وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
دانشگاه تربیت معلم آذربایجان

دانشکده فنی
گروه مهندسی برق

پایان‌نامه مقطع کارشناسی ارشد
رشته مهندسی برق - قدرت

# طراحی و بکارگیری مبدلهای Z-Source در ادوات Custom Power

استاد راهنما:
دکتر علی عجمی

استاد مشاور:
دکتر شهرام حسین زاده

پژوهشگر:
مصطفی یونسی

مهر / ۱۳۸۸
تبریز/ ایران

بسم الله الرحمن الرحيم

**تقدیم به :**

**پدر و مادر عزیزم**

**آموزگارانی که برایم زندگی بودن و انسان بودن را معنا کردند.**

**تقدیر و تشکر :**

اکنـون که به لطف و یاری خـداوند متعال موفق به اتمام این کار شـده‌ام، جـا دارد کـه از زحمـات و تلاش‌های استاد راهنمای ارجمندم جناب آقای دکتر علی عجمی که اینجانب از راهنمایی‌هـای ایشـان نهایت بهره را برده‌ام، کمال تشکر و قدردانی را به عمل آورم.

مصطفی یونسی

مهرماه ماه یکهزارو سیصد و هشتاد و هشت

تبریز ، ایران

## چکیده

امروزه کیفیت توان هم از طرف شبکه و هم از طرف مصرف کنندگان توجه ویژه ای را به خود جلب کرده و این موضوع به خاطر استفاده بسیار گسترده بارهای حساس و تجهیزات الکترونیکی است که ممکن است تحت اختلالاتی نظیر فلیکر ولتاژ، هارمونیک، کمبود و بیشبود ولتاژ و قطعی های موقت قرار بگیرند. این اختلالات موجب عملکرد نامناسب بارهای حساس، گرمای بیش از حد تجهیزات، خرابی موتورهای الکتریکی، اندازه گیری های نادرست و عملکرد نامناسب تجهیزات محافظتی می شوند. با توجه به این مشکلات، استفاده از روشهای مناسب جهت بهبود کیفیت توان امری ضروری می باشد. از جمله تجهیزاتی که می توانند برای بهبود کیفیت توان در سیستم های توزیع به کار برده شوند، می توان به ادوات Custom Power اشاره کرد. بازیاب دینامیکی ولتاژ (DVR) یکی از این ادوات می باشد که بصورت سری با شبکه قرار گرفته و با تزریق یک ولتاژ مناسب، می تواند بارهای حساس را در برابر مشکلات ولتاژی شبکه حفاظت نماید. ماکزیمم توانایی تزریق ولتاژ DVR به منبع ذخیره ساز انرژی وابسته است. در این پایان نامه، یک توپولوژی مبتنی بر اینورتر تغذیه امپدانسی(Z-Source) برای بهبود دادن مشخصه جبران ولتاژ DVR پیشنهاد شده است. کارآیی بازیاب دینامیکی ولتاژ مبتنی بر مبدل Z-Source هنگامی که شبکه توزیع در معرض کمبود یا بیشبود ولتاژ، هارمونیک میانی، بارهای غیرخطی و خطای تک فاز قرار بگیرد، بررسی شده است. روش کنترل ترکیبی استفاده شده خطاهای فوق را آشکارسازی و جبران می کند. در روش کنترلی ذکر شده، سیستم یک شکل موج ولتاژ مرجع با دامنه مطلوب جهت بار و فرکانس نامی شبکه تولید می کند. زاویه فاز سیگنال مرجع از روش بهینه سازی انرژی جهت مینیمم کردن توان اکتیو تزریقی و جبران ضریب توان بار محاسبه می شود. در این پایان نامه یک روش مدولاسیون بردار فضایی جدید جهت استفاده در اینورترهای Z-Source که نوانایی کنترل ولتاژ لینک dc را نیز دارد پیشنهاد شده است. همچنین برای ایجاد ولتاژ خروجی چند سطحه در اندیسهای مدولاسیون پایین با استفاده از اینورتر Z-Source راهکار جدید ارائه گردیده است.

