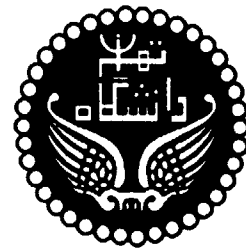
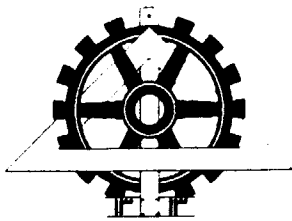


بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

٣٤٩٤٣

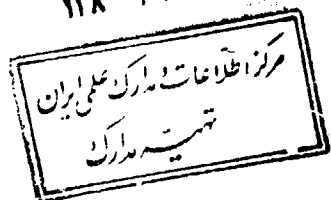


دانشگاه تهران

دانشکده فنی

گروه مهندسی برق و کامپیوتر

۲۰ / ۱۴۱ / ۱۳۸۰



عنوان:

طراحی و بهینه‌سازی باتری - شارژر مقاوم مجهز به اصلاح کننده ضریب توان

نگارش:

امیرناصر یزدانی

012157

استاد راهنما:

دکتر شاهرخ فرهنگی

استاد مشاور:

دکتر علی خاکی صدیق

رساله برای دریافت درجه کارشناسی ارشد مهندسی برق گرایش کنترل

خردادماه ۱۳۸۰

۳۴۹۶۳

دانشگاه تهران
دانشکده فنی، گروه مهندسی برق و کامپیوتر

عنوان:

طراحی و بهینه‌سازی باتری - شارژر مقاوم مجهز به اصلاح کننده ضریب توان

رساله برای دریافت درجه کارشناسی ارشد مهندسی برق، گرایش کنترل

از این پایان‌نامه در تاریخ ۱۳۸۰/۳/۲۸ در مقابل هیئت داوران، دفاع به عمل آمده و مورد
تصویب قرار گرفت.

محل امضاء

دکتر محمدعلی بنی‌هاشمی
دکتر محمود کمره‌ای
دکتر جواد فیض
دکتر شاهرخ فرهنگی
دکتر علی خاکی صدیق
دکتر پرویز جبه‌دار مارالانی
دکتر سعید افشارنیا
دکتر حسن منصف
دکتر محمدرضا ذوالقدری

سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده فنی
مدیر گروه آموزشی
سرپرست تحصیلات تکمیلی گروه
استاد راهنما
استاد مشاور
عضو هیئت داوران
عضو هیئت داوران
عضو هیئت داوران
عضو هیئت داوران

تقدیر

هنگامی که پس از چند سال وقفه، با پذیرفته شدن در کنکور کارشناسی ارشد و ثبت نام در دانشکده فنی دانشگاه تهران، دوره تحصیلات تکمیلی را آغاز کردم، رسیدن به پایان دوره و انجام وظایف محوله، برایم کاری سخت دشوار می نمود. اینک که به مدد و فضل خدای، به پایان دوره رسیده ام بر خود فرض می دانم که از کسانی که مرا در انجام این مهم یاری داده اند سپاسگزاری کنم که:

من لم یشکر المخلوق، لم یشکر الخالق

نخست از همسر مهربانم به دلیل همیاری و همکاری مداوم و خستگی ناپذیرش تشکر می کنم. این دوره به تشویق او شروع شد و با شکیبایی او به پایان رسید. بدون شک، بدون کمک های بی دریغ او به پایان رساندن این دوره هرگز میسر نمی نمود.

سپاس دوم، نثار استاد فرهیخته و گرامیم جناب آقای دکتر شاهرخ فرهنگی می باشد که راهنمایی های ایشان همواره دلیل راهم بوده است. هدایت پروژه کارشناسی ارشد و شکیبایی ایشان در برخورد با کاستی های این حقیر شایان تقدیر و تشکر فراوان است. در این دوره مطالب بسیاری از ایشان آموخته ام و آشنایی با نظریه Circuit Averaging، مدلسازی دینامیکی مبدل های الکترونیک قدرت، کاربرد کنترل در سیستم های الکترونیک صنعتی و مفاهیم پردازش توان و انرژی الکتریکی را به ایشان مدیونم.

سوم، از جناب آقای دکتر علی خاکی صدیق که زحمت مشاوره پروژه را بر عهده داشته اند تشکر می کنم. گذراندن چند درس در دوره کارشناسی ارشد، برای اینجانب فرصت مغتنمی جهت استفاده از محضر ایشان بود.

