بسم الله الرحمن الرحیم

۱۳۰۷
دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی برق– قدرت

بررسی و شبیه سازی نحوه استفاده از سیم پیچ های استاتور موتور PMSM در ساختار شارژر خودروهای هیبریدی با قابلیت اتصال به شبکه (PHEV)

توسط:

بهزاد محمدپور

استاد راهنما:

جناب آقای دکتر احمد رادان

جناب آقای دکتر شکرالله شکری کجوری

بهمن ۱۳۹۱

تأییدیّه هیات داوران

اعضای هیئت داوران، نسخه نهائی پایان نامه آقای **"بهزاد محمدپور"** را با عنوان:

<< بررسی و شبیه سازی نحوه استفاده از سیم پیچ های استاتور موتور PMSM
در ساختار شارژر خودروهای هیبریدی با قابلیت اتصال به شبکه (PHEV) >>

از نظر فرم و محتوی بررسی نموده و پذیرش آن را برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد تأیید می‌کند.

اعضای هیئت داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنما	دکتر احمد رادان	دانشیار	
۲- استاد راهنما	دکتر شکرالله شکری کجوری	استادیار	
۳- استاد ممتحن	دکتر سید سعید فاضل	استادیار	
۴- استاد ممتحن	دکتر علی عابدینی	استادیار	
۵- نماینده تحصیلات تکمیلی	دکتر علی عابدینی	استادیار	

تقدیم

به شمایی که هیجان زندگی ام را با تشویش نظاره گر بودید و نلغزیدنم را آرزومند ،

به پدرم که همچون او بودن آرزویم است

و مادرم که اگر سابه بلند او پناهگاه امن زندگیم نبود ، بی تردید شکوه این لحظه را احساس نمی کردم

و

تقدیم به همسرم که دست گرم همراهیش در لحظه لحظه زندگی امید بخش من است و اندرزهایش

در پیچ و خم های زندگی مان راهنمای مسیرم بود .

تشکر و قدردانی

اکنون که به یاری خداوند این پایان نامه تکمیل گردیده است، برخود لازم می دانم که از راهنمایی های بی دریغ اساتید گرانقدر، جناب آقایان دکتر رادان و دکتر شکری که عهده دار هدایت این پایان نامه بوده اند و در راه به ثمر رسیدن این اثر زحمات فراوانی را متحمل شده اند، کمال تشکر و قدردانی را داشته و از صمیم قلب راهنمایی ها و زحمات ایشان را قدر می نهم. همچنین از اعضای محترم کمیته پایان نامه ام جناب آقای دکتر فاضل استاد محترم دانشگاه علم و صنعت و جناب آقای دکتر عابدینی استاد محترم دانشگاه صنعتی خواجه نصیر طوسی، که با بررسی این اثر و ارائه نظرات ارزشمند خویش در تکمیل آن کوشیده اند صمیمانه تشکر و قدردانی می نمایم. همچنین برخود لازم می دانم که از همکاری صمیمانه کلیه دوستانی که مرا در این راه یاری نموده اند تشکر نمایم.

چکیده

همراه با گسترش جوامع امروزی، ظهور خودروهای هیبریدی نقطه عطفی در کنترل و بهینه سازی مصرف انرژی به شمار می رود، بطوریکه این خودروها می توانند با به همراه داشتن یک منبع ذخیره ساز با قابلیت شارژ مجدد از هر خروجی الکتریکی، علاوه بر کاهش مصرف سوخت ، در زمینه های پشتیبانی و تزریق انرژی به شبکه سراسری موثر واقع شوند.

این پایان نامه تحقق چنین امری را با معرفی یک واسط دوطرفه بین شبکه و خوردو هیبریدی بررسی می نماید. ساختار شارژر مجتمع بر اساس استفاده از سیم پیچ های استاتور ماشین سنکرون مغناطیس دائم به جای بهره گیری از سیم پیچ های اضافی در مدار، طراحی و ارائه شده است. این شارژر قادر به عملکرد با ضریب توان واحد می باشد بطوریکه عملکرد دوطرفه برای کاربردهای انتقال توان از خودرو به شبکه میسر می باشد. همچنین در این پروژه با بدست آوردن معادلات مدل و انجام شبیه سازی در محیط SIMULINK/MATLAB، مدلی از سیستم مورد نظر بدست آمده و با اعمال روش کنترلی جهت گیری ولتاژ خواهیم دید که سوئیچینگ یکسوکننده و ولتاژ لینک dc با راحتی قابل کنترل می باشد. نتایج حاصله نیز به همراه تست پایداری به مجموعه اضافه شده است تا مورد مقایسه و بررسی قرار گیرد.