**کلمات کلیدی** : کیفیت توان، بازیاب دینامیکی ولتاژ ( DVR )، اینورتر Z-Source، روش کنترل بهینه ساز انرژی،

فهرست مطالب

عنوان | صفحه


فهرست جداول ..... ح
فهرست شکل ها ..... خ
چکیده ..... یک
مقدمه ..... ۱

**فصل اول: انواع اغتشاشات در سیستم قدرت و راههای کاهش اثرات آنها**

۱ – ۱: مقدمه ..... ۵
۱ – ۲: تعریف کیفیت توان ..... ٦
۱ – ۳: دسته بندی مسائل کیفیت توان ..... ۷
۱ – ۳ – ۱: گذراها ..... ۷
۱ – ۳ – ۲: تغییرات کوتاه مدت ..... ۹
۱ – ۳ – ۳: تغییرات بلند مدت ..... ۱۲
۱ – ۳ – ٤: نامتعادلی ولتاژ ..... ۱۳
۱ – ۳ – ۵: اعوجاج شکل موج ..... ۱٤
۱ – ۳ – ٦: فلیکر ولتاژ ..... ۱۸
۱ – ٤: راه حل های افزایش کیفیت توان ..... ۱۸
۱ – ٤ – ۱: مروری بر ادوات Custom Power ..... ۱۹
۱ – ٤ – ۱ – ۱: جبرانگر استاتیک D-STATCOM ..... ۲۰
۱ – ٤ – ۲ – ۲: بازیاب دینامیکی ولتاژ DVR ..... ۲۱

**فصل دوم: مدل سازی و کنترل بازیاب دینامیکی ولتاژ DVR**

۲ – ۱: مقدمه ..... ۲٤
۲ – ۲: ساختار DVR ..... ۲٤
۲ – ۲ – ۱: واحد ذخیره ساز انرژی ..... ۲۵
۲ – ۲ – ۲: اینورتر منبع ولتاژ ..... ۲۵
۲ – ۲ – ۲ – ۱: پل گرتز سه فاز ..... ۲٦
۲ – ۲ – ۲ – ۲: اینورتر دیود کلمپ ..... ۲٦
۲ – ۲ – ۲ – ۳: اینورتر پل H ..... ۲۷

۲ – ۲ – ۳: فیلتر پسیو ..... ۲۸
۲ – ۲ – ٤: سوئیچ بای پس ..... ۳۰
۲ – ۲ – ٥: ترانسفورماتور تزریق ولتاژ ..... ۳۰
۲ – ۳: حالات عملکرد DVR ..... ۳۱
۲ – ۳ – ۱: در طول افت ولتاژ / افزایش ولتاژ در خط ..... ۳۱
۲ – ۳ – ۲: در طول عملکرد عادی ..... ۳۲
۲ – ۳ – ۳: در طول اتصال کوتاه یا خطا در نزدیکترین محل از خط توزیع ..... ۳۲
۲ – ٤: انواع تکنیکهای جبران سازی DVR ..... ۳۲
۲ – ٤ – ۱: جبران سازی پیش از افت ..... ۳۳
۲ – ٤ – ۲: جبران سازی همفاز ..... ۳٤
۲ – ٤ – ۳: تکنیک بهینه سازی انرژی ..... ۳٥
۲ – ٤ – ٤: روش کنترل ترکیبی ..... ۳٥
۲ – ٤ – ٤ – ۱: روش کنترلی همفاز + روش کنترلی پیش از افت..... ۳٥
۲ – ٤ – ٤ – ۲: روش کنترلی همفاز + روش کنترلی بهینه ساز انرژی.. ۳٦
۲ – ٥: مبدل Z-Source ..... ۳٦
۲ – ٥ - ۱: اصول عملکرد Z-Source ..... ۳۹
۲ – ٦: ساختار DVR با اینورتر Z-Source ..... ٤۳
۲ – ۷: روشهای کنترلی DVR ..... ٤٥
۲ – ۷ – ۱: تبدیل فوریه..... ٤٥
۲ – ۷ – ۲: حلقه قفل شده فاز ..... ٤٦
۲ – ۷ – ۳: کنترل برداری یا حلقه قفل شده نرم افزاری ..... ٤٦
۲ – ۷ – ٤: تشخیص مقدار پیک از شکل موج ورودی ..... ٤۸
۲ – ۷ – ٥: اعمال تبدیل موجک..... ٤۹
۲ – ۷ – ٦: روش کنترل ترکیبی پیشنهادی ..... ٤۹
۲ – ۸: انواع روشهای مدولاسیون مبدلهای منبع ولتاژ ..... ٥۱
۲ – ۸ – ۱: روش مدولاسیون پهنای پالس ..... ٥۱
۲ – ۸ – ۲: روش مدولاسیون بردار فضایی ( Space Vector Modulation ) .. ٥۳
۲ – ۸ – ۲ – ۱: روش پالس دهی در ساختار سه ساق ..... ٥٤

