی:

دانشگاه ارومیه

دانشکده فنی و مهندسی

تعهد نامه پژوهشی

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایاننامه های تحصیلی دانشجویان دانشگاه ارومیه مبین بخشی از فعالیتهای علمی - پژوهشی دانشجو میباشد که با استفاده از اعتبارات دانشگاه انجام میشود، برای آگاهی دانشجو و رعایت حقوق دانشگاه، دانش آموختگان گرامی نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد میشوند:

۱. قبل از چاپ پایان نامه خود، مراتب را بطور کتبی به مدیریت تحصیلات تکمیلی دانشگاه اطلاع و کسب اجازه نمایند.

۲. در انتشار نتایج پایان نامه در قالب مقاله، همایش، اختراع، اکتشاف و سایر موارد ذکر نام دانشگاه ارومیه الزامی است.

۳. انتشار نتایج پایان نامه باید با اطلاع و کسب اجازه از استاد راهنما صورت گیرد.

اینجانب **حمیده اجتماعی** دانشجوی گرایش **قدرت** مقطع **کارشناسی ارشد** تعهدات فوق و ضمانت اجرایی آنرا قبول کرده و به آن ملتزم میشوم.

تاریخ و امضا دانشجو

تقدیم به:

پدر و مادر عزیزم و

همسر مهربانم

چکیده:

با افزایش نگرانی برای محیط زیست،رشد سریع در خودرو های الکتریکی (EVs) و خودرو های الکتریکی هیبرید (HEVs) وجود دارد.از آنجایی که محرکه های الکتریکی هسته ی خودرو های EVs و HEVs هستند،تحقیق برای توسعه ی سیستم های محرکه ی الکتریکی یک نیاز ضروری است.محرکه ها و ماشین های پر کاربرد درخودرو های برقی عبارتند از: محرکه ی جریان مستقیم(DC) ،محرکه ی القایی (İM) ،محرکه ی سوئیچ رلوکتانس(SR) ، محرکه ی بدون جاروبک با مغناطیس دائم(PMBL) .محرکه های PMBL بر اساس استراتژی کنترل به صورت BLAC و BLDC طبقه بندی می شود.محرکه ی BLDC به دلیل نویز پایین به علت نبود جاروبک، راندمان بالا، طول عمر زیاد و نگهداری کم و کنترل ساده و آسان در صنایع خودرو سازی کاربرد وسیع دارد.کنترل موتور dc بدون جاروبک(BLDC) برای خودرو های برقی بر اساس مدل ریاضی و شرایط کار خاص موتور توسعه یافته است.گشتاور خروجی در یک موتور BLDC معمولا از طریق تنظیم جریان های فاز موتور کنترل می شود.در بخش اول پایان نامه انواع محرکه ها و روش های کنترل موتور BLDC ارائه شده است و در بخش دوم ساختمان و مدل ریاضی موتور BLDC آورده شده است و در ادامه روش های کنترلی پیشنهادی مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته است.از آنجایی که برای اندازه گیری مستفیم جریان فاز های موتور مستلزم وجود سنسور های جریان جداگانه می باشد که وجود این سنسور ها پیچیدگی و قیمت و انداره ی محرکه را افزایش می دهد.بنابراین در روش های پیشنهادی اندازه گیری جریان با استفاده از سنسور جریان لینک dc به عنوان تکنولوژی تک سنسور جریان معرفی می شود. سه روش کنترلی : کنترل هیسترزیس جریان با یک سنسور جریان، کنترل PWM جریان با یک سنسور جریان و کنترل ولتاژ لینک dc متغییر با یک سنسور جریان مورد بررسی قرار گرفته است.در نهایت اساس عملکرد ساختار های پیشنهادی و روش های کنترلی ارائه شده با شبیه سازی در محیط نرم افزاز MATLAB/SIMULINK ارائه گردیده است و هر سه روش با هم مقایسه شده است.