کلید واژه: خودرو هیبریدی، باتری، شارژر روی خودرو، سیم پیچ موتور PMSM، شارژر مجتمع.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست جدول‌ها ..... و

فهرست شکل‌ها ..... ز

فصل ۱- معرفی ۱۳

۱-۱- مقدمه ۱۳

۱-۲- پیشینه و کارهای انجام شده ۱۵

۱-۳- ساختار کلی پایان نامه ۱۶

۱-۴- هدف پایان نامه ۱۷

فصل ۲- خودرو هیبریدی ۱۹

۲-۱- پیشگفتار ۱۹

۲-۲- تاریخچه ۱۹

۲-۳- اجزای سیستم هیبریدی بنزینی – الکتریکی ۲۰

۲-۴- مقایسه عملکردی خودروهای برقی خالص و خودروهای هیبرید ۲۳

۲-۵- باتری خودرو هیبریدی ۲۳

۲-۶- خلاصه ۲۴

فصل ۳- مروری بر شارژرهای مجتمع استفاده شده در خودروها ۲۶

۳-۱- مقدمه ۲۶

۳-۲- خودرو هیبریدی با قابلیت اتصال به شبکه ۲۶

۳-۳- شارژر باتری درکاربردهای خودرو ۲۷

۳-۴- نمونه هایی از مبدل های مجتمع ۲۷

۳-۴-۱- توپولوژی دو اینورتر با دو موتور ۲۹

۳-۴-۲- توپولوژی دو اینورتر برای درایو یک موتور ۳۲

۳-۴-۳- توپولوژی یک اینورتر برای درایو یک موتور ۳۳

۳-۴-۴- شارژر مجتمع با استفاده از موتور AC با سیم پیچی شکسته (Split) ۳۵

۳-۴-۵- شارژر باتری مجتمع برای خودرو الکتریکی چهار موتوره ۳۷

۳-۴-۶- شارژر مجتمع ایزوله با استفاده از موتور القایی سیم پیچی شده ۳۸

۳-۴-۷- مقایسه شارژرهای مجتمع ۳۸

۳-۵- خلاصه ۳۹

فصل ۴- بررسی قسمت های مختلف یک شارژر مجتمع ۴۱

۴-۱- مقدمه ۴۱

۴-۲- موتور سنکرون مغناطیس دائم ۴۱

۴-۲-۱- مقدمه ۴۱

۴-۲-۲- ماشین مغناطیس دائم (Permanent Magnet (PM) Machine) ۴۲

۴-۲-۳- ماشین مغناطیسی سطح سینوسی (*SPM*) ۴۳

۴-۲-۴- موتور سنکرون مغناطیس دائم (Permanent Magnet Synchronous Motor) ۴۳

۴-۲-۴-۱- مدار معادل موتور *PMSM* در قاب abc ۴۴

۴-۳- یکسوکننده سه فاز ۴۶

۴-۳-۱- مقدمه ۴۶

۴-۳-۲- عملکرد حالت دائمی ۴۸

۴-۳-۳- مدل ریاضی ۴۹

۴-۳-۳-۱- تعریف ولتاژ و جریان ورودی ۴۹

۴-۳-۳-۲- مدل abc یکسوساز ۵۰

۴-۳-۴- محدودیت ها ۵۱

۴-۳-۴-۱- حداقل ولتاژ لینک dc ۵۱

۴-۳-۴-۲- حداقل ولتاژ لینک DC و اندوکتانس ۵۲

۴-۴- مبدل DC-DC ۵۳

۴-۵- باتری ۵۴

۴-۵-۱- مقدمه ۵۴

۴-۵-۲- انواع باتری ها ۵۵

۴-۵-۲-۱- باتری سرب-اسید ۵۵

۴-۵-۲-۲- باتری هیدرید نیکل-فلز ۵۵

۴-۵-۲-۳- باتری لیتیوم-یون ۵۶

۴-۵-۲-۴- باتری نیکل-روی ۵۶

۴-۵-۲-۵- باتری نیکل-کادمیوم ۵۷

۴-۵-۳- مدل باتری در حال شارژ ۵۷

