بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی تکنیک تهران)
دانشکده مهندسی برق

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی برق- قدرت

بهبود عملکرد کنترل مستقیم گشتاور درموتورهای جریان مستقیم بدون جاروبک برای کاربرد در خودرو های الکتریکی

نگارش

سیدمحمد مهدی میرطلائی

استاد راهنما
دکتر جواد شکرالهی مغانی

تابستان ۱۳۸۶

بسمه تعالی

دانشگاه صنعتی امیرکبیر

(پلی تکنیک تهران)

تاریخ : .....

شماره : .....

فرم اطلاعات پایان نامه

کارشناسی ارشد و دکترا

معاونت پژوهشی

فرم پروژه تحصیلات تکمیلی ۷

مشخصات دانشجو

نام و نام خانوادگی : سید محمد مهدی میرطلائی ☒ دانشجوی آزاد ☐ بورسیه ☐ معادل

شماره دانشجویی:۸۴۱۲۳۰۳۵ دانشکده : مهندسی برق رشته تحصیلی: مهندسی برق

نام و نام خانودگی استاد راهنما : دکتر جواد شکرالهی مغانی

عنوان به فارسی: بهبود عملکرد کنترل مستقیم گشتاور موتور جریان مستقیم بدون جاروبک برای کاربردر در خودروهای الکتریکی

عنوان به انگلیسی: Performance Improvement of The Direct Torque Control in Brushless DC Motors For Electrical Vehicle Application

نوع پروژه: کارشناسی ارشد ☒ کاربردی ☐ بنیادی ☒ توسعه ای ☐ نظری

دکترا

تاریخ شروع: ۸۵/۶/۳۱ **تاریخ خاتمه :۸۶/۶/۲۹** **تعداد واحد:۶**

سازمان تامین کننده اعتبار : دانشگاه صنعتی امیر کبیر

واژه های کلیدی به فارسی : موتور جریان مستقیم بدون جاروبک، کنترل مستقیم گشتاور، خودروی الکتریکی، کنترل بدون حسگر

واژه های کلیدی به انگلیسی : Brushless DC Motor, Direct Torque Control, Electric Vehicle, Sensorless Control

---

نظرها و پیشنهادها به منظور بهبود فعالیت های پژوهشی دانشگاه:

استاد راهنما:

دانشجو:

امضاء استاد راهنما : **تاریخ:** ۸۶/۷/۲۳

نسخه ۱: معاونت پژوهشی

نسخه ۲ : کتابخانه و به انضمام دو جلد پایان نامه به منظور تسویه حساب با کتابخانه و مرکز اسنادومدارک علمی

به نام خدا

دانشکده مهندسی برق
دانشگاه صنعتی امیر کبیر

شماره: ۵۸/ت/۴۷۷
تاریخ: ۸۶/۶/۳۱

برگ ارزیابی پایان‌نامه کارشناسی ارشد (اپکا۲)

نام و نام خانوادگی: *آقای سید محمد مهدی میر طلایی* — شماره دانشجویی ۸۴۱۲۳۰۳۵

رشته و گرایش تحصیلی: *برق قدرت* — دانشکده مهندسی برق

عنوان پایان‌نامه: *بهبود عملکرد کنترل مستقیم گشتاور در موتورهای جریان مستقیم بدون جاروبک برای کاربرد در خودروهای الکتریکی*

تاریخ دفاع: ۸۶/۶/۲۹

هیات داوران	نام و نام خانوادگی	کد انفورماتیک	رتبه علمی	امتیاز	امضاء
استاد راهنمای اول	دکتر جواد شکر الهی مغانی	۱۰۱۲۴	استادیار	۱۹	
استاد راهنمای دوم	-	-	-		
استاد مشاور	-	-	-		
داور داخلی	دکتر جعفر میلی منفرد	۱۰۱۹۴	استاد	۱۹	
داور داخلی	-	-	-		
داور خارجی	دکتر محمد تقی بطحائی	مدعو	-	۱۹	
داور سوم	-	-	-		
			میانگین نمرات هیئت داوران		

این قسمت توسط تحصیلات تکمیلی دانشکده تنظیم خواهد شد.