همچنین، از استاد ارجمند و پیش کسوت مهندسی برق ایران، جناب آقای دکتر پرویز جبه دار مارالانی تشکر می کنم. ایشان که خود را وقف آموزش فرزندان این مرز و بوم کرده اند، زحمت هدایت درس سمینار این جانب را بر عهده داشته اند و راهنمایی های ایشان در مورد نحوه پژوهش و تهیه گزارشات علمی، برای اینجانب بسیار ثمربخش بوده است. حضور ایشان در دانشکده از اوایل صبح تا به دیر هنگام عصر موجب دلگرمی و تشویق دانشجویان است. و نیز از دوست عزیزم جناب آقای مهندس منصور تبری که با ارائه تجربیات خود همواره مرا در طول این دوره یاری داده اند تشکر می کنم.

چکیده

طراحی و بهینه‌سازی یک باتری-شارژر مقاوم مجهز به اصلاح‌کننده ضریب توان، در این رساله انجام شده است. استفاده از تکنیک‌های کلیدزنی نرم و مقاومت سیستم حلقه بسته در برابر تغییرات پارامترها و اختلالات ولتاژ باتری و خط در این پروژه مورد نظر بوده است. برای احتراز از تبدیل انرژی در دو مرحله، باتری-شارژر و اصلاح‌کننده ضریب توان برای اولین بار در هم ادغام شده‌اند، که علاوه بر کاهش حجم و افزایش بازده به اقتصادی شدن طرح نیز کمک می‌کند.

مبدل تشدید موزی به عنوان مبدل قدرت و روش متوسط‌گیری فضای حالت تعمیم‌یافته به عنوان روش مدلسازی دینامیکی انتخاب شده‌اند.

برای طراحی بخش قدرت، یک روند بهینه‌سازی کامپیوتری توسعه داده شده است. به کمک این روند، می‌توان مقادیر عناصر مبدل قدرت بهینه را تعیین کرد. بدین ترتیب طراح از بکارگیری منحنی‌های مشخصه عملکردی مبدل و خطای ناشی از برآزش بی‌نیاز می‌شود.

برای سیستم کنترل حلقه بسته، از روش کنترل متوالی استفاده شده است. کنترل‌کننده حلقه داخلی، یک کنترل‌کننده تطبیقی مدل مرجع بوده که پایداری آن به کمک یک تابع لیاپانوف که در رساله ارائه شده است تضمین می‌گردد. کنترل‌کننده حلقه خارجی از نوع خطی انتخاب شده است. پیاده‌سازی کنترل‌کننده ساده بوده، با مدارات آنالوگ معمولی قابل ساخت است.

عملکرد موفق سیستم حلقه بسته، در شرایط مختلف، از نظر ولتاژ تغذیه و نحوه شارژ باتری، به کمک شبیه‌سازی نشان داده شده است.

۱	فصل اول : مقدمه
۶	فصل دوم : مروری بر سیستم‌های اصلاح‌کننده ضریب توان و باتری-شارژر
۶	۱-۲- مقدمه
۶	۲-۲- اصلاح‌کننده ضریب توان یا PFC
۲۴	۳-۲- باتری-شارژر
۲۴	۱-۳-۲- باتری
۲۵	۲-۳-۲- روش‌های شارژ باتری‌های ثانویه
۲۵	۱-۲-۳-۲- شارژ با ولتاژ ثابت
۲۵	۲-۲-۳-۲- شارژ با جریان ثابت
۲۶	۳-۲-۳-۲- شارژ دو مرحله‌ای
۲۷	۳-۳-۲- مدارات باتری-شارژر
۳۹	۴-۲- خلاصه

۴۰	فصل سوم : مروری بر مدل‌سازی دینامیکی و کنترل مبدل‌های تشدید
۴۰	۳-۱- مقدمه
۴۲	۳-۲- مدل‌سازی دینامیکی مبدل‌های تشدید
۴۲	۳-۲-۱- مدل‌سازی دینامیکی مبدل‌های تشدید با روش متوسط‌گیری فضای حالت
۴۸	۳-۲-۱-۱- مدل ریاضی مبدل SRC
۴۸	۳-۲-۱-۲- متوسط‌گیری از مدل ریاضی
۵۱	۳-۲-۱-۳- ارزیابی مدل‌سازی
۵۳	۳-۲-۲- مدل‌سازی دینامیکی مبدل‌های تشدید با روش متوسط‌گیری فضای حالت تعمیم یافته
۵۵	۳-۲-۲-۱- مبدل تشدید سری با بار منبع ولتاژ
۵۹	۳-۲-۲-۲- مبدل تشدید سری با بار خازن-مقاومت
۶۱	۳-۳- کنترل مبدل‌های تشدید
۶۲	۳-۳-۱- انواع روش‌های کنترل
۶۲	۳-۳-۱-۱- کنترل کلاسیک
۶۳	۳-۳-۱-۲- روش‌های کنترل مقاوم
۶۳	۳-۳-۱-۳- طراحی کنترل‌کننده مقاوم
۶۷	۳-۳-۱-۳-۳- به روش QFT برای مبدل تشدید سری
۶۷	۳-۳-۱-۳-۳- روش‌های کنترل غیرخطی
۶۸	۳-۳-۱-۳-۳- کنترل یک مبدل تشدید سری-موازی با روش Sliding-mode
۷۳	۳-۴- خلاصه

۷۴	فصل چهارم : طراحی و بهینه‌سازی مبدل قدرت
۷۴	۴-۱- مقدمه
۷۴	۴-۲- معیار انتخاب مبدل قدرت برای باتری-شارژر مجهز به اصلاح‌کننده ضریب توان
۷۶	۴-۳- مبدل تشدید موازی
۷۹	۴-۳-۱- معادلات مبدل تشدید موازی
۸۳	۴-۳-۲- تحلیل عملکرد مبدل تشدید موازی به عنوان PFC
۸۵	۴-۴- تعیین مقادیر عناصر مدار و بهینه‌سازی مبدل تشدید موازی
۸۵	۴-۴-۱- طراحی ترانسفورماتور
۸۶	۴-۴-۲- تلفات عناصر مدار و بازده مبدل تشدید موازی
۸۸	۴-۴-۳- الگوریتم بهینه‌سازی مبدل تشدید موازی
۹۰	۴-۴-۴- تعیین مقادیر عددی عناصر مبدل تشدید موازی
۹۴	۴-۵- شبیه‌سازی مبدل تشدید موازی و ارزیابی طرح

۱۰۶	فصل پنجم : مدلسازی دینامیکی و طراحی سیستم کنترل
۱۰۶	۱-۵- مقدمه
۱۰۶	۲-۵- مدلسازی دینامیکی باتری-شارژر
۱۰۷	۱-۲-۵- مدل ریاضی
۱۰۸	۲-۲-۵- متوسط‌گیری مدل فضای حالت با روش متوسط‌گیری تعمیم‌یافته
۱۱۰	۳-۵- ارزیابی مدلسازی
۱۱۳	۴-۵- بهبود در مدل میانگین
۱۱۶	۵-۵- کنترل‌کننده جریان ورودی
۱۱۷	۱-۵-۵- رفتار دینامیکی جریان ورودی نسبت به فرکانس کلیدزنی
۱۲۰	۲-۵-۵- تحلیل دینامیکی نقطه کار $V_g = 280V, i_f = 50A$
۱۲۲	۳-۵-۵- تحلیل دینامیکی نقطه کار $V_g = 280V, i_f = 1.7A$
۱۲۵	۴-۵-۵- تحلیل دینامیکی نقطه کار $V_g = 326V, i_f = 50A$
۱۲۷	۵-۵-۵- تحلیل دینامیکی نقطه کار $V_g = 326V, i_f = 1.7A$
۱۳۰	۶-۵-۵- تحلیل دینامیکی نقطه کار $V_g \approx 0, i_f \approx 0$
۱۳۲	۷-۵-۵- بررسی مدل‌های دینامیکی در نقاط کار مختلف
۱۳۳	۶-۵- طراحی کنترل‌کننده تطبیقی مدل مرجع برای کنترل جریان ورودی
۱۳۸	۷-۵- کنترل‌کننده جریان شارژ و سیستم کنترل کامل
۱۴۲	۸-۵- شبیه‌سازی و ارزیابی عملکرد سیستم کامل باتری-شارژر مجهز به اصلاح‌کننده ضریب توان

۱۵۹	فصل ششم: نتیجه گیری و پیشنهادات
۱۵۹	۱-۶- نتیجه گیری
۱۶۱	۲-۶- پیشنهادات

ضمایم

۱۶۲	ضمیمه ۱- برنامه بهینه سازی مبدل تشدید موازی با خازن تشدید در اولیه ترانسفورماتور به زبان MATLAB
۱۶۴	ضمیمه ۲- برنامه بهینه سازی مبدل تشدید موازی با خازن تشدید در ثانویه ترانسفورماتور به زبان MATLAB
۱۶۶	ضمیمه ۳- روش برآورد اندوکتانس های مغناطیس کننده و پراکندگی در مدل ساده شده ترانسفورماتور

مرجع [48]- طراحی و بهینه سازی مبدل های تشدید موازی

به منظور استفاده در اصلاح کننده ضریب توان، شاهرخ فرهنگی، امیرناصر یزدانی

مرجع [52]-

Model-Reference Adaptive Control of A Parallel-Resonant Converter for
PFC-Equipped Battery-Charger Application, Shahrokh Farhangi,
Amirnaser Yazdani

فهرست مراجع

- ۷-۱-۲- مدار یکسوساز دیودی متعارف و شکل موج جریان کشیده شده از منبع
- ۸-۲-۲- اختلال ایجاد شده بر روی تغذیه سایر مصرف کننده‌ها، ناشی از جریان پالسی کشیده شده از منبع AC
- ۹-۳-۲- مدار پیشنهادی برای حذف هارمونیک‌های جریان ورودی و افزایش ضریب توان در مرجع [4]
- ۱۱-۴-۲- نمودار بلوکی مبدل با ضریب توان بالا
- ۱۲-۵-۲- شکل موج‌های ولتاژ و جریان ورودی و توان در مبدل با ضریب توان واحد
- ۱۳-۶-۲- مبدل Boost یا بالا برنده ولتاژ
- ۱۴-۷-۲- مبدل Boost با ضریب توان واحد
- ۱۵-۸-۲- شکل موج‌های مبدل Boost با کنترل زمان روشن بودن کلید
- ۱۸-۹-۲- مبدل شبه تشدیدي پیشنهاد شده به عنوان PFC در مرجع [14]
- ۱۹-۱۰-۲- مبدل تشدیدي سری (SRC)
- ۱۹-۱۱-۲- مبدل تشدیدي موازی (PRC)
- ۲۱-۱۲-۲- مبدل تشدیدي سری-موازی (SPRC)
- ۲۷-۱۳-۲- شارژ دو مرحله‌ای برای باتری سرب-اسید
- ۲۹-۱۴-۲- تزویج کننده مغناطیسی برای شارژ خودرو برقی و طریقه استفاده از آن
- ۳۱-۱۵-۲- دیاگرام مداری یک باتری-شارژر 4Kw
- ۳۳-۱۶-۲- دیاگرام مداری یک باتری-شارژر 6Kw
- ۳۶-۱۷-۲- مدل تزویج کننده مغناطیسی و پارامترهای نمونه آن مطابق استاندارد SAEJ-1773
- ۳۷-۱۸-۲- مبدل پیشنهادی برای باتری-شارژر 9Kw
- ۳۹-۱۹-۲- مبدل پیشنهادی برای باتری-شارژر 120Kw
- ۴۳-۱-۳- مبدل تشدیدي سری
- ۴۶-۲-۳- مشخصه بهره ولتاژ بر حسب فرکانس هنجار شده در مبدل SRC

- ۵۱ ۳-۳- پاسخ فرکانسی مبدل برای تابع تبدیل ولتاژ خروجی به فرکانس
- ۵۲ ۴-۳- پاسخ زمانی یکی از متغیرهای حالت و مقایسه با مدل متوسط‌گیری شده
- ۵۵ ۵-۳- مبدل تشدیدی سری با بار منبع ولتاژ
- ۵۸ ۶-۳- پوش جریان و ولتاژ مدار تشدید و انطباق آنها با قله‌های جریان و ولتاژ
- ۵۹ ۷-۳- مبدل تشدیدی سری با بار مقاومتی و صافی خازنی
- ۶۳ ۸-۳- مبدل سری مورد مطالعه در مساله طراحی کنترل‌کننده مقاوم
- ۶۵ ۹-۳- دیاگرام نیکولز با کنترل‌کننده PI
- ۶۵ ۱۰-۳- دیاگرام نیکولز با کنترل‌کننده QFT
- ۶۶ ۱۱-۳- پاسخ حساسیت برای کنترل‌کننده PI بر حسب بارهای مختلف
- ۶۷ ۱۲-۳- پاسخ حساسیت برای کنترل‌کننده QFT بر حسب بارهای مختلف
- ۶۸ ۱۳-۳- مبدل تشدیدی سری-موازی
- ۷۰ ۱۴-۳- مدار معادل متوسط‌گیری شده مبدل
- ۷۱ ۱۵-۳- مقایسه پاسخ‌های مبدل اصلی و مبدل متوسط‌گیری شده
- ۷۲ ۱۶-۳- پاسخ‌های گذرای سیستم کنترل‌شده با روش کنترل مد لغزشی
- ۷۶ ۱-۴- مبدل تشدیدی موازی
- ۸۰ ۲-۴- مدار معادل مبدل تشدیدی موازی در حوزه فرکانس ($n=1$)
- ۸۲ ۳-۴- بهره ولتاژ مبدل تشدیدی بر حسب فرکانس هنجار شده
- ۸۳ ۴-۴- شکل موج‌های ایده‌آل مبدل تشدیدی با شرایط ZVS
- ۹۰ ۵-۴- روندنمای الگوریتم بهینه‌سازی
- ۹۵ ۶-۴- مدار تست دیود MUR1550
- ۹۵ ۷-۴- شکل موج ولتاژ مجموعه دیودی MUR1550 در اثر تغییر خطی جریان از 10A به 60A
- ۹۶ ۸-۴- مدار فرمان و یکسوکننده‌های ورودی
- ۹۷ ۹-۴- اینورتر تمام‌پل

- ۹۷ ۱۰-۴- مبدل موازی و یکسوکننده خروجی
- ۱۰۰ ۱۱-۴- جریان خروجی (شارژ) مبدل و متوسط آن از شروع تا رسیدن به حالت ماندگار
- ۱۰۱ ۱۲-۴- جریان خروجی (شارژ) مبدل و متوسط آن به صورت ZOOM شده
- ۱۰۱ ۱۳-۴- جریان کالکتور IGBT و ولتاژ دو سر آن
- ۱۰۲ ۱۴-۴- شکل جریان کالکتور IGBT و ولتاژ دو سر آن به صورت ZOOM شده
- ۱۰۲ ۱۵-۴- ولتاژ اولیه و ثانویه ترانسفورماتور
- ۱۰۳ ۱۶-۴- جریان سلف تشدید
- ۱۰۳ ۱۷-۴- ولتاژ دو سر مجموعه پنج دیودی یکسوکننده خروجی و جریان آن
- ۱۰۴ ۱۸-۴- فرمان ترانزیستورهای قطر اینورتر و زمان Lock-out مابین آنها
- ۱۰۴ ۱۹-۴- جریان ورودی رکتی فایر پس از عبور از صافی خط
- ۱۰۵ ۲۰-۴- ولتاژ ورودی مبدل (Vline)، جریان ورودی مبدل و جریان خروجی (جریان شارژ)
- ۱۰۷ ۱-۵- مبدل تشدید موازی
- ۱۱۱ ۲-۵- پاسخ جریان شارژ و متوسط پیش‌بینی شده توسط مدل متوسط‌گیری شده به 2% تغییر در فرکانس کلیدزنی
- ۱۱۲ ۳-۵- ولتاژ خازن تشدید و پوش پیش‌بینی شده توسط مدل متوسط‌گیری شده
- ۱۱۳ ۴-۵- جریان سلف تشدید و پوش پیش‌بینی شده توسط مدل متوسط‌گیری شده
- ۱۱۵ ۵-۵- پاسخ جریان شارژ و پوش آن نسبت به تغییر فرکانس کلیدزنی از 45KHz به 45.9KHz
- ۱۱۶ ۶-۵- پاسخ جریان شارژ و پوش آن نسبت به تغییر ولتاژ ورودی از 280V به 300V
- ۱۲۱ ۷-۵- دیاگرام اندازه
- برای تابع تبدیل $\bar{i}_g(s)/\bar{\omega}_s(s)$ در نقطه کار $\hat{V}_g = 280V, i_f = 50A$

- ۸-۵- دیاگرام فاز
 ۱۲۲ برای تابع تبدیل $i_x(s)/\omega_x(s)$ در نقطه کار $i_f = 50.4$ ، $V_g = 280V$
- ۹-۵- دیاگرام اندازه
 ۱۲۴ برای تابع تبدیل $i_x(s)/\omega_x(s)$ در نقطه کار $i_f = 1.7A$ ، $V_g = 280V$
- ۱۰-۵- دیاگرام فاز
 ۱۲۴ برای تابع تبدیل $i_x(s)/\omega_x(s)$ در نقطه کار $i_f = 1.7A$ ، $V_g = 280V$
- ۱۱-۵- دیاگرام اندازه
 ۱۲۶ برای تابع تبدیل $i_x(s)/\omega_x(s)$ در نقطه کار $i_f = 50A$ ، $V_g = 326V$
- ۱۲-۵- دیاگرام فاز
 ۱۲۷ برای تابع تبدیل $i_x(s)/\omega_x(s)$ در نقطه کار $i_f = 50A$ ، $V_g = 326V$
- ۱۳-۵- دیاگرام اندازه
 ۱۲۹ برای تابع تبدیل $i_x(s)/\omega_x(s)$ در نقطه کار $i_f = 1.7A$ ، $V_g = 326V$
- ۱۴-۵- دیاگرام فاز
 ۱۲۹ برای تابع تبدیل $i_x(s)/\omega_x(s)$ در نقطه کار $i_f = 1.7A$ ، $V_g = 326V$
- ۱۵-۵- دیاگرام اندازه
 ۱۳۱ برای تابع تبدیل $i_x(s)/\omega_x(s)$ در نقطه کار $i_f \approx 0A$ ، $V_g \approx 0$
- ۱۶-۵- دیاگرام فاز
 ۱۳۲ برای تابع تبدیل $i_x(s)/\omega_x(s)$ در نقطه کار $i_f \approx 0A$ ، $V_g \approx 0$
- ۱۷-۵- نمودار بلوکی کنترل کننده جریان ورودی
- ۱۸-۵- پاسخ i_x نسبت به تغییرات سریع در i_{sm} (یا k) با کنترل کننده تطبیقی مدل مرجع
 ۱۳۶
- ۱۹-۵- پاسخ i_x نسبت به تغییرات سریع در i_{sm} به ZOOM صورت شده
 ۱۳۷

- ۱۳۸ ۲۰-۵- تغییر سیگنال خطا با تغییر ناگهانی در k
- ۱۳۹ ۲۱-۵- نمودار بلوکی کامل سیستم کنترل باتری-شارژر مجهز به PFC
- ۱۴۵ ۲۲-۵- جریان شارژ در شرایط $\hat{V}_x = 311V, i_f^* = 25A$
- ۱۴۶ ۲۳-۵- جریان ورودی مبدل و k در شرایط $\hat{V}_g = 311V, i_f^* = 25A$
- ۱۴۶ ۲۴-۵- پارامترهای I_1 و I_2 در شرایط $\hat{V}_g = 311V, i_f^* = 25A$
- ۱۴۷ ۲۵-۵- فرکانس کلیدزنی مبدل در شرایط $\hat{V}_g = 311V, i_f^* = 25A$
- ۲۶-۵- فرکانس کلیدزنی مبدل
- ۱۴۸ به صورت ZOOM شده در شرایط $\hat{V}_g = 311V, i_f^* = 25A$
- ۱۴۸ ۲۷-۵- عملکرد PFC در شرایط $\hat{V}_g = 311V, i_f^* = 25A$
- ۱۴۹ ۲۸-۵- جریان شارژ در شرایط $\hat{V}_g = 311V, i_f^* = 1.5A$
- ۱۴۹ ۲۹-۵- جریان ورودی مبدل و k در شرایط $\hat{V}_g = 311V, i_f^* = 1.5A$
- ۱۵۰ ۳۰-۵- پارامترهای I_1 و I_2 در شرایط $\hat{V}_g = 311V, i_f^* = 1.5A$
- ۱۵۰ ۳۱-۵- فرکانس کلیدزنی مبدل در شرایط $\hat{V}_g = 311V, i_f^* = 1.5A$
- ۳۲-۵- فرکانس کلیدزنی مبدل
- ۱۵۱ به صورت ZOOM شده در شرایط $\hat{V}_g = 311V, i_f^* = 1.5A$
- ۱۵۱ ۳۳-۵- عملکرد PFC در شرایط $\hat{V}_g = 311V, i_f^* = 1.5A$
- ۱۵۲ ۳۴-۵- پاسخ جریان خروجی مبدل در شرایط $i_f^* = 25A$ و تغییر پله‌ای در \hat{V}_g از مقدار ۳۱۱V به مقدار ۲۸۰V در لحظه $t=450ms$
- ۱۵۳ ۳۵-۵- عملکرد PFC مبدل در شرایط $i_f^* = 25A$ و تغییر پله‌ای در \hat{V}_g از مقدار ۳۱۱V به مقدار ۲۸۰V در لحظه $t=450ms$