۴-۵-۴- تعریف روابط مدل باتری ۵۹

۴-۶- خلاصه ۶۱

فصل ۵- مدلسازی و شبیه سازی شارژر مجتمع ۶۳
۵-۱- مقدمه ۶۳
۵-۲- شبیه سازی شارژر با ورودی تکفاز ۶۳
۵-۳- شبیه سازی شارژر با ورودی سه فاز ۶۷
۵-۴- شبیه سازی مبدل متصل به شبکه ۶۹
۵-۴-۱- بلوک کنترلی ۷۰
۵-۴-۲- بلوک PWM سینوسی ۷۰
۵-۴-۳- مدل باتری ۷۱
۵-۴-۴- مدل مبدل (همراه با مدل باتری و ماشین الکتریکی) و شبکه ۷۱
۵-۴-۵- تحقق ۷۱
۵-۴-۵-۱- ولتاژ شبکه ۷۲
۵-۴-۵-۲- حداقل ولتاژ لینک dc ۷۲
۵-۴-۵-۳- مقدار اندوکتانس ۷۲
۵-۵- نتایج شبیه سازی ۷۳
۵-۵-۱- بررسی نتایج شبیه سازی ۷۵
۵-۶- خلاصه ۷۶

فصل ۶- جمع بندی و ارائه پیشنهادات ۷۸
۶-۱- جمع بندی ۷۸
۶-۲- پیشنهادات ۷۸
۶-۲-۱- روش مدولاسیون ۷۸
۶-۲-۲- آزمایش عملی ۷۹
۶-۲-۳- پیاده سازی ۷۹

ضمیمه أ - استراتژی های کنترلی ۸۲
الف-۱- معرفی ۸۲
الف-۱-۱- کنترل هم راستای ولتاژ (VOC) ۸۲
الف-۱-۲- کنترل توان مستقیم (DPC) ۸۲
الف-۱-۳- کنترل بر پایه شار مجازی (VF-) ۸۳
الف-۲- کنترل توان مستقیم و کنترل توان مستقیم بر پایه شار مجازی ۸۳
الف-۳- کنترل هم راستای ولتاژ و شار مجازی ۸۴
الف-۴- بحث و مقایسه ۸۵
الف-۴-۱- مقایسه VOC و VFOC ۸۶

الف-۴-۲- فرکانس سوئیچینگ ۸۶
الف-۴-۳- ضریب توان ۸۶
الف-۵- انتخاب روش کنترلی مناسب ۸۶
ضمیمه ب - طراحی و اعمال کنترل کننده هم راستای ولتاژ ۸۷
ب-۱- معرفی و انتخاب مرجع ۸۷
ب-۱-۱- سیستم سه فاز ۸۷
ب-۱-۲- جهت جریان و توان ۸۷
ب-۲- بلوک دیاگرام سیستم ۸۷
ب-۳- کنترلر جریان ۸۸
ب-۳-۱- کنترل داخلی مدل (IMC) ۸۹
ب-۳-۲- کنترل PI سنکرون ۸۹
ب-۳-۳- طراحی کنترلر PI سنکرون ۹۰
ب-۳-۴- معادلات مختصات سنکرون ($\underline{x} = x_{dq} = x_d + jx_q$) ۹۰
ب-۳-۵- تابع انتقال کنترلر $F_{(S)}$ ۹۱
ب-۳-۶- طراحی کنترلر جریان ۹۱
ب-۳-۷- اشباع ولتاژ مرجع : ۹۳
ب-۳-۸- جلوگیری از اشباع انتگرال گیر ۹۴
ب-۳-۸-۱- اصول کلی ۹۴
ب-۴- شبیه سازی کنترلر جریان ۹۵
ب-۴-۱-بلوک دیاگرام ۹۵
ب-۴-۲- شبیه سازی ۹۶
ب-۵- کنترلر ولتاژ لینک dc ۹۷
ب-۵-۱- مدل لینک dc ۹۷
ب-۵-۲- خطی سازی ۹۷
ب-۵-۳- طراحی کنترلر ولتاژ ۹۷
ب-۵-۳-۱- تابع انتقال سیستم ۹۷
ب-۵-۳-۲- تابع انتقال کنترلر ۹۸
ب-۵-۳-۳- اشباع ولتاژ ۹۸
ب-۵-۳-۴- تابع انتقال سیستم ۹۹
ب-۵-۳-۵- تابع انتقال کنترل کننده ۱۰۰
ب-۶- شبیه سازی کنترلر ولتاژ ۱۰۰
ب-۶-۱- بررسی نتایج ۱۰۱