	شرح	نمره به عدد	نمره به حروف
A	میانگین نمرات هیئت داوران (بر مبنای ۲۰)	۱۹/-	نوزده
B1	کسر نمره دیرکرد	—	
B2	کسر نمره عدم ارائه مقاله	—	
C	تشویق بابت ارائه مقاله اضافی	—	
D	B=B1+B2 **نمره نهایی** (*D=A-B+C*)	۱۹	

مدیر تحصیلات تکمیلی دانشکده

امضاء و مهر دانشکده:

تأئید کارشناس:

مدیر کل تحصیلات تکمیلی:

امضاء و مهر:

تقدیم به

پدر عزیز

مادر مهربان

و خواهر خوبم

که دعای خیرشان همواره بدرقه راهم بود

تقدیر و تشکر

حمد وسپاس خداوند بی همتا را که الطاف بی کرانش در پیمودن این راه شامل حال من بود و با توکل به او این راه را طی نمودم. پس از حمد وثنای یکتای بی همتا بر خود لازم می دانم که از تمام کسانی که در این راه یاریم کردند تشکر نمایم.

از استاد راهنمای گرامی این پایان نامه جناب آقای دکتر مغانی که همواره از رهنمودهای ارزنده ایشان بهرمند بوده ام، نهایت سپاسگزاری را دارم.

از جناب آقای دکتر منفرد و جناب آقای دکتر بطحایی که زحمت داوری پایان نامه را تقبل نمودند، کمال تشکر را دارم.

از دوستان عزیزم در آزمایشگاه تحقیقاتی محرکه های الکتریکی و الکترونیک قدرت به ویژه دوست صمیمی ام جناب آقای مهندس محمود شهبازی که مرا در انجام این پروژه یاری نمودند قدردانی می نمایم.

چکیده

با توجه به بحران انرژی و افزایش روزافزون قیمت سوخت های فسیلی و همچنین مشکلات ناشی از آلودگی هوا نیاز به استفاده از خودروهای الکتریکی به جای خودروهای احتراقی هر روزه بیشتر آشکار می شود. زیرا این خودروها آلودگی بسیار کمتری نسبت به خودروهای احتراقی دارند و استفاده از آنها می تواند به کاهش آلودگی هوا در شهر های بزرگ کمک کند. یکی از قسمت های مهم در طراحی خودروهای الکتریکی،طراحی سیستم محرکه الکتریکی مورد استفاده در این خودرورها است. سیستم محرکه الکتریکی مورد استفاده در خودروهای الکتریکی باید ویژگی های خاصی را داشته باشد تا مشخصه های مورد نیاز برای خودرو مانند حداکثر شتاب در آغاز حرکت و حداکثر بازده در حین حرکت بدست آید. یکی از انواع موتورهایی که در خودروهای الکتریکی مورد استفاده قرار می گیرد، موتور جریان مستقیم بدون جاروبک است که بسیاری از مشخصه های لازم برای کاربرد در خودرو را دارا می باشد. در این پایان نامه ابتدا ویژگی هایی که موتور جریان مستقیم بدون جاروبک را برای کاربرد در خودرو مناسب کرده بیان شده است. در ادامه ساختار موتور جریان مستقیم بدون جاروبک معرفی گردیده و روابط آن مورد بررسی قرار گرفته و بر این اساس مدل مورد نیاز برای شبیه سازی موتور جریان مستقیم بدون جاروبک مشخص شده است. همچنین روش مرسوم کنترل موتور جریان مستقیم بدون جاروبک که از حسگرهای اثر هال برای تعیین موقعیت استفاده می کند معرفی گردیده است. سپس روش های کنترل بدون حسگر موتور جریان مستقیم بدون جاروبک مورد بررسی قرار گرفته و ویژگی های هر یک از این روش ها به طور مختصر مورد بررسی قرار گرفته است. در ادامه یک مشاهده گر فازی که بر اساس یک تابع تقریب فازی بنا شده است و دقت بالا و ساختار بسیار ساده دارد ارائه شده است همچنین برای افزایش سهولت پیاده سازی این روش یک تابع تقریب بر اساس شبکه های عصبی ارائه شده است که از سرعت بسیار بالا و امکان پیاده سازی بسیار آسان برخوردار است. عملکرد هر دو روش پیشنهادی برای رنج وسیع سرعت مورد بررسی قرار گرفته است و نتایج شبیه سازی ارائه شده است.

