

# «پژوهشگر کرامی»

صفحاتی را که مشاهده می فرمائید، گزیده ای محدود از یک سند پژوهشی طولانی است که شامل:



برای مشاهده فهرست دیجیتال پایان نامه ها / رساله های می توانید به آدرس ذیل مراجعه کنید:

<http://lib.uok.ac.ir:8080>

در صورت به وجود آمدن هرگونه مشکل و پرسش در زمینه دسترسی، تهیه و استفاده از منابع الکترونیکی و دیجیتال به بخش پایان نامه ها و منابع دیجیتال کتابخانه مرکزی و مرکز اسناد مراجعه نموده و تماس بگیرید!

شماره تماس ۰۸۷-۳۳۶۲۴۰۰۶



دانشگاه کردستان  
دانشکده مهندسی  
گروه مهندسی برق (قدرت و کنترل)

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی برق گرایش الکترونیک قدرت و ماشین های الکتریکی

عنوان:

باتری شارژر سه فاز/تک فاز برای خودروهای الکتریکی هیبرید  
پلاگین (PHEV) با تمرکز بر کاهش زمان شارژ و بهبود ضریب توان (PF)

پژوهشگر:

آروین احمدی

استاد راهنما:

دکتر بهر داد غلامی

پهمن ۱۴۰۱

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه کردستان  
دانشکده مهندسی  
گروه مهندسی برق (قدرت و کنترل)

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی برق گرایش الکترونیک قدرت و  
ماشین‌های الکتریکی

عنوان:

باتری شارژر سه فاز/ تک فاز برای خودروهای الکتریکی  
هیبرید پلاگین (PHEV) با تمرکز بر کاهش زمان شارژ و بهبود  
ضریب توان (PF)

پژوهشگر:

آروین احمدی

استاد راهنما:

دکتر مهرداد غلامی

بهمن ۱۴۰۱

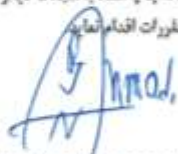
## باسمه تعالی

### • تعهد نامه دانشجویان تحصیلات تکمیلی دانشگاه کردستان در انجام پایان نامه •

(لازم است به عنوان صفحه اول پروپوزال و به عنوان چهارمین برگ پایان نامه و پس از صفحه مشخصات پایان نامه بوده و به دقت مطالعه و امضا شود)

اینجانب **آرژون احمدی** دانشجوی مقطع **کارشناسی ارشد** رشته **سپهرسی- برق** - وزارت **متعهد میشوم:**

- ۱- صداقت، امانتداری و بی طرفی را در انجام پژوهش و انتشار نتایج حاصل از آن رعایت نمایم.
- ۲- در نگارش نتیجه پژوهش های حاصل از موضوع پایان نامه، از باز نویسی نوشته های دیگران بدون ذکر منبع، بازنوی یا اقتباس، زیاده نویسی، کپی گویی و جرم اندیشی و تصرف گرایم پرهیز نمایم و نتایج پژوهشی خود را در موعد مقرر و با اطلاع استاد راهنما منتشر نمایم.
- ۳- تمامی یافته های مستخرج از پایان نامه متعلق به دانشگاه کردستان بوده و لازم است در کلیه مقالات مستخرج از آنها نام دانشگاه کردستان را تحت عنوان (دانشجوی دانشگاه کردستان) یا (دانش آموخته دانشگاه کردستان) ذکر نمایم.
- ۴- در انتشار مقالات نام استاد (استادان) راهنما و استاد (استادان) مشاور را در لیست موثقین مقاله ذکر نمایم و از آوردن اسامی افرادی که نقش مؤثری در انجام پژوهش نداشته اند، جداً خودداری نمایم.
- ۵- در بخش سیاستگذاری مقاله، از تمامی افراد و سازمان هایی که در اجرای پژوهش مساعدتی مبدول داشته اند، با ذکر نوع مشارکت تشکر و قدر دانی نمایم.
- ۶- از انتشار همپوشان یا ارسال همزمان یک مقاله به چند مجله و یا ارسال مجدد مقاله چاپ شده به مجلات دیگر خودداری نمایم.
- ۷- در صورت عدم رعایت موارد مذکور، دانشگاه کردستان مجاز خواهد بود تا برابری مقررات اقدام نماید.



امضاء دانشجو

دستور العمل نحوه پر خوردن یا موارد تخلفی دانشجویان تحصیلات تکمیلی در هنگام انتشار نتایج پژوهش

- ۱- در موارد زیر دانشگاه کردستان با محقق مربوطه مکاتبه و درخواست خروج نمودن مقاله را نموده و موضوع را به محل کار یا تحصیل محقق دانشگاه اطلاع خواهد داد.  
الف- چاپ مقاله بدون اطلاع و تأیید استادان راهنما  
ب- چاپ نتایج حاصل از پژوهش های انجام شده در دانشگاه کردستان بدون ذکر نام دانشگاه  
۲- در صورت احراز تخلف از سایر موارد فرج شده در تعهد نامه دانشجویی، دانشگاه ضمن مکاتبه با محقق مربوطه، حسب مورد تصمیم گیری خواهد نمود.



دانشگاه گوردستان  
دانشکده مهندسی  
گروه مهندسی برق (قدرت و کنترل)

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی برق گرایش الکترونیک قدرت و ماشین های الکتریکی

عنوان:

باتری شارژر سه فاز/ تک فاز برای خودروهای الکتریکی هیبرید  
پلاگین (PHEV) با تمرکز بر کاهش زمان شارژ و بهبود ضریب توان (PF)

پژوهشگر:

آروین احمدی

در تاریخ ۱۴۰۱/۱۱/۳۰ توسط کمیته تخصصی و هیأت داوران زیر مورد بررسی قرار گرفت و با درجه خیلی خوب به تصویب رسید.

امضاء	مرتبۀ علمی	نام و نام خانوادگی	هیأت داوران
	استادیار	دکتر مهرداد غلامی	۱- استاد راهنما
	دانشیار	دکتر رحمت الله میرزایی	۲- استاد داور داخلی اول
	دانشیار	دکتر یزدان باتمانی	۳- استاد داور داخلی دوم

مهر و امضاء معاون آموزشی و تحصیلات تکمیلی دانشکده

مهر و امضاء مدیر گروه

دکتر هاشم شاهسونی

دکتر نوید رضایی

دانشگاه گوردستان  
دانشکده مهندسی  
گروه مهندسی برق (قدرت و کنترل)

گروه مهندسی برق (قدرت و کنترل)

## چکیده

به منظور بهبود راندمان خطوط تولید و یا استفاده از منابع انرژی غیر نفتی برای حمل و نقل جاده‌ایی، خودروهای برقی-هیبریدی و خودروهای دارای سلول سوختی، توسط شرکت‌های اتومبیل‌سازی در سراسر جهان تولید می‌شوند. خطوط راه‌اندازی این وسایل نقلیه از موتورهای الکتریکی و ذخیره انرژی الکتریکی برای تکمیل خروجی موتور یا سلول سوختی در حین شتاب‌گیری و یا برای بازیابی انرژی در هنگام ترمز استفاده می‌کنند. فن‌آوری‌های ذخیره انرژی الکتریکی که مورد استفاده قرار می‌گیرند؛ باتری‌های قابل شارژ و آبرخازن‌ها (خازن‌های الکتروشیمیایی) هستند. واحدهای ذخیره انرژی الکتریکی را می‌توان از موتور یا سلول سوختی یا از شبکه برق درست مثل یک وسیله الکتریکی شارژ کرد. در موارد بعدی (که اغلب به آن پلاگین هیبرید گفته می‌شود)، وسایل نقلیه می‌توانند از سوخت‌های مایع یا گازی و همچنین برق شبکه استفاده کنند. یکی از ویژگی‌های جذاب خودرو هیبریدی پلاگین این است که اجازه استفاده از برق شبکه با استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر را می‌دهد.

در واقع، ایده کلی به این صورت است که، باتری شارژی طراحی شود که ویژگی بارز آن شارژ سریع و قابل دسترس باشد، به این صورت که هم بتوان آن‌را به پریز برق خانگی (تک‌فاز) متصل کرد و هم بتوان آن‌را در ایستگاه‌های مخصوص، شارژ کرد. در حالت شارژ از طریق برق خانگی (تک‌فاز) ورودی شارژر به صورت ۲۳۰ ولت AC و در حالت شارژ از طریق جایگاه‌های مخصوص، ورودی شارژر به صورت سه‌فاز AC خواهد بود؛ اما در صورتی که یک منزل مسکونی داری ورودی برق سه‌فاز باشد نیز می‌تواند از نوع دوم استفاده کند. هدف از انجام این کار این است که بتوان خودرو خود را در هر مکانی با حداقل زیرساخت ممکن، با آسودگی خاطر شارژ کنیم، اما اشکال آن‌جاست که خودرو از طریق شارژر AC در حالت اول زمانی که ولتاژ ورودی تک‌فاز است به نسبت ورودی سه‌فاز مدت زمانی بیشتری زمان لازم دارد تا شارژ شود. برای کاهش زمان شارژ باتری‌ها می‌توان از ورودی شارژر به خودرو به صورت DC نیز اشاره کرد که تمام عملیات تولید توان الکتریکی خارج از خودرو صورت می‌گیرد اما خارج از بحث این موضوع است. مجموعه شارژر مورد نظر را می‌توان به سه بخش تقسیم کرد که بخش اول آن در قسمت تک‌فاز و بخش دوم آن در قسمت سه‌فاز است. بخش سوم آن نیز به صورت مشترک بین قسمت‌های سه‌فاز و تک‌فاز استفاده می‌شود. راستی آزمایی این ایده از طریق نرم افزارهای شبیه‌سازی صورت می‌گیرد اما در دنیای واقعی، کارهایی این چنینی برای تسهیل امر شارژ کردن خودروها و گسترش هر چه بیشتر این صنعت انجام شده‌است.

**کلیدواژه:** خودرو برقی/هیبریدی، شارژر تک‌فاز/سه‌فاز، مبدل تک‌فاز/سه‌فاز، باتری، شارژر، شارژ، تخلیه شارژ

۱- فصل اول مقدمه و کلیات .....	۱
۱_۱ معرفی موضوع .....	۱
۱_۲ اهمیت موضوع .....	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
۱_۳ سوالات یا فرضیات .....	۵
۱_۴ هدف و روش تحقیق .....	۵
۱_۵ مراحل تحقیق .....	۶
۱_۶ ساختار پایان نامه .....	۶
۲- فصل دوم مروری بر خودروهای الکتریکی هیبریدی پلاگین .....	۷
۲_۱ مقدمه .....	۷
۲_۲ معرفی خودروهای برقی هیبریدی پلاگین .....	۸
۲_۲_۱ خودروی برقی هیبریدی پلاگین .....	۱۱
۲_۲_۲ HEV/PHEV ها در مقابل با وسایل نقلیه مبتنی بر ICE .....	۱۴
۲_۲_۳ خودروهای برقی هیبریدی پلاگین (PHEV) و خودروهای الکتریکی (EV) .....	۱۵
۲_۳_۱ پیشرانه خودروهای برقی هیبریدی پلاگین .....	۱۶
۲_۳_۲ خودروهای برقی هیبریدی سری .....	۱۷
۲_۳_۳ خودروهای برقی هیبریدی موازی .....	۱۹
۲_۳_۴ خودروهای برقی هیبریدی ترکیبی .....	۲۱
۲_۴_۱ اجزای تشکیل دهنده خودرو برقی هیبریدی پلاگین .....	۲۳
۲_۴_۲ سیستم ذخیره انرژی (ESS) .....	۲۴
۲_۴_۲_۱ تکنولوژی ذخیره انرژی توسط باتری .....	۲۴
۲_۴_۲_۲ ابرخازن (Ultra-Capacitor) .....	۲۶
۲_۴_۲_۳ سیستم ذخیره انرژی هیبریدی (HESS) .....	۲۷
۲_۴_۲_۴ اپیکر بندی موازی غیر فعال .....	۲۷
۲_۴_۲_۵ توپولوژی باتری UC .....	۲۸

- ۲۹.....۲\_۴\_۱\_۳\_۳ توپولوژی UC/باتری
- ۲۹.....۲\_۴\_۱\_۳\_۴ توپولوژی مبدل‌های چندگانه
- ۳۰.....۲\_۴\_۱\_۳\_۵ توپولوژی HESS با پیکربندی مجدد سری-موازی
- ۳۱.....۲\_۴\_۱\_۴\_۴ فلایویل‌ها (چرخ‌لنگرها)
- ۳۲.....۲\_۴\_۱\_۵\_۵ اندازه ESS
- ۳۳.....۲\_۴\_۱۲\_۱۲ اجزا و مدل باتری
- ۳۳.....۲\_۴\_۲\_۱\_۱ آند
- ۳۵.....۲\_۴\_۲\_۲\_۲ کاتد
- ۳۶.....۲\_۴\_۲\_۳\_۳ تاثیرگذاری بر پارامترهای عملیاتی
- ۳۷.....۲\_۴\_۲\_۴\_۴ اثرات برگشت پذیر
- ۳۹.....۲\_۴\_۲\_۵\_۵ مدل باتری
- ۳۹.....۲\_۴\_۳\_۳\_۳ شارژر برای خودروهای برقی هیبریدی قابل شارژ (PHEV)
- ۴۴.....۲\_۴\_۳\_۱\_۱ سیستم‌های شارژ AC
- ۴۷.....۲\_۴\_۳\_۲\_۲ سیستم‌های شارژ DC
- ۴۸.....۲\_۴\_۳\_۳\_۳ نیازمندی‌های شارژر
- ۴\_۳\_۴\_۲\_۴ دسته‌بندی انواع مختلف شارژرهای باتری برای خودروهای برقی و
- ۴۹..... هیبریدی پلاگین
- ۵۵.....۲\_۴\_۳\_۴\_۱ شارژرهای یکسوساز PFC AC-DC
- ۵۶.....۲\_۴\_۳\_۴\_۲ توپولوژی‌های مبدل DC-DC ایزوله
- ۵۹.....۲\_۴\_۳\_۴\_۳ شارژرهای تک‌جهته
- ۶۰.....۲\_۴\_۳\_۴\_۴ شارژرهای دو‌جهته
- ۶۳.....۲\_۴\_۳\_۴\_۵ شارژرهای داخلی و خارجی
- ۶۴.....۲\_۴\_۳\_۴\_۶ شارژرهای دو سطحه داخلی
- ۶۸.....۲\_۴\_۳\_۴\_۷ شارژرهای مجتمع (یک‌پارچه)
- ۸۳.....۲\_۴\_۳\_۴\_۸ شارژرهای خارجی سطح سه
- ۹۲.....۲\_۵\_۲\_۵\_۵ شارژرهای شارژ باتری خودروهای الکتریکی
- ۹۳.....۲\_۵\_۲\_۱\_۱ شارژ آهسته
- ۹۵.....۲\_۵\_۲\_۲\_۲ شارژ سریع

۶_۲	مروری بر استراتژی‌های کنترل خودروهای برقی	۹۹
۶_۲	حالات‌های عملیاتی	۱۰۰
۶_۲	برد تمام الکتریکی (AER)	۱۰۱
۶_۲	موتور روشن/خاموش	۱۰۲
۶_۲	طبقه‌بندی استراتژی کنترل عمومی	۱۰۳
۷_۲	استراتژی‌های شارژ و اثرات آن بر تجهیزات زیرساختی	۱۰۴
۷_۲	شارژ ناهماهنگ	۱۰۴
۷_۲	شارژ هماهنگ	۱۰۵
۷_۲	چالش‌های زیرساخت شارژ سریع	۱۰۶
۳	<b>فصل سوم باتری شارژر کارآمد و مقرون به صرفه</b>	۱۰۸
۳	۱ مقدمه	۱۰۸
۳	۱۲ جزای اصلی باتری شارژر	۱۰۹
۳	۲_۳ ادو/چند شاخه ورودی	۱۱۰
۳	۲_۲ ترانس ایزوله‌ساز شارژر	۱۱۱
۳	۳_۲ فیلتر EMI ورودی	۱۱۲
۳	۴_۲ مبدل یکسوساز AC/DC به همراه PFC افزایشدهنده	۱۱۸
۳	۵_۲ مبدل DC-DC دوجته افزایشدهنده/کاهنده	۱۳۹
۴	<b>فصل چهارم نتایج و تحلیل آن‌ها</b>	۱۴۴
۴	۱ مقدمه	۱۴۴
۴	۲ باتری شارژر تک‌فاز	۱۴۴
۴	۲_۱ تصحیح ضریب توان در حالت تک‌فاز	۱۴۶
۴	۲_۲ ولتاژ DC تولیدی/دریافتی توسط مبدل جلویی فعال	۱۴۹
۴	۳_۲ نحوه شارژ/تخلیه شارژ باتری تحت شارژر مورد نظر در حالت تک‌فاز	۱۵۰
۴	۳ باتری شارژر سه‌فاز	۱۵۸
۴	۳_۱ تصحیح ضریب توان در حالت سه‌فاز	۱۵۹
۴	۲_۳ ولتاژ DC تولیدی/دریافتی توسط مبدل جلویی فعال	۱۶۱
۴	۳_۳ نحوه شارژ/تخلیه شارژ باتری تحت شارژر مورد نظر در حالت سه‌فاز	۱۶۲
۴	۴ سرهم‌بندی باتری شارژر تک‌فاز/سه‌فاز	۱۷۲

۴\_۵ جمع بندی ..... ۱۷۳

۵- فصل پنجم نتیجه گیری و پیشنهادها ..... ۱۷۴

۵\_ نتیجه گیری و پیشنهادها ..... ۱۷۴

مراجع ..... ۱۷۶



جدول ۱-۲: عملکردهای خودروهای هیبریدی برای توپولوژی های مختلف.....	۱۷
جدول ۲-۲: ویژگی های اصلی انواع مختلف فن آوری باتری و ابرخازن.....	۲۶
جدول ۲-۳: خلاصه ایی از شرایط تسریع کننده فرسودگی و مکانیسم های مرتبط.....	۳۷
جدول ۲-۴: الزامات باتری PHEV بر اساس کلاس بندی خودرو.....	۴۲
جدول ۲-۵: انواع مدل های شارژ PHEV.....	۴۴
جدول ۲-۶: سطوح توان شارژ AC خودروهای الکتریکی SAE.....	۴۴
جدول ۲-۷: سطوح توان شارژ DC خودروهای الکتریکی SAE.....	۴۸
جدول ۲-۸: مقایسه توپولوژی های PFC افزاینده مختلف.....	۵۷
جدول ۲-۹: مقایسه مبدل های DC/DC ایزوله شده رایج.....	۵۸
جدول ۲-۱۰: مقایسه توپولوژی های شارژر یکپارچه مبدل تک سطحه.....	۷۴
جدول ۴-۱: مقادیر عناصر مدار باتری شارژر تک فاز.....	۱۴۵
جدول ۴-۲: پارامترهای باتری در مثال اول تک فاز.....	۱۴۵
جدول ۴-۳: پارامترهای باتری در مثال دوم تک فاز.....	۱۵۶
جدول ۴-۴: پارامترهای باتری در مثال سوم تک فاز.....	۱۵۷
جدول ۴-۵: مقادیر عناصر مدار باتری شارژر سه فاز.....	۱۵۸
جدول ۴-۶: پارامترهای باتری در مثال اول سه فاز.....	۱۵۹
جدول ۴-۷: پارامترهای باتری در مثال دوم سه فاز.....	۱۷۰
جدول ۴-۸: پارامترهای باتری در مثال سوم سه فاز.....	۱۷۱

- شکل ۱-۲: کل مصرف انرژی اتحادیه اروپا بر اساس بخش مصرف در سال ۲۰۱۶ [۲۶]..... ۸
- شکل ۲-۲: نمودار جریان توان خودروهای الکتریکی هیبریدی پلاگین [۵۳]..... **ERROR!**
- BOOKMARK NOT DEFINED.**
- شکل ۳-۲: تفاوت اصلی بین HEV/PHEV ها و وسایل نقلیه مبتنی بر ICE از نظر عملکرد موتور
- [۵۹]..... **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**
- شکل ۴-۲: توپولوژی خودرو برقی هیبریدی پلاگین سری [۳۰, ۴۱, ۶۲-۶۷]..... **ERROR!**
- BOOKMARK NOT DEFINED.**
- شکل ۵-۲: خودرو سواری BMW I ۳ از انواع خودروهای برقی هیبریدی سری..... **ERROR!**
- BOOKMARK NOT DEFINED.**
- شکل ۶-۲: توپولوژی خودرو برقی هیبریدی پلاگین موازی [۴۱, ۶۲-۶۶, ۶۸, ۶۹]..... **ERROR!**
- BOOKMARK NOT DEFINED.**
- شکل ۷-۲: خودرو سواری BMW E۳۳۰ از انواع خودروهای برقی هیبریدی موازی..... **ERROR!**
- BOOKMARK NOT DEFINED.**
- شکل ۸-۲: اطلاعات فنی خودرو سواری BMW E۳۳۰ از انواع خودروهای برقی هیبریدی موازی
- ۲۱.....
- شکل ۹-۲: توپولوژی خودرو برقی هیبریدی ترکیبی [۳۲, ۴۱]..... **ERROR! BOOKMARK**
- NOT DEFINED.**
- شکل ۱۰-۲: مجموعه چرخ دنده سیاره‌ای (PGS)..... **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**
- شکل ۱۱-۲: توپولوژی تقسیم توان خودروهای برقی هیبریدی [۳۲, ۴۱]..... **ERROR! BOOKMARK**
- NOT DEFINED.**
- شکل ۱۲-۲: پیکربندی موازی غیرفعال [۷۰]..... **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**
- شکل ۱۳-۲: توپولوژی باتری UC/ [۷۲, ۷۳, ۷۸]..... **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**
- شکل ۱۴-۲: توپولوژی UC/باتری [۷۲, ۷۹]..... **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**
- شکل ۱۵-۲: توپولوژی مبدل چندگانه [۷۲, ۸۰, ۸۱]..... **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**
- شکل ۱۶-۲: توپولوژی HESS قابل تنظیم مجدد سری-موازی [۷۳, ۸۲]..... ۳۱
- شکل ۱۷-۲: مکانیسم‌های پیری در سلول‌های لیتیوم یونی [۶۲, ۹۰]..... ۳۳
- شکل ۱۸-۲: طرح کیفی اثر الکتروود غیرفعال برای فرسودگی تقویم، تمایز بین SOC ذخیره‌ساز
- بالا تر (بالا) و پایین (پایین) در مقایسه با شرایط اولیه (سمت چپ) [۱۲۶]..... ۳۸

- شکل ۱۹-۲: مدل باتری [۱۲۹]..... ۳۹
- شکل ۲۰-۲: رابط متصل کننده استاندارد IEC ۱۷۷۲SAE J ..... ۴۶
- شکل ۲۱-۲: رابط متصل کننده استاندارد IEC ۱۲۱۹۶-۳ ..... ۴۷
- شکل ۲۲-۲: توپولوژی عمومی سیستم شارژ پیشرفته [۱۵۴] .....  
**ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**
- شکل ۲۳-۲: توپولوژی شارژر یک طرفه جاگذاری شده (INTERLEAVED) [۱۵۹]..... ۵۲
- شکل ۲۴-۲: مدار شارژر چند سطحی تک جهته تک فاز [۱۵۷] .....  
**ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**
- شکل ۲۵-۲: مدار شارژر دو جهته سه سطحی با دیود کلمپ شده (محدود کننده) [۱۵۷]..... ۵۳
- شکل ۲۶-۲: شارژر دو جهته نیم پل تک فاز [۲۰] .....  
**ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**
- شکل ۲۷-۲: شارژر دو جهته تمام پل تک فاز [۲۰] .....  
**ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**
- شکل ۲۸-۲: شارژر دو جهته تمام پل سه فاز [۲۰] .....  
**ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**
- شکل ۲۹-۲: توپولوژی عمومی تک جهته و دو جهته [۱۵۷]..... ۶۰
- شکل ۳۰-۲: شارژر رزونانسی سری تمام پل تک جهته نصب شده در داخل خودرو برای ..  
**ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**
- شکل ۳۱-۲: شارژر دو ربعی دو جهته غیر ایزوله [۱۶۳]..... ۶۱
- شکل ۳۲-۲: شارژر پل فعال دو گانه دو جهته ایزوله [۲۰]..... ۶۲
- شکل ۳۳-۲: توپولوژی ها و مقایسه های شارژر تک جهته و دو جهته [۲۰]..... ۶۲
- شکل ۳۴-۲: مقایسه زیرساخت های شارژر تک جهته و دو جهته [۲۰]..... ۶۳
- شکل ۳۵-۲: یک شارژر دو سطحه متشکل از یک یکسوساز PFC افزایشده جاگذاری شده و یک  
 مبدل DC-DC تمام پل ایزوله [۱۸۴, ۱۸۳] ..... ۶۵
- شکل ۳۶-۲: مبدل تشدید کننده LLC تمام پل به دنبال یک سطح PFC افزایشده [۱۸۵] .....  
**ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**
- شکل ۳۷-۲: مبدل تشدید کننده تمام پل LLC و یکسوساز سنکرون که به دنبال آن PFC افزایشده  
 می آید [۱۸۶]..... ۶۷
- شکل ۳۸-۲: مبدل افزایشده PFC که بعد از آن یک مبدل DC-DC تمام پل با بارگذاری رزونانسی  
 می آید [۱۸۷]..... ۶۷
- شکل ۳۹-۲: ساختار معمولی شارژر PEV یکپارچه [۱۹۱, ۱۹۲] .....  
**ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**

شکل ۲-۴۰: شارژر یکپارچه با دو موتور و دو اینورتر [۱۹۴]..... **ERROR! BOOKMARK NOT**

**DEFINED.**

شکل ۲-۴۱: توپولوژی یک مبدله یکپارچه با یکسو کننده دیودی افزاینده/کاهنده مثبت با مبدل

DC-DC [۱۹۵]..... ۷۱

شکل ۲-۴۲: توپولوژی یک مبدله یکپارچه با رابط سه سطحه AC-DC یکپارچه و مبدل DC-DC

[۱۹۶]..... ۷۲

شکل ۲-۴۳: توپولوژی یک مبدله یکپارچه با مبدل دو جهته مستقیم AC-DC فاقد پل یکپارچه

افزاینده/کاهنده و مبدل DC-DC [۱۷۵]..... ۷۳

شکل ۲-۴۴: توپولوژی یک مبدله یکپارچه با مبدل دو جهته مستقیم AC-DC فاقد پل یکپارچه

افزاینده/کاهنده و مبدل DC-DC [۱۹۷]..... **ERROR! BOOKMARK NOT**

شکل ۲-۴۵: راه حل های شارژر یکپارچه بدون استفاده از تنظیم مجدد سیم پیچ فقط با استفاده از

اینورتر موتور با پل دیودی و سلف اضافی [۱۹۹]..... ۷۵

شکل ۲-۴۶: راه حل های شارژر یکپارچه بدون استفاده از تنظیم مجدد سیم پیچ با استفاده از اینورتر

موتور و سیم پیچ با پل دیودی اضافی [۱۹۹]..... ۷۵

شکل ۲-۴۷: راه حل های شارژر یکپارچه بدون استفاده از تنظیم مجدد سیم پیچ با دسترسی به نقاط

خنثی سیم پیچ موتور در یک محرکه دو چرخ [۱۸۹]..... **ERROR! BOOKMARK NOT**

**DEFINED.**

شکل ۲-۴۸: راه حل های شارژر یکپارچه بدون استفاده از تنظیم مجدد سیم پیچ با استفاده از سیم

پیچ موتور و اینورتر به عنوان یکسو کننده افزاینده تک فاز [۱۹۰]..... ۷۷

شکل ۲-۴۹: راه حل های شارژر یکپارچه بدون استفاده از تنظیم مجدد سیم پیچ با دسترسی به نقاط

خنثی سیم پیچ های موتور در یک محرکه چهار چرخ [۱۹۰]..... ۷۸

شکل ۲-۵۰: راه حل های شارژر یکپارچه بدون استفاده از تنظیم مجدد سیم پیچ با استفاده از

سیم پیچ های موتور در توپولوژی مبدل DC-DC افزاینده سه فاز از طریق دسترسی به نقطه

خنثی [۲]..... ۷۹

شکل ۲-۵۱: راه حل های شارژر یکپارچه با استفاده از تنظیم مجدد سیم پیچ/اینورتر با استفاده از

درایو SRM اصلاح شده با قابلیت شارژر [۲۰۱]..... ۸۰

شکل ۲-۵۲: راه حل های شارژر یکپارچه با استفاده از تنظیم مجدد سیم پیچ/اینورتر با استفاده از

شارژر/اینورتر منبع جریان سه فاز (CSI) [۲۰۲]..... ۸۱

- شکل ۲-۵۳: شارژر داخلی سه فاز با مجموعه دو گانه سیم پیچ‌های استاتور برای PMSM [۱۹۲]... ۸۲
- شکل ۲-۵۴: شارژر سه فاز یکپارچه برای دسترسی به نقاط میانی سیم پیچ‌های موتور [۱۸۲]
- ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.** .....
- شکل ۲-۵۵: معماری‌های سطح سیستم مختلف برای ایستگاه‌های شارژ سریع بالینک مشترک شین AC [۲۰۳]..... ۸۴
- شکل ۲-۵۶: معماری‌های سطح سیستم مختلف برای ایستگاه‌های شارژ سریع بالینک مشترک شین DC [۲۰۳]..... ۸۴
- شکل ۲-۵۷: شارژر متغیر با استفاده از ترانسفورماتور ایزوله فرکانس بالا [۲۰۳]..... ۸۵
- شکل ۲-۵۸: چیدمان مدار VSI [۲۰۴, ۲۰۵]..... ۸۶
- شکل ۲-۵۹: آرایش مدار یک یکسوساز VIENNA [۲۰۶]..... **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**
- شکل ۲-۶۰: توپولوژی مبدل DC-DC توان بالا با ZVS تغییر فاز تمام پل [۲۰۸]..... ۸۸
- شکل ۲-۶۱: توپولوژی مبدل DC-DC توان بالا با LLC تشدید [۲۰۹]..... ۸۹
- شکل ۲-۶۲: توپولوژی مبدل کاهنده جاگذاری شده سه فاز [۱۷۱]..... ۹۰
- شکل ۲-۶۳: سیستم‌های IPT یکپارچه و توزیع شده [۲۱۱]..... ۹۲
- شکل ۲-۶۴: نمودارهای شارژ CC و CV یک مجموعه باتری خودرو برقی [۲۱۶]..... ۹۶
- شکل ۲-۶۵: عمل کرد روش شارژ پالس [۲۱۹]..... ۹۸
- شکل ۲-۶۶: حالت‌های عملیاتی PHEV [۲۲۷]..... **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**
- شکل ۲-۶۷: نمودار درختی استراتژی کنترل PHEV [۳۵]..... ۱۰۴
- شکل ۱-۳: توپولوژی کلی باتری شارژر تک فاز [۱۵۷]..... ۱۰۹
- شکل ۲-۳: توپولوژی کلی باتری شارژر سه فاز [۲۳۵]..... ۱۱۰
- شکل ۳-۳: اتصال دهنده ترکیبی IEC ۱۷۷۲ SAE J برای شارژر سطح یک و سطح دو [۲۳۵]..... **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**
- شکل ۳-۴: بلوک دیاگرام ساده شده سیستم‌های مبادله توان شارژ سریع معمولی [۲۳۵]..... ۱۱۲
- شکل ۳-۵: فیلتر EMI ورودی نوع II [۲۳۷]..... ۱۱۳
- شکل ۳-۶: فیلتر EMI ورودی نوع II چند گانه [۲۳۷]..... ۱۱۴
- شکل ۳-۷: فیلتر EMI ورودی نوع T [۲۳۷]..... ۱۱۵
- شکل ۳-۸: فیلتر EMI ورودی نوع T چند گانه [۲۳۷]..... ۱۱۵
- شکل ۳-۹: فیلتر EMI ورودی نوع L [۲۳۷]..... ۱۱۶

- شکل ۳-۱۰: فیلتر EMI ورودی نوع L چندگانه [۲۳۷]..... ۱۱۶
- شکل ۳-۱۱: معیار سازگاری امیدانس [۲۳۸]..... ۱۱۷
- شکل ۳-۱۲: سیستم توزیع با نفوذ بالای VSC ها [۲۳۹]..... ۱۱۹
- شکل ۳-۱۳: درایو AC فرآیند صنعتی متصل به پیوند یکسان DC و سیستم های تولید پراکنده [۲۳۹]..... ۱۲۱
- شکل ۳-۱۴: مبدل منبع ولتاژ (VSC) به عنوان قسمت جلویی فعال با طرحی از جریان شبکه هم فاز با ولتاژ شبکه و ولتاژ DC مورد نظر به عنوان ولتاژ خروجی [۲۳۹]..... ۱۲۲
- شکل ۳-۱۵: مبدل منبع ولتاژ تک فاز [۲۳۹]..... ۱۲۳
- شکل ۳-۱۶: مبدل منبع ولتاژ سه فاز [۲۳۹]..... ۱۲۳
- شکل ۳-۱۷: حالت های عملکرد مبدل جلویی فعال [۲۳۹]..... ۱۲۵
- شکل ۳-۱۸: مدار معادل برای کنترل جریان شبکه [۲۳۹]..... ۱۲۶
- شکل ۳-۱۹: حالت های (الف) یکسوساز و (ب) تولید [۲۳۹]..... ۱۲۶
- شکل ۳-۲۰: مدار معادل برای کنترل ولتاژ بار [۲۳۹]..... ۱۲۷
- شکل ۳-۲۱: تعادل قدرت مبدل جلویی فعال (فلش ها جهت پخش بار را شبیه سازی می کنند) [۲۳۹]..... ۱۲۸
- شکل ۳-۲۲: قاب AB ثابت و قاب چرخشی DQ [۲۳۹]..... ۱۲۹
- شکل ۳-۲۳: قاب DQ و اهداف کنترل [۲۳۹]..... ۱۳۲
- شکل ۳-۲۴: طرح اصلی یک کنترل کننده آبخاری [۲۳۹]..... ۱۳۳
- شکل ۳-۲۵: کنترل جریان AC در قاب گردان DQ [۲۳۹]..... ۱۳۴
- شکل ۳-۲۶: حلقه کنترل جریان در حوزه S [۲۳۹]..... ۱۳۵
- شکل ۳-۲۷: حلقه کنترل ولتاژ در حوزه S [۲۳۹]..... ۱۳۷
- شکل ۳-۲۸: بلوک دیاگرام سیستم حلقه بسته [۲۳۹]..... ۱۳۸
- شکل ۳-۲۹: پیکربندی مبدل DSBB [۲۴۲]..... ۱۴۰
- شکل ۳-۳۰: نمای کلی باتری شارژر مورد نظر با ورودی سه فاز..... ۱۴۲
- شکل ۳-۳۱: نمای کلی کنترل کننده باتری شارژر مورد نظر با ورودی سه فاز..... **ERROR!**
- شکل ۳-۳۲: نمای کلی باتری شارژر مورد نظر با ورودی تک فاز..... ۱۴۲

BOOKMARK NOT DEFINED.

شکل ۳-۳۳: نمای کلی کنترل کننده باتری شارژر مورد نظر با ورودی تک فاز..... ERROR!

BOOKMARK NOT DEFINED.

شکل ۴-۱: مقادیر عناصر مدار باتری شارژر تک فاز..... ۱۴۵

شکل ۴-۲: ضریب توان نزدیک به واحد در حالت تک فاز..... ۱۴۷

شکل ۴-۳: محاسبه ضریب توان از طریق توان اکتیو و راکتیو در حالت تک فاز..... ۱۴۸

شکل ۴-۴: عدم وجود تصحیح ضریب توان هنگام تخلیه شارژر باتری در حالت تک فاز..... ۱۴۸

شکل ۴-۵: ولتاژ DC تولیدی توسط مبدل جلویی فعال در حالت شارژر تک فاز..... ۱۴۹

شکل ۴-۶: ولتاژ DC تحویل داده شده به مبدل فعال جلویی از طرف باتری و مبدل افزایشدهنده/کاهنده

در حالت تخلیه شارژر تک فاز..... ۱۴۹

شکل ۴-۷: بررسی عمل کرد شارژر باتری در حالت تک فاز و در ابتدای شارژ (۶/۹۴ درصد)..... ۱۵۰

شکل ۴-۸: بررسی عمل کرد شارژر باتری در حالت تک فاز و در اواسط شارژ (۶۳/۸۱ درصد)..... ۱۵۱

شکل ۴-۹: بررسی عمل کرد شارژر باتری در حالت تک فاز و در اواسط شارژ (۳۷/۹۶ درصد)..... ۱۵۱

شکل ۴-۱۰: بررسی عمل کرد شارژر باتری در حالت تک فاز و در اواخر شارژ (۹۹/۹ درصد)..... ۱۵۲

شکل ۴-۱۱: بررسی عمل کرد تخلیه شارژر باتری در حالت تک فاز و در اواسط تخلیه (۵۳/۴۷

درصد)..... ۱۵۳

شکل ۴-۱۲: بررسی عمل کرد تخلیه شارژر باتری در حالت تک فاز و در اوایل تخلیه (۹۴/۸۲ درصد)

..... ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.

شکل ۴-۱۳: بررسی عمل کرد تخلیه شارژر باتری در حالت تک فاز و در اواسط تخلیه (۳۲/۷۹

درصد)..... ۱۵۴

شکل ۴-۱۴: بررسی عمل کرد تخلیه شارژر باتری در حالت تک فاز و در اواخر تخلیه (۱/۷۷ درصد)

..... ۱۵۴

شکل ۴-۱۵: بررسی عمل کرد تخلیه شارژر باتری در حالت تک فاز و در تخلیه کامل (صفر درصد)

..... ۱۵۵

شکل ۴-۱۶: بررسی عمل کرد شارژر باتری در حالت تک فاز، مثال دوم و در اواسط شارژ (۴۰ درصد)

..... ۱۵۶

شکل ۴-۱۷: بررسی عمل کرد شارژر باتری در حالت تک فاز، مثال سوم و در اواسط شارژ (۴۰

درصد)..... ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.

شکل ۴-۱۸: مقادیر عناصر مدار باتری شارژر سه فاز..... ۱۵۸

- شکل ۴-۱۹: ضریب توان نزدیک به واحد در حالت سه فاز ..... ۱۶۰
- شکل ۴-۲۰: محاسبه ضریب توان از طریق توان اکتیو و راکتیو در حالت سه فاز ..... ۱۶۰
- شکل ۴-۲۱: عدم وجود تصحیح ضریب توان هنگام تخلیه شارژر باتری در حالت سه فاز ..... ۱۶۱
- شکل ۴-۲۲: ولتاژ DC تحویل داده شده به مبدل فعال جلویی از طرف باتری و مبدل افزاینده/کاهنده در حالت تخلیه شارژ سه فاز ..... ۱۶۲
- شکل ۴-۲۳: ولتاژ DC تولیدی توسط مبدل جلویی فعال در حالت شارژ سه فاز ..... ۱۶۲
- شکل ۴-۲۴: بررسی عمل کرد شارژر باتری در حالت سه فاز و در ابتدای شارژ (۱۰ درصد)
- ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.** .....
- شکل ۴-۲۵: بررسی عمل کرد شارژر باتری در حالت سه فاز و در اواسط شارژ (۴۰ درصد) ..... ۱۶۴
- شکل ۴-۲۶: بررسی عمل کرد شارژر باتری در حالت سه فاز و در اواسط شارژ (۶۰ درصد) ..... ۱۶۴
- شکل ۴-۲۷: بررسی عمل کرد شارژر باتری در حالت سه فاز و در اواخر شارژ (۸۰ درصد) ..... ۱۶۵
- شکل ۴-۲۸: بررسی عمل کرد شارژر باتری در حالت سه فاز و در اواخر شارژ (۹۹/۹۹ درصد) .. ۱۶۵
- شکل ۴-۲۹: بررسی عمل کرد تخلیه شارژر باتری در حالت سه فاز و در اوایل تخلیه (۹۵ درصد) ..... ۱۶۶
- شکل ۴-۳۰: بررسی عمل کرد تخلیه شارژر باتری در حالت سه فاز و در اواسط تخلیه (۷۰ درصد) ..... ۱۶۷
- شکل ۴-۳۱: بررسی عمل کرد تخلیه شارژر باتری در حالت سه فاز و در اواسط تخلیه (۴۰ درصد) ..... ۱۶۷
- شکل ۴-۳۲: بررسی عمل کرد تخلیه شارژر باتری در حالت سه فاز و در اواخر تخلیه (۲ درصد) ..... ۱۶۸
- شکل ۴-۳۳: بررسی عمل کرد تخلیه شارژر باتری در حالت سه فاز و در اواخر تخلیه (۱۰ درصد) ..... ۱۶۸
- شکل ۴-۳۴: بررسی عمل کرد تخلیه شارژر باتری در حالت سه فاز و در اواخر تخلیه (صفر درصد) ..... ۱۶۹
- شکل ۴-۳۵: بررسی عمل کرد شارژر باتری در حالت سه فاز، مثال دوم و در اواسط شارژ (۴۰ درصد) ..... ۱۷۰
- شکل ۴-۳۶: بررسی عمل کرد شارژر باتری در حالت سه فاز، مثال سوم و در اواسط شارژ (۴۰ درصد) ..... ۱۷۱
- شکل ۴-۳۷: سرهم بندی باتری شارژر مورد نظر برای پذیرش ورودی در دو حالت تک فاز/سه فاز ..... ۱۷۲



فهرست پارامترها و نمادها

معنی	نماد/پارامتر
ممیز	/
جداکننده سه رقم	.
جداکننده سه رقم	،
نماد سیگنال کوچک	^
نماد سیگنال متوسط	-
ولتاژ	V
جریان	I
توان اکتیو	P
توان راکتیو	Q
توان نامی	S

امپدانس باتری	$Z_{Batt}$
امپدانس ورودی فیلتر	$Z_{IF}$
امپدانس خروجی فیلتر	$Z_{OF}$
امپدانس ورودی مبدل	$Z_{IC}$
بیشترین مقدار برای فیلتر خازن	$C_{fmax}$
فرکانس خط	$f_L$
جریان تک‌فاز	$I_{sp}$
ولتاژ تک‌فاز	$V_{sp}$
زاویه بین ولتاژ و جریان ورودی شبکه	$\theta$
بیشترین مقدار برای سلف فیلتر	$L_{fmax}$
فرکانس قطع	$f_c$
فرکانس سوئیچینگ	$f_s$
ولتاژ خروجی	$V_o$
ولتاژ لینک DC بعد از پل دیودی و ولتاژ قبل از یکسوسازی	E
عددی ثابت بزرگتر از یک	$k_{boost}$
بردار فضایی پیوسته	$\bar{y}(t)$
تابع نمایی	exp
سرعت زاویه‌ای	$\omega$
جریان خروجی	$i_o$
جریان مستقیم	$i_{DC}$
جریان d در قاب dq	$i_d$
جریان q در قاب dq	$i_q$
مقاومت	R
چرخه کاری مبدل	D
ولتاژ d در قاب dq	$e_d$
ولتاژ q در قاب dq	$e_q$

توان d در قاب dq	$p_d$
توان q در قاب dq	$p_q$
بردار فضایی سوئیچینگ پیوسته	$\bar{S}(t)$
سوئیچینگ d در قاب dq	$S_d$
سوئیچینگ q در قاب dq	$S_q$
ولتاژ d میانگین در قاب dq	$V_{d,av}$
ولتاژ q میانگین در قاب dq	$V_{q,av}$
ولتاژ مطلوب d در قاب dq	$U_d$
ولتاژ مطلوب q در قاب dq	$U_q$
ثابت زمانی	T
ضریب کنترل کننده PI	$k_p$
ضریب کنترل کننده PI	$k_i$
سرعت زاویه‌ای کنترل کننده	$\omega_c$
سرعت زاویه‌ای صفر یا همان شبکه	$\omega_0$
ولتاژ ورودی	$V_{in}$
جریان عبوری از سلف	$i_L$
فرکانس سوئیچ‌زنی	$f_{sw}$
ریپل جریان	$I_{ripple}$

## فصل اول

### ۱- مقدمه و کلیات

#### ۱\_۱ معرفی موضوع

نیاز به بهره‌برداری مناسب از سوخت و جلوگیری بیشتر از انتشار گازهای گلخانه‌ای<sup>۱</sup>، صنعت خودروسازی را به سمت وسایل نقلیه برقی سوق داده است و بنابراین، وسیله نقلیه الکتریکی<sup>۲</sup> (EV) برای تثبیت بخش حمل و نقل به سمت سبزتر شدن رفته است. فناوری حال حاضر و آینده خودرو شامل یک ذخیره‌ساز انرژی است که به عنوان ذخیره‌ساز انرژی باتری<sup>۳</sup> (BES) شناخته می‌شود، و فرآیند شارژ آن توسط ترکیب مدارهای واسط الکترونیک قدرت خاصی ایجاد می‌شود [۱]. اخیراً، تمایل به روش‌های حمل و نقل مبتنی بر انرژی پاک، در حال افزایش بین دولت‌مردان، شرکت‌های خودروسازی و مشتریان در قالب وسایل نقلیه بدون آلاینده‌گی مانند وسایل نقلیه الکتریکی و غیره است. پک<sup>۴</sup> باتری، منبع اصلی انرژی برای خودروهای برقی است، که مطمئناً به یک شارژر کارآمد برای تامین مداوم EV و سایر وسایل کمکی نیاز دارد [۲]، [۳]. این مدارهای الکترونیک قدرت که

- 
1. Greenhouse gas
  2. Electric Vehicle
  3. Battery Energy Storage
  4. Pack

ولتاژ شارژ را برای BES تنظیم می‌کنند، باید به اندازه کافی بهینه طراحی شوند تا شاخص های کیفیت توان ۱ (PQ) ورودی را طبق استاندارد IEC ۶۱۰۰۰-۳-۲ حفظ کنند [۴]. ضریب توان ورودی باید نزدیک به واحد باقی بماند و اعوجاج هارمونیک کل ۲ (THD) جریان ورودی باید در محدوده های مشخص شده باشد [۵]. با این حال، شارژهای باتری EV معمولی از یک منبع AC<sup>۳</sup> با استفاده از خروجی فیلتر شده یکسوساز پل دیودی ۴ (DBR) تامین می‌شوند. این نوع شارژ جریانی با اعوجاج شدید را از شبکه AC می‌گیرد. بنابراین تلفات در سیستم های معمولی افزایش یافته و شاخص های مختلف PQ مانند ضریب توان ورودی ۵ (PF) و ضریب توان جایگزینی ۶ (DPF) بسیار ضعیفی مشاهده می‌شود. طبقه بندی شارژهای مختلف باتری EV براساس on-board و off-board با ویژگی های جریان توان یک طرفه یا دو طرفه است. با این حال، شارژهای یک طرفه به دلیل اتصال ساده و ادوات مداری کمتری که برای شارژ باتری استفاده می‌شود، روش راحت تری را ارائه می‌دهند [۶]. با افزایش نفوذ انرژی های تجدیدپذیر و برقی شدن حمل و نقل، علاقه فزاینده ایی به مفهوم وسیله نقلیه به شبکه ۷ (G۲V) وجود دارد. G۲V امکاناتی را فراهم می‌کند که به موجب آن انرژی ذخیره شده در باتری های وسایل نقلیه الکتریکی (EV) می‌تواند برای پشتیبانی از شبکه برای کمک به کاهش تنوع منابع تولید انرژی تجدیدپذیر استفاده شود. در یک سیستم G۲V، علاوه بر شارژ باتری EV از شبکه، به عنوان مثال، شبکه به وسیله نقلیه ۸ (V۲G)، سیستم همچنین باید انرژی را از باتری به شبکه تحویل دهد، جایی که شبکه ممکن است AC باشد (مانند شارژ سطح ۱ و سطح ۲) یا DC۹ (مانند شارژ سطح ۳) [۷]. واضح است که استفاده از مبدل دو طرفه dc-dc (به عنوان مرحله پیشین برای مبدل dc-ac) به عنوان تنظیم کننده ولتاژ برای هر دو حالت عملکرد G۲V و V۲G حیاتی است [۸]، [۹]. در این کاربردها، پک باتری در سمت ولتاژ پایین ۱۰ (LV) وصل می‌شود و

1. Power Quality
2. Total Harmonic Distortion
3. Alternating Current
4. Diode Bridge Rectifier
5. Power Factor
6. Displacement Power Factor
7. Vehicle to Grid
8. Grid to Vehicle
9. Direct Current
10. Low Voltage

باس dc نشان دهنده سمت ولتاژ بالا (HV) است. به طور معمول، یک مبدل افزایشنده/کاهنده dc-LV دو طرفه می‌تواند استفاده شود که در حالت افزایشی برای جریان انرژی از سمت LV به سمت HV (یا حالت G2V) و در حالت کاهنده به صورت معکوس کار می‌کند، جهت از سمت HV به سمت LV (یا حالت V2G) [۱۰]. با این حال، مبدل‌های افزایشنده/کاهنده از محدودیت عملیاتی رنج می‌برند، زیرا انرژی را فقط در یک حالت یا افزاننده یا کاهنده انتقال می‌دهند [۷]. برای جلوگیری از این مشکل، مبدل‌های دو طرفه افزایشنده/کاهنده<sup>۳</sup> (BBB) با قابلیت‌های کاهش و افزایش برای تنظیم ولتاژهای باتری و dc-link در طول حالت‌های عملکرد رو به جلو (G2V) و رو به عقب (V2G) توسعه یافته‌اند. مبدل‌های BBB می‌توانند ولتاژ خروجی را تحت طیف وسیع تری از تغییرات منبع ورودی یا بار تنظیم کنند و به همین دلیل در برنامه‌های کاربردی محبوب‌تر هستند. در این راستا، نسخه‌های سنتی و پیشرفته مبدل‌های افزایشنده/کاهنده توسعه داده شده‌است [۱۱]، [۱۲]، [۱۳]. اخیراً، چندین مطالعه به پیشرفت‌های مثبت و قابل توجهی در استفاده از خودروهای برقی دست یافته‌اند، به‌ویژه از نظر کاهش قیمت سوخت با کیفیت‌تر، افزایش قابلیت صرفه‌جویی در انرژی، و رفع نیازهای ضروری برای منابع سبز حمل و نقل همراه با بهبود قابل توجه مصرف سوخت و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای بوده‌است [۱۴]، [۱۵]. به عنوان مثال، خودروهای الکتریکی باتری دار (BEVs) از سال ۲۰۱۴ رشد قابل توجهی در سهم بازار داشته‌اند. باتری‌ها و سیستم‌های شارژ مربوطه مورد استفاده در BEV نقش کلیدی در کارایی و قیمت آن‌ها دارند. بنابراین، برخی از شرکت‌ها در حال انجام تحقیقات فشرده تری در زمینه فناوری‌های شارژ کردن BEV برای حفظ نرخ رشد خود در سال‌های آینده هستند [۱۶]. با این حال، بهبودهای بیشتر در سیستم‌های شارژ آن‌ها چالش برانگیز بوده‌است زیرا عوامل متعددی باید در هنگام مطالعه این سیستم‌ها در نظر گرفته شوند، مانند طراحی ساختار بهینه با اجزای کمتر، اقدامات ایمنی، راندمان بالا، شارژ سریع و غیره. این فناوری‌های شارژ را می‌توان به دو فناوری مختلف تقسیم کرد: فناوری‌های شارژ سیمی (شارژ اتصال) و فناوری‌های شارژ بی‌سیم (شارژ بدون اتصال). اول، فناوری‌های شارژ سیمی برای رسیدن به شارژ نیاز به اتصال مستقیم بین EV و سیستم شارژ از طریق کابل دارند، و این‌ها را می‌توان به فناوری‌های شارژ AC و فناوری‌های

- 
1. High Voltage
  2. Buck-Boost
  3. Bidirectional Buck-Boost
  4. Battery Electric Vehicles

شارژ DC تقسیم کرد. فناوری‌های شارژ AC مستقیماً باتری‌های EV را شارژ نمی‌کنند، بلکه باتری را از طریق شارژر داخلی (OBC) که باتری را تغذیه می‌کند، شارژ می‌کند. در این فناوری‌ها، واحد تبدیل (یعنی تبدیل AC به DC) در داخل خودرو قرار می‌گیرد که وزن کلی سیستم را افزایش می‌دهد. آن‌ها معمولاً در هر دو سیستم شارژ آهسته on-board تک‌فاز یا شارژ سریع on-board سه فاز شارژ می‌شوند. برخلاف فناوری‌های شارژ AC، فناوری‌های شارژ DC می‌توانند مستقیماً باتری را شارژ کنند، بنابراین قابلیت شارژ سریع را ارائه می‌دهند و آن‌ها را می‌توان به دو گروه تقسیم کرد: سیستم‌های شارژ سریع on-board و شارژ سریع off-board. چنین فناوری‌هایی می‌توانند به طور کلی کاهش اندازه و وزن سیستم رانندگی در وسیله نقلیه را به دست آورند، زیرا واحد تبدیل از خودرو جدا است. با این حال، آن‌ها هیچ انعطافی برای امکان شارژ باتری در مکان‌های مختلف ارائه نمی‌دهند و نصب سیستم مدیریت باتری (BMS) آن‌ها هزینه بیشتری دارد. علیرغم دستاوردهای قابل توجه و امیدوارکننده‌ایی که در فناوری‌های شارژ بی‌سیم به دست آمده است، انعطاف ناپذیری آنها که محل شارژ را محدود می‌کند یکی از اشکالات اصلی آن‌ها است. علاوه بر این، BMS باید از نظر ایمنی و قابلیت اعتماد در نظر گرفته شود، که هر دو وظایف دشواری هستند. فناوری‌های شارژ بی‌سیم را می‌توان در سه گروه طبقه‌بندی کرد: فناوری‌های شارژ میدان نزدیک، فناوری‌های شارژ میدان متوسط و فناوری‌های شارژ میدان دور. تقاضا برای فناوری‌های شارژ بی‌سیم در حال حاضر هر روز در حال افزایش است. فناوری‌های شارژ بی‌سیم نسبت به فناوری‌های شارژ سیمی هزینه کمتری دارند و نیازی به اتصال مستقیم با باتری‌های خودروهای الکتریکی را ندارند. در عوض، آن‌ها می‌توانند با تبدیل AC فرکانس شبکه به AC با فرکانس بالا، باتری‌ها را به صورت بی‌سیم شارژ کنند که سپس از طریق یک پد فرستنده منتقل می‌شود و توسط یک پد گیرنده متصل به BEV در حال شارژ دریافت می‌شود [۱۷].

- 
1. On-Board Charger
  2. Battery Management System

- [1] M. K. Kazimierczuk, *Pulse-width modulated DC-DC power converters*. John Wiley & Sons, 2015.
- [2] L. Solero, "Nonconventional on-board charger for electric vehicle propulsion batteries," *IEEE Transactions on vehicular technology*, vol. 50, no. 1, pp. 144-149, 2001.
- [3] M. Falahi, H.-M. Chou, M. Ehsani, L. Xie, and K. L. Butler-Purry, "Potential power quality benefits of electric vehicles," *IEEE Transactions on sustainable energy*, vol. 4, no. 4, pp. 1016-1023, 2013.
- [4] K. Sakthivel, S. K. Das, and K. Kini, "Importance of quality AC power distribution and understanding of EMC standards IEC 61000-3-2, IEC 61000-3-3 and IEC 61000-3-11," in *8th International conference on electromagnetic interference and compatibility*, 2003, pp. 423-430: IEEE.
- [5] R. Kushwaha and B. Singh, "Design and development of modified BL Luo converter for PQ improvement in EV charger," *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 56, no. 4, pp. 3976-3984, 2020.
- [6] B. Singh and R. Kushwaha, "A PFC based EV battery charger using a bridgeless isolated SEPIC converter," *IEEE Transactions on Industry applications*, vol. 56, no. 1, pp. 477-487, 2019.
- [7] M. J. E. Alam, K. M. Muttaqi, and D. Sutanto, "Effective utilization of available PEV battery capacity for mitigation of solar PV impact and grid support with integrated V2G functionality," *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 7, no. 3, pp. 1562-1571, 2015.
- [8] S. H. Hosseini, R. Ghazi, and H. Heydari-Doostabad, "An extendable quadratic bidirectional DC-DC converter for V2G and G2V applications," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 68, no. 6, pp. 4859-4869, 2020.
- [9] S. A. Gorji, H. G. Sahebi, M. Ektesabi, and A. B. Rad, "Topologies and control schemes of bidirectional DC-DC power converters: An overview," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 117997-118019, 2019.
- [10] Y. Zhang, Y. Gao, L. Zhou, and M. Sumner, "A switched-capacitor bidirectional DC-DC converter with wide voltage gain range for electric vehicles with hybrid energy sources," *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 33, no. 11, pp. 9459-9469, 2018.
- [11] H.-S. Lee and J.-J. Yun, "High-efficiency bidirectional buck-boost converter for photovoltaic and energy storage systems in a smart grid," *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 34, no. 5, pp. 4316-4328, 2018.
- [12] O. C. Onar, J. Kobayashi, D. C. Erb, and A. Khaligh, "A bidirectional high-power-quality grid interface with a novel bidirectional noninverted buck-boost converter for PHEVs," *IEEE transactions on vehicular technology*, vol. 61, no. 5, pp. 2018-2032, 2012.
- [13] H. Heydari-Doostabad, S. H. Hosseini, R. Ghazi, and T. O'Donnell, "Pseudo dc-link EV home charger with a high semiconductor device utilization

- factor," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 69, no. 3, pp. 2459-2469, 2021.
- [14] H. Liang, Z. Lee, and G. Li, "A calculation model of charge and discharge capacity of electric vehicle cluster based on trip chain," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 142026-142042, 2020.
- [15] S. Liu, D. Xin, L. Yang, J. Li, and L. Wang, "A hierarchical V2G/G2V energy management system for electric-drive-reconstructed onboard converter," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 198201-198213, 2020.
- [16] Y. Yu, L. Zhao, and C. Zhou, "Influence of rotor-bearing coupling vibration on dynamic behavior of electric vehicle driven by in-wheel motor," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 63540-63549, 2019.
- [17] S. A. Q. Mohammed and J.-W. Jung, "A comprehensive state-of-the-art review of wired/wireless charging technologies for battery electric vehicles: Classification/common topologies/future research issues," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 19572-19585, 2021.
- [18] A. Masood, J. Hu, A. Xin, A. R. Sayed, and G. Yang, "Transactive energy for aggregated electric vehicles to reduce system peak load considering network constraints," *Ieee Access*, vol. 8, pp. 31519-31529, 2020.
- [19] W. Wang, Z. Zhang, J. Shi, C. Lin, and Y. Gao, "Optimization of a dual-motor coupled powertrain energy management strategy for a battery electric bus based on dynamic programming method," *IEEE Access*, vol. 6, pp. 32899-32909, 2018.
- [20] M. Yilmaz and P. T. Krein, "Review of battery charger topologies, charging power levels, and infrastructure for plug-in electric and hybrid vehicles," *IEEE transactions on Power Electronics*, vol. 28, no. 5, pp. 2151-2169, 2012.
- [21] E. Fouladi, H. R. Baghaee, M. Bagheri, and G. Gharehpetian, "Power management of microgrids including PHEVs based on maximum employment of renewable energy resources," *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 56, no. 5, pp. 5299-5307, 2020.
- [22] J. Li, Q. Zhou, H. Williams, H. Xu, and C. Du, "Cyber-physical data fusion in surrogate-assisted strength Pareto evolutionary algorithm for PHEV energy management optimization," *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 18, no. 6, pp. 4107-4117, 2021.
- [23] S. G. Wirasingha, R. Gremban, and A. Emadi, "Source-to-wheel (STW) analysis of plug-in hybrid electric vehicles," *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 3, no. 1, pp. 316-331, 2011.
- [24] U. D. o. Transportation, "Highway Statistics 2010," ed: US Department of Transportation Washington, DC, 2011.
- [25] S. E. Williams, S. C. Davis, and R. G. Boundy, "Transportation Energy Data Book: Edition 36," Oak Ridge National Lab.(ORNL), Oak Ridge, TN (United States)2017.
- [26] A. S. Grzelakowski, "EU COUNTRIES TRANSPORT MARKETS MODAL SHIFT AS A FACTOR DETERMINING THE QUALITY OF THEIR LOGISTICS MACROSYSTEMS," *Economic and Social Development: Book of Proceedings*, pp. 546-559, 2020.

- [27] N. A. Owen, O. R. Inderwildi, and D. A. King, "The status of conventional world oil reserves—Hype or cause for concern?," *Energy policy*, vol. 38, no. 8, pp. 4743-4749, 2010.
- [28] M. Möhner, "Driving ban for diesel-powered vehicles in major cities: an appropriate penalty for exceeding the limit value for nitrogen dioxide?," vol. 91, ed: Springer, 2018, pp. 373-376.
- [29] M. Ehsani, Y. Gao, S. Longo, and K. M. Ebrahimi, *Modern electric, hybrid electric, and fuel cell vehicles*. CRC press, 2018.
- [30] A. A. Malikopoulos, "Supervisory power management control algorithms for hybrid electric vehicles: A survey," *IEEE Transactions on intelligent transportation systems*, vol. 15, no. 5, pp. 1869-1885, 2014.
- [31] L. Guzzella and A. Sciarretta, *Vehicle propulsion systems*. Springer, 2007.
- [32] Y. Yang, K. Arshad-Ali, J. Roeleveld, and A. Emadi, "State-of-the-art electrified powertrains-hybrid, plug-in, and electric vehicles," *International journal of powertrains*, vol. 5, no. 1, pp. 1-29, 2016.
- [33] S. F. Tie and C. W. Tan, "A review of energy sources and energy management system in electric vehicles," *Renewable and sustainable energy reviews*, vol. 20, pp. 82-102, 2013.
- [34] F. R. Salmasi, "Control strategies for hybrid electric vehicles: Evolution, classification, comparison, and future trends," *IEEE Transactions on vehicular technology*, vol. 56, no. 5, pp. 2393-2404, 2007.
- [35] S. G. Wirasingha and A. Emadi, "Classification and review of control strategies for plug-in hybrid electric vehicles," *IEEE Transactions on vehicular technology*, vol. 60, no. 1, pp. 111-122, 2010.
- [36] A. Biswas and A. Emadi, "Energy management systems for electrified powertrains: State-of-the-art review and future trends," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 68, no. 7, pp. 6453-6467, 2019.
- [37] O. Arslan, B. Yildiz, and O. E. Karaşan, "Impacts of battery characteristics, driver preferences and road network features on travel costs of a plug-in hybrid electric vehicle (PHEV) for long-distance trips," *Energy Policy*, vol. 74, pp. 168-178, 2014.
- [38] C. M. Martinez, X. Hu, D. Cao, E. Velenis, B. Gao, and M. Wellers, "Energy management in plug-in hybrid electric vehicles: Recent progress and a connected vehicles perspective," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 66, no. 6, pp. 4534-4549, 2016.
- [39] J. Neubauer, A. Brooker, and E. Wood, "Sensitivity of plug-in hybrid electric vehicle economics to drive patterns, electric range, energy management, and charge strategies," *Journal of Power Sources*, vol. 236, pp. 357-364, 2013.
- [40] L. Kumar and S. Jain, "Electric propulsion system for electric vehicular technology: A review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 29, pp. 924-940, 2014.
- [41] E. Taherzadeh, H. Radmanesh, and A. Mehrizi-Sani, "A comprehensive study of the parameters impacting the fuel economy of plug-in hybrid electric vehicles," *IEEE Transactions on Intelligent Vehicles*, vol. 5, no. 4, pp. 596-615, 2020.
- [42] M. Broussely, "Battery requirements for HEVs, PHEVs, and EVs: an overview," in *Electric and hybrid vehicles: power sources, models, sustainability, infrastructure and the market*: Elsevier, 2010, pp. 305-347.

- [43] S. F. da Silva, J. J. Eckert, F. L. Silva, L. C. Silva, and F. G. Dedini, "Multi-objective optimization design and control of plug-in hybrid electric vehicle powertrain for minimization of energy consumption, exhaust emissions and battery degradation," *Energy Conversion and Management*, vol. 234, p. 113909, 2021.
- [44] Y. Xia, J. Yang, F. Wang, and Q. Cheng, "Impact of battery size and energy cost on the market acceptance of blended plug-in hybrid electric vehicles," *Procedia computer science*, vol. 131, pp. 377-386, 2018.
- [45] K. Hamza, K. P. Laberteaux, and K.-C. Chu, "On modeling the cost of ownership of plug-in vehicles," *World Electric Vehicle Journal*, vol. 12, no. 1, p. 39, 2021.
- [46] C. Hou, H. Wang, and M. Ouyang, "Battery sizing for plug-in hybrid electric vehicles in Beijing: A TCO model based analysis," *Energies*, vol. 7, no. 8, pp. 5374-5399, 2014.
- [47] D. Kolodziejak, T. Pham, T. Hofman, and S. Wilkins, "An optimization and analysis framework for TCO minimization of plug-in hybrid heavy-duty electric vehicles," *IFAC-PapersOnLine*, vol. 52, no. 5, pp. 484-491, 2019.
- [48] J. Zhang, J.-M. Richter, and C. Kaczmarek, "Catalysts for post euro 6 plug-in hybrid electric vehicles," *SAE International Journal of Advances and Current Practices in Mobility*, vol. 2, no. 2020-01-0354, pp. 3151-3163, 2020.
- [49] S. I. Ehrenberger, M. Konrad, and F. Philipps, "Pollutant emissions analysis of three plug-in hybrid electric vehicles using different modes of operation and driving conditions," *Atmospheric environment*, vol. 234, p. 117612, 2020.
- [50] S. Xie, X. Hu, Q. Zhang, X. Lin, B. Mu, and H. Ji, "Aging-aware co-optimization of battery size, depth of discharge, and energy management for plug-in hybrid electric vehicles," *Journal of Power Sources*, vol. 450, p. 227638, 2020.
- [51] S. Xie, S. Qi, and K. Lang, "A data-driven power management strategy for plug-in hybrid electric vehicles including optimal battery depth of discharging," *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 16, no. 5, pp. 3387-3396, 2019.
- [52] J. B. Heywood, *Internal combustion engine fundamentals*. McGraw-Hill Education, 2018.
- [53] S. Amjad, S. Neelakrishnan, and R. Rudramoorthy, "Review of design considerations and technological challenges for successful development and deployment of plug-in hybrid electric vehicles," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 14, no. 3, pp. 1104-1110, 2010.
- [54] R. Sioshansi and P. Denholm, "Emissions impacts and benefits of plug-in hybrid electric vehicles and vehicle-to-grid services," *Environmental science & technology*, vol. 43, no. 4, pp. 1199-1204, 2009.
- [55] R. Hodkinson and J. Fenton, "Lightweight electric/hybrid vehicle design," 2001.
- [56] P. Fajri and B. Asaei, "Plug-in hybrid conversion of a series hybrid electric vehicle and simulation comparison," in *2008 11th International Conference on Optimization of Electrical and Electronic Equipment*, 2008, pp. 287-292: IEEE.

- [57] L. Guzzella and A. Sciarretta, "Vehicle Energy and Fuel Consumption–Basic Concepts," in *Vehicle propulsion systems*: Springer, 2013, pp. 13-46.
- [58] H. L. Husted, "A comparative study of the production applications of hybrid electric powertrains," SAE Technical Paper0148-7191, 2003.
- [59] F. Zhang, X. Hu, R. Langari, and D. Cao, "Energy management strategies of connected HEVs and PHEVs: Recent progress and outlook," *Progress in Energy and Combustion Science*, vol. 73, pp. 235-256, 2019.
- [60] M. A. Hannan, F. Azidin, and A. Mohamed, "Hybrid electric vehicles and their challenges: A review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 29, pp. 135-150, 2014.
- [61] I. Rahman, P. M. Vasant, B. S. M. Singh, M. Abdullah-Al-Wadud, and N. Adnan, "Review of recent trends in optimization techniques for plug-in hybrid, and electric vehicle charging infrastructures," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 58, pp. 1039-1047, 2016.
- [62] T. Frambach, R. Liedtke, P. Dechent, D. U. Sauer, and E. Figgemeier, "A review on aging-aware system simulation for plug-in hybrids," *IEEE Transactions on Transportation Electrification*, vol. 8, no. 2, pp. 1524-1540, 2021.
- [63] M. Sabri, K. A. Danapalasingam, and M. F. Rahmat, "A review on hybrid electric vehicles architecture and energy management strategies," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 53, pp. 1433-1442, 2016.
- [64] J. Van Mierlo and O. Hegazy, "Series hybrid electric vehicles (SHEVs)," *Encyclopedia of Automotive Engineering*, pp. 1-12, 2014.
- [65] M. Ehsani, Y. Gao, and J. M. Miller, "Hybrid electric vehicles: Architecture and motor drives," *Proceedings of the IEEE*, vol. 95, no. 4, pp. 719-728, 2007.
- [66] G. Wu, X. Zhang, and Z. Dong, "Powertrain architectures of electrified vehicles: Review, classification and comparison," *Journal of the Franklin Institute*, vol. 352, no. 2, pp. 425-448, 2015.
- [67] W. Liu, *Introduction to hybrid vehicle system modeling and control*. John Wiley & Sons, 2013.
- [68] Y. Yang, X. Hu, H. Pei, and Z. Peng, "Comparison of power-split and parallel hybrid powertrain architectures with a single electric machine: Dynamic programming approach," *Applied energy*, vol. 168, pp. 683-690, 2016.
- [69] I. López, E. Ibarra, A. Matallana, J. Andreu, and I. Kortabarria, "Next generation electric drives for HEV/EV propulsion systems: Technology, trends and challenges," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 114, p. 109336, 2019.
- [70] A. Khaligh and Z. Li, "Battery, ultracapacitor, fuel cell, and hybrid energy storage systems for electric, hybrid electric, fuel cell, and plug-in hybrid electric vehicles: State of the art," *IEEE transactions on Vehicular Technology*, vol. 59, no. 6, pp. 2806-2814, 2010.
- [71] R. Galloway and C. Dustmann, "ZEBRA battery-material cost availability and recycling," in *Proceeding of international electric vehicle symposium (EVS-20)*, Long Beach, Canada, 2003, pp. 1-9.

- [72] J. Cao and A. Emadi, "A new battery/ultracapacitor hybrid energy storage system for electric, hybrid, and plug-in hybrid electric vehicles," *IEEE Transactions on power electronics*, vol. 27, no. 1, pp. 122-132, 2011.
- [73] E. Chemali, M. Preindl, P. Malysz, and A. Emadi, "Electrochemical and electrostatic energy storage and management systems for electric drive vehicles: State-of-the-art review and future trends," *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*, vol. 4, no. 3, pp. 1117-1134, 2016.
- [74] P. Sharma and T. Bhatti, "A review on electrochemical double-layer capacitors," *Energy conversion and management*, vol. 51, no. 12, pp. 2901-2912, 2010.
- [75] A. Dhand and K. Pullen, "Analysis of dual mode continuously variable transmission for flywheel energy storage systems," *SAE Technical Papers*, 2016.
- [76] X. Li, L. Xu, J. Hua, X. Lin, J. Li, and M. Ouyang, "Power management strategy for vehicular-applied hybrid fuel cell/battery power system," *Journal of Power Sources*, vol. 191, no. 2, pp. 542-549, 2009.
- [77] H. Sun, X. Pei, L. Xu, H. Wang, Y. Sheng, and Y. Yu, "Application of battery-ultracapacitor hybrid system in the hybrid electric vehicles," in *Proceedings of the FISITA 2012 World Automotive Congress*, 2013, pp. 785-793: Springer.
- [78] L. Gao, R. A. Dougal, and S. Liu, "Power enhancement of an actively controlled battery/ultracapacitor hybrid," *IEEE transactions on power electronics*, vol. 20, no. 1, pp. 236-243, 2005.
- [79] M. Ortúzar, J. Moreno, and J. Dixon, "Ultracapacitor-based auxiliary energy system for an electric vehicle: Implementation and evaluation," *IEEE Transactions on industrial electronics*, vol. 54, no. 4, pp. 2147-2156, 2007.
- [80] A. Di Napoli, F. Crescimbeni, F. G. Capponi, and L. Solero, "Control strategy for multiple input DC-DC power converters devoted to hybrid vehicle propulsion systems," in *Industrial electronics, 2002. isie 2002. proceedings of the 2002 ieee international symposium on*, 2002, vol. 3, pp. 1036-1041: IEEE.
- [81] Z. Li, O. Onar, A. Khaligh, and E. Schartz, "Design, control and power management of a battery/ultra-capacitor hybrid system for small electric vehicles," in *Society of Automotive Engineers (SAE) World Congress*, 2009, p. 8: Society of Automotive Engineers.
- [82] T. Chia-Hao and A. Emadi, "Reconfigurable hybrid energy storage system for electrified vehicles," ed: Google Patents, 2019.
- [83] N. Khan, S. Dilshad, R. Khalid, A. R. Kalair, and N. Abas, "Review of energy storage and transportation of energy," *Energy Storage*, vol. 1, no. 3, p. e49, 2019.
- [84] M. E. Amiryar and K. R. Pullen, "A review of flywheel energy storage system technologies and their applications," *Applied Sciences*, vol. 7, no. 3, p. 286, 2017.
- [85] R. Mauldin, Y. Baghzouz, and R. F. Boehm, "Light-weight fuel cell-battery hybrid vehicle demonstration project," in *International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion, 2006. SPEEDAM 2006.*, 2006, pp. 223-228: IEEE.

- [86] L. Zhang, T. Brown, and G. S. Samuelsen, "Fuel reduction and electricity consumption impact of different charging scenarios for plug-in hybrid electric vehicles," *Journal of Power Sources*, vol. 196, no. 15, pp. 6559-6566, 2011.
- [87] C.-S. N. Shiao, C. Samaras, R. Hauffe, and J. J. Michalek, "Impact of battery weight and charging patterns on the economic and environmental benefits of plug-in hybrid vehicles," *Energy Policy*, vol. 37, no. 7, pp. 2653-2663, 2009.
- [88] S. Neglur and M. Ferdowsi, "Effect of battery capacity on the performance of plug-in hybrid electric vehicles," in *2009 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference*, 2009, pp. 649-654: IEEE.
- [89] S. B. Peterson and J. J. Michalek, "Cost-effectiveness of plug-in hybrid electric vehicle battery capacity and charging infrastructure investment for reducing US gasoline consumption," *Energy policy*, vol. 52, pp. 429-438, 2013.
- [90] C. Schlasza, P. Ostertag, D. Chrenko, R. Kriesten, and D. Bouquain, "Review on the aging mechanisms in Li-ion batteries for electric vehicles based on the FMEA method," in *2014 IEEE Transportation Electrification Conference and Expo (ITEC)*, 2014, pp. 1-6: IEEE.
- [91] Y. Wu, E. Rahm, and R. Holze, "Carbon anode materials for lithium ion batteries," *Journal of power sources*, vol. 114, no. 2, pp. 228-236, 2003.
- [92] P. Li *et al.*, "Recent progress on silicon-based anode materials for practical lithium-ion battery applications," *Energy Storage Materials*, vol. 15, pp. 422-446, 2018.
- [93] M. Salah, P. Murphy, C. Hall, C. Francis, R. Kerr, and M. Fabretto, "Pure silicon thin-film anodes for lithium-ion batteries: A review," *Journal of Power Sources*, vol. 414, pp. 48-67, 2019.
- [94] J. Vetter *et al.*, "Ageing mechanisms in lithium-ion batteries," *Journal of power sources*, vol. 147, no. 1-2, pp. 269-281, 2005.
- [95] X. Han, M. Ouyang, L. Lu, J. Li, Y. Zheng, and Z. Li, "A comparative study of commercial lithium ion battery cycle life in electrical vehicle: Aging mechanism identification," *Journal of Power Sources*, vol. 251, pp. 38-54, 2014.
- [96] R. Scipioni, D. Isheim, and S. A. Barnett, "Atomic Resolution Imaging of the Cathode-Electrolyte Interface on a LiMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub> Electrode," in *ECS Meeting Abstracts*, 2019, no. 5, p. 555: IOP Publishing.
- [97] J. Christensen and J. Newman, "Effect of anode film resistance on the charge/discharge capacity of a lithium-ion battery," *Journal of the Electrochemical Society*, vol. 150, no. 11, p. A1416, 2003.
- [98] N. Lin *et al.*, "Understanding the crack formation of graphite particles in cycled commercial lithium-ion batteries by focused ion beam-scanning electron microscopy," *Journal of power sources*, vol. 365, pp. 235-239, 2017.
- [99] H. Zheng *et al.*, "Correlation between lithium deposition on graphite electrode and the capacity loss for LiFePO<sub>4</sub>/graphite cells," *Electrochimica Acta*, vol. 173, pp. 323-330, 2015.
- [100] M. Broussely *et al.*, "Main aging mechanisms in Li ion batteries," *Journal of power sources*, vol. 146, no. 1-2, pp. 90-96, 2005.

- [101] V. A. Agubra and J. W. Fergus, "The formation and stability of the solid electrolyte interface on the graphite anode," *Journal of Power Sources*, vol. 268, pp. 153-162, 2014.
- [102] N. Legrand, B. Knosp, P. Desprez, F. Lapique, and S. Raël, "Physical characterization of the charging process of a Li-ion battery and prediction of Li plating by electrochemical modelling," *Journal of Power Sources*, vol. 245, pp. 208-216, 2014.
- [103] M. Ecker, P. S. Sabet, and D. U. Sauer, "Influence of operational condition on lithium plating for commercial lithium-ion batteries—Electrochemical experiments and post-mortem-analysis," *Applied energy*, vol. 206, pp. 934-946, 2017.
- [104] M. Petzl, M. Kasper, and M. A. Danzer, "Lithium plating in a commercial lithium-ion battery—A low-temperature aging study," *Journal of power sources*, vol. 275, pp. 799-807, 2015.
- [105] C. Fear, D. Juarez-Robles, J. A. Jeevarajan, and P. P. Mukherjee, "Elucidating copper dissolution phenomenon in Li-ion cells under overdischarge extremes," *Journal of The Electrochemical Society*, vol. 165, no. 9, p. A1639, 2018.
- [106] G. C. Chung, H. J. Kim, S. I. Yu, S. H. Jun, J. w. Choi, and M. H. Kim, "Origin of graphite exfoliation an investigation of the important role of solvent cointercalation," *Journal of The Electrochemical Society*, vol. 147, no. 12, p. 4391, 2000.
- [107] A. W. Thompson, "Economic implications of lithium ion battery degradation for Vehicle-to-Grid (V2X) services," *Journal of Power Sources*, vol. 396, pp. 691-709, 2018.
- [108] S.-T. Myung *et al.*, "Nickel-rich layered cathode materials for automotive lithium-ion batteries: achievements and perspectives," *ACS Energy Letters*, vol. 2, no. 1, pp. 196-223, 2017.
- [109] H.-J. Noh, S. Youn, C. S. Yoon, and Y.-K. Sun, "Comparison of the structural and electrochemical properties of layered Li [NixCoyMnz] O2 (x= 1/3, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8 and 0.85) cathode material for lithium-ion batteries," *Journal of power sources*, vol. 233, pp. 121-130, 2013.
- [110] M. Li and J. Lu, "Cobalt in lithium-ion batteries," *Science*, vol. 367, no. 6481, pp. 979-980, 2020.
- [111] Y. Wang, P. He, and H. Zhou, "Olivine LiFePO<sub>4</sub>: development and future," *Energy & Environmental Science*, vol. 4, no. 3, pp. 805-817, 2011.
- [112] M. Brand *et al.*, "Electrical safety of commercial Li-ion cells based on NMC and NCA technology compared to LFP technology," *World Electric Vehicle Journal*, vol. 6, no. 3, pp. 572-580, 2013.
- [113] W. Tang, W. C. Tam, L. Yuan, T. Dubaniewicz, R. Thomas, and J. Soles, "Estimation of the critical external heat leading to the failure of lithium-ion batteries," *Applied thermal engineering*, vol. 179, p. 115665, 2020.
- [114] D. Anseán González, M. González Vega, J. C. Viera Pérez, J. C. Álvarez Álvarez, C. J. Blanco Viejo, and V. García, "Evaluation of LiFePO<sub>4</sub> batteries for Electric Vehicle applications," in *Conference and Exhibition-2013 International Conference on New Concepts in Smart Cities: Fostering Public and Private Alliances, SmartMILE 2013*, 2013.

- [115] D. Li *et al.*, "Degradation mechanisms of C6/LiFePO4 batteries: experimental analyses of calendar aging," *Electrochimica Acta*, vol. 190, pp. 1124-1133, 2016.
- [116] X. Han *et al.*, "A review on the key issues of the lithium ion battery degradation among the whole life cycle," *ETransportation*, vol. 1, p. 100005, 2019.
- [117] K. Edstroem, T. Gustafsson, and J. O. Thomas, "The cathode–electrolyte interface in the Li-ion battery," *Electrochimica Acta*, vol. 50, no. 2-3, pp. 397-403, 2004.
- [118] R. Hausbrand *et al.*, "Fundamental degradation mechanisms of layered oxide Li-ion battery cathode materials: Methodology, insights and novel approaches," *Materials Science and Engineering: B*, vol. 192, pp. 3-25, 2015.
- [119] J. Jaguemont, L. Boulon, and Y. Dubé, "A comprehensive review of lithium-ion batteries used in hybrid and electric vehicles at cold temperatures," *Applied Energy*, vol. 164, pp. 99-114, 2016.
- [120] M. Balasundaram, V. Ramar, C. Yap, L. Li, A. A. Tay, and P. Balaya, "Heat loss distribution: Impedance and thermal loss analyses in LiFePO4/graphite 18650 electrochemical cell," *Journal of Power Sources*, vol. 328, pp. 413-421, 2016.
- [121] D. Abraham *et al.*, "Diagnosis of power fade mechanisms in high-power lithium-ion cells," *Journal of Power Sources*, vol. 119, pp. 511-516, 2003.
- [122] E. Sarasketa-Zabala, E. Martinez-Laserna, M. Berecibar, I. Gandiaga, L. M. Rodriguez-Martinez, and I. Villarreal, "Realistic lifetime prediction approach for Li-ion batteries," *Applied energy*, vol. 162, pp. 839-852, 2016.
- [123] M. Schimpe, M. E. von Kuepach, M. Naumann, H. C. Hesse, K. Smith, and A. Jossen, "Comprehensive modeling of temperature-dependent degradation mechanisms in lithium iron phosphate batteries," *Journal of The Electrochemical Society*, vol. 165, no. 2, p. A181, 2018.
- [124] M. Ecker *et al.*, "Calendar and cycle life study of Li (NiMnCo) O2-based 18650 lithium-ion batteries," *Journal of Power Sources*, vol. 248, pp. 839-851, 2014.
- [125] M. Lewerenz and D. U. Sauer, "Evaluation of cyclic aging tests of prismatic automotive LiNiMnCoO2-Graphite cells considering influence of homogeneity and anode overhang," *Journal of energy storage*, vol. 18, pp. 421-434, 2018.
- [126] M. Lewerenz, J. Münnix, J. Schmalstieg, S. Käbitz, M. Knips, and D. U. Sauer, "Systematic aging of commercial LiFePO4| Graphite cylindrical cells including a theory explaining rise of capacity during aging," *Journal of power sources*, vol. 345, pp. 254-263, 2017.
- [127] T. Hüfner, M. Oldenburger, B. Beduerftig, and A. Gruhle, "Lithium flow between active area and overhang of graphite anodes as a function of temperature and overhang geometry," *Journal of Energy Storage*, vol. 24, p. 100790, 2019.
- [128] M. Lewerenz, P. Dechent, and D. U. Sauer, "Investigation of capacity recovery during rest period at different states-of-charge after cycle life test for prismatic Li (Ni1/3Mn1/3Co1/3) O2-graphite cells," *Journal of energy storage*, vol. 21, pp. 680-690, 2019.

- [129] M. Sitterly, G. G. Yin, and C. Wang, "Enhanced identification of battery models for real-time battery management," *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, vol. 2, no. 3, pp. 300-308, 2011.
- [130] W. Obergassel *et al.*, "Phoenix from the ashes: an analysis of the Paris Agreement to the United Nations Framework Convention on Climate Change; part 1," 2015.
- [131] M. Abdel-Wahab, E. Rosenblatt, O. Holmberg, and A. Meghzifene, "Safety in radiation oncology: the role of international initiatives by the International Atomic Energy Agency," *Journal of the American College of Radiology*, vol. 8, no. 11, pp. 789-794, 2011.
- [132] D. Hermance and S. Sasaki, "Hybrid electric vehicles take to the streets," *IEEE spectrum*, vol. 35, no. 11, pp. 48-52, 1998.
- [133] E. Figenbaum *et al.*, "Increasing the competitiveness of e-vehicles in Europe," *European transport research review*, vol. 7, no. 3, pp. 1-14, 2015.
- [134] N. Tanaka, "Technology roadmap: Electric and plug-in hybrid electric vehicles," *International Energy Agency, Tech. Rep.*, 2011.
- [135] U. Congress, "Energy independence and security act of 2007," *Public law*, vol. 2, pp. 110-140, 2007.
- [136] P.-Y. Kong and G. K. Karagiannidis, "Charging schemes for plug-in hybrid electric vehicles in smart grid: A survey," *IEEE Access*, vol. 4, pp. 6846-6875, 2016.
- [137] R. Shankar, J. Marco, and F. Assadian, "Design of an optimized charge-blended energy management strategy for a plugin hybrid vehicle," in *Proceedings of 2012 UKACC International Conference on Control*, 2012, pp. 619-624: IEEE.
- [138] Q. Gong, Y. Li, and Z.-R. Peng, "Trip-based optimal power management of plug-in hybrid electric vehicles," *IEEE Transactions on vehicular technology*, vol. 57, no. 6, pp. 3393-3401, 2008.
- [139] S. J. Moura, D. S. Callaway, H. K. Fathy, and J. L. Stein, "Impact of battery sizing on stochastic optimal power management in plug-in hybrid electric vehicles," in *2008 IEEE International Conference on Vehicular Electronics and Safety*, 2008, pp. 96-102: IEEE.
- [140] A. Pesaran, "Battery Requirements for Plug-In Hybrid Electric Vehicles: Analysis and Rationale (Presentation)," National Renewable Energy Lab.(NREL), Golden, CO (United States)2007.
- [141] J. Pucher, R. Buehler, D. Merom, and A. Bauman, "Walking and cycling in the United States, 2001–2009: evidence from the National Household Travel Surveys," *American journal of public health*, vol. 101, no. S1, pp. S310-S317, 2011.
- [142] M. Kintner-Meyer, K. Schneider, and R. Pratt, "Impacts assessment of plug-in hybrid vehicles on electric utilities and regional US power grids, Part 1: Technical analysis," *Pacific Northwest National Laboratory*, vol. 1, pp. 1-20, 2007.
- [143] A. Bandyopadhyay, "Charge scheduling of plug-in hybrid electric vehicles (PHEVs) for minimized Li-ion battery degradation," University of Toledo, 2012.

- [144] A. Senart, S. Kurth, and G. Le Roux, "Assessment framework of plug-in electric vehicles strategies," in *2010 First IEEE International Conference on Smart Grid Communications*, 2010, pp. 155-160: IEEE.
- [145] B. Zhao, Y. Shi, and X. Dong, "Pricing and revenue maximization for battery charging services in PHEV markets," *IEEE transactions on vehicular technology*, vol. 63, no. 4, pp. 1987-1993, 2013.
- [146] S. G. Nurre, R. Bent, F. Pan, and T. C. Sharkey, "Managing operations of plug-in hybrid electric vehicle (PHEV) exchange stations for use with a smart grid," *Energy Policy*, vol. 67, pp. 364-377, 2014.
- [147] W. Su, H. Eichi, W. Zeng, and M.-Y. Chow, "A survey on the electrification of transportation in a smart grid environment," *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 8, no. 1, pp. 1-10, 2011.
- [148] G. Kissel, "SAE J1772 Update For IEEE Standard 1809 Guide for Electric-Sourced Transportation Infrastructure Meeting," *SAE International*, 2010.
- [149] T. Bohn and H. Chaudhry, "Overview of SAE standards for plug-in electric vehicle," in *2012 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies (ISGT)*, 2012, pp. 1-7: IEEE.
- [150] S. S. Williamson, A. K. Rathore, and F. Musavi, "Industrial electronics for electric transportation: Current state-of-the-art and future challenges," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 62, no. 5, pp. 3021-3032, 2015.
- [151] I. S. Board, *IEEE Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems: 1547-2003*. IEEE, 2003.
- [152] M. M. Jovanovic and D. E. Crow, "Merits and limitations of full-bridge rectifier with LC filter in meeting IEC 1000-3-2 harmonic-limit specifications," *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 33, no. 2, pp. 551-557, 1997.
- [153] J. C. Wiles and W. Bower, "PV power systems, the 2002 National Electrical Code/spl reg/, and beyond," in *Conference Record of the Twenty-Ninth IEEE Photovoltaic Specialists Conference, 2002.*, 2002, pp. 1452-1455: IEEE.
- [154] S. Sharma, A. K. Panwar, and M. Tripathi, "Storage technologies for electric vehicles," *Journal of traffic and transportation engineering (english edition)*, vol. 7, no. 3, pp. 340-361, 2020.
- [155] C.-S. Lee, J.-B. Jeong, B.-H. Lee, and J. Hur, "Study on 1.5 kW battery chargers for neighborhood electric vehicles," in *2011 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference*, 2011, pp. 1-4: IEEE.
- [156] C. Aguilar, F. Canales, J. Arau, J. Sebastián, and J. Uceda, "An integrated battery charger/discharger with power-factor correction," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 44, no. 5, pp. 597-603, 1997.
- [157] B. Singh, B. N. Singh, A. Chandra, K. Al-Haddad, A. Pandey, and D. P. Kothari, "A review of three-phase improved power quality AC-DC converters," *IEEE Transactions on industrial electronics*, vol. 51, no. 3, pp. 641-660, 2004.
- [158] W. Frank, M. Reddig, and M. Schlenk, "New control methods for rectifier-less PFC-stages," in *Proceedings of the IEEE International Symposium on Industrial Electronics, 2005. ISIE 2005.*, 2005, vol. 2, pp. 489-493: IEEE.
- [159] F. Musavi, M. Edington, W. Eberle, and W. G. Dunford, "Evaluation and efficiency comparison of front end AC-DC plug-in hybrid charger

- topologies," *IEEE Transactions on Smart grid*, vol. 3, no. 1, pp. 413-421, 2011.
- [160] Y. Jang and M. M. Jovanovic, "Interleaved boost converter with intrinsic voltage-doubler characteristic for universal-line PFC front end," *IEEE transactions on power electronics*, vol. 22, no. 4, pp. 1394-1401, 2007.
- [161] P. Kong, S. Wang, F. C. Lee, and C. Wang, "Common-mode EMI study and reduction technique for the interleaved multichannel PFC converter," *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 23, no. 5, pp. 2576-2584, 2008.
- [162] F. Musavi, W. Eberle, and W. G. Dunford, "A high-performance single-phase bridgeless interleaved PFC converter for plug-in hybrid electric vehicle battery chargers," *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 47, no. 4, pp. 1833-1843, 2011.
- [163] D. C. Erb, O. C. Onar, and A. Khaligh, "Bi-directional charging topologies for plug-in hybrid electric vehicles," in *2010 Twenty-Fifth Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC)*, 2010, pp. 2066-2072: IEEE.
- [164] Y. Du, S. Lukic, B. Jacobson, and A. Huang, "Review of high power isolated bi-directional DC-DC converters for PHEV/EV DC charging infrastructure," in *2011 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition*, 2011, pp. 553-560: IEEE.
- [165] B. Singh, B. N. Singh, A. Chandra, K. Al-Haddad, A. Pandey, and D. P. Kothari, "A review of single-phase improved power quality AC-DC converters," *IEEE Transactions on industrial electronics*, vol. 50, no. 5, pp. 962-981, 2003.
- [166] M. D. Manjrekar, P. K. Steimer, and T. A. Lipo, "Hybrid multilevel power conversion system: A competitive solution for high-power applications," *IEEE transactions on industry applications*, vol. 36, no. 3, pp. 834-841, 2000.
- [167] J. Zhao, Y. Han, X. He, C. Tan, J. Cheng, and R. Zhao, "Multilevel circuit topologies based on the switched-capacitor converter and diode-clamped converter," *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 26, no. 8, pp. 2127-2136, 2011.
- [168] X. Ruan, B. Li, Q. Chen, S.-C. Tan, and K. T. Chi, "Fundamental considerations of three-level DC-DC converters: Topologies, analyses, and control," *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers*, vol. 55, no. 11, pp. 3733-3743, 2008.
- [169] M. Pahlevaninezhad, P. Das, J. Drobnik, P. K. Jain, and A. Bakhshai, "A novel ZVZCS full-bridge DC/DC converter used for electric vehicles," *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 27, no. 6, pp. 2752-2769, 2011.
- [170] J. P. M. Figueiredo, F. L. Tofoli, and B. L. A. Silva, "A review of single-phase PFC topologies based on the boost converter," in *2010 9th IEEE/IAS International Conference on Industry Applications-INDUSCON 2010*, 2010, pp. 1-6: IEEE.
- [171] A. Khaligh and S. Dusmez, "Comprehensive topological analysis of conductive and inductive charging solutions for plug-in electric vehicles," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 61, no. 8, pp. 3475-3489, 2012.

- [172] G.-Y. Choe, J.-S. Kim, B.-K. Lee, C.-Y. Won, and T.-W. Lee, "A Bi-directional battery charger for electric vehicles using photovoltaic PCS systems," in *2010 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference*, 2010, pp. 1-6: IEEE.
- [173] M. A. Fasugba and P. T. Krein, "Gaining vehicle-to-grid benefits with unidirectional electric and plug-in hybrid vehicle chargers," in *2011 IEEE vehicle power and propulsion conference*, 2011, pp. 1-6: IEEE.
- [174] M. A. Fasugba and P. T. Krein, "Cost benefits and vehicle-to-grid regulation services of unidirectional charging of electric vehicles," in *2011 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition*, 2011, pp. 827-834: IEEE.
- [175] H. Chen, X. Wang, and A. Khaligh, "A single stage integrated bidirectional ac/dc and dc/dc converter for plug-in hybrid electric vehicles," in *2011 IEEE vehicle power and propulsion conference*, 2011, pp. 1-6: IEEE.
- [176] N. M. L. Tan, T. Abe, and H. Akagi, "Design and performance of a bidirectional isolated DC-DC converter for a battery energy storage system," *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 27, no. 3, pp. 1237-1248, 2011.
- [177] X. Zhou, S. Lukic, S. Bhattacharya, and A. Huang, "Design and control of grid-connected converter in bi-directional battery charger for plug-in hybrid electric vehicle application," in *2009 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference*, 2009, pp. 1716-1721: IEEE.
- [178] J. Tomić and W. Kempton, "Using fleets of electric-drive vehicles for grid support," *Journal of power sources*, vol. 168, no. 2, pp. 459-468, 2007.
- [179] S. B. Peterson, J. Whitacre, and J. Apt, "The economics of using plug-in hybrid electric vehicle battery packs for grid storage," *Journal of Power Sources*, vol. 195, no. 8, pp. 2377-2384, 2010.
- [180] S. Haghbin *et al.*, "Integrated chargers for EV's and PHEV's: examples and new solutions," in *The XIX International Conference on Electrical Machines-ICEM 2010*, 2010, pp. 1-6: IEEE.
- [181] M. Grenier, M. H. Aghdam, and T. Thiringer, "Design of on-board charger for plug-in hybrid electric vehicle," in *5th IET International Conference on Power Electronics, Machines and Drives (PEMD 2010)*, 2010, pp. 1-6: IET.
- [182] S. Lacroix, E. Labouré, and M. Hilairé, "An integrated fast battery charger for electric vehicle," in *2010 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference*, 2010, pp. 1-6: IEEE.
- [183] D. S. Gautam, F. Musavi, M. Edington, W. Eberle, and W. G. Dunford, "An automotive onboard 3.3-kW battery charger for PHEV application," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 61, no. 8, pp. 3466-3474, 2012.
- [184] D. S. Gautam, F. Musavi, W. Eberle, and W. G. Dunford, "A zero-voltage switching full-bridge DC-DC converter with capacitive output filter for plug-in hybrid electric vehicle battery charging," *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 28, no. 12, pp. 5728-5735, 2013.
- [185] H.-J. Chae, H.-T. Moon, and J.-Y. Lee, "On-board battery charger for PHEV without high-voltage electrolytic capacitor," *Electronics letters*, vol. 46, no. 25, pp. 1691-1692, 2010.
- [186] S. Kim and F.-S. Kang, "Multifunctional onboard battery charger for plug-in electric vehicles," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 62, no. 6, pp. 3460-3472, 2014.

- [187] J.-S. Kim, G.-Y. Choe, H.-M. Jung, B.-K. Lee, Y.-J. Cho, and K.-B. Han, "Design and implementation of a high-efficiency on-board battery charger for electric vehicles with frequency control strategy," in *2010 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference*, 2010, pp. 1-6: IEEE.
- [188] L. De-Sousa and B. Bouchez, "Combined electric device for powering and charging," *International Patent WO*, vol. 57892, p. A1, 2010.
- [189] W. E. Rippel and A. G. Cocconi, "Integrated motor drive and recharge system," ed: Google Patents, 1992.
- [190] A. G. Cocconi, "Combined motor drive and battery recharge system," ed: Google Patents, 1994.
- [191] G. Pellegrino, E. Armando, and P. Guglielmi, "An integral battery charger with power factor correction for electric scooter," *IEEE transactions on power electronics*, vol. 25, no. 3, pp. 751-759, 2009.
- [192] S. Haghbin, S. Lundmark, M. Alakula, and O. Carlson, "An isolated high-power integrated charger in electrified-vehicle applications," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 60, no. 9, pp. 4115-4126, 2011.
- [193] L. Tang and G.-J. Su, "A low-cost, digitally-controlled charger for plug-in hybrid electric vehicles," in *2009 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition*, 2009, pp. 3923-3929: IEEE.
- [194] D.-G. Woo, G.-Y. Choe, J.-S. Kim, B.-K. Lee, J. Hur, and G.-B. Kang, "Comparison of integrated battery chargers for plug-in hybrid electric vehicles: Topology and control," in *2011 IEEE International Electric Machines & Drives Conference (IEMDC)*, 2011, pp. 1294-1299: IEEE.
- [195] Y.-J. Lee, A. Khaligh, and A. Emadi, "Advanced integrated bidirectional AC/DC and DC/DC converter for plug-in hybrid electric vehicles," *IEEE Transactions on vehicular technology*, vol. 58, no. 8, pp. 3970-3980, 2009.
- [196] D. C. Erb, O. C. Onar, and A. Khaligh, "An integrated bi-directional power electronic converter with multi-level AC-DC/DC-AC converter and non-inverted buck-boost converter for PHEVs with minimal grid level disruptions," in *2010 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference*, 2010, pp. 1-6: IEEE.
- [197] S. Dusmez and A. Khaligh, "A novel low cost integrated on-board charger topology for electric vehicles and plug-in hybrid electric vehicles," in *2012 Twenty-seventh annual IEEE applied power electronics conference and exposition (APEC)*, 2012, pp. 2611-2616: IEEE.
- [198] S. Dusmez and A. Khaligh, "Cost effective solutions to level 3 on-board battery chargers," in *2012 Twenty-Seventh Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC)*, 2012, pp. 2121-2127: IEEE.
- [199] W. E. Rippel, "Integrated traction inverter and battery charger apparatus," ed: Google Patents, 1990.
- [200] S.-K. Sul and S.-J. Lee, "An integral battery charger for four-wheel drive electric vehicle," *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 31, no. 5, pp. 1096-1099, 1995.
- [201] H.-C. Chang and C.-M. Liaw, "An integrated driving/charging switched reluctance motor drive using three-phase power module," *IEEE transactions on industrial electronics*, vol. 58, no. 5, pp. 1763-1775, 2010.

- [202] G.-J. Su and L. Tang, "Current source inverter based traction drive for EV battery charging applications," in *2011 IEEE vehicle power and propulsion conference*, 2011, pp. 1-6: IEEE.
- [203] S. Bai and S. Lukic, "Design considerations for DC charging station for plug-in vehicles," in *2011 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference*, 2011, pp. 1-6: IEEE.
- [204] R. Zhang, F. C. Lee, and D. Boroyevich, "Four-legged three-phase PFC rectifier with fault tolerant capability," in *2000 IEEE 31st Annual Power Electronics Specialists Conference. Conference Proceedings (Cat. No. 00CH37018)*, 2000, vol. 1, pp. 359-364: IEEE.
- [205] P. Verdelho and G. D. Marques, "Four-wire current-regulated PWM voltage converter," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 45, no. 5, pp. 761-770, 1998.
- [206] J. W. Kolar and F. C. Zach, "A novel three-phase utility interface minimizing line current harmonics of high-power telecommunications rectifier modules," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 44, no. 4, pp. 456-467, 1997.
- [207] N. B. H. Youssef, K. Al-Haddad, and H. Y. Kanaan, "Implementation of a new linear control technique based on experimentally validated small-signal model of three-phase three-level boost-type Vienna rectifier," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 55, no. 4, pp. 1666-1676, 2008.
- [208] K. Jin, X. Ruan, M. Yang, and M. Xu, "Power management for fuel-cell power system cold start," *IEEE Transactions on power electronics*, vol. 24, no. 10, pp. 2391-2395, 2009.
- [209] R. Beiranvand, B. Rashidian, M. R. Zolghadri, and S. M. H. Alavi, "Designing an adjustable wide range regulated current source," *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 25, no. 1, pp. 197-208, 2009.
- [210] O. Garcia, P. Zumel, A. De Castro, and A. Cobos, "Automotive DC-DC bidirectional converter made with many interleaved buck stages," *IEEE transactions on power electronics*, vol. 21, no. 3, pp. 578-586, 2006.
- [211] J. G. Hayes, M. G. Egan, J. M. Murphy, S. E. Schulz, and J. T. Hall, "Wide-load-range resonant converter supplying the SAE J-1773 electric vehicle inductive charging interface," *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 35, no. 4, pp. 884-895, 1999.
- [212] A. Fotouhi, D. J. Auger, K. Propp, S. Longo, and M. Wild, "A review on electric vehicle battery modelling: From Lithium-ion toward Lithium-Sulphur," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 56, pp. 1008-1021, 2016.
- [213] S. Habib, M. M. Khan, F. Abbas, L. Sang, M. U. Shahid, and H. Tang, "A comprehensive study of implemented international standards, technical challenges, impacts and prospects for electric vehicles," *IEEE Access*, vol. 6, pp. 13866-13890, 2018.
- [214] J. Y. Yong, V. K. Ramachandaramurthy, K. M. Tan, and N. Mithulananthan, "A review on the state-of-the-art technologies of electric vehicle, its impacts and prospects," *Renewable and sustainable energy reviews*, vol. 49, pp. 365-385, 2015.
- [215] J. Larminie and J. Lowry, *Electric vehicle technology explained*. John Wiley & Sons, 2012.

- [216] T. Geyer, P. Karamanakos, and R. Kennel, "On the benefit of long-horizon direct model predictive control for drives with LC filters," in *2014 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE)*, 2014, pp. 3520-3527: IEEE.
- [217] A. A. A. Al-karakchi, G. Lacey, and G. Putrus, "A method of electric vehicle charging to improve battery life," in *2015 50th International Universities Power Engineering Conference (UPEC)*, 2015, pp. 1-3: IEEE.
- [218] L. He, "Linghe Kong, Siyu Lin, Shaodong Ying, Yu Gu, Tian He, and Cong Liu. 2016a. RAC: Reconfiguration-assisted charging in large-scale lithium-ion battery systems," *IEEE Transactions on Smart Grids*, vol. 7, no. 3, 2016.
- [219] M. Di Yin, J. Youn, D. Park, and J. Cho, "Dynamic frequency and duty cycle control method for fast pulse-charging of lithium battery based on polarization curve," in *2015 Ninth International Conference on Frontier of Computer Science and Technology*, 2015, pp. 40-45: IEEE.
- [220] L.-R. Chen, "Design of duty-varied voltage pulse charger for improving Li-ion battery-charging response," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 56, no. 2, pp. 480-487, 2008.
- [221] S. Hu, X. Wang, R. Wang, J. Wu, and X. He, "Hybrid sinusoidal-pulse charging strategy for Li-ion battery in electric vehicle application," in *2015 IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC)*, 2015, pp. 3117-3123: IEEE.
- [222] P. Jampeethong and S. Khomfoi, "An EV quick charging station using a pulse frequency current control technique," in *2015 12th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON)*, 2015, pp. 1-5: IEEE.
- [223] I. S. Bayram, G. Michailidis, M. Devetsikiotis, and F. Granelli, "Electric power allocation in a network of fast charging stations," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 31, no. 7, pp. 1235-1246, 2013.
- [224] I. S. Bayram, V. Zamani, R. Hanna, and J. Kleissl, "On the evaluation of plug-in electric vehicle data of a campus charging network," in *2016 IEEE International Energy Conference (ENERGYCON)*, 2016, pp. 1-6: IEEE.
- [225] C. Kong, R. Jovanovic, I. S. Bayram, and M. Devetsikiotis, "A hierarchical optimization model for a network of electric vehicle charging stations," *Energies*, vol. 10, no. 5, p. 675, 2017.
- [226] L. Sun, R. Liang, and Q. Wang, "The control strategy and system preferences of plug-in HEV," in *2008 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference*, 2008, pp. 1-5: IEEE.
- [227] D. Karbowski, A. Rousseau, S. Pagerit, and P. Sharer, "Plug-in vehicle control strategy: from global optimization to real time application," in *22th International Electric Vehicle Symposium (EVS22)*, Yokohama, 2006: Citeseer.
- [228] O. Van Vliet, A. S. Brouwer, T. Kuramochi, M. van Den Broek, and A. Faaij, "Energy use, cost and CO<sub>2</sub> emissions of electric cars," *Journal of power sources*, vol. 196, no. 4, pp. 2298-2310, 2011.
- [229] K. Qian, C. Zhou, M. Allan, and Y. Yuan, "Modeling of load demand due to EV battery charging in distribution systems," *IEEE transactions on power systems*, vol. 26, no. 2, pp. 802-810, 2010.

- [230] M. A. Masoum, P. S. Moses, and S. Hajforoosh, "Distribution transformer stress in smart grid with coordinated charging of plug-in electric vehicles," in *2012 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies (ISGT)*, 2012, pp. 1-8: IEEE.
- [231] M. Singh, P. Kumar, and I. Kar, "Implementation of vehicle to grid infrastructure using fuzzy logic controller," *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 3, no. 1, pp. 565-577, 2012.
- [232] K. J. Yunus, M. Reza, H. Zelaya-De La Parra, and K. Srivastava, "Impacts of stochastic residential plug-in electric vehicle charging on distribution grid," in *2012 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies (ISGT)*, 2012, pp. 1-8: IEEE.
- [233] H. Turker, S. Bacha, D. Chatroux, and A. Hably, "Aging rate of low voltage transformer for a high penetration of plug-in hybrid electric vehicles (PHEVs)," in *2012 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies (ISGT)*, 2012, pp. 1-8: IEEE.
- [234] J. Driesen, K. Clement-Nyns, and E. Haesen, "The impact of charging PHEVs on a residential distribution grid," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 25, no. 1, pp. 371-380, 2010.
- [235] H. Tu, H. Feng, S. Srdic, and S. Lukic, "Extreme fast charging of electric vehicles: A technology overview," *IEEE Transactions on Transportation Electrification*, vol. 5, no. 4, pp. 861-878, 2019.
- [236] V. Vlatkovic, D. Borojevic, and F. C. Lee, "Input filter design for power factor correction circuits," *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 11, no. 1, pp. 199-205, 1996.
- [237] R. L. Ozenbaugh, R. L. Pullen, and T. M. Pullen, *EMI filter design*. CRC press, 2000.
- [238] D. Hamza, M. Pahlevaninezhad, and P. K. Jain, "Implementation of a novel digital active EMI technique in a DSP-based DC–DC digital controller used in electric vehicle (EV)," *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 28, no. 7, pp. 3126-3137, 2012.
- [239] B. Wen, D. Dong, D. Boroyevich, R. Burgos, P. Mattavelli, and Z. Shen, "Impedance-based analysis of grid-synchronization stability for three-phase paralleled converters," *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 31, no. 1, pp. 26-38, 2015.
- [240] S. M. Park and S.-Y. Park, "Versatile control of unidirectional AC–DC boost converters for power quality mitigation," *IEEE Transactions on power electronics*, vol. 30, no. 9, pp. 4738-4749, 2014.
- [241] M. P. Kazmierkowski, "Electromagnetic Compatibility in Power Systems (Lattarulo, F., ed.; 2007)-[Book Review]," *IEEE Industrial Electronics Magazine*, vol. 1, no. 2, pp. 42-45, 2007.
- [242] J. You, W. Fan, N. Ghasemi, and M. Vilathgamuwa, "Modulation and control method for double-switch buck–boost converter," *IET Power Electronics*, vol. 12, no. 5, pp. 1160-1169, 2019.

## **Abstract:**

In order to improve the efficiency of production lines or use non-petroleum energy sources for road transportation, electric-hybrid cars and cars with fuel cells are produced by automobile companies all over the world. The launch lines of these vehicles use electric motors and electric energy storage to supplement the output of the engine or fuel cell during acceleration or to recover energy during braking. The electrical energy storage technologies used are rechargeable batteries and super capacitors (electrochemical capacitors). Electric energy storage units can be charged from an engine or fuel cell or from the power grid just like an electrical appliance. In later variants (often called plug-in hybrids), vehicles can run on liquid or gaseous fuels as well as grid electricity. One of the attractive features of the plug-in hybrid car is that it allows the use of grid electricity using renewable energy sources.

In fact, the main idea is to design a rechargeable battery that has the distinctive feature of fast and accessible charging (efficient), so that it can be connected to a household electrical outlet (single phase) and can be used in charging stations for specially charged. In the charging mode through household electricity (single phase), the input of the charger will be 230V AC, and in the charging mode through special stations, the input of the charger will be in the form of three-phase AC; But if you have a residential house with three-phase electricity input, you can also use the second type. The purpose of doing this is to be able to charge your car in any place with the minimum possible infrastructure, but the problem is that the car takes a longer time to charge through the AC charger in the first case when the input voltage is single-phase compared to the three-phase input. To reduce the charging time of the batteries, it can be mentioned that the charging input to the car in the form of DC, that all the operation of generating electric power takes place outside the car, but it is out of the discussion of this topic. The desired charger set can be divided into three parts, the first part is in the single-phase part and the second part is in the three-phase part. The third part is also used jointly between the three-phase and single-phase parts. The verification of this idea is done through simulation software, but in the real world, such ideas have been made to make it easier to charge cars and expand this industry.

**Key words:** Electric/hybrid vehicle, single-phase/three-phase charger, single-phase/three-phase converter, battery, charger, charging, discharge



**University of Kurdistan**  
**Faculty of Engineering**  
**Department of Electrical Engineering (Power and Control)**

A Thesis Submitted to the Postgraduate Studies Office in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of M.A. / M.Sc. / Ph.D. in Electrical Engineering

**Title:**  
**Three-phase/single-phase battery charger for plug-in hybrid electric vehicles (PHEV) with emphasis on reducing charging time and improving power factor (PF)**

**By:**  
**Arvin Ahmadi**

The above thesis was evaluated and approved by the following members of the thesis committee with **very good** quality on February 19, 2023.

<u>Position</u>	<u>Title and Name</u>	<u>Signature</u>
1. Supervisor:	Assist. Prof. Mehrdad Gholami	
2. Internal Examiner:	Assoc. Prof. Rahmatollah Mirzaei	
3. External Examiner:	Assoc. Prof. Yazdan Batmani	

Head of Department:

Dr. Navid Rezaei

Faculty Graduate Coordinator:

Dr. Hashem Shahsavani



**University of Kurdistan**  
**Faculty of Engineering**  
**Department of Electrical Engineering (Power and Control)**

A Thesis Submitted to the Postgraduate Studies Office in Partial  
Fulfillment of the Requirements for the Degree of M.Sc  
in Electrical Engineerin

**Title:**  
**Three-phase/single-phase battery charger for plug-in  
hybrid electric vehicles (PHEV) with emphasis on  
reducing charging time and improving power factor  
(PF)**

**By:**  
**Arvin Ahmadi**

**Supervisor:**  
**Dr. Mehrdad Gholami**

February, 2023



**University of Kurdistan**  
**Faculty of Engineering**  
**Department of Electrical Engineering (Power and Control)**

**A Thesis Submitted to the Postgraduate Studies Office in Partial Fulfillment of the  
Requirements for the Degree of M.Sc. in Electrical Engineering**

**Title:**

**Three-phase/single-phase battery charger for plug-in hybrid electric  
vehicles (PHEV) with emphasis on reducing charging time and improving  
power factor (PF)**

**By:**

**Arvin Ahmadi**

**Supervisor:**

**Dr. Mehrdad Gholami**

**February, 2023**