دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر
گروه قدرت

رساله

برای دریافت درجه دکتری در رشته‌ی مهندسی برق-قدرت گرایش ماشین‌های الکتریکی و درایو

عنوان

استفاده از روش گراف سیگنال جریان برای مدلسازی مبدل‌های الکترونیک قدرت موجود در سیستم انرژی خودروهای برقی به منظور مدیریت انرژی الکتریکی

استاد راهنما

دکتر ابراهیم بابائی

استاد مشاور

دکتر محمدباقر بناء شریفیان

پژوهشگر

لیلا محمدیان

بهمن‌ماه ۹۳

بسم الله
الرحمن الرحیم

تقدیم به خانواده عزیزم؛

به آنان که وجودشان برایم بزرگترین لطف الهی بوده و فروغ نگاهشان، گرمی کلامشان سرمایه جاودانه زندگیم است.

همواره ستایشگر محبت‌هایشان خواهم بود.

لیلا محمدیان

بسمه تعالی

استاد راهنما، جناب آقای دکتر بابائی:

از شما که در مسیر تحصیل و زندگی همواره راهنمای من بوده‌اید کمال تشکر و قدردانی را دارم.

استاد مشاور، جناب آقای دکتر شریفیان:

از شما که صبورانه زحمت مشاوره بنده را بر عهده داشته‌اید، مراتب قدردانی را دارم.

و با تشکر خالصانه از خدمت دوستان عزیزم و همه کسانی که به نوعی مرا در به انجام رساندن این مهم یاری نموده اند.

در پایان لازم می‌دانم از همه اساتید گران‌قدر در گروه دانشکده برق و کامپیوتر دانشگاه تبریز تشکر نمایم.

لیلا محمدیان

بهمن‌ماه ۹۳

تبریز-ایران

نام خانوادگی: محمدیان **نام:** لیلا

عنوان پایان‌نامه: استفاده از روش گراف سیگنال جریان برای مدلسازی مبدل‌های الکترونیک قدرت موجود در سیستم انرژی خودروهای برقی به منظور مدیریت انرژی الکتریکی

استاد راهنما: دکتر ابراهیم بابائی

استاد مشاور: دکتر محمدباقر بناء شریفیان

مقطع تحصیلی: دکتری **رشته:** مهندسی برق قدرت **گرایش:** ماشین‌های الکتریکی و درایو **دانشگاه:** تبریز

دانشکده: مهندسی برق و کامپیوتر **تاریخ فارغ التحصیلی:** بهمن‌ماه ۱۳۹۳ **تعداد صفحه:** ۱۸۰

کلیدواژه‌ها: خودروی برقی، سیستم مدیریت انرژی، مبدل‌های الکترونیک قدرت، مدلسازی، روش گراف سیگنال جریان

چکیده

امروزه به دلیل کاهش ذخایر سوخت فسیلی و همچنین افزایش آلودگی هوا خودروهای برقی بعد از گذشت سال‌ها مجددا مورد توجه صنایع و پژوهشگران قرار گرفته اند. در سال‌های اخیر تحقیقات بسیاری در سراسر جهان روی بخش‌های مختلف خودروهای برقی انجام شده است که می‌توان به طراحی ساختار خودرو و بررسی پایداری آن، سیستم کنترل کشش خودرو، ماشین‌های الکتریکی، کنترل ماشین‌های الکتریکی، طراحی و کنترل مبدل‌های الکترونیک قدرت، سیستم انرژی خودرو و مدیریت آن اشاره کرد. هم‌چنین با جایگزین کردن ترمز مکانیکی با ترمز الکتریکی و استفاده از مبدل‌های الکترونیک قدرت دو سویه سیستم انرژی خودرو به طور محسوس بهبود یافته است.

در زمینه نحوه مدیریت سیستم انرژی خودرو، با حضور مبدل های الکترونیک قدرت دو سویه جای کار برای یافتن مدل مناسب برای ساختار سیستم انرژی جهت پیاده‌سازی روش‌های کنترلی بسیار است. روش مدلسازی سیستم مدیریت انرژی خودرو باید قابلیت مدل نمودن مبدل الکترونیک قدرت dc–dc دو سویه مورد استفاده را در حضور مولفه‌های غیرخطی داشته باشد تا بتوان بر مبنای مدل به دست آمده، کنترل کننده مناسبی را بر روی سیستم انرژی پیاده نموده و انتظار عملکرد مناسبی را از سیستم داشت.

لذا این رساله موارد زیر را در بر می‌گیرد:

– بررسی و مطالعه بخش های مختلف خودروی برقی از جمله سیستم تعلیق و کنترل کشش خودرو و مدل‌های ارائه شده برای آن‌ها

– بررسی و مطالعه سیستم انرژی خودرو و مدل نمودن آن و پیاده سازی کنترل کننده مناسب برای مدیریت سیستم انرژی که بتواند پارامترهایی مانند جریان و ولتاژ را برای اجزای سیستم انرژی در بازه مطلوب آن‌ها نگه دارد و کارایی مناسبی نیز داشته باشد.

– مدل نمودن مبدل dc–dc دو سویه به کار رفته در سیستم مدیریت انرژی و به دست آوردن توابع تبدیل آن از طریق روش گراف سیگنال جریان و ساده تر کردن فرآیند مربوطه

داشتن مدل مناسب سیستم انرژی و بالاخص مبدل الکترونیک قدرت تعبیه شده در آن لازمه مدیریت مناسب سیستم انرژی خودروی برقی می باشد. منظور از مدل مناسب روشی است که به واسطه آن بتوان توابع تبدیل مورد نیاز جهت انجام اعمال کنترلی را به دست آورد. در این میان روش گراف سیگنال جریان به لحاظ اینکه خود مستقیما توابع تبدیل سیستم را تحویل می دهد، روش مناسبی برای مدلسازی در این حوزه می باشد. در طول فرآیند مدلسازی ممکن است به دلیل کثرت حلقه های موجود در گراف روند مدلسازی نسبتا پیچیده گردد، اما با معرفی روش های ساده سازی گراف از پیچیدگی فرآیند جلوگیری به عمل خواهد آمد.