سپس روش مرسوم کنترل مستقیم گشتاور که برای کنترل مستقیم گشتاور موتور القایی مورد استفاده قرار می گیرد مورد بررسی قرار گرفته و نشان داده شده که از این روش برای کنترل موتور جریان مستقیم بدون جاروبک نیز می توان استفاده نمود. از این رو تغییرات لازم بر روی این روش صورت گرفته تا این روش بر روی موتور جریان مستقیم بدون جاروبک قابل پیاده سازی باشد ولی نتایج حاصل از شبیه سازی نشان می دهد که کنترل همزمان شار و گشتاور در این موتور بسیار مشکل است و نیاز به مقادیر بزرگ جریان در راستای محور مستقیم دارد. برای حل این مشکل روشی ارائه گردیده است که تنها بر اساس کنترل گشتاور عمل می کند و انتخاب بردارهای ولتاژ نیز بر اساس موقعیت بردار فضایی ولتاژ برگشتی القایی است. نتایج حاصل از این روش با استفاده از اینورتر منبع ولتاژ و اینورتر منبع جریان مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته شده است و نشان داده شده که با استفاده از این روش راندمان محرکه بهبود چشمگیری پیدا می کند. در ادامه روشی برای کنترل سرعت موتور در بالای سرعت نامی پیشنهاد گردیده تا این محرکه توانایی کار در رنج وسیع سرعت را داشته باشد. از این رو روش کنترل مستقیم گشتاور پیشنهادی نسبت به محرکه ای که قبلا پیشنهاد شده بود راندمان بالاتری داشته ودر رنج وسیع سرعت به صوت بدون حسگر قابل استفاده است.

کلید واژه: موتور جریان مستقیم بدون جاروبک (Brushless DC Motor)، کنترل مستقیم گشتاور (Direct Torque Control)، خودروی الکتریکی (Electrical Vehicle) و کنترل بدون حسگر (Sensorless Control).