کلید واژه ها: خودرو های برقی، موتور جریان مستقیم بدون جاروبک(BLDC)، اینورتر شش سوئیچه،استراتژی تک سنسور جریان

فهرست مطالب

فصل اول:مروری بر منابع

۱-۱ مقدمه ۱

۱-۲ تاریخچه خودرو های برقی ۱

۱- ۳ پیکربندی خودرو های برقی ۳

۱-۴ ویژگی های اساسی محرکه های الکتریکی برای خودرو های برقی ۵

۱-۵ انواع محرکه های الکتریکی ۷

۱-۵-۱ محرکه ی جریان مستقیم..... ۸

۱-۵-۲ محرکه القایی(IM)..... ۹

۱-۵-۳ محرکه ی سوئیچ رلوکتانس (SR)..... ۹

۱-۵-۴ ماشین های با مغناطیس دائم بدون جاروبک(PMBL)..... ۱۰

۱-۵-۴-۱ محرکه ها و ماشین های AC و DC بدون جاروبک..... ۱۰

۱-۵-۴-۲ عملکرد ثابت توان BLDCوBLAC..... ۱۱

۱-۶ مزایا ی موتور BLDC..... ۱۲

۱-۷ معایب موتور BLDC..... ۱۳

۱-۸ روش های کنترل موتورBLDC با استفاده از اینورتر شش سوئیچه..... ۱۴

۱-۸-۱ کنترل باند هیسترزیس..... ۱۵

۱-۸-۱-۱کنترل گشتاور ۱۵

۱-۸-۱-۲ کنترل سرعت ۱۶

۱-۸-۲ کنترل PWM جریان.....۱۶
۱-۸-۲-۱ کنترل گشتاور.....۱۸
۱-۸-۲-۲ کنترل سرعت.....۱۹
۱-۸-۳ کنترل ولتاژ لینک dc متغیر.....۲۰
۱-۸-۳-۱ کنترل گشتاور.....۲۰
۱-۸-۳-۲ کنترل سرعت.....۲۰
۱-۹ روش های کنترل موتور BLDC با استفاده از اینورتر چهار سوئیچه.....۲۱
۱-۹-۱ کنترل مستقیم جریان.....۲۲
۱-۹-۱-۱ اصل عملیات PWM کنترل مستقیم جریان.....۲۳
۱-۹-۲ کنترل مستقیم گشتاور(DTC).....۲۵
۱-۹-۲-۱ کنترل گشتاور الکترو مغناطیسی با انتخاب بردارهای فضائی ولتاژ.....۲۸
۱-۹-۳ کنترل موتور BLDC سه فاز چهار سوئیچ با استفاده از یک سنسور جریان.....۳۱
۱-۹-۳-۱ سیسنم کنترلی.....۳۲
۱-۱۰ نتیجه گیری.....۳۴
فصل دوم:برررسی موتور BLDC
۲-۱ مقدمه.....۳۶
۲-۲ ساختمان موتور BLDC.....۳۶
۲-۲-۱ ساختمان استاتور موتور BLDC.....۳۷
۲-۲-۲ ساختمان روتور BLDC.....۳۷
۲-۳ اصول کارکرد موتور BLDC.....۳۸
۲-۴ مدل ریاضی موتور BLDC.....۳۹