ب-۷- شبیه سازی کنترل کننده ۱۰۳
ضمیمه ج - بررسی پایداری کنترل کننده ۱۰۶
ج-۱- کنترلر جریان ۱۰۶
ج-۲- کنترلر ولتاژ ۱۰۷
ج-۲-۱- کنترل تناسبی ۱۰۷
ج-۲-۲- کنترل تناسبی انتگراگیر ۱۰۷
ج-۲-۳- اضافه کردن میرایی فعال *Ga* ۱۰۸
ج-۲-۴- کنترلر کامل ۱۰۸
ج-۳- دیاگرام بد و نایکوئیست ۱۰۹
ج-۳-۱- کنترلر تناسبی ۱۱۰
ج-۳-۲- کنترلر تناسبی و انتگزالگیر ۱۱۱
ج-۳-۳- کنترلر با میرایی Ga ۱۱۲
ج-۴- بحث و بررسی ۱۱۲
فهرست مراجع ۱۱۳
واژه نامه فارسی به انگلیسی ۱۱۵
واژه نامه انگلیسی به فارسی ۱۱۶

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول ۳-۱: مقایسه شارژرهای مجتمع ۳۹
جدول ۴-۱: مقایسه کارایی توپولوژی های مختلف یکسوکننده سه فاز ۴۸
جدول ۴-۲: مشخصه های تجاری باتری های مورد استفاده در HEV ۵۶
جدول ۵-۱: پارامترهای شبیه سازی شارژر مجتمع با ورودی تکفاز ۶۶
جدول ۵-۲: مقادیر پارامترهای شبیه سازی ۷۵
جدول الف-۱: مقایسه استراتژی های کنترل ۸۵
جدول ب-۱: پارامترهای شبیه سازی کنترلر جریان ۹۶
جدول ب-۲: پارامترهای شبیه سازی کنترلر ولتاژ ۱۰۱
جدول ج-۱: توابع انتقال کنترل کننده ۱۰۹
جدول ج-۲: پارامترهای شبیه سازی کنترل کننده ۱۰۹