فهرست مطالب

عنوان صفحه

فصل اول : مقدمه

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲-خودروهای الکتریکی..... ۲

۱-۲-۱- تاریخچه خودروهای الکتریکی ۲

۱-۲-۲- خودروهای هیبرید ۳

۱-۲-۳- ویژگی های اساسی لازم برای یک موتور الکتریکی برای کاربرد در خودرو ۶

۱-۳- معرفی موتور جریان مستقیم بدون جاروبک ۱۲

۱-۴- معرفی روش کنترل مستقیم گشتاور ۲۴

۱-۵- جمع بندی و نتیجه گیری ۳۵

فصل دوم : مدل سازی موتور جریان مستقیم بدون جاروبک و معرفی روش کنترل مرسوم آن

۲-۱- مدل سازی موتور جریان مستقیم بدون جاروبک ۳۹

۲-۲- محرکه کنترل موتور جریان مستقیم بدون جاروبک با حسگر هال ۴۴

۲-۳- جمع بندی و نتیجه گیری ۴۷

فصل سوم : روش های کنترل بدون حسگر

۳-۱- مقدمه ۵۰

۳-۲- معرفی مشاهده گرهای حالت ۵۱

۳-۳- طراحی مشاهده گر فازی برای تخمین ولتاژ برگشتی القایی ۵۴

۳-۴- طراحی مشاهده گر عصبی ۶۵

۳-۵- جمع بندی و نتیجه گیری ۶۷

فصل چهارم : کنترل مستقیم گشتاور

۴-۱- مقدمه ۷۰

۴-۲- روش مرسوم کنترل مستقیم گشتاور ۷۰

۴-۳- روش پیشنهادی برای کنترل مستقیم گشتاور موتور جریان مستقیم بدون جاروبک ۸۴

۴-۴- کنترل مستقیم گشتاور با استفاده از اینورتر منبع جریان ۹۲

۴-۵- عملکرد در ناحیه تضعیف شار ۱۰۰

۴-۶- عملکرد بدون حسگر ۱۰۵

۴-۷- عملکرد در حالت ژنراتوری ۱۰۵

۴-۸- مقایسه روش پیشنهادی با روش مرسوم کنترل موتور جریان مستقیم بدون جاروبک ۱۰۷

۴-۷- جمع بندی و نتیجه گیری ۱۰۹

فصل پنجم : نتیجه گیری و ارائه پیشنهاد

۵-۱-نتیجه گیری ۱۱۲

۵-۲- ارائه پیشنهاد.....۱۱۳

مراجع ۱۱۴

فصل اول

مقدمه

۱-۱- مقدمه

در این فصل ابتدا تاریخچه ای در مورد خودروهای الکتریکی ارائه شده است سپس انواع ساختارهای مختلف مورد استفاده در خودرو معرفی شده است و در ادامه ویژگی های اساسی که لازم است یک موتور الکتریکی برای کاربرد در خودرو داشته باشد بیان شده است بر اساس این ویژگی ها یک مقایسه کمی بین انواع موتورهای مورد استفاده در خودروهای الکتریکی موجود صورت گرفته است. در بخش دوم ساختار فیزیکی موتور جریان مستقیم بدون جاروبک معرفی شده است و ویژگی هایی که باعث شده این موتور برای کاربرد در خودروهای الکتریکی مورد استفاده قرار گیرد بیان شده است. در بخش سوم الگوریتم کنترل مستقیم گشتاور به همراه ویژگی های آن مورد بررسی قرار گرفته تا علت انتخاب این روش برای کنترل موتور جریان مستقیم بدون جاروبک بیشتر آشکار شود.

۱-۲- خودروهای الکتریکی

۱-۲-۱- تاریخچه خودروهای الکتریکی

امروزه با توجه به آلودگی‌های ناشی از خودروها و محدودیت‌های سوخت فسیلی، کارخانه‌های خودروسازی گام مهمی در مقابله با این امر برداشته‌اند که از جمله آنها می توان به خودروهای هیبریدی، تکنولوژی پیل سوختی، موتورهای با پاشش مستقیم بنزینی و خودروهای دو گانه سوز اشاره کرد.

یکی از انواع این خودروها که اخیرا مورد توجه فراوان قرار گرفته است خودروهای هیبرید است. بازدۀ بالا، آلایندگی کم، مسافت قابل پیمایش بالا، ایمنی مطلوب و قیمت قابل رقابت با خودروهای متداول از جمله ویژگیهای حائز اهمیت برای خودروهای هیبریدی است. بسیاری از خودروسازان بزرگ مبادرت به تولید این خودروها در سطحی گسترده نموده‌اند. در این قسمت به شمای کلی از نحوۀ عملکرد، حالتهای کارکردی، مزایا، معایب و تقسیم‌بندی سیستم‌های مختلف خودروی هیبریدی خواهیم پرداخت.

یک مهندس آمریکائی به نام پایپر[1] در سال ۱۹۰۵ یک ماشین هیبریدی ساخت که قادر بود در طی ۱۰ ثانیه تا ۲۵ مایل شتاب بگیرد. موتور این خودرو ترکیبی از موتور بنزینی و موتور الکتریکی بود که امروزه به عنوان موتور هیبریدی شناخته می‌شود. پایپر سه سال و نیم بعد، اختراع خود را ثبت نمود؛ اما پیشرفت سریع موتورهای احتراق داخلی با قدرت و گشتاور بالا در آن دوره، همچنین قابلیت استارت بدون هندل آنها و از همه مهمتر پایین بودن قیمت سوختهای فسیلی و مطرح نبودن آلودگی محیط زیست، سبب عدم توجه به این نوع خودروها شد. در پی بحرانهای نفتی سالهای ۱۹۷۰ دوباره این خودروها مورد توجه قرار گرفتند ولی تا سال ۱۹۹۰ که کار اصولی با مشارکت پی ان جی وی[2] در آمریکا آغاز گردید، این خودروها به طور جدی پیگیری نشدند.

امروزه خودروهای هیبریدی مورد توجه کمپانیهای بزرگ جهان قرار گرفته اند که از آن جمله می‌توان به شرکتهایی مانند: تویوتا، هندا، میتسوبیشی، فورد، فیات، جنرال موتورز، دایملر کرایسلر، نیسان و پژو و ... اشاره نمود. توفیق این محصولات به حدی چشمگیر بوده که از دسامبر سال ۱۹۹۷ تا ابتدای سال ۲۰۰۰ بیش از چهل هزار محصول پریوس کمپانی تویوتا به فروش رسیده است[۱].

۱-۲-۲- خودروهای هیبرید

خودروهای هیبریدی، نوع تعمیم یافته خودروهای برقی خالص می‌باشند که معایب خودروهای برقی خالص تا حدود زیادی در آنها برطرف گردیده است و می توان گفت معایب خودروهای احتراق داخلی نیز تا حدودی در آنها برطرف شده است. از مزایای مهم این خودروها نسبت به خودروهای احتراق داخلی، کارکرد در دور و بار ثابت بوده و به اصطلاح در نقطهٔ بهینهٔ خود کار می‌کنند که این امر باعث بالا رفتن بازده موتور و کاهش آلودگی و پایین آمدن مصرف سوخت می‌گردد و دیگر اینکه به هنگام ترمزگیری و یا شتاب منفی، انرژی به صورت الکتریکی در باطری ها