فصل سوم:شبیه سازی کنترل موتورBLDC

۳-۱ کنترل موتور BLDC با روش مرسوم (کنترل با سه سنسور جریان) ۴۳

۳-۱-۱ مدل سازی تولید جریان مرجع ۴۴

۳-۲ طراحی مدار کنترلی با سه سنسور جریان ۴۴

۳-۳ کنترل موتور BLDC با یک سنسور جریان برای کاهش ریپل گشتاور ۴۸

۳-۳-۱ ارائه ی روش کنترلی ۱ ..... ۴۹

۳-۳-۱-۱ مدل سازی کنترلر هیسترزیس ۵۰

۳-۳-۱-۲ مدل سازی کنترلر سرعت ۵۰

۳-۳-۱-۳ مدل سازی اینورتر شش سوئیچه ۵۱

۳-۳-۲ طراحی مدار روش کنترلی ۱ ..... ۵۱

۳-۳-۳ ارائه ی روش کنترلی۲ ..... ۵۳

۳-۳-۳-۱ مدل سازی تابع تبدیل پارک ۵۴

۳-۳-۳-۲ کنترل PI حلقه ی سرعت ۵۴

۳-۳-۴ طراحی مدار روش کنترلی ۲ ..... ۵۵

۳-۳-۵ ارائه ی روش کنترلی ۳ ..... ۵۷

۳-۳-۶ طراحی مدار روش کنترلی ۳ ..... ۵۷

فصل چهارم:بحث و نتایج شبیه سازی

۴-۱ نتایج شبیه سازی روش کنترلی ۱ ..... ۵۹

۴-۲ نتایج شبیه سازی روش کنترلی ۲ ..... ۶۲

۴-۳ نتایج شبیه سازی روش کنترلی ۳ ..... ۶۵

۴-۴ نتیجه گیری ۶۸

نتیجه گیری پایانی:.....۶۹
منابع و مراجع ۷۱

فهرست اشکال:

فصل اول:

شکل(۱-۱) ، سیستم موتور محرکه ی مستقیم ۴
شکل (۱-۲)، محرکه ی غیر مستقیم با یک موتور ۴
شکل(۱-۳)، محرکه ی غیر مستقیم با دو موتور ۵
شکل(۱-۴)،گشتاور/توان مورد نیاز برای ماشین های کششی ۶
شکل(۱-۵)،مشخصه ی گشتاور/توان-سرعت ایده آل ۷
شکل(۱-۶)، توپولوژی ماشین های EV ،a)DC، b)القایی ،c)سوئیچ رلوکتانس،d)PMBL..... ۸
شکل(۱-۷)، طبقه بندی محرکه های خودرو های برقی ۸
شکل(۱-۸)،شکل موج جریان و a)BLAC ,b)BLDC.back-EMF..... ۱۱
شکل(۱-۹)، مشخصه گشتاور-سرعت محرکه ی a) PMBL ،با کنترل و بدون کنترل،b)BLDC در مقابل BLAC..... ۱۲
شکل(۱-۱۰)، سه قسمت اصلی درایوBLDC..... ۱۴
شکل(۱-۱۱)، سیستم درایو موتورBLDCسه فاز شش سوئیچ ۱۴
شکل(۱-۱۲)، سیستم کنترل گشتاور هیسترزیس..... ۱۶
شکل (۱-۱۳)،سیستم کنترل سرعت هیسترزیس ۱۶
شکل (۱-۱۴)، روش کنترل PWM جریان ۱۷
شکل (۱-۱۵)، کنترل PWM.PWM دو طرفه(a، PWM یک طرفه (b ،PWM دو طرفه مکمل(c ۱۸
شکل (۱-۱۶)،سیستم کنترل گشتاور PWM..... ۱۹
شکل (۱-۱۷)،سیستم کنترل سرعت PWM ۱۹
شکل (۱-۱۸)،سیستم کنترل گشتاور کنترل ولتاژ لینک dc متغیر ۲۰
شکل (۱-۱۹)،کنترل سرعت ولتاژ لینک dc متغیر ۲۱