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۲-۱: اولین انواع تولید شده خودرو هیبریدی. ۱۹
شکل ۲-۲: اجزای سیستم انتقال قدرت. ۲۱
شکل ۲-۳: سیستم محرکه موازی در خودرو هیبریدی. ۲۲
شکل ۲-۴: سیستم محرکه سری در خودرو هیبریدی. ۲۳
شکل ۳-۱: دیاگرام ساده شده یک PHEV (موازی). ۲۶
شکل ۳-۲: توپولوژی شارژر مجتمع باتری. ۲۸
شکل ۳-۳: سیستم رانشی (ترکشن) در یک خودرو. ۲۹
شکل ۳-۴: توپولوژی دو اینورتر با دو موتور. ۲۹
شکل ۳-۵: طرح شماتیک از استفاده سیستم درایو تراکشن روی خودور. ۳۰
شکل ۳-۶: مدار معادل سیستم درایو تراکشن برای عملکرد در وضعیت تولید توان در حال حرکت..... ۳۱
شکل ۳-۷: مدار معادل سیستم درایو تراکشن در کاربردهای تغذیه شبکه الکتریکی..... ۳۲
شکل ۳-۸: سیستم اینورتر درایو تک موتوره. ۳۲
شکل ۳-۹: سیستم اینورتر درایو تک موتوره ، الف) ورودی تکفاز، ب) ورودی سه فاز..... ۳۳
شکل ۳-۱۰: شارژر مجتمع سه فاز با استفاده از درایو موتور القایی. ۳۴
شکل ۳-۱۱: شارژر مجتمع سه فاز با استفاده از موتور ac با سیم پیچ شکسته..... ۳۵
شکل ۳-۱۲: مدار معادل شارژر مجتمع سه فاز با موتور ac با سیم پیچی شکسته در وضعیت شارژ. ۳۶
شکل ۳-۱۳: مدار معادل شارژر مجتمع تک فاز با موتور ac با سیم پیچی شکسته در وضعیت شارژ.....۳۶
شکل ۳-۱۴: مدار قدرت شارژر مجتمع باتری با چهار موتور محرک. ۳۷
شکل ۳-۱۵: مدار معادل سیستم در وضعیت شارژ. ۳۷
شکل ۳-۱۶: شارژر مجتمع با استفاده از موتور القایی به عنوان ترانسفورماتور سه فاز. ۳۸
شکل ۴-۱: شماتیک کلی سیستم شبیه سازی. ۴۱
شکل ۴-۲: برشی از یک موتور سنکرون مغناطیس دائم. ۴۳
شکل ۴-۳: مدل مداری موتور سنکرون مغناطیس دائم *PMSM* تحت شرایط سالم. ۴۴
شکل ۴-۴: توپولوژی یکسوکننده های سه فاز. ۴۷
شکل ۴-۵: دیاگرام ساده یکسوکننده بوست سه فاز. ۴۸
شکل ۴-۶: دیاگرام فازوری برای شرایط a) عادی، b) یکسوسازی و c) احیاکنندگی توان. ۴۹

شکل ۴-۷: مدل یکسوکننده. ۵۱
شکل ۴-۸: ولتاژ لینک dc. ۵۱
شکل ۴-۹: بیشینه ولتاژ مرجع سینوسی (ولتاژ مبدل U_s) برای PWM سینوسی ۵۲
شکل ۴-۱۰: مبدل کاهنده ولتاژ DC/DC ۵۳
شکل ۴-۱۱: شکل موج ولتاژ خروجی و سوئیچ ها ۵۴
شکل ۴-۱۲:مدل باتری در حال شارژ. ۵۸
شکل ۴-۱۳: منحنی های شارژ تحت جریان های ثابت ۵,۱۲ و ۱۰,۳۶ آمپر. ۵۹
شکل ۴-۱۴: مقاومت داخلی R_{ch} برحسب SOC تحت جریان های ۵,۱۲ و ۱۰,۳۶ آمپر. ۶۰
شکل ۵-۱: شبیه سازی شارژر مجتمع با ورودی تکفاز. ۶۵
شکل ۵-۲: نتایج شبیه سازی شارژر مجتمع با ورودی تکفاز در حالت شارژ آرام. ۶۵
شکل ۵-۳: نتایج شبیه سازی شارژر مجتمع با ورودی تکفاز در حالت شارژ معمولی. ۶۶
شکل ۵-۴: نتایج شبیه سازی شارژر مجتمع با ورودی تکفاز در حالت شارژ سریع. ۶۶
شکل ۵-۵: یکسو کننده متصل به شبکه. ۶۷
شکل ۵-۶: مدل ساده شبکه (فاز a). ۶۸
شکل ۵-۷: مدل شبیه سازی شده شبکه (فاز a). ۶۸
شکل ۵-۸: شماتیک تکفاز ساده شده شارژر متصل به شبکه. ۶۹
شکل ۵-۹: مدل کلی شبیه سازی شده. ۶۹
شکل ۵-۱۰: مدل کنترلر شبیه سازی شده. ۷۰
شکل ۵-۱۱: مدل بلوک PWM شبیه سازی. ۷۰
شکل ۵-۱۲: بلوک شبیه سازی باتری. ۷۱
شکل ۵-۱۳: مدل بلوک شبیه سازی شبکه، ماشین و مبدل سه فاز. ۷۱
شکل ۵-۱۴: نتایج شبیه سازی شارژر متصل به شبکه. ۷۴
شکل ۶-۱: مدل شارژر مجتمع پنج فازه. ۸۰