– به دست آوردن مدل‌های سیگنال کوچک، سیگنال بزرگ و حالت ماندگار برای مبدل مورد مدلسازی

مبدل‌ها به عنوان سیستم‌های دینامیکی غیرخطی ممکن است در نقطه کار خود پایدار باشند اما در صورتی که سیستم دچار اغتشاش شده و دامنه اغتشاش به قدر کافی بزرگ باشد ممکن است دیگر هیچ‌گاه به نقطه کار خود باز نگردند. در صورتی که سیستم در معرض

اغتشاش‌های بزرگ باشد مدل سیگنال کوچک نمی‌تواند پایداری سیستم را پیش‌بینی کند. در این صورت نیاز به یک ابزار مدلسازی سیگنال بزرگ جهت مطالعه رفتار دینامیکی مبدل‌ها و طراحی سیستم‌های پایدار ضروری می‌باشد. به منظور دستیابی به یک مدل جامع سیگنال کوچک، سیگنال بزرگ و حالت ماندگار از روش مدل‌سازی گراف سیگنال جریان مبدل‌های dc-dc استفاده خواهد شد. روش گراف سیگنال جریان یک ابزار مدل‌سازی گرافیکی بسیار ساده برای طراحی و تحلیل مبدل کلیدزنی می‌باشد. با استفاده از این روش می‌توان مدل سیگنال بزرگ، مدل سیگنال کوچک و مدل حالت ماندگار مبدل را به دست آورد. مدل سیگنال بزرگ یک دید کلی از مبدل به دست می‌دهد. از این رو می‌توان از آن برای به دست آوردن ناحیه کار پایدار و نیز طراحی مبدلی که در یک ناحیه مشخص عمل کند استفاده نمود. مدل حالت ماندگار روابط حالت ماندگار را در اختیار قرار می‌دهد که در تعیین بازده و دیگر خصوصیات حالت ماندگار مبدل قابل استفاده هستند. مدل سیگنال کوچک امکان به دست آوردن تابع تبدیل از یک متغیر دلخواه به متغیر دلخواه دیگر مانند بهره ورودی به خروجی، بهره خروجی به کنترل، امپدانس‌های ورودی، خروجی و غیره را فراهم می‌کند.

– در نظر گرفتن حالت ترمز مولدی و بازگشت انرژی

یکی از پارامترهایی که استفاده از خودروهای الکتریکی را مورد توجه قرار داده و باعث افزایش بازده آن شده است بازگشت انرژی و حالت ترمز مولدی می‌باشد که لازمه در نظر گرفتن این حالت داشتن مبدل دو سویه و مناسب در سیستم انرژی و یافتن مدل مناسب برای مبدل در این حالت است. در روش مدلسازی ارائه شده این موضوع نیز لحاظ گردیده و مورد بررسی قرار می گیرد تا مدل مناسب برای سیستم در این حالت استخراج گردد.

در این رساله روش مدلسازی معرفی شده و شکل ساده و تغییر یافته آن بر روی چند مبدل الکترونیک قدرت dc-dc پیاده شده و مدل‌های مبدل‌های مذکور به دست می‌آیند. در ادامه مدل‌های به دست آمده برای مبدل‌ها از دیدگاه پایداری مورد تحلیل قرار گرفته و در صورت نیاز کنترل‌کننده مورد نیاز و مناسب برای آن‌ها طراحی می‌گردد. در نهایت با استفاده از مدل به دست آمده برای مبدل تعبیه شده در سیستم انرژی، عملکرد سیستم انرژی با استفاده از نرم افزار MATLAB شبیه سازی شده و کنترل کننده مناسب برای آن ارائه شده و نتایج شبیه سازی برای بررسی عملکرد سیستم مدیریت انرژی پیشنهادی بر مبنای مدل ارائه شده آورده خواهد شد.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه **۱**

۱-۱ مقدمه ۱

فصل دوم: بررسی منابع **۵**

۲-۱ مقدمه ۵

۲-۲ سیستم تعلیق خودروی برقی ۵

۲-۲-۱ مدل سیستم تعلیق خودرو ۶

۲-۲-۱-۱ مدل یک چهارم خودرو ۶

۲-۲-۱-۲ معادلات دینامیکی سیستم تعلیق ۷

۲-۲-۱-۳ پدیده رقص چرخ ۸

۲-۲-۱-۴ پارامترهای خودرو ۸

۲-۲-۲ تحلیل فرکانسی ۹

۲-۲-۲-۱ تحلیل دیاگرام بود ۹

۲-۲-۲-۲ فرکانس طبیعی ۱۰

۲-۲-۳ خلاصه و نتیجه‌گیری ۱۵

۲-۳ کنترل کشش خودروی برقی ۱۶

۲-۳-۱ سیستم کنترل کشش ۱۶

۲-۳-۲ سیستم کنترل کشش فرضی ۱۷

۲-۳-۳ بررسی یک سیستم کنترل کشش ۱۸

۲-۳-۴ مدل خودرو ۲۰

۲-۳-۵ مدلی برای مطالعه کنترل کشش خودرو ۲۰

۲-۳-۶ دینامیک چرخ خودرو ۲۱

۲-۳-۷ معادلات دینامیکی مدل یک چهارم خودرو برای مطالعه کنترل کشش خودرو ۲۴

۲-۳-۸ نرخ لغزش و ضریب کشش سطحی ۲۵

۲-۳-۹ نحوه پیاده‌سازی سیستم کنترل کشش ۲۶

۲-۴ سیستم انرژی خودروی برقی و شیوه محاسبه سایز باتری ۲۶

۲-۴-۱ مشخصات و ساختارهای سیستم ۲۶
۲-۴-۲ ساختار اینورترها ۲۷
۲-۴-۳ معادلات ساختار اینورترها ۲۸
۲-۴-۳-۱ مبدل نیم پل ۲۹
۲-۴-۳-۲ مبدل تمام پل ۲۹
۲-۴-۴ روش‌های انتخاب سایز باتری ۳۰
۲-۴-۵ مقایسه روش‌های انتخاب سایز باتری ۳۰
۲-۴-۶ طراحی موتور بر اساس انتخاب باتری ۳۱
۲-۴-۷ انتخاب بانک باتری ۳۲
۲-۴-۸ سیستم بانک باتری ۳۲
۲-۴-۹ سیستم انرژی خودروی برقی و اجزای سازنده آن ۳۳
۲-۴-۱۰ سیستم مدیریت انرژی خودروی‌های برقی ۳۶
۲-۴-۱۱ فراخازن‌ها ۳۷
۲-۴-۱۲ تعیین اندازه خازن ۳۹
۲-۴-۱۳ مبدل‌های dc-dc برای کاربردهای خودروی برقی ۴۰
۲-۴-۱۴ مسائل مربوط به طراحی مبدل‌های dc-dc ۴۴
۲-۴-۱۵ وظایف مبدل dc-dc دو سویه در خودرو برقی ۴۵
۲-۴-۱۶ روش مدلسازی گراف سیگنال جریان ۴۵
۲-۵ نتیجه‌گیری ۴۷

فصل سوم: روش مدلسازی پیشنهادی و کاربردهای معرفی شده برای آن ۴۸
۳-۱ مقدمه ۴۹
۳-۲ روش مدل‌سازی گراف سیگنال جریان ۴۹
۳-۳ گراف سیگنال جریان ۵۰
۳-۴ قوانین کلی برای رسم گراف سیگنال جریان ۵۱
۳-۵ مدل سیگنال بزرگ مبدل کاهنده- افزاینده ۵۴
۳-۶ مدل حالت ماندگار مبدل کاهنده- افزاینده ۵۶
۳-۷ مدل سیگنال کوچک مبدل کاهنده- افزاینده ۵۷
۳-۸ استخراج یک مدل جامع برای مبدل‌های dc-dc ۵۹
۳-۸-۱ رسم مدل گراف سیگنال جریان جامع برای مبدل مرتبه چهار ۶۰

۳-۸-۲ مدل‌های سیگنال بزرگ و حالت ماندگار برای مبدل dc-dc مرتبه چهار ۶۳
۳-۸-۳ مدل سیگنال کوچک برای مبدل dc-dc مرتبه چهار ۶۳
۳-۸-۴ گراف سیگنال جریان مبدل Sepic ۶۵
۳-۸-۵ گراف سیگنال جریان مبدل افزاینده با فیلتر ورودی ۶۸
۳-۸-۶ گراف سیگنال جریان مبدل کاهنده با فیلتر ورودی ۷۱
۳-۸-۷ گراف سیگنال جریان مبدل کاهنده- افزاینده با فیلتر خروجی ۷۳
۳-۸-۸ مدل‌های حالت ماندگار و سیگنال بزرگ ۷۶
۳-۸-۸-۱ مبدل کاهنده با فیلتر ورودی ۷۶
۳-۸-۸-۲ مبدل افزاینده با فیلتر ورودی ۷۸
۳-۸-۸-۳ مبدل کاهنده- افزاینده با فیلتر خروجی ۷۹
۳-۸-۸-۴ مبدل Sepic ۸۱
۳-۹ روش معرفی شده در این پایان نامه و کاربردهای آن ۸۳
۳-۹-۱ مدل‌سازی مبدل Zeta ۸۳
۳-۹-۱-۱ معادلات حالت مدار معادل مبدل ۸۴
۳-۹-۱-۲ متوسط‌گیری از معادلات حالت ۸۵
۳-۹-۱-۳ خطی‌سازی سیگنال کوچک معادلات متوسط ۸۵
۳-۹-۱-۴ گراف سیگنال جریان مبدل ۸۶
۳-۹-۱-۵ شبیه‌سازی و تحلیل پاسخ فرکانسی مبدل Zeta بر اساس مدل استخراج شده ۸۸
۳-۹-۱-۵-۱ نتایج شبیه‌سازی برای تابع تبدیل $\tilde{v}_o/\tilde{v}_i$ ۸۸
۳-۹-۱-۵-۲ نتایج شبیه‌سازی برای تابع تبدیل $\tilde{v}_o/\tilde{d}$ ۹۰
۳-۹-۲ مدلسازی و تحلیل مبدل Luo با چهار ناحیه کاری ۹۱
۳-۹-۲-۱ مبدل Luo در حالت کاری A ۹۳
۳-۹-۲-۱-۱ معادلات حالت ۹۳
۳-۹-۲-۱-۲ معادلات متوسط‌گیری شده ۹۴
۳-۹-۲-۱-۳ خطی‌سازی سیگنال کوچک ۹۴
۳-۹-۲-۱-۴ گراف سیگنال جریان مد کاری A ۹۵
۳-۹-۲-۲ مبدل Luo در حالت کاری B ۹۷
۳-۹-۲-۲-۱ معادلات حالت، انجام متوسط گیری و خطی‌سازی روی آن‌ها ۹۷
۳-۹-۲-۲-۲ گراف سیگنال جریان مد کاری B ۹۸
۳-۹-۲-۳ مبدل Luo در حالت کاری C ۹۹

۳-۹-۲-۳-۱ معادلات حالت، معادلات حالت متوسط گیری شده و خطی سازی شده برای مد کاری C ۱۰۰
۳-۹-۲-۳-۲ گراف سیگنال جریان ۱۰۰
۳-۹-۲-۴ مبدل Luo در حالت کاری D ۱۰۲
۳-۹-۲-۴-۱ معادلات حالت، معادلات حالت متوسط گیری شده و خطی سازی شده برای مد کاری D ۱۰۲
۳-۹-۲-۴-۲ گراف سیگنال جریان ۱۰۳
۳-۹-۲-۵ شبیه‌سازی پاسخ فرکانسی مبدل ۱۰۴
۳-۹-۲-۵-۱ نتایج شبیه‌سازی حالت کاری A ۱۰۵
۳-۹-۲-۵-۲ نتایج شبیه‌سازی حالت کاری B ۱۰۶
۳-۹-۲-۵-۳ نتایج شبیه‌سازی حالت کاری C ۱۰۷
۳-۹-۲-۵-۴ نتایج شبیه‌سازی حالت کاری D ۱۰۸
۳-۹-۳ مدلسازی مبدل کاهنده-افزاینده به شیوه پیشنهادی و طراحی کنترل کننده برای آن ۱۰۹
۳-۹-۳-۱ معادلات حالت، انجام متوسط گیری و خطی‌سازی روی آن‌ها ۱۱۰
۳-۹-۳-۲ گراف سیگنال جریان ۱۱۰
۳-۹-۳-۳ نتایج شبیه‌سازی و تحلیل پاسخ فرکانسی ۱۱۲
۳-۹-۳-۴ طراحی کنترل کننده فیدبک حالت پیشنهادی بر مبنای مدل به دست آمده برای سیستم ۱۱۳
۳-۹-۳-۴-۱ جایابی قطب با استفاده از فرمول آکرمن ۱۱۴
۳-۹-۳-۵ تنظیم ولتاژ خروجی مبدل به کمک جبرانساز فیدبک حالت ۱۱۵
۳-۹-۳-۶ بررسی تاثیر تغییر مقاومت پارازیتیک سلف بر پایداری داخلی مبدل کاهنده- افزاینده ۱۱۷
۳-۹-۳-۶-۱ نتایج شبیه‌سازی و تحلیل ۱۱۷
۳-۹-۳-۷ بررسی تأثیر تغییر مقاومت پارازیتیک سلف بر راندمان مبدل ۱۲۱
۳-۹-۴ مدلسازی مبدل Cuk با روش گراف سیگنال جریان، تحلیل و طراحی کنترل کننده مقاوم H_∞ برای آن ۱۲۲
۳-۹-۴-۱ استخراج گراف سیگنال جریان مبدل طبق روش گراف سیگنال جریان مرسوم ۱۲۴
۳-۹-۴-۱-۱ مدل‌های سیگنال کوچک، سیگنال بزرگ و حالت ماندگار مبدل Cuk ۱۲۴
۳-۹-۴-۲ روش پیشنهادی برای استخراج مدل مبدل Cuk با شیوه جدیدی از گراف سیگنال جریان ۱۲۷
۳-۹-۴-۳ طراحی کنترل کننده H_∞ برای مبدل Cuk بر مبنای مدل پیشنهادی ۱۳۱
۳-۹-۴-۳-۱ انتخاب تابع وزن‌دهی ۱۳۳
۳-۱۰ نتیجه گیری ۱۳۶

فصل چهارم: به‌کارگیری روش گراف سیگنال جریان در مدیریت سیستم انرژی الکتریکی خودروی برقی ۱۳۷

۴-۱ مقدمه ۱۳۷
۴-۲ معرفی مبدل کاهنده- افزاینده دوسویه ۱۳۹
۴-۳ مدل‌سازی به روش فضای حالت و استخراج توابع تبدیل ۱۴۰
۴-۴ استخراج توابع تبدیل مبدل با شیوه جدیدی از گراف سیگنال جریان ۱۴۵
۴-۵ شبیه‌سازی و بررسی پایداری دینامیکی ۱۴۹
۴-۶ سیستم مدیریت انرژی و پیشنهاد روش کنترلی بر مبنای مدل استخراج شده ۱۵۱
۴-۶-۱ کنترل کننده جریان فراخازن ۱۵۴
۴-۶-۲ کنترل کننده جریان باتری ۱۵۵
۴-۶-۲-۱ تاخیر زمان صعود جریان باتری ۱۵۷
۴-۶-۲ نحوه تولید و کنترل بار الکترونیکی دوسویه ۱۶۱
۴-۷ بررسی مزایا و معایب سیستم انرژی شرح داده شده ۱۶۵
۴-۸ مدلسازی سیستم انرژی در حضور یک بار موتوری به جای بار الکترونیکی ۱۶۸
۴-۹ نتیجه گیری ۱۷۳

فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۱۷۴
۵-۱ نتیجه‌گیری ۱۷۵
۵-۲ پیشنهادات ۱۷۶
فصل ششم:مراجع ۱۷۷

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۲-۱: مدل سیستم تعلیق یک چهارم خودرو ۶

شکل ۲-۲: دیاگرام بود؛ (الف) خودروهای استاندارد؛ (ب) با راه‌انداز در هر چرخ (ج) در مقایسه با یکدیگر ۱۰

شکل ۲-۳: محدوده فرکانس راحتی برای سرنشیان خودرو ۱۵

شکل۲-۴: ساختار مدار قدرت و محرکه خودروی برقی ۱۶

شکل ۲-۵: بلوک دیاگرام سیستم خودرو ۱۷

شکل ۲-۶: سیستم کنترل موتور با رؤیت‌گر گشتاور بار ۱۹

شکل ۲-۷: سیستم کنترل موتور با منحنی‌های سرعت و رویت‌گر گشتاور بار ۱۹

شکل ۲-۸: سیستم خودرو با مدل خودرو و رویت‌گر کشش سطحی چرخ ۲۰

شکل ۲-۹: مدل یک چهارم خودرو برای مطالعه کنترل کشش خودرو ۲۱

شکل ۲-۱۰: بدنه با؛ (الف) حرکت انتقالی؛ (ب) حرکت چرخشی؛ (ج) حرکت دورانی یا گردشی ۲۲

شکل ۲-۱۱: دیاگرام بدنه آزاد یک بدنه دوار ۲۳

شکل ۲-۱۲: سیستم با چند موتور و چند واحد کنترل موتور ۲۶

شکل ۲-۱۳: سیستم با اینورتر نیم پل ۲۷

شکل ۲-۱۴: سیستم با اینورتر تمام پل ۲۸

شکل ۲-۱۵: سیستم با اینورتر نیم پل و مبدل dc-dc سری شده ۲۸

شکل ۲-۱۶: اتصال موازی سیستم‌های راه‌انداز الکتریکی ۲۸

شکل ۲-۱۷: بلوک دیاگرام سیستم انرژی خودرو ۳۶

شکل ۲-۱۸: ساختار فیزیکی فراخازن‌ها ۳۸

شکل ۲-۱۹: نمودار راگون برای تجهیزات ذخیره‌ساز انرژی ۳۹

شکل ۲-۲۰: قطعات الکترونیک قدرت در خودروی الکتریکی هیبرید تویوتا پریوس۲۰۰۱ ۴۱

شکل ۲-۲۱: برخی ساختارهای مبدل‌های dc-dc ۴۳

شکل ۲-۲۲: شکل کلی مبدل‌های dc-dc دوسویه ایزوله ۴۳

شکل ۲-۲۳: چیدمان مدار الکترونیک قدرت در خودروهای الکتریکی هیبرید ۴۴

شکل ۲-۲۴: مدار RC ۴۶

شکل ۲-۲۵: (الف) پنج گره مدار؛ (ب) گراف جریان مدار RC ۴۷

شکل ۳-۱: شاخه‌های کلیدزنی؛ (الف) k_1 ؛ (ب) k_2 ۵۱

شکل ۳-۲: (الف) مبدل کاهنده-افزاینده؛ (ب) زیربخش‌های آن ۵۲
شکل ۳-۳: (الف) گراف جریان کلیدزنی زیربخش‌های مدار؛ (ب) گراف جریان کلیدزنی مبدل کاهنده-افزاینده ۵۳
شکل ۳-۴: گراف جریان کلیدزنی ساده شده مبدل کاهنده-افزاینده ۵۳
شکل ۳-۵: (الف) سیگنال‌های شاخه k_1؛ (ب) سیگنال‌های شاخه k_2 ۵۴
شکل ۳-۶: (الف) مدل سیگنال بزرگ شاخه k_1 ؛ (ب) مدل سیگنال بزرگ شاخه k_2 ۵۵
شکل ۳-۷: مدل سیگنال بزرگ مبدل کاهنده-افزاینده ۵۶
شکل ۳-۸: (الف) مدل حالت ماندگار شاخه k_1 ؛ (ب) مدل حالت ماندگار شاخه k_2 ۵۶
شکل ۳-۹: مدل حالت ماندگار مبدل کاهنده-افزاینده ۵۷
شکل ۳-۱۰: (الف) مدل سیگنال کوچک شاخه k_1 ؛ (ب) مدل سیگنال کوچک شاخه k_2 ۵۸
شکل ۳-۱۱: مدل سیگنال کوچک مبدل کاهنده-افزاینده ۵۸
شکل ۳-۱۲: ساده‌سازی مدل سیگنال کوچک مبدل کاهنده-افزاینده با استفاده از قوانین جبری ۵۹
شکل ۳-۱۳: ساده شده مدل سیگنال کوچک مبدل کاهنده- افزاینده ۵۹
شکل ۳-۱۴: بلوک دیاگرام ساختار مبدل مرتبه چهار جامع ۶۰
شکل ۳-۱۵: مدل گراف سیگنال جریان جامع مبدل dc-dc مرتبه چهار ۶۲
شکل ۳-۱۶: مبدل Sepic از مرتبه چهار؛ (الف) مدار معادل؛ (ب) مدل گراف جریان سیگنال کوچک ۶۵
شکل ۳-۱۷: مبدل افزاینده با فیلتر ورودی؛ (الف) مدار معادل؛ (ب) مدل گراف جریان سیگنال کوچک ۶۹
شکل ۳-۱۸: مبدل کاهنده با فیلتر ورودی؛ (الف) مدار معادل؛ (ب) مدل گراف جریان سیگنال کوچک ۷۱
شکل ۳-۱۹: مبدل کاهنده- افزاینده با فیلتر خروجی؛ (الف) مدار معادل؛ (ب) مدل گراف جریان سیگنال کوچک ۷۴
شکل ۳-۲۰: مدار معادل مبدل Zeta ۸۳
شکل ۳-۲۱: گراف سیگنال جریان مبدل Zeta ۸۷
شکل ۳-۲۲: (الف) نمودار مکان هندسی ریشه‌ها؛ (ب) دیاگرام بود تابع تبدیل $\tilde{v}_o/\tilde{v}_i$ مبدل Zeta ۸۹
شکل ۳-۲۳: (الف) نمودار مکان هندسی ریشه‌ها؛ (ب) دیاگرام بود تابع تبدیل $\tilde{v}_o/\tilde{d}$ مبدل Zeta ۹۰
شکل ۳-۲۴: مبدل Luo چهار ناحیه‌ای؛ (الف) حالت کاری مستقیم؛ (ب) حالت کاری معکوس ۹۲
شکل ۳-۲۵: مبدل Luo در حالت کاری A؛ (الف) کلید S_1 روشن و دیود D_2 خاموش،
(ب) کلید S_1 خاموش و دیود D_2 روشن ۹۳
شکل ۳-۲۶: گراف سیگنال جریان مبدل Luo چهار ناحیه‌ای در حالت کاری A ۹۵
شکل ۳-۲۷: مبدل Luo در حالت کاری B؛ (الف) کلید S_2 روشن و دیود D_1 خاموش،
(ب) کلید S_2 خاموش و دیود D_1 روشن ۹۷
شکل ۳-۲۸: گراف سیگنال جریان مبدل Luo چهار ناحیه‌ای در حالت کاری B ۹۸
شکل ۳-۲۹: مبدل Luo در حالت کاری C؛ (الف) کلید S_1 روشن و دیود D_2 خاموش،

(ب) کلید S_1 خاموش و دیود D_2 روشن ۹۹
شکل ۳-۳۰: گراف سیگنال جریان مبدل Luo چهار ناحیه‌ای در حالت کاری C ۱۰۱
شکل ۳-۳۱: مبدل Luo در حالت کاری D؛ (الف) کلید S_2 روشن و دیود D_1 خاموش،
(ب) کلید S_2 خاموش و دیود D_1 روشن ۱۰۲
شکل ۳-۳۲: گراف سیگنال جریان مبدل Luo چهار ناحیه‌ای در حالت کاری D ۱۰۳
شکل ۳-۳۳: مکان هندسی ریشه‌های تابع تبدیل؛ (الف) $\tilde{v}_o/\tilde{v}_i$ ؛ (ب) $\tilde{v}_o/\tilde{d}$ مبدل Luo در حالت کاری A ۱۰۵
شکل ۳-۳۴: دیاگرام بود تابع تبدیل؛ (الف) $\tilde{v}_o/\tilde{v}_i$ ؛ (ب) $\tilde{v}_o/\tilde{d}$ مبدل Luo در حالت کاری A ۱۰۶
شکل ۳-۳۵: (الف) مکان هندسی ریشه‌ها؛ (ب) دیاگرام بود تابع تبدیل $\tilde{v}_o/\tilde{v}_2$ مبدل Luo در حالت کاری B ۱۰۶
شکل ۳-۳۶: مکان هندسی ریشه‌های تابع تبدیل؛ (الف) $\tilde{v}_o/\tilde{v}_i$ ؛ (ب) $\tilde{v}_o/\tilde{d}$ مبدل Luo در حالت کاری C ۱۰۷
شکل ۳-۳۷: دیاگرام بود تابع تبدیل؛ (الف) $\tilde{v}_o/\tilde{v}_i$ ؛ (ب) $\tilde{v}_o/\tilde{d}$ مبدل Luo در حالت کاری D ۱۰۸
شکل ۳-۳۸: (الف) مکان هندسی ریشه‌ها؛ (ب) دیاگرام بود تابع تبدیل $\tilde{v}_o/\tilde{v}_2$ مبدل Luo در حالت کاری D ۱۰۸
شکل ۳-۳۹: مدار معادل قدرت مبدل کاهنده-افزاینده ۱۰۹
شکل ۳-۴۰: مبدل کاهنده-افزاینده؛ (الف) کلید S روشن و دیود D خاموش؛ (ب) کلید S خاموش و دیود D روشن ۱۱۰
شکل ۳-۴۱: گراف سیگنال جریان مبدل کاهنده-افزاینده ۱۱۱
شکل ۳-۴۲: نمودار مکان هندسی ریشه‌ها برای تابع تبدیل؛ (الف) $\tilde{v}_o/\tilde{v}_g$ ؛ (ب) $\tilde{v}_o/\tilde{d}$ با $R_L = 0.25\Omega$ ۱۱۲
شکل ۳-۴۳: دیاگرام بود تابع تبدیل؛ (الف) $\tilde{v}_o/\tilde{v}_g$ ؛ (ب) $\tilde{v}_o/\tilde{d}$ با $R_L = 0.25\Omega$ ۱۱۳
شکل ۳-۴۴: پاسخ پله سیستم حلقه باز ۱۱۴
شکل ۳-۴۵: ساختار کل سیستم با کنترل کننده فیدبک حالت کامل ۱۱۴
شکل ۳-۴۶: پاسخ پله سیستم کنترل شده با فیدبک حالت کامل ۱۱۶
شکل ۳-۴۷: دیاگرام بود سیستم $\tilde{v}_o/\tilde{d}$ بعد از اعمال جبرانساز فیدبک طراحی شده ۱۱۶
شکل ۳-۴۸: دیاگرام بود سیستم $\tilde{v}_o/\tilde{d}$ بعد از اعمال جبرانساز فیدبک طراحی شده ۱۱۶
شکل ۳-۴۹: نمودار مکان هندسی ریشه‌های؛ (الف) $\tilde{v}_o/\tilde{v}_g$ بدون R_L ؛ (ب) $\tilde{v}_o/\tilde{v}_g$ در حضور $R_L = 0.25\Omega$ ؛
(ج) $\tilde{v}_o/\tilde{d}$ بدون R_L ؛ (د) $\tilde{v}_o/\tilde{d}$ در حضور $R_L = 0.25\Omega$ ۱۱۸
شکل ۳-۵۰: دیاگرام‌های بود؛ (الف) $\tilde{v}_o/\tilde{v}_g$ ؛ (ب) $\tilde{v}_o/\tilde{d}$ با تغییر R_L و $D = 0.355$ ۱۱۹
شکل ۳-۵۱: دیاگرام بود؛ (الف) $\tilde{v}_o/\tilde{v}_g$ ؛ (ب) $\tilde{v}_o/\tilde{d}$ با تغییر R_L و $D = 0.62$ ۱۲۱
شکل ۳-۵۲: تغییرات راندمان مبدل بر حسب نرخ کلیدزنی برای ۷ مقدار مختلف R_L/R ۱۲۲
شکل ۳-۵۳: مدار قدرت معادل مبدل Cuk ۱۲۳
شکل۳-۵۴: مدهای کاری مبدل؛ (الف) کلید S روشن و دیود D خاموش (ب) کلید S خاموش و دیود D روشن ۱۲۴
شکل ۳-۵۵: گراف سیگنال جریان مبدل Cuk ۱۲۴

شکل ۳-۵۶: گراف جریان سیگنال کوچک مبدل Cuk ۱۲۵
شکل ۳-۵۷: فرآیند ساده سازی گراف جریان سیگنال کوچک مبدل Cuk ۱۲۵
شکل ۳-۵۸: گراف جریان سیگنال بزرگ مبدل Cuk ۱۲۷
شکل ۳-۵۹: گراف جریان سیگنال حالت ماندگار مبدل Cuk ۱۲۷
شکل ۳-۶۰: گراف سیگنال جریان مبدل Cuk به دست آمده از روش پیشنهادی ۱۲۹
شکل ۳-۶۱: (الف) مکان صفر و قطب‌های سیستم حلقه باز؛ (ب) مکان هندسی ریشه‌های سیستم حلقه باز ۱۳۰
شکل ۳-۶۲: (الف) دیاگرام بود سیستم حلقه باز؛ (ب) منحنی نایکوییست سیستم حلقه باز ۱۳۱
شکل ۳-۶۳: بلوک دیاگرام مساله کنترلی H_∞ ۱۳۱
شکل ۳-۶۴: بلوک دیاگرام سیستم کنترل فیدبک با حضور چندین عدم قطعیت ۱۳۲
شکل ۳-۶۵: دیاگرام روش طراحی حساسیت ترکیبی تبدیل شده به کنترل کننده استاندارد H_∞ ۱۳۳
شکل ۳-۶۶: (الف) مکان هندسی ریشه‌ها؛ (ب) دیاگرام بود سیستم حلقه بسته با اعمال کنترل کننده H_∞ ۱۳۵
شکل ۳-۶۷: دیاگرام بود سیستم حلقه بسته در مقایسه با سیستم حلقه باز ۱۳۵
شکل ۳-۶۸: دیاگرام نایکوییست سیستم حلقه بسته ۱۳۶
شکل ۴-۱: مبدل الکترونیک قدرت به کار گرفته شده با حضور بانک باتری، و فراخازن ۱۴۰
شکل ۴-۲: مبدل الکترونیک قدرت در حالت؛ (الف) افزاینده، (ب) کاهنده ۱۴۰
شکل ۴-۳: دیاگرام مداری سیستم انرژی مورد بحث ۱۴۱
شکل ۴-۴: حالت کلیدزنی با روشن بودن کلید S_1 و خاموشی کلید S_2 ۱۴۱
شکل ۴-۵: حالت کلیدزنی با روشن بودن کلید S_2 و خاموشی کلید S_1 ۱۴۲
شکل ۴-۶: مدار مبدل مورد بحث با $V_i = 0$ ۱۴۴
شکل ۴-۷: گراف سیگنال جریان مبدل برای؛ (الف) دو مد کاری اول، (ب) مد کاری سوم ۱۴۶
شکل ۴-۸: پاسخ پله جریان فراخازن برای؛ (الف) دو مد کاری اول(حالت موتوری)،
(ب) مد کاری سوم (حالت ترمز ژنراتوری) ۱۴۹
شکل ۴-۹: نمودار مکان هندسی ریشه‌ها؛ (الف) دو مد کاری اول(حالت موتوری)، (ب) مد کاری سوم (حالت ترمز ژنراتوری)، دیاگرام بود؛ (ج) دو مد کاری اول(حالت موتوری)، (د) مد کاری سوم (حالت ترمز ژنراتوری) ۱۵۰
شکل ۴-۱۰: سیستم انرژی مفروض برای طراحی کنترل کننده ۱۵۱
شکل ۴-۱۱: بلوک دیاگرام سیستم انرژی خودروی برقی ۱۵۲
شکل ۴-۱۲: دیاگرام مداری سیستم بار الکترونیکی و بانک باتری ۱۵۲
شکل ۴-۱۳: بلوک دیاگرام کنترلی سیستم مدیریت انرژی ۱۵۳
شکل ۴-۱۴: پاسخ حلقه باز سیستم انرژی ۱۵۴
شکل ۴-۱۵: پاسخ پله سیستم حلقه بسته ۱۵۵

شکل ۴-۱۶: (الف) جریان فراخازن، (ب) ولتاژ فراخازن با تابع محدود کننده و بدون تابع محدود کننده ۱۵۶
شکل ۴-۱۷: بلوک دیاگرام کنترل سیستم انرژی ۱۵۷
شکل ۴-۱۸: (الف) جریان و ولتاژ فراخازن، (ب) جریان باتری؛ با جریان بار ۶۰ آمپر ۱۵۸
شکل ۴-۱۹: جریان باتری با جریان بار۶۰- آمپر ۱۵۸
شکل ۴-۲۰: پاسخ حدی با جریان بار سینوسی ۱۵۸
شکل ۴-۲۱: پاسخ پله تابع فیلتر ۱۵۹
شکل ۴-۲۲: جریان فراخازن؛ (الف) بدون فیلتر، (ب) با فیلتر پایین گذر، (ج) ولتاژ فراخازن، (د) جریان باتری؛
برای جریان بار۶۰ آمپر با افزوده شدن فیلتر ۱۵۹
شکل ۴-۲۳: (الف) جریان فراخازن، (ب) ولتاژ فراخازن، (ج) جریان باتری؛با جریان بار۶۰- آمپر (با تابع فیلتر) ۱۶۰
شکل ۴-۲۴: (الف) جریان و ولتاژ فراخازن، (ب) جریان باتری؛ با جریان بار سینوسی و با افزوده شدن تابع فیلتر ۱۶۰
شکل ۴-۲۵: ولتاژ و جریان فراخازن با جریان بار ۲۰۰ آمپر؛ (الف) بافیلتر، (ب) بدون فیلتر، (ج) ولتاژ فراخازن ۱۶۱
شکل ۴-۲۶: جریان باتری با جریان بار ۲۰۰ آمپر؛ (الف) با فیلتر، (ب) بدون فیلتر ۱۶۲
شکل ۴-۲۷: بلوک دیاگرام کنترلی سیستم بار الکترونیکی ۱۶۲
شکل ۴-۲۸: (الف) ساختار سیستم مدیریت انرژی مرسوم، (ب) ساختارسیستم مدیریت انرژی دیگر ۱۶۷
شکل ۴-۲۹: جریان سیستم مدیریت انرژی در؛ (الف) سیستم مرسوم، (ب) سیستم دوم ۱۶۷
شکل ۴-۳۰: دیاگرام مداری سیستم انرژی در حضور بار موتوری ۱۶۸
شکل ۴-۳۱: گراف سیگنال جریان سیستم انرژی در حضور بار موتوری ۱۷۰
شکل ۴-۳۲: سیکل رانندگی نمونه ۱۷۱
شکل ۴-۳۳: نتایج حاصل از اعمال سیکل رانندگی نمونه؛ (الف) جریان خروجی مبدل، (ب) جریان فراخازن،
(ج) جریان باتری، (د) ولتاژ فراخازن، (و) ولتاژ باتری، (ه) جریان موتور الکتریکی، (ی) ولتاژ موتور الکتریکی ۱۷۲
شکل ۴-۳۴: مقایسه توان باتری، فراخازن و بار موتوری در طول سیکل رانندگی نمونه ۱۷۲

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۲-۱: پارامترهای خودرو ۹
جدول ۲-۲: اطلاعات استخراج شده از دیاگرام بود ۱۱
جدول ۲-۳: مقایسه اطلاعات فرکانسی حاصل از مدل سیستم و دیاگرام بود با یکدیگر ۱۴
جدول ۲-۴: مشخصات موتورهای تعبیه شده در چرخ ۲۷
جدول ۲-۵: کاربردهای مبدل‌های dc-dc در خودروهای برقی ۴۲
جدول ۳-۱: ضرایب انتقال شاخه‌های متغیر ۶۳
جدول ۳-۲: توابع تبدیل استخراج شده برای مبدل Zeta از روش مدلسازی پیشنهادی ۸۷
جدول ۳-۳: مقادیر پارامترهای مبدل Zeta برای شبیه سازی ۸۸
جدول ۳-۴: اطلاعات به دست آمده از صفرها و قطب‌های تابع تبدیل $\tilde{v}_o/\tilde{v}_i$ مبدل Zeta ۸۹
جدول ۳-۵: اطلاعات به دست آمده از صفرها و قطب‌های تابع تبدیل $\tilde{v}_o/\tilde{d}$ مبدل Zeta ۹۰
جدول ۳-۶: مراحل استخراج توابع تبدیل مبدل Luo در حالت کاری A از روش مدلسازی پیشنهادی ۹۶
جدول ۳-۷: معادلات حالت، انجام متوسط گیری و خطی‌سازی روی آن‌ها حالت کاری B ۹۷
جدول ۳-۸: مراحل استخراج توابع تبدیل مبدل Luo در حالت کاری B از روش مدلسازی پیشنهادی ۹۸
جدول ۳-۹: معادلات حالت، انجام متوسط گیری و خطی‌سازی روی آن‌ها حالت کاری C ۱۰۰
جدول ۳-۱۰: مراحل استخراج توابع تبدیل مبدل Luo در حالت کاری C از روش مدلسازی پیشنهادی ۱۰۱
جدول ۳-۱۱: معادلات حالت، انجام متوسط گیری و خطی‌سازی روی آن‌ها حالت کاری D ۱۰۲
جدول ۳-۱۲: مراحل استخراج توابع تبدیل مبدل Luo در حالت کاری D از روش مدلسازی پیشنهادی ۱۰۴
جدول ۳-۱۳: مقادیر پارامترهای مبدل Luo جهت استفاده در شبیه سازی ۱۰۴
جدول ۳-۱۴: اطلاعات به دست آمده از صفر و قطب‌های تابع تبدیل $\tilde{v}_o/\tilde{v}_i$ و $\tilde{v}_o/\tilde{d}$ مبدل Luo در حالت کاری A ۱۰۵
جدول ۳-۱۵: اطلاعات به دست آمده از صفرها و قطب‌های تابع تبدیل $\tilde{v}_o/\tilde{v}_2$ مبدل Luo در حالت کاری B ۱۰۶
جدول ۳-۱۶: اطلاعات به دست آمده از صفر و قطب‌های تابع تبدیل $\tilde{v}_o/\tilde{v}_1$ و $\tilde{v}_o/\tilde{d}$ مبدل Luo در حالت کاری C ۱۰۷
جدول ۳-۱۷: اطلاعات به دست آمده از صفرها و قطب‌های تابع تبدیل $\tilde{v}_o/\tilde{v}_2$ مبدل Luo در حالت کاری D ۱۰۹
جدول ۳-۱۸: معادلات حالت، متوسط گیری و خطی‌سازی آن‌ها برای مدهای کاری مبدل کاهنده-افزاینده ۱۱۰
جدول ۳-۱۹: مراحل استخراج توابع تبدیل مبدل کاهنده- افزاینده بدون مقاومت پارازیتیک و در حضور مقاومت پارازیتیک با استفاده از روش مدلسازی پیشنهادی ۱۱۱
جدول ۳-۲۰: پارامترهای مورد استفاده در شبیه‌سازی مبدل کاهنده- افزاینده ۱۱۲
جدول ۳-۲۱: اطلاعات به دست آمده از صفرها و قطب‌های توابع تبدیل مبدل کاهنده- افزاینده ۱۱۳

جدول ۳-۲۲: مدل سیگنال کوچک و حالت ماندگار مبدل کاهنده- افزاینده بدون مقاومت پارازیتیک سلف و با آن ۱۱۷
جدول ۳-۲۳: اطلاعات صفر و قطب‌های توابع تبدیل مبدل کاهنده- افزاینده با تغییر R_L و $D=0.355$ ۱۱۸
جدول ۳-۲۴: اطلاعات به دست آمده از دیاگرام بود توابع تبدیل مبدل با تغییر R_L و $D=0.355$ ۱۱۹
جدول ۳-۲۵: اطلاعات به دست آمده از صفر و قطب‌های مدل به دست آمده با تغییر R_L و $D=0.62$ ۱۲۰
جدول ۳-۲۶: اطلاعات به دست آمده از دیاگرام‌های بود توابع تبدیل مدل با تغییر R_L و $D=0.62$ ۱۲۱
جدول ۳-۲۷: اطلاعات مسیر پیشرو و حلقه‌های گراف و استخراج توابع تبدیل مبدل Cuk از روش مرسوم ۱۲۵
جدول ۳-۲۸: معادلات حالت، انجام متوسط گیری و خطی‌سازی روی آن‌ها در هر دو حالت کاری مبدل Cuk ۱۲۸
جدول ۳-۲۹: معادلات dc و ac استخراج شده از روابط خطی‌سازی ۱۲۸
جدول ۳-۳۰: مراحل استخراج توابع تبدیل مبدل Cuk با استفاده از روش مدلسازی پیشنهادی ۱۲۹
جدول ۳-۳۱: پارامترهای به کار رفته در شبیه سازی ۱۳۰
جدول ۴-۱: مراحل استخراج تابع تبدیل و مدل مدار قدرت مبدل در مد کاری سوم ۱۴۸
جدول۴-۲: پارامترهای مبدل کاهنده-افزاینده دوسویه برای شبیه سازی ۱۴۹
جدول ۴-۳: پارامترهای به کار رفته در شبیه سازی ۱۵۴
جدول ۴-۴: مراحل استخراج تابع تبدیل و مدل مدار قدرت سیستم انرژی در حضور بار موتوری ۱۷۰

فصل اول

مقدمه

۱-۱ مقدمه

مبدل‌های الکترونیک قدرت ترکیبی از المان‌های با رفتار پیوسته و کلیدها می‌باشند که المان‌های با رفتار پیوسته منجر به تولید دینامیک پیوسته و کلیدها نیز عامل ایجاد دینامیک گسسته می‌باشند. مبدل‌های dc-dc دسته‌ای از مبدل‌های الکترونیک قدرت هستند که به دلیل داشتن مزایایی مانند وزن سبک، حجم کم و قابلیت اطمینان بالا به صورت گسترده‌ای در کاربردهای مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرند. معادلات مداری توصیف کننده مبدل‌های الکترونیک قدرت، ساختاری غیرخطی دارند. تحلیل مبدل و طراحی کنترل کننده بر مبنای معادلات غیرخطی بسیار دشوار است. اگرچه مبدل دارای کلید، یک سیستم غیرخطی می‌باشد ولی می‌توان آن را به دو مدار خطی در حالت کلید روشن و حالت کلید خاموش تجزیه نمود. این دو مدار خطی را می‌توان به وسیله گراف سیگنال جریان نشان داد. گراف سیگنال جریان کل مبدل را نیز می‌توان از ترکیب دو گراف مدار حالت روشن و مدار حالت خاموش و از طریق شاخه‌های کلیدزنی به دست آورد. شاخه‌های کلیدزنی تنها اجزای غیرخطی مبدل‌ها می‌باشند بنابراین کار مدلسازی به شاخه‌های کلیدزنی محدود می‌گردد. از این رو در این رساله روش مدلسازی گراف جهت مطالعه رفتار غیرخطی و دینامیکی مبدل‌های الکترونیک قدرت dc-dc به کار گرفته می‌شود. در این رساله یک مبدل فرکانس ثابت از نوع کاهنده-افزاینده دو سویه جهت مدیریت انرژی خودروی برقی مورد بررسی و مدل‌سازی قرار می‌گیرد. این مبدل از جمله مبدل‌های الکترونیک قدرت می‌باشد که در فناوری‌های اخیر بسیار مورد توجه محققین و صنعتگران بوده است. به ویژه در کاربردهای خودرو برقی و خودروهای هیبرید کاربرد فراوان دارد.

با کاهش ذخایر سوخت فسیلی و همچنین افزایش آلودگی هوا خودروهای برقی بعد از گذشت سال‌ها مجددا مورد توجه صنایع و پژوهشگران قرار گرفته اند. در سال‌های اخیر تحقیقات بسیاری در سراسر جهان روی بخش‌های مختلف خودروهای برقی انجام شده است که می‌توان به طراحی ساختار خودرو و بررسی پایداری آن، سیستم کنترل کشش خودرو، ماشین‌های الکتریکی، کنترل ماشین‌های الکتریکی، طراحی و کنترل مبدل‌های الکترونیک قدرت، سیستم انرژی خودرو و مدیریت آن اشاره کرد. هم‌چنین با جایگزین کردن ترمز مکانیکی با ترمز الکتریکی و استفاده از مبدل-های الکترونیک قدرت دو سویه سیستم انرژی خودرو به طور محسوس بهبود یافته است.

برای داشتن مدیریت مناسب روی سیستم انرژی با حضور ادوات بازگرداننده انرژی در حین ترمز باید به دنبال مدلی بود که به واسطه آن الگوریتم‌های کنترلی طراحی شده و مدیریت سیستم انرژی انجام پذیرد. تاکنون روش‌های مختلفی برای مدلسازی سیستم انرژی در خودروهای برقی به کار گرفته شده‌اند. اصلی‌ترین بخش سیستم انرژی با قابلیت بازگشت انرژی در هنگام ترمز، مبدل dc-dc دو سویه می‌باشد. مبدل dc-dc دو سویه در یک خودروی برقی یا هیبرید گاهی تحت عنوان مبدل مدیریت انرژی نیز نامیده می‌شود. این مبدل یک مبدل توان بالا است که باتری با ولتاژ بالا را در یک ولتاژ پایین‌تر با لینک dc ولتاژ بالا ارتباط می‌دهد. وظیفه دیگر مبدل dc-dc بهینه‌سازی عملکرد سیستم محرکه، کاهش ریپل جریان باتری، ثابت نگه‌داشتن ولتاژ لینک dc و عملکرد توان بالای محرکه می‌باشد. هدف سیستم مدیریت انرژی، کنترل جریان و در نتیجه کنترل توان در سیستم انرژی در راستای حفاظت باتری‌ها از پیک توان و طولانی‌تر نمودن عمر باتری‌ها می‌باشد. فراخازن‌ها یا خازن‌های الکتروشیمیایی دولایه با توان ویژه بالا را می‌توان به عنوان تجهیزات ذخیره‌ساز کمکی به کار برد که به عنوان یک بافر بین باتری‌ها و محرکه‌های الکتریکی به کار می-روند و می‌توانند در بازیابی انرژی ترمزی و افزایش مسافت قابل پیمایش خودرو موثر باشند. ساده‌ترین مدار مدیریت