شکل(۱-۲۰)، محرکه ی موتور BLDC سه فاز چهار سوئیچ ۲۲
شکل(۱-۲۱)، پروفایل جریان و back-EMF در اینورتر چهار سوئیچ برای محرکه ی BLDC..... ۲۳
شکل (۱-۲۲)،مسیر های واقعی(خطوط منحنی یک پارچه)و ایده آل(خطوط نقطه چین)شار استاتور . ۲۸
شکل(۱-۲۳)، کنترل گشتاور فاز aو b درسکتور ۲ و ۵ ..... ۳۰
شکل (۱-۲۴)، بلوک دیاگرام کلی DTC هدایت دو فاز چهار سوئیچ موتور BLDC ۳۱
شکل(۱-۲۵)،شماتیک کنترل موتور BLDC چهار سوئیچ با یک سنسور جریان ۳۲
شکل(۱-۲۶)،شماتیک کنترلر ۱ ..... ۳۳
شکل (۱-۲۷)،شماتیک کنترلر ۲ ..... ۳۴
شکل (۱-۲۸)،شماتیک کنترلر ۳ ..... ۳۴
فصل دوم:
شکل(۲-۱)، ساختمان استاتور موتور BLDC ۳۷
شکل(۲-۲)، برش طولی موتور BLDC سه فاز ۳۹
شکل (۲-۳)، مدل سیم پیچ های استاتور موتور BLDC ۴۰
فصل سوم:
شکل (۳-۱)، شکل موج back-EMF و جریان در موتور BLDCو سیگنال های سنسور هال ۴۳
شکل(۳-۲)،تولید مد های کلید زنی با استفاده از سیگنال های هال و back-EMF از پیش تعیین شده
..... ۴۵
شکل (۳-۳)،بلوک اینورتر ۴۶
شکل(۳-۴)، مدار کامل شبیه سازی شده،کنترل موتور با BLDC سه سنسور ۴۶
شکل(۳-۵)،تنطیم جریان سه فاز موتور BLDC ۴۸
شکل(۳-۶)،بلوک کنترل موتور BLDC با روش کنترل هیسترزیس جریان با یک سنسور جریان..... ۵۲
شکل(۳-۷)،بلوک دیاگرام موتور BLDC کنترل شده با PWM جریان ۵۴
شکل(۳-۸)،بلوک تبدیل odq به abc..... ۵۶
شکل (۳-۹)، بلوک دیاگرام تولید سیگنال کلید زنی در کنترل PWM جریان..... ۵۶

شکل (۳-۱۰)،بلوک تولید شش حالت کلیدزنی اینورتر ۵۷

فصل چهارم :

شکل (۴-۱)، جریان های فاز موتور،الف)کنترل هیسترزیس با یک سنسور جریان،ب)کنترل با سه سنسور جریان..... ۶۰

شکل(۴-۲)،گشتاور الکترومغناطیسی موتور،الف)کنترل هیسترزیس با یک سنسور جریان،ب)کنترل با سه سنسور جریان ۶۱

شکل (۴-۳)، سرعت موتوربا روش کنترل هیسترزیس جریان با یک سنسور جریان..... ۶۲

شکل (۴-۴)، جریان فاز موتور BLDC ،کنترل PWM جریان با استفاده از یک سنسور جریان ۶۳

شکل (۴-۵)،گشتاور الکترو مغناطیسی موتور با روش کنترل PWM جریان و با استفاده از یک سنسور جریان..... ۶۳

شکل (۴-۶)،سرعت روتور موتور BLDC،کنترل PWM جریان و با استفاده از یک سنسور جریان ۶۴

شکل (۴-۷)،گشتاور الکترومغناطیسی با کنترل PWM جریان،الف) فرکانس کلید زنی ۴ کیلو هرتز،ب)فرکانس کلید زنی ۴۰ کیلو هرتز ۶۵

شکل (۴-۸)،جریان فازهای موتور BLDC ،کنترل منبع ولتاژ متغییرلینک dc با استفاده از یک سنسور جریان..... ۶۶

شکل (۴-۹)،گشتاور الکترومغناطیسی موتور BLDC ، کنترل منبع ولتاژ متغییرلینک dc با استفاده از یک سنسور جریان ۶۷

شکل (۴-۱۰)،سرعت روتور موتور BLDC ،کنترل ولتاژ لینک dc متغییر..... ۶۸

فصل اول

مروری بر منابع

۱-۱ مقدمه

اخیرا به علت آلودگی‌های زیست محیطی و افزایش بحران انرژی در جهان، کشور های توسعه یافته تلاش می کنند که وابستگی به نفت به عنوان منبع انرژی کاهش یابد. بنابراین خودرو های برقی(EVs) به جای خودرو های کششی استفاده می شود.خودرو های برقی شامل ماشین های الکتریکی، قایق ها با موتور الکتریکی، دوچرخه ی الکتریکی و صندلی چرخ دار الکتریکی هستند که از طریق برق ذخیره شده در یک باتری به حرکت در می آیند.