۲ – ۸ – ۲ – ۱ – ۱: الگوریتم پیشنهادی برای استفاده از
روش SVM در اینورترهای Z-Source ..... ۵۸
۲ – ۸ – ۲ – ۲: روش مدولاسیون بردار فضایی در ساختار چهار ساق ۶۰
۲ – ۹: استفاده از اینورتر سه سطحه دیود کلمپ Z-Source در DVR ..... ۶۶
۲ – ۹ – ۱: روش پالس دهی پیشنهادی در اینورتر های چند سطحه مبتنی بر
Z-Source ..... ۶۸

**فصل سوم: نتایج شبیه سازی**

۳ – ۱: مقدمه ..... ۷۰
۳ – ۲: نتایج شبیه سازی DVR با استفاده از روش جبران سازی هم فاز ..... ۷۰
۳ – ۲ – ۱: نتایج شبیه سازی DVR معمولی ..... ۷۰
۳ – ۲ – ۲: نتایج شبیه سازی DVR مبتنی بر مبدل Z-Source با استفاده از
روش جبران سازی همفاز ..... ۷۶
۳ – ۲ – ۳: تحلیل نتایج ..... ۸۰
۳ – ۳: نتایج شبیه سازی DVR با استفاده از روش بهینه سازی انرژی در حضور بار غیر
خطی ..... ۸۱
۳ – ۳ – ۱: نتایج شبیه سازی DVR معمولی ..... ۸۱
۳ – ۳ – ۲: نتایج شبیه سازی DVR مبتنی بر مبدل Z-Source و روش بهینه
ساز انرژی ..... ۸۴
۳ – ۳ – ۳: تحلیل نتایج ..... ۸۷
۳ – ۳: نتایج شبیه سازی DVR در حضور هارمونیک میانی در ولتاژ شبکه ..... ۸۷
۳ – ۴ – ۱: نتایج شبیه سازی DVR معمولی ..... ۸۷
۳ – ۴ – ۲: نتایج شبیه سازی DVR مبتنی بر مبدل Z-Source در حضور
هارمونیک میانی در ولتاژ شبکه ..... ۹۱
۳ – ۴ – ۳: تحلیل نتایج ..... ۹۳
۳ – ۵: نتایج شبیه سازی DVR در حضور خطای تک فاز ..... ۹۳
۳ – ۵ – ۱: نتایج شبیه سازی DVR معمولی ..... ۹۳
۳ – ۵ – ۲: نتایج شبیه سازی DVR مبتنی بر Z-Source و در حالت رخداد
خطای تک فاز ..... ۹۶