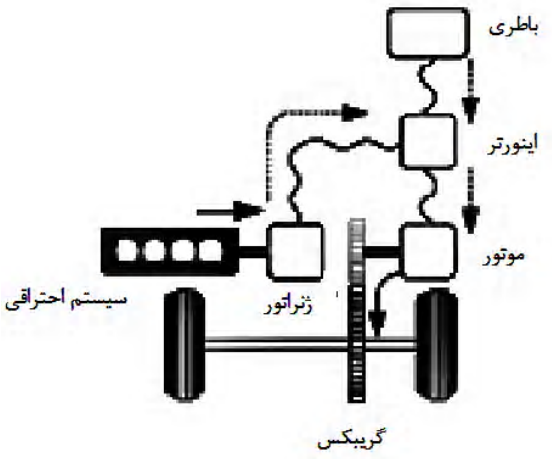
[1] -Piper
[2] - PNGV (Partnership for a New Generation Vehicle)

ذخیره می‌شود و همین امر باعث کارکرد کمتر موتور احتراقی خواهد شد و در نتیجه منجر به کاهش آلودگی و پایین آمدن مصرف سوخت می‌گردد. به عنوان مثال تویوتا پریوس[1] با موتور ۴ سیلندر ۱۵۰۰ سی سی مصرف سوختی معادل ۲/۴ لیتر در ۱۰۰ کیلومتر دارد. مزیت دیگر این خودروها نسبت به خودروی برقی خالص، قابلیت پیمودن مسیرهای طولانی در هر بار شارژ کردن باطری می‌باشد.

خودروهای هیبریدی براساس نحوه اتصال اجزا به یکدیگر به سه دسته زیر تقسیم می شوند:

۱ - سیستم هیبریدی سری:

در این دسته از خودروها موتور احتراق داخلی یک ژنراتور را می‌چرخاند و این ژنراتور، هم باطری را شارژ می کند و هم یک موتور الکتریکی را به حرکت درمی‌آورد و بدین صورت انتقال قدرت صورت می گیرد. در این ساختار موتور احتراقی مستقیم به سیستم انتقال قدرت وصل نمی‌شود. این سیستم به خاطر این سری نامیده می‌شود که قدرت، به صورت سری به چرخ‌ها منتقل می‌گردد و از آن برای رانش موتورهای با قدرت کم و با رنج کارکرد بهینه استفاده می شود. نمونه از این ساختار در شکل (۱-۱) نشان داده شده است[۲].

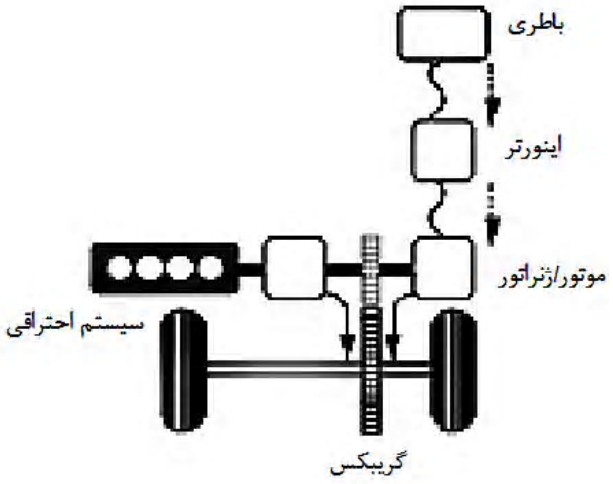


شکل (۱-۱) - خودروی هیبرید سری

[1] - Toyota Prius

۲- سیستم هیبریدی موازی :

در این نوع سیستم، موتور احتراقی و موتور الکتریکی به صورت موازی چرخها را به حرکت درمی‌آورند. در این سیستم موتور الکتریکی توسط باطری و موتور احتراقی توسط منبع سوخت فسیلی مستقیما تغذیه می‌گردند. در این حالت ژنراتور حذف شده و باطری با تغییر حالت موتور الکتریکی به ژنراتور، شارژ می‌گردد. از آنجائیکه این سیستم فقط یک موتور دارد موتور الکتریکی نمی‌تواند همزمان هم باطری را شارژ کند و هم باعث رانش چرخها گردد. یک تصویر ساده از این سیستم درشکل (۱-۲) نشان داده شده است[۲].