خودروهای مجهز به موتور احتراق داخلی (ICE [۱]) بیش از صد سال است که وجود دارند. اگرچه وسایل نقلیه ICE (ICEV) توسط تکنولوژی الکترونیکی اتوماتیک مدرن بهبود یافته است، ولی آنها به تغییر عمده نیاز دارند تا بطور قابل توجه اقتصاد سوخت را بهبود دهند و تولید گازهای گلخانه ای را کاهش دهند.وسایل نقلیه ی الکتریکی و هیبریدی راه حل مناسب شناخته شده است تا اساسا مشکلات مرتبط با خودروهای با موتور احتراق داخلی را حل کند. محرکه های الکتریکی هسته ی تکنولوژی EV[۲] ها و HEV[۳] ها هستند.

محرکه ی dc بدون جاروبک(BLDC[۴]) پرکاربرد ترین محرکه برای خودرو های برقی است.این محرکه بدون جاروبک و کموتاتور است و کموتاسیون از طریق کلید ها انجام می گیرد.فاصله ی کموتاسیون توسط موقعیت روتور تشخیص داده می شود.

در این فصل ابتدا تاریخچه ی خودرو های برقی و انواع محرکه ها ی پر کاربرد در خودرو های برقی و ویژگی های آنها بیان می شود،سپس روش های کنترل موتور BLDC بیان می شود.

۱-۲ تاریخچه خودرو های برقی

خطر آلودگی محیط زیست،قوانین سخت گیرانه برای کاهش آلودگی هوا خصوصا در مرکز شهر ها به همراه کاهش منابع سوخت فسیلی و افزایش قیمت آنها،دلایل عمده ی پیدا کردن یک جایگزین بهتر

[۱] Internal combustion engine
[۲] Electric vehicle
[۳] Hybrid electric vehicle
[۴] Brushless dc motor

برای خودرو های مجهز به موتور احتراق داخلی یا بهبود آنها بودند.اگرچه خودرو های احتراق داخلی با پیشرفت تکنولوژی وسایل نقلیه موتوری در حال توسعه هستند و آنها نیاز به یک تغییر اساسی برای بهبود رضایت بخش اقتصاد سوخت و کاهش آلودگی دارند.

اولین خودروی برقی در دهه ی ۱۸۳۰ ساخته شد.حدود نیم قرن طول کشیدتا باتری ها توسعه یافتندو در خودرو های برقی مورد استفاده قرار گرفتند.این باتری های قابل شارژ باعث توسعه خودرو های برقی در دهه های بعدی شدند.در سال ۱۸۷۰ آقای دیود سالومون یک خودرو با موتور الکتریکی سبک و منابع ذخیره ی انرژی سنگین ساخت که سرعت و مسافت رانندگی پایین داشت.تولید تجاری خودرو های برقی از سال ۱۸۹۲ آغاز شد و پس از آقای سالومون در سال ۱۸۹۸ دکتر فردیاند پروشه در سن ۲۳ سالگی اولین خودروی برقی خود را ساخت.این اولین ماشین با محرک چرخ جلو بود.دومین خودروی پروشه خودروی هیبرید بود که در آن با استفاده از یک موتور احتراق داخلی،ژنراتوری که توان مورد نیاز برای حرکت موتور جایگذاری شده روی رینگ ها را فراهم می آورد،به چرخش در می آمدو تنها با استفاده از باتری ،خودرو می توانست در حدود چهل مایل مسافت طی کند[۱],[۲] ,[۴],

جنرال موتورز(GMS) تحقیقات خود در زمینه ی خودرو های برقی را در سال ۱۹۱۶ با ساخت کامیون های الکتریکی با باتری های سرب–اسید شروع کرد.بحران قیمت نفت در دهه ی ۱۹۷۰ باعث شد تا خودروی برقی دوباره مورد توجه قرار گیرد.در سال ۱۹۷۷ در ژاپن ۱۳۰۰۰ و در انگلستان ۷۰۰۰۰ خودروی برقی فعال بودند.با این وجود به دلیل نبود تکنولوژی مناسب ،قیمت بالا و کاهش مجدد قیمت نفت استقبال چندانی از خودروی برقی به عمل نیامد.اما در ژاپن این پروژه از طرف وزارت صنعت و تجارت بین الملل مورد حمایت قرار گرفت.در دهه ی ۱۹۸۰ توجه به مسئله ی آلودگی محیط زیست جرقه ای دوباره در مورد تحقیقات در زمینه ی خودرو های برقی در ایالات متحده را فراهم آورد.پس از این دوره شکوفایی در سال ۱۹۸۲ با اختراع استارت برقی برای خودرو های بنزینی دوران کاهش تولید خودرو های برقی آغاز شد.در دهه ی ۱۹۹۰ به دلیل اهمیت یافتن مساله آلودگی هوا در شهر های بزرگ و نیز به دلیل پیشرفت تکنولوژی های مربوط به خودروی برقی تولید آن اجبار شد و دولت ها حمایت از این تکنولوژی را بر عهده گرفتند.در سال ۱۹۹۶ کارخانه جنرال موتورز تولید انبوه خودروی برقی را آغاز کرد[۳].عرضه ی خودرو های برقی از سوی خودرو سازان بزرگی ادامه یافت.یکی از مشکلات

خودرو های برقی برد کم آنها در مقایسه با خودرو های بنزینی بود.به همین دلیل خودرو های هیبرید به بازار عرضه شدند.در این خودرو ها یک موتور بنزینی همراه با موتور الکتریکی به کار گرفته شد تا برد آن نسبت به خودرو های برقی و بازدهی آن نسبت به خودرو های بنزینی افزایش یابد.

۱- ۳ پیکربندی خودرو های برقی

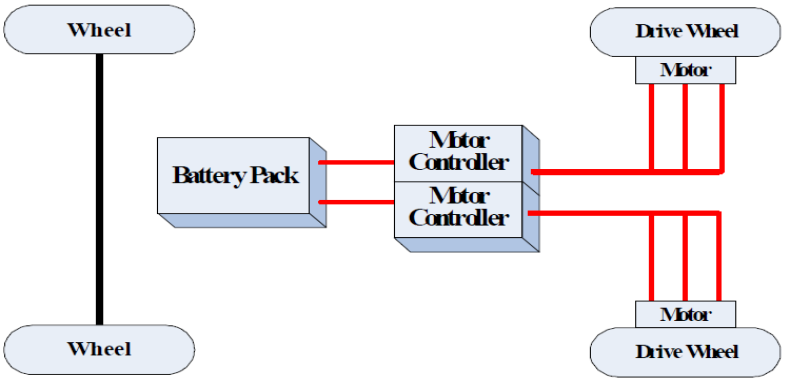
خودرو های برقی به طور کامل شامل ۵ قسمت: سیستم کنترلی،موتور،باتری ها،بدنه ی خودروو شارژر هستند.موتور و محرکه اش به عنوان محرک اصلی خودروبه طور مستقیم عملکرد تمامی قسمت های خودرو را تعیین می کند.از نظر سیستم کنترلی اجزای اصلی خودرو های برقی شامل باتری،موتور الکتریکی،مبدل الکترونیکی،سنسور های جریان و سنسور موقعیت است[۶].

از طرف دیگر،برای نظارت بر وضعیت نیرو ی محرکه ی الکتریکی و انرژی ذخیره شده در باتری ها انواع اندازه گیری های ولتاژ و جریان باید در خودرو تعبیه شوند.خودروی الکتریکی نیرو ی پیشران خود رااز موتور الکتریکی به جای موتور احتراق داخلی دریافت می کندو همین موضوع دلیل اصلی آلودگی صفر این خودرو ها شده و آنها را معروف به خودرو های بدون آلاینده کرده است[۶].در خودرو های معمولی به دلیل اندازه ی بزرگ و وزن سنگین موتور احتراق داخلی بیشتر از یک موتور نمی توان استفاده کرد.بنابراین با استفاده از موتور احتراق داخلی در خودرو ها نمی توان به بازده بالایی دست یافت مگر اینکه از ساختارهای مخصوص و پر هزینه استفاده کرد.

یکی از مزایای خودرو های برقی بازده بسیار بالای این سیستم است.این سیستم دارای انعطاف پذیری بالایی از لحاظ ساختاری داردو دلیل اصلی این موضوع موتور های الکتریکی هستند.

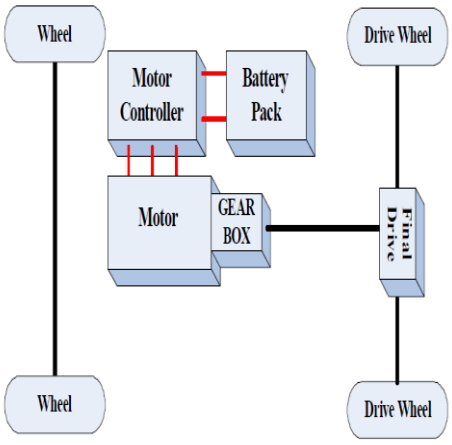
موتور های الکتریکی استفاده شده در خودرو های برقی از لحاظ نحوه ی اتصال به چرخ های ماشین در حالت کلی به محرکه ی مستقیم و محرکه ی غیر مستقیم دسته بندی می گردند.موتور های محرکه ی مستقیم بدون هیچ واسطه ای در داخل چرخ ها قرار می گیرند یا به چرخ ها وصل می گردند و نیاز به دنده های دیفرانسیلی مکانیکی ندارندو نسبت به موتور های محرکه ی غیر مستقیم که از طریق دنده های دیفرانسیلی مکانیکی به چرخ ها وصل می گردند دارای حجم کمتر و بازده کلی بالاتری هستند. موتور های محرکه ی مستقیم به دو نوع با دنده ثابت و بدون دنده ثابت که دنده های مکانیکی در این

نوع به طور کامل حذف شده و سزعت موتور به طور مستقیم تحت تاثیر سرعت خودرو قرار دارد،تقسیم می شوند.شکل (۱-۱) موتور محرکه ی مستقیم را نشان می دهد[۶],[۵] .

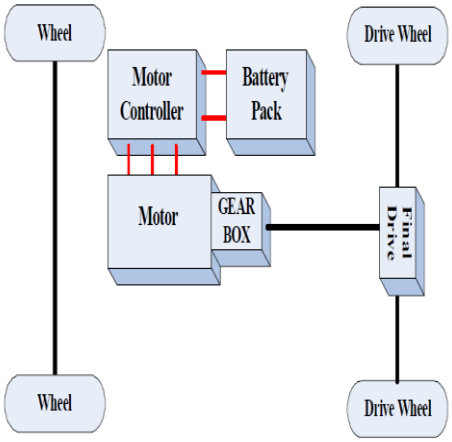


شکل(۱-۱) ، سیستم موتور محرکه ی مستقیم

خودرو های برقی با محرکه ی غیر مستقیم طبق شکل (۱-۲)و (۱-۳) اغلب از یک یا دو موتور الکتریکی به همراه دنده های دیفرانسیلی مکانیکی برای سیستم پیشران خودرو استفاده می کنند.



شکل (۱-۲)، محرکه ی غیر مستقیم با یک موتور



شکل(۱-۳)، محرکه ی غیر مستقیم با دو موتور

۱-۴ ویژگی های اساسی محرکه های الکتریکی برای خودرو های برقی

ویژگی های اساسی محرکه ی الکتریکی برای خودرو های برقی به صورت زیر است[۸],[۷],[۴]:

- چگالی گشتاور و توان بالا
- گستره ی سرعت بسیار بالا
- راندمان بالا در گستره ی زیاد گشتاور و سرعت
- توانایی عملکرد زیاد با توان ثابت
- قابلیت گشتاور بالا برای راه اندازی الکتریکی
- قابلیت اضافه بار
- قابلیت اطمینان بالا و مستحکم در برابر شرایط محیطی خودرو
- نویز صوتی کم
- قیمت قابل قبول

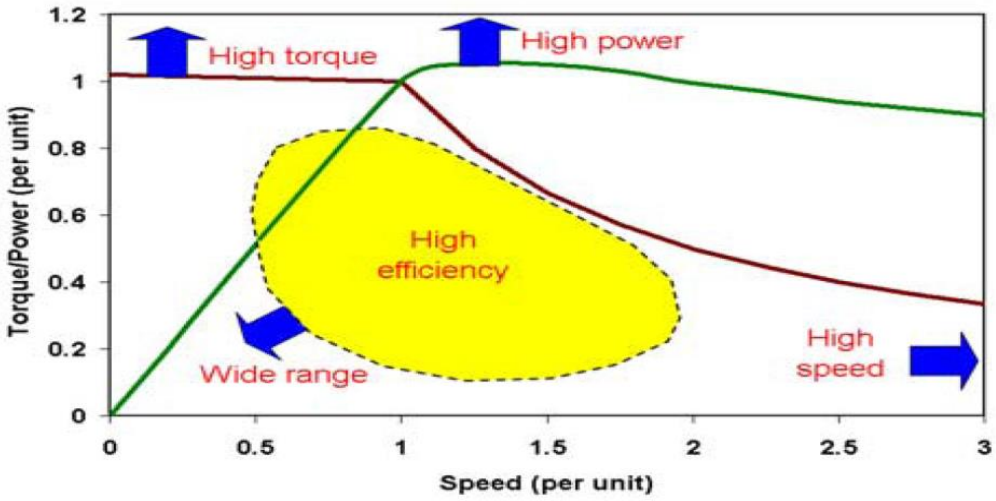
ویژگی های محرکه الکتریکی برای خودروهای هیبریدی نیاز به اضافه کردن دو ویژگی زیر است:

- تولید باراندمان بالا در سرتا سر محدوده ی وسیع سرعت
- تنظیم بهتر ولتاژ درمحدوده ی وسیع سرعت

در رانندگی های شهری یک ماشین کششی اغلب در بازه های اطراف سرعت پایه عمل می کنند،بنابراین، به طور کلی، باید طوری طراحی شود که در بهره وری بالا و سرو صدای صوتی کمتر در این منطقه عمل کند.

معمولا مشخصه گشتاور /توان- سرعت برای ماشین های کششی همانطور که در شکل (۱-۴) نشان داده شده است مورد نیاز است.انواع ماشین هایی که در سیستم محرکه ی خودرو های برقی کاربرد دارند، همانند ماشین های القائی(IM[۱]) ، ماشین های سوئیچ رلوکتانس(SRM[۲]) و ماشین های بدون جاروبک با مغناطیس دائم (PM[۳]) می توانند طوری طراحی شوند که مشخصه گشتاور - سرعت به فرم شکل (۱-۵) را ارائه دهند.

با ظهور مواد مغناطیس دائم با انرژی بالا، ماشین های بدون جاروبک با مغناطیس دائم (PM) بیشتر مورد توجه قرار گرفته اند.



شکل(۱-۴)،گشتاور/توان مورد نیاز برای ماشین های کششی

[۱] Induction machines
[۲] Switched reluctance machines
[۳] Permanent-magnet brushless machines