۳ – ۵ – ۳: تحلیل نتایج ..... ۹۸
۳ – ٦: نتایج شبیه سازی DVR در هنگام افزایش ولتاژ شبکه ..... ۹۸
۳ – ٦– ۱: نتایج شبیه سازی DVR معمولی ..... ۹۸
۳ – ٦– ۲: نتایج شبیه سازی DVR مبتنی بر مبدل Z-Source در هنگام افزایش ولتاژ شبکه ..... ۱۰۰
۳ – ٦ – ۳: تحلیل نتایج ..... ۱۰۲
۳ – ۷: نتایج شبیه سازی DVR با استفاده از روش مدولاسیون بردار فضایی در حالت اینورتر سه ساق ..... ۱۰۲
۳ – ۷ – ۱: نتایج شبیه سازی DVR معمولی ..... ۱۰۲
۳ – ۷ – ۲: نتایج شبیه سازی DVR مبتنی بر مبدل Z-Source و با روش مدولاسیون بردار فضایی ..... ۱۰٦
۳ – ۷ – ۳: تحلیل نتایج ..... ۱۰۸
۳ – ۸: نتایج شبیه سازی DVR با استفاده از روش مدولاسیون بردار فضایی در حالت اینورتر چهار ساق ..... ۱۰۸
۳ – ۸ – ۱: نتایج شبیه سازی DVR معمولی ..... ۱۰۹
۳ – ۸ – ۲: نتایج شبیه سازی DVR میتنی بر مبدل Z-Source در حالت چهار ساق ..... ۱۱۲
۳ – ۸ – ۳: تحلیل نتایج ..... ۱۱٤
۳ – ۹: نتایج شبیه سازی DVR تغذیه شده از شبکه ac..... ۱۱٤
۳ – ۹ – ۱: نتایج شبیه سازی DVR معمولی ..... ۱۱٤
۳ – ۹ – ۲: نتایج شبیه سازی DVR مبتنی بر مبدل Z-Source تغذیه شده از شبکه ac ..... ۱۱۸
۳ – ۹ – ۳: تحلیل نتایج ..... ۱۲۲
۳ – ۱۰: نتایج شبیه سازی DVR در حالت افت ولتاژ در منبع DC ..... ۱۲۳
۳ – ۱۰ – ۱: نتایج شبیه سازی DVR معمولی ..... ۱۲۳
۳ – ۱۰ – ۲: نتایج شبیه سازی DVR مبتنی بر مبدل Z-Source در حالت رخداد افت ولتاژ در لینک dc ..... ۱۲۵
۳ – ۱۰ – ۳: تحلیل نتایج ..... ۱۲۷

۳ – ۱۱: نتایج شبیه سازی اینورتر دیود کلمپ مبتنی بر مبدل Z-Source سه سطحه ..... ۱۲۷
۳ – ۱۱ – ۱: تحلیل نتایج ..... ۱۳۰
۳ – ۱۲: نتایج شبیه سازی DVR مبتنی بر اینورتر دیود کلمپ سه سطحه Z-Source ..... ۱۳۰
۳ – ۱۲ –۱: تحلیل نتایج ..... ۱۳۲
نتیجه گیری و پیشنهادات ..... ۱۳٤
مراجع ..... ۱۳۷

فهرست جداول

عنوان صفحه

**فصل اول: انواع اغتشاشات در سیستم قدرت و راههای کاهش اثرات آنها**

جدول (۱-۱) حدود مجاز هارمونیکهای ولتاژ و در سیستم ولتاژ پایین و متوسط( به درصد نسبت ولتاژ نامی در فرکانس اصلی..... ۱۷

**فصل دوم: مدل سازی و کنترل بازیاب دینامیکی ولتاژ DVR**

جدول (۲ – ۱) وضعیت های مختلف اینورتر Z-Source ..... ٤٠

جدول (۲ – ۲) حالات سوئیچینگ و ولتاژ ترمینال VSI و ولتاژهای معادل ..... ٥٥

جدول (۲ – ۳) $V_1$ و $V_2$ بر حسب سکتورها ٥٧

.....

جدول (۲ – ٤) نحوه‌ی سوئیچ زنی در هر سکتور ..... ٥٩

جدول (۲ – ٥) حالات سوئیچینگ و ولتاژ ترمینال VSI و ولتاژهای معادل ..... ٦٠

جدول (۲ – ٦) معادلات صفحات منشورها در هر سکتور ..... ٦٣

جدول (۲ – ۷) نحوه محاسبه زمانهای $T_1, T_2, \ldots$ برای سکتور یک ٦٤

.....