شکل الف-۱: استراتژی های کنترلی. ۸۲
شکل الف-۲: بلوک دیاگرام DPC و VF-DPC. ۸۳
شکل ب-۱: جهت های مرجع برای I، P و Q. ۸۷
شکل ب-۲: بلوک دیاگرام سیستم کنترلی. ۸۸
شکل ب-۳: بلوک دیاگرام کنترل کننده (کنترلر جریان و ولتاژ لینک dc). ۸۹
شکل ب-۴: شماتیک مختصات سنکرون. ۹۰

شکل ب-۵: کنترلر جریان با حلقه درونی. ۹۰
شکل ب-۶: بلوک دیاگرام کنترلر جریان. ۹۲
شکل ب-۷: دیاگرام برداری VOC –جریان خط و ولتاژ. ۹۲
شکل ب-۸: بلوک اشباع ولتاژ مرجع. ۹۳
شکل ب-۹: کنترلر PI. ۹۵
شکل ب-۱۰: بلوک دیاگرام کلی برای کنترلر جریان. ۹۵
شکل ب-۱۱: نتایج شبیه سازی کنترلر جریان. ۹۶
شکل ب-۱۲: حلقه کنترل ولتاژ. ۹۸
شکل ب-۱۳: کنترلر PI. ۹۹
شکل ب-۱۴: حلقه کنترل ولتاژ با میرایی فعال. ۱۰۰
شکل ب-۱۵: بلوک شبیه سازی شده کنترل کننده ولتاژ. ۱۰۰
شکل ب-۱۶: نتایج شبیه سازی کنترلر ولتاژ بدون در نظر گرفتن بلوک اشباع. ۱۰۱
شکل ب-۱۷: نتایج شبیه سازی کنترلر ولتاژ با در نظر گرفتن بلوک اشباع. ۱۰۲
شکل ب-۱۸: نتایج شبیه سازی کنترلر ولتاژ با در نظر گرفتن بلوک اشباع و اشباع انتگرالگیر. ۱۰۳
شکل ب-۱۹: بلوک کلی شبیه سازی کنترل کننده. ۱۰۳
شکل ب-۲۰: بلوک شبیه سازی امپدانس شبکه و لینک dc. ۱۰۴
شکل ب-۲۱: بلوک شبیه سازی کنترل کننده. ۱۰۴
شکل ب-۲۲: نتایج کنترلر شبیه سازی شده. ۱۰۵
شکل ج-۱: آنالیز پایداری کنترل جریان. ۱۰۶
شکل ج-۲: بلوک دیاگرام کنترلر تناسبی. ۱۰۷
شکل ج-۳: آنالیز پایداری کنترلر ولتاژ با میرایی فعال. ۱۰۸
شکل ج-۴: آنالیز پایداری کنترلر. ۱۰۸
شکل ج-۵: دیاگرام بد تابع انتقال حلقه بسته $Svi(s)$ کنترلر تناسبی. ۱۱۰
شکل ج-۶: دیاگرام نایکوئیست تابع انتقال حلقه باز $Lvi(s)$ کنترلر تناسبی. ۱۱۰
شکل ج-۷ دیاگرام بد تابع انتقال حلقه بسته $Svi(s)$ کنترلر تناسبی-انتگرالگیر. ۱۱۱
شکل ج-۸: دیاگرام نایکوئیست تابع انتقال حلقه باز $Lvi(s)$ تناسبی-انتگرالگیر. ۱۱۱
شکل ج-۹: دیاگرام بد تابع انتقال حلقه بسته $Svi(s)$ کنترلر با میرایی Ga. ۱۱۲
شکل ج-۱۰: دیاگرام نایکوئیست تابع انتقال حلقه باز $Lvi(s)$ کنترلر با میراییGa. ۱۱۲

فهرست علایم و نشانه‌ها

عنوان	علامت اختصاری
ولتاژ خط	U
ولتاژ خط	E
دامنه ولتاژ فاز شبکه	E_g
ولتاژ خط یا شبکه در قاب dq	E_d , E_q
اندازه ولتاژ در نقطه اتصال شارژر به شبکه	V_{pcc}
ولتاژ مبدل	U_s
ولتاژ مبدل	V
ولتاژ مبدل مرجع	V^*
اندازه ولتاژ خط به خط	V_{LL}
اندازه ولتاژ خط به زمین	V_{LN}
پیک اندازه ولتاژ خط به زمین	$V_{LN\ (peak)}$
اندازه ولتاژ خط به زمین	E_m
ولتاژ لینک dc	V_{DC}
ولتاژ سمت ac خازن	V_C
جریان خط	i
جریان خط	i_L
جریان خط شارش یافته به مبدل	i_{CONV}
جریان لینک dc	i_{DC}
جریان بار	i_{LOAD}
مقاومت خط	R
اندوکتانس خط	L
خازن لینک dc	C
مقاومت شبکه	R_g
اندوکتانس شبکه	L_g
مقاومت بریکر SW1	R_b
خازن ac	C_{ac}
خازن dc	C_{dc}

مقاومت بار	R_{LOAD}
زاویه ولتاژ	θ
فرکانس نمونه برداری	F_S
فرکانس سوئیچینگ	F_{SW}
فرکانس موج مثلثی	$F_{Triangle}$
پهنای باند کنترلر جریان	α_i
پهنای باند کنترلر ولتاژ	α_v
کندوکتانس	Ga
تابع انتقال کنترلر	$F(s)$
تابع انتقال حلقه باز	$L(s)$
تابع انتقال حلقه بسته	$S(s)$
فرکانس زاویه ای	ω
اندوکتانس متقابل	M
زاویه الکتریکی موقعیت روتور	θ
شار	ψ

فصل اول

معرفی

فصل ۱– معرفی

۱–۱– مقدمه

با پیشرفت روز افزون تقاضای مصرف برق در جوامع گوناگون، خودروهای هیبریدی با قابلیت اتصال به شبکه[1] به دلیل قیمت بالای سوخت و نیز بحران انتشار آلودگی در زمینه تحقیقات و نیز در زمینه داد و ستد از موضوعات مهم و مورد علاقه به شمار می روند. همچنین وابستگی به سوخت فسیلی، پایداری محیطی و امنیت انرژی را در همه جای جهان تهدید می کند. با این وجود ساختار صحیح سیستم حمل و نقلی که از سیستم مناسبی در انتقال انرژی خود استفاده می کند می تواند این مصرف انرژی بیش از حد، انتشار آلودگی های کربنی و تاثیر تغییرات آب و هوایی در سراسر جهان را کاهش دهد.

یک خودرو PHEV را می توان به عنوان یک HEV[2] تلقی کرد که شامل یک سیستم ذخیره ساز با ظرفیت بالاتر و یک شارژر برای شارژ مجدد باتری می باشد. شارژر این خودروها دارای قابلیت شارژ باتری از هر خروجی الکتریکی مانند پریز برق می باشد و نیز این توانایی را دارد که در محدوده مشخصی بدون استفاده از سوخت و بصورت الکتریکی خالص حرکت نماید. چالش اساسی خودروهای PHEV در باتری آنها و نحوه شارژ مجدد آن می باشد. شارژ و دشارژ بهینه باتری مسئله مهمی در خصوص افزایش طول عمر، ایمنی و قابلیت اطمینان باتری به شمار می آیند. برای باتری های استفاده شده در PHEV اصولا برمبنای میزان شارژ باتری (SOC[3]) دو حالت کاری تعریف می شود. در حالت تخلیه، وسیله نقلیه معمولا در حالت مصرف انرژی الکتریکی قرار می گیرد و انرژی ذخیره شده در باتری، جهت کمک به سیستم احتراق داخلی[4] در راندن وسیله نقلیه مصرف می شود. هنگامیکه انرژی تولید شده توسط مجموعه رانشی خودرو از میزان مورد نیاز جهت حرکت کمتر شود (مثلا در لحظات ترمز یا توقف خودرو در ترافیک های شهری)، وسیله نقلیه به حالت شارژ گیری وارد می شود. در این حالت خودرو به مانند یک HEV با قابلیت شارژ باتری از طریق ترمز احیا کننده می باشد.

تبدیل PHEV به چنین امری نیازمند یک واسط دوطرفه بین شبکه و خوردو می باشد. چنین شارژر دو طرفه ای می بایست توانایی شارژ باتری یک PHEV را با تولید حداقل هارمونیک جریانی و نیز توانایی

[1] Plug-in Hybrid Electric Vehicle (PHEV)
[2] Hybrid Electric Vehicle (HEV)
[3] State Of Charge
[4] Internal Combustion Engine

بازگرداندن انرژی به شبکه را داشته باشد. هنگامیکه خودرو با یک شارژر دوطرفه تجهیز می شود باتری PHEV می تواند در هنگام قطع برق، الکتریسیته لازم برای خانه ها و اداره ها را مهیا نماید. همچنین باتری PHEV می تواند با تولید در مقیاس بالا برای مصارف مدیریت توان شبکه بکار گرفته شود.

بطور کلی برای شارژ باتری ها دو نوع شارژر وجود دارد: شارژر روی خودرو[1] و ایستگاه[2] [۲،۳]. شارژر ایستگاه با ایستگاههای بنزین و گاز که برای خودروهای با موتور سوختی احتراق داخلی بکار می روند قابل مقایسه می باشد که شارژ ثابت و سریعی را میسر می سازد. بدین صورت که با اتمام شارژ باتری خودرو، با مراجعه به ایستگاه شارژ ایستگاه می توان اقدام به شارژ خودرو نمود. از طرف دیگر، نوع روی خودرو با ادغام مجموعه و ادوات لازم جهت شارژ باتری (از جمله یکسوساز و ...) با سیستم الکتریکی موجود در خودرو، نوع دیگری از قابلیت شارژ را فراهم می آورد که برای شارژ در مواقعی که خودرو برای مدت طولانی متوقف می باشد مناسب است. مثلا در طول روز برای شارژ در محل کار، مراکز خرید و یا برای شارژ اضطراری در مکان هایی که شارژر ایستگاه در دسترس نبوده ولی خروجی الکتریکی تکفاز یا سه فاز در دسترس می باشد مناسب است. به علاوه از آنجا که شارژر نوع روی خودرو می بایست با خودرو حمل شود، وزن و فضای مصرف شده در خودرو باید کمینه گردد.

برای خودروهای هیبریدی که از شبکه الکتریکی برای شارژ باتری استفاده می نماید، اجزای مدار رانشی (ترکشن)، علی الخصوص موتور خودرو در زمان شارژ و **در** حالت عادی برای عمل شارژ درگیر نبوده و بنابراین این امکان وجود دارد که از آن در ساختار مدار شارژر استفاده نموده تا یک شارژر روی خودرو مجتمع را تشکیل دهد. به اینصورت که از سیم پیچ های موتور محرک ماشین که در حالت توقف بدون استفاده می ماند همراه با ساختمان مداری یک یکسوکننده استفاده کرده تا با تبدیل آن به یک مبدل بوست در وضعیت شارژ خودرو، به ساختار شارژر روی خودرو دست یافت که با حذف المان اضافی در مدار شارژر علاوه بر استفاده از دیگر اجزای موجود در ساختمان خودرو، در کاهش حجم و هزینه کل خودرو تاثیر بسزایی داشته باشد و این پروژه ای است که در این پایان نامه مد نظر قرار گرفته است.

بطور کلی تر چنین می توان عنوان نمود که در این پایان نامه نمونه ای از طرح های ساختار شارژر مجتمع برای شارژ باتری خودرو هیبریدی از هر خروجی سه فاز الکتریکی، بر اساس استفاده از سیم پیچ های استاتور ماشین سنکرون مغناطیس دائم به جای بهره گیری از سیم پیچ های اضافی در مدار، شبیه سازی و با در نظر گرفتن مسئله القای متقابل در سیم پیچ های موتور و نیز قفل شدن روتور ارائه شده است. بدین صورت که در حالت توقف و خاموش بودن موتور، از سرهای بیرون آمده از سیم پیچ های

[1] On-board Charger
[2] Off-board Charger