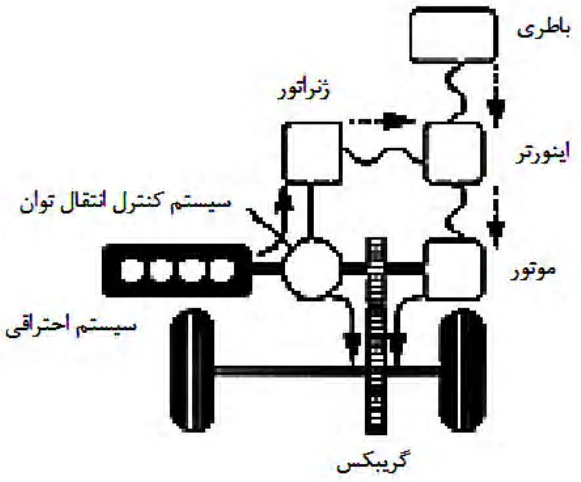


شکل (۱-۲) - خودروی هیبرید موازی

۳- سیستم هیبریدی سری ـ موازی:

این طرح بگونه ای است که می‌توان از آن در شرایط مختلف به صورت هیبرید سری یا موازی استفاده نمود. در این سیستم با بهره‌گیری از فن‌آوری پیشرفته امکان استفاده از سیستم احتراقی و سیستم الکتریکی بطور جداگانه و همزمان وجود دارد. به این ترتیب در مواقع شهری کاملا الکتریکی و بدون آلودگی و در سرعتهای بالا و در محدودهٔ برون شهری می‌تواند بطور مستقل احتراقی و یا ترکیبی از دو سیستم باشد. در مواقعی چون شتابگیری سریع، هر دو سیستم با هم عمل می‌کنند. چنین ایده‌ای فقط به کمک یک فن‌آوری مدرن در یک خودرو سواری قابل اجراست. معمولا چنین

سیستمهایی از نوع ترکیبی هستند و با بهره‌گیری از یک استراتژی کنترلی مناسب عملاً همراه با فراهم آوردن عملکرد مناسب، سطح شارژ باطریها نیز در حد خوبی نگهداری می‌شود بدین ترتیب این خودرو می‌تواند چه در شهر و چه در جاده به یک خودروی متداول تبدیل گردد. در این سیستم دو موتور الکتریکی وجود دارد که بسته به شرایط می‌تواند ترکیبی از آنها به کار آیند و قابلیت تبدیل به ژنراتور را نیز دارند. این سیستم در خودرو پریوس و استیما[1] شرکت تویوتا استفاده شده است. نمونه از این ساختار در شکل (۱-۳) نشان داده شده است[۲].



شکل (۱-۳) - خودروی هیبریدسری- موازی

۱-۲-۳- ویژگی های اساسی لازم برای یک موتور الکتریکی برای کاربرد در خودرو

یکی از بخش های کلیدی در طراحی خودروهای الکتریکی، طراحی محرکه و موتور الکتریکی مورد استفاده در این خودروها است. ویژگی های اساسی که لازم است یک موتور الکتریکی برای کاربرد در خودرو داشته باشد به طور خلاصه به صورت زیر است[۳]و[۴]:

۱- چگالی گشتاور و چگالی توان بالا

۲- گشتاور راه اندازی بالا در سرعت های پایین و توان بالا در سرعت های زیاد

۳- رنج وسیع سرعت (رنج ناحیه عمکرد توان ثابت حدود ۳ تا ۴ برابر سرعت مبنا)

[1] - Estima

۴- راندمان بالا در رنج وسیع سرعت و گشتاور

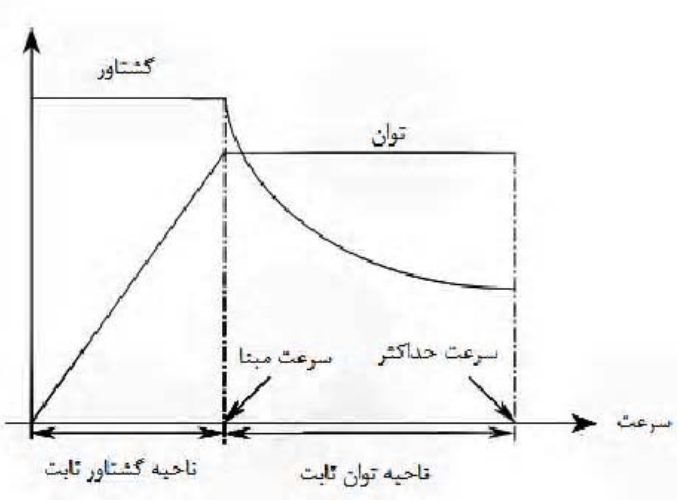
۵- توانایی تحمل اضافه بار برای دوره های زمانی کوتاه

۶- قابلیت اطمینان بالا و مقاومت مناسب در برابر شرایط محیطی

۷- قیمت مناسب

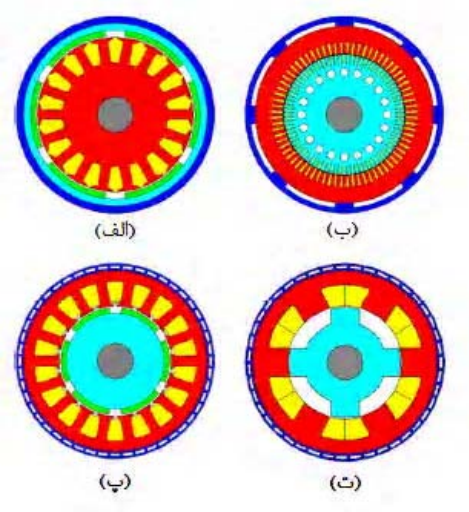
۸- ریپل گشتاور و نویز صوتی پایین

منحنی مشخصه گشتاور- سرعت نوعی برای موتورهای مورد استفاده در خودروهای الکتریکی در شکل (۱-۴) نشان داده شده است. در ناحیه گشتاور ثابت توانایی تولید حداکثر گشتاور توسط جریان نامی اینورتر تعیین می گردد در حالیکه در ناحیه توان ثابت محدودیت ولتاژ اینورتر مشکل ساز است و باید از تکنیک های تضعیف شار استفاده کرد.



شکل (۱-۴) - مشخصه گشتاور- سرعت نوعی برای موتورهای مورد استفاده در خودروهای الکتریکی

از دیدگاه صنعتی موتورهایی که دارای ویژگی های لازم برای کاربرد در خودروهای الکتریکی هستند عبارتند از : موتورهای جریان مستقیم، موتورهای القایی، موتورهای مغناطیس دائم و موتورهای سوئیچ رلوکتانس . سطح مقطع این موتورها در شکل (۱-۵) نشان داده شده است.



شکل (۱-۵)- شمایی از سطح مقطع موتورهای الکتریکی مورد استفاده در خودروهای الکتریکی (الف) موتور جریان مستقیم(ب)،موتور القایی (پ)موتور مغناطیس دائم (ت) موتور سوئیچ رلوکتانس

در ادامه ویژگی های این چهار موتور را مورد بررسی قرار داده و یک مقایسه کلی صورت می گیرد.

۱- موتور جریان مستقیم

موتورهای جریان مستقیم نقش عمده ای در کاربردهای حمل و نقل دارند زیرا مشخصه گشتاور- سرعت مناسبی دارند و سیستم کنترل آنها ساده است ولی این موتورها اندازه بزرگی دارند، راندمان پایینی دارند، قابلیت اطمینان پایینی دارند و نیاز به تعمییر و نگهداری بالایی دارند. این معایب ناشی از کموتاسیون مکانیکی است. با توجه به این مشکلات و گسترش کاربرد ادوات نیمه هادی تمایل به استفاده از موتورهای القایی و مغناطیس دائم (که فاقد جاروبک و مشکلات ناشی از آن هستند) به جای موتورهای جریان مستقیم افزایش پیدا کرد. یکی از انواع تجاری خودروهایی که از موتور جریان مستقیم به عنوان سیستم محرکه استفاده می کند دیناولت[1] ساخت شرکت فرانسوی پژو[2] است.

[1] - Dynavolt
[2] - PSA Peugeot Citroën

۲- موتورهای القایی

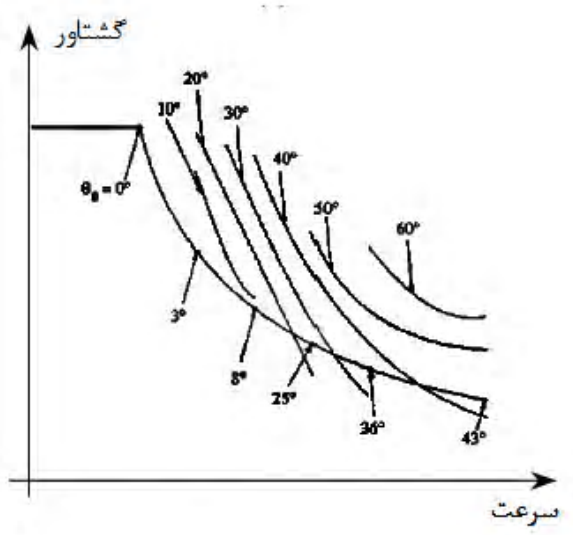
موتورهای القایی قفسه سنجابی یکی از کاندیداهای اصلی برای استفاده در خودروهای الکتریکی هستند زیرا قابلیت اطمینان بالایی دارند، نیاز به تعمیر و نگهداری کمی دارند، قیمت پایینی دارند و در محیط های سخت به خوبی کار می کنند ولی به واسطه وجود گشتاور شکست ناحیه عملکرد توان ثابت آنها محدود است به طور نوعی برای موتورهای معمول حداکثر سرعت قابل دستیابی تقریبا دو برابر سرعت سنکرون است. علاوه بر این موتورهای القایی دارای راندمان کمتری نسبت به موتورهای مغناطیس دائم بدون جاروبک هستند. تحقیقات زیادی برای رفع این مشکلات هم در زمینه طراحی موتور و هم در زمینه طراحی کنترل کننده صورت گرفته که تا حدودی زیادی باعث شده که موتور القایی همچنان به عنوان یک نامزد برای ساخت خودروهای الکتریکی مورد توجه قرار گیرد. یکی از انواع خودروهایی که از موتور القایی به عنوان سیستم محرکه استفاده می کند خودروی کانگو[1] ساخت شرکت فرانسوی رنو[2] است.

۳- موتورهای مغناطیس دائم

موتورهای مغناطیس دائم بدون جاروبک بزرگترین رقیب برای موتورهای القایی در زمینه کاربرد در خودروهای الکتریکی هستند از این رو توسط بسیاری از شرکت های معروف خودروسازی مورد استفاده قرار گرفته اند. ویژگی هایی که باعث برتری این موتورها شده است عبارتند از: راندمان بالا، وزن و حجم کم و توانایی خوب در انتقال حرارت به محیط اطراف. ولی این موتورهای ناحیه توان ثابت کوچکی دارند که ناشی از عملکرد ضعیف آنها در ناحیه تضعیف شار است. برای افزایش رنج کنترل سرعت در بالای سرعت نامی زاویه هدایت مبدل باید کنترل شود. شکل (۱-۶) مشخصه گشتاور سرعت موتور مغناطیس دائم بدون جاروبک را به ازای مقادیر مختلف زاویه هدایت مبدل نشان می دهد. با این روش ناحیه توان ثابت ۳ تا ۴ برابر سرعت مبنا افزایش می یابد. یکی از انواع

[1] - Kangoo
[2] -Renault

خودروهایی که از موتورمغناطیس دائم بدون جاروبک به عنوان سیستم محرکه استفاده می کند خودروی تینو[1] ساخت شرکت ژاپنی نیسان[2] است .



شکل (۱-۶) مشخصه گشتاور سرعت موتور مغناطیس دائم بدون جاروبک را به ازای مقادیر مختلف زاویه هدایت مبدل

۴ - موتور سوئیچ رلوکتانس

اخیرا موتورهای سوئیچ رلوکتانس توجه زیادی را برای کاربرد در خودرو نسبت به خود جلب کرده اند. این موتور دارای مزایایی از جمله ساختار ساده و محکم، کنترل ساده و مشخصه گشتاور سرعت خوب هستند که دارای رنج عملکرد توان ثابت بسیار وسیعی است. ولی در مقابل این موتورها دارای معایبی می باشند که شامل نویز صوتی بالا، ریپل گشتاور بالا، نیاز به مبدل های با ساختارهای خاص و تداخل الکترومغناطیسی بالا هستند. تا به حال تلاشهای زیادی برای رفع این مشکلات صورت گرفته که تا حدودی توانسته راه را برای کاربرد این موتورها در خودروهای الکتریکی هموار کند. یکی از انواع خودروهایی که از موتورسوئیچ رلوکتانس به عنوان سیستم محرکه استفاده می کند خودروی ای سی او مودور[3] ساخت شرکت استرالیایی هلدن[4] است.

[1] - Tino
[2] - Nissan
[3] -ECOmmodore
[4] - Holden