جدول (۲ – ۸) نحوه‌ی سوئیچ زنی در سکتور یک ..... ٦٥

**فصل سوم: نتایج شبیه سازی**

جدول (۳ – ۱) مقادیر پارامترهای سیستم قدرت شبیه سازی شده ..... ۷۲

جدول (۳ – ۲) مقادیر پارامترهای سیستم قدرت شبیه سازی شده ..... ۷٦

جدول (۳ – ۳) مقادیر پارامترهای سیستم قدرت شبیه سازی شده ..... ۱۰۳

فهرست شکلها

عنوان صفحه

**فصل اول: انواع اغتشاشات در سیستم قدرت و راههای کاهش اثرات آنها**


شکل (۱ – ۱) گذرای ضربه ای ناشی از صاعقه در سیستم قدرت ..... ۸

شکل (۱ – ۲) پدیده گذرای نوسانی در اثر کلیدزنی بانک های خازنی ..... ۸

شکل (۱ – ۳) موجهای ولتاژ ناشی ازتغییرات کوتاه مدت ..... ۹

شکل (۱ – ٤) شکل موج ولتاژ در حالت قطعی ..... ۱۰

شکل (۱ – ٥) کمبود ولتاژ ..... ۱۱

شکل (۱ – ٦) بیشبود ولتاژ ..... ۱۱

شکل (۱ – ۷) اضافه ولتاژ ..... ۱۲

شکل (۱ – ۸) کاهش ولتاژ ..... ۱۳

شکل (۱ – ۹) نامتعادلی ولتاژ ناشی از اختلاف اندازه دامنه ولتاژ فازها ..... ۱٤

شکل (۱ – ۱۰) نامتعادلی ولتاژ ناشی از انحراف زاویه ولتاژ فازها از زاویه ۱۲۰ درجه ..... ۱٤

شکل (۱ – ۱۱) افست DC ولتاژ ..... ۱٥

شکل (۱ – ۱۲) شکاف های موجود روی ولتاژ خروجی یک UPS ..... ۱٥

شکل (۱ – ۱۳) نویز موجود روی ولتاژ در اثر تشدید کلیذزنی ..... ۱٦

شکل (۱ – ۱٤) شکل موج دارای هارمونیک ..... ۱۷

شکل (۱ – ۱٥) فلیکر ولتاژ ..... ۱۸

شکل (۱ – ۱٦) مکان های بکارگیری راه حلهای بهبود کیفیت توان ..... ۱۹

شکل (۱ – ۱۷) دو نمنه از ادوات Custom Power.سمت راست DVR و سمت چپ D-STATCAM ..... ۲۰


**فصل دوم: مدل سازی و کنترل بازیاب دینامیکی ولتاژ DVR**


شکل (۲ – ۱) مدار قدرت DVR ..... ۲٥

شکل (۲ – ۲) پل گرتز سه فاز و نحوه‌ی سوئیچ زنی آن ..... ۲٦

شکل (۲ – ۳) ساختار اینورتر دیود کلمپ و ولتاژ خروجی آن ..... ۲۷

شکل (۲ – ٤) ساختار پل H ، نحوه سوئیچ زنی و ولتاژ خروجی آن ..... ۲۸

شکل (۲ – ٥) ساختار پل H سه سطحه ..... ۲۸

شکل (۲ – ٦) محل های مختلف گذاشتن فیلتر ..... ۲۹

شکل (۲ – ۷) ساختار فیلتر LC برای سیستم DVR ..... ۲۹
شکل (۲ – ۸) منحنی پاسخ فرکانسی فیلتر LC ..... ۳۰
شکل (۲ – ۹) روشهای اتصال طرف اولیه ترانسفورمر تزریق .سمت چپ وضعییت
مثلث و سمت راست وضعیت ستاره ..... ۳۱
شکل (۲ – ۱۰) سیستم قدرت ساده شده با DVR ..... ۳۳
شکل (۲ – ۱۱) روش جبران سازی پیش از افت (pre-sag) ..... ۳٤
شکل (۲ – ۱۲) روش جبرانسازی همفاز (in phase) ..... ۳٤
شکل (۲ – ۱۳) روش بهینه سازی انرژی ..... ۳۵
شکل (۲ – ۱٤) ترکیب روش جبرانسازی همفاز و پیش از افت ..... ۳٦
شکل (۲ – ۱۵) ساختار اصلی مبدل Z-Source ..... ۳۷
شکل (۲ – ۱٦) ساختار مبدل منبع ولتاژ ..... ۳۸
شکل (۲ – ۱۷) ساختار مبدل منبع جریان ..... ۳۹
شکل (۲ – ۱۸) مدار معادل اینورتر Z-Source وقتی که پل اینورتر در حالت اتصال
کوتاه است ..... ٤۰
شکل (۲ – ۱۹) مدار معادل اینورتر Z-Source وقتی که پل اینورتر در حالات فعال .
است ..... ٤۱
شکل (۲ – ۲۰) منحنی $D - \frac{V_C}{V_o}$ ..... ٤۳
شکل (۲ – ۲۱) ساختار اینورتر Z-Source با لینک dc پیل سوختی ..... ٤٤
شکل (۲ – ۲۲) ساختار اینورتر Z-Source با لینک dc یکسوکننده ..... ٤٤
شکل (۲ – ۲۳) بلوک دیاگرام ساده شده ی حلقه قفل شده فاز ..... ٤٦
شکل (۲ – ۲٤) بلوک دیاگرام کنترل برداری ..... ٤۷
شکل (۲ – ۲۵) شکل فازوری ساده شده در SPLL ..... ٤۷
شکل (۲ – ۲٦) بلوک دیاگرام روش کنترلی ترکیبی پیشنهادی..... ۵۰
شکل (۲ – ۲۷) شکل فازوری ساده شده در روش جبران بهینه انرژی ..... ۵۰
شکل (۲ – ۲۸) بلوک دیاگرام کنترلی با فیدبک از خروجی فیلتر ..... ۵۱
شکل (۲ – ۲۹) مدولاسیون پهنای پالس ..... ۵۲
شکل (۲ – ۳۰) ساختار شبکه امپدانسی Z-Source ..... ۵۲
شکل (۲ – ۳۱) بلوک دیاگرام کنترل ولتاژ dc ..... ۵۳

شکل (۲ – ۳۲) بلوک دیاگرام پالس دهی به روش بردار فضایی ..... ۵۳
شکل (۲ – ۳۳) ساختار سه ساق و چهار ساق اینورتر Z-Source ..... ۵٤
شکل (۲ – ۳٤) ترسیم ولتاژ های معادل در مختصات $\alpha\beta$و$\alpha\beta0$ ۵۵
.....
شکل (۲ – ۳۵) فلوچارت تعیین سکتور ..... ۵٦
شکل (۲ – ۳٦) توالی قرینه از سوئیچ زنی برای سکتور یک ..... ۵۷
شکل (۲ – ۳۷) نحوه ی سوئیچ زنی در اینورتر Z-Source ..... ۵۸
شکل (۲ – ۳۸) تجسمی از شش بدرا در مختصات $\alpha\beta$ ٦۱
.....
شکل (۲ – ۳۹) بردارهای حالت سوئیچینگ در اینورتر چهار ساق ..... ٦۱
شکل (۲ – ٤۰) منشورهای موجود در سکتور یک ..... ٦۲
شکل (۲ – ٤۱) توالی قرینه از سوئیچ زنی برای سکتور یک ..... ٦٤
شکل (۲ – ٤۲) توپولوژی اینورتر دیود کلمپ Z-Source ..... ٦٦
شکل (۲ – ٤۳) نحوه ایجاد پالس آتش. الف) در اینورتر دیود کلمپ معمولی. ب) در اینورتر دیود کلمپ مبتنی بر Z-Source ..... ٦۷
شکل (۲ – ٤٤) بلوک دیاگرام کنترلی اینورتر دیود کلمپ Z-Source ..... ٦۸

## فصل سوم: نتایج شبیه سازی

شکل (۳ – ۱) سیستم قدرت شبیه سازی شده DVR معمولی در حضور بار غیرخطی.... ۷۱
شکل (۳ – ۲) بلوک دیاگرام کنترل ترکیبی..... ۷۲
شکل (۳ – ۳) بلوک دیاگرام نحوه تولید ولتاژ مرجع با استفاده از روش همفاز ..... ۷۳
شکل (۳ – ٤) بلوک دیاگرام نحوه‌ی بدست آوردن زاویه فاز ..... ۷۳
شکل (۳ – ۵) شکل موج تغییرات ولتاژ باس۱۱ ..... ۷٤
شکل (۳ – ٦) ولتاژ تزریقی توسط DVR ..... ۷٤
شکل (۳ – ۷) شکل موج ولتاژ دو سر بار حساس ..... ۷٤
شکل (۳ – ۸)- الف)توان منبع DC. ب)توان اکتیو تزریقی توسط DVR. ج)توان راکتیو تزریقی توسط DVR ..... ۷۵
شکل (۳ – ۹)- الف)توان اکتیو باس ۱۱ و ۱۲. ب)توان راکتیو باس ۱۱ و ۱۲..... ۷۵
شکل (۳ – ۱۰) زاویه ولتاژ باس ۱۱ و زاویه ولتاژ تزریقی ..... ۷٦

شکل (۳ – ۱۱) سیستم قدرت شبیه سازی شده DVR با Z-Source با حضور بار غیر خطی ..... ۷۷
شکل (۳ – ۱۲) شکل موج ولتاژ تزریقی توسط DVR ..... ۷۸
شکل (۳ – ۱۳) شکل موج ولتاژ دو سر بار حساس ..... ۷۸
شکل (۳ – ۱٤)- الف)توان منبع DC. ب)توان اکتیو تزریقی توسط DVR. ج)توان راکتیو تزریقی توسط DVR ..... ۷۹
شکل (۳ – ۱۵)- الف)توان اکتیو باس ۱۱ و ۱۲. ب)توان راکتیو باس ۱۱ و ۱۲..... ۷۹
شکل (۳ – ۱٦) ولتاژ مرجع dc و ولتاژ خازن شبکه امپدانسی Z-Source ..... ۸۰
شکل (۳ – ۱۷) زاویه ولتاژ باس ۱۱ و زاویه ولتاژ تزریقی ..... ۸۰
شکل (۳ – ۱۸) بلوک دیاگرام نحوه تولید ولتاژ مرجع و استفاده از روش بهینه سازی انرژی ..... ۸۱
شکل (۳ – ۱۹) شکل موج تغییرات ولتاژ باس۱۱ ..... ۸۱
شکل (۳ – ۲۰ ) شکل موج ولتاژ تزریقی توسط DVR ..... ۸۲
شکل (۳ – ۲۱) شکل موج ولتاژ دو سر بار حساس ..... ۸۲
شکل (۳ – ۲۲)- الف)توان منبع DC. ب)توان اکتیو تزریقی توسط DVR. ج)توان راکتیو تزریقی توسط DVR ..... ۸۳
شکل (۳ – ۲۳)- الف)توان اکتیو باس ۱۱ و ۱۲. ب)توان راکتیو باس ۱۱ و ۱۲ ..... ۸۳
شکل (۳ – ۲٤) آنالیز هارمونیکی ولتاژ باس ۱۱ در زمان ۰.۲۷ ثانیه ..... ۸٤
شکل (۳ – ۲٦) شکل موج ولتاژ باس بار ..... ۸۵
شکل (۳ – ۲۷) ولتاژ مرجع dc و ولتاژ خازن شبکه امپدانسی Z-Source ..... ۸۵
شکل (۳ – ۲۸ )- الف)توان منبع DC در حالت شارژ آنی. ب) توان منبع DC در حالت شارژ تدریجی پ)توان اکتیو تزریقی توسط DVR. ج)توان راکتیو تزریقی توسط DVR ۸٦
شکل (۳ – ۲۹)- الف)توان اکتیو باس ۱۱ و ۱۲. ب)توان راکتیو باس ۱۱ و ۱۲ ..... ۸٦
شکل (۳ – ۳۰) زاویه بین جریان شبکه و ولتاژ تزریقی ..... ۸۷
شکل (۳ – ۳۱) آنالیز هارمونیکی ولتاژ بار در زمان ۰.۲۷ و ۰.۱٤ ثانیه ..... ۸۷
شکل (۳ – ۳۲) شکل موج تغییرات ولتاژ باس۱۱ ..... ۸۸
شکل (۳ – ۳۳ ) شکل موج ولتاژ تزریقی توسط DVR ..... ۸۸
شکل (۳ – ۳٤) شکل موج ولتاژ دو سر بار حساس ..... ۸۹

شکل (۳ – ۳۵)- الف)توان منبع DC. ب)توان اکتیو تزریقی توسط DVR. ج)توان راکتیو تزریقی توسط DVR ..... ۸۹
شکل (۳ – ۳٦)- الف)توان اکتیو باس ۱۱ و ۱۲. ب)توان راکتیو باس ۱۱ و ۱۲ ..... ۹۰
شکل (۳ – ۳۷) آنالیز هارمونیکی ولتاژ بار در زمان ۰.۲۸ و ۰.۱٤ ثانیه ..... ۹۰
شکل (۳ – ۳۸ ) شکل موج ولتاژ تزریقی توسط DVR ..... ۹۱
شکل (۳ – ۳۹) شکل موج ولتاژ دو سر بار حساس ..... ۹۱
شکل (۳ – ٤۰) ولتاژ مرجع dc و ولتاژ خازن شبکه امپدانسی Z-Source ..... ۹۲
شکل (۳ – ٤۱)- الف)توان منبع DC. ب)توان اکتیو تزریقی توسط DVR. ج)توان راکتیو تزریقی توسط DVR ..... ۹۲
شکل (۳ – ٤۲)- الف)توان اکتیو باس ۱۱ و ۱۲. ب)توان راکتیو باس ۱۱ و ۱۲ ..... ۹۳
شکل (۳ – ٤۳) آنالیز هارمونیکی ولتاژ بار در زمان ۰.۲۷ و ۰.۱٤ ثانیه ..... ۹۳
شکل (۳ – ٤٤) شکل موج تغییرات ولتاژ باس۱۱ ..... ۹٤
شکل (۳ – ٤٥ ) شکل موج ولتاژ تزریقی توسط DVR ..... ۹٤
شکل (۳ – ٤٦) شکل موج ولتاژ دو سر بار حساس ..... ۹٤
شکل (۳ – ٤۷)- الف)توان منبع DC. ب)توان اکتیو تزریقی توسط DVR. ج)توان راکتیو تزریقی توسط DVR ..... ۹٥
شکل (۳ – ٤۸)- الف)توان اکتیو باس ۱۱ و ۱۲. ب)توان راکتیو باس ۱۱ و ۱۲ ..... ۹٥
شکل (۳ – ٤۹) آنالیز هارمونیکی ولتاژ بار در زمان ۰.۵۲ ثانیه ..... ۹٦
شکل (۳ – ٥۰) شکل موج ولتاژ دو سر بار حساس ..... ۹٦
شکل (۳ – ٥۱) ولتاژ مرجع dc و ولتاژ خازن شبکه امپدانسی Z-Source ..... ۹۷
شکل (۳ – ٥۲) -الف)توان منبع DC. ب)توان اکتیو تزریقی توسط DVR. ج)توان راکتیو تزریقی توسط DVR ..... ۹۷
شکل (۳ – ٥۳)- الف)توان اکتیو باس ۱۱ و ۱۲. ب)توان راکتیو باس ۱۱ و ۱۲ ..... ۹۷
شکل (۳ – ٥٤) آنالیز هارمونیکی ولتاژ بار در زمان ۰.۵۲ ثانیه ..... ۹۸
شکل (۳ – ٥٥) شکل موج تغییرات ولتاژ باس۱۱ ..... ۹۹
شکل (۳ – ٥٦) شکل موج ولتاژ تزریقی توسط DVR ..... ۹۹
شکل (۳ – ٥۷) شکل موج ولتاژ دو سر بار حساس ..... ۹۹
شکل (۳ – ٥۸)- الف)توان منبع DC. ب)توان اکتیو تزریقی توسط DVR. ج)توان

راکتیو تزریقی توسط DVR ..... ۱۰۰
شکل (۳ – ۵۹)- الف)توان اکتیو باس ۱۱ و ۱۲. ب)توان راکتیو باس ۱۱ و ۱۲ ..... ۱۰۰
شکل (۳ – ٦۰) شکل موج ولتاژ دو سر بار حساس ..... ۱۰۱
شکل (۳ – ٦۱)- الف)توان منبع DC. ب)توان اکتیو تزریقی توسط DVR. ج)توان
راکتیو تزریقی توسط DVR ..... ۱۰۱
شکل (۳ – ٦۲) ولتاژ مرجع dc و ولتاژ خازن شبکه امپدانسی Z-Source ..... ۱۰۲
شکل (۳ – ٦۳)- الف)توان اکتیو باس ۱۱ و ۱۲. ب)توان راکتیو باس ۱۱ و ۱۲ ..... ۱۰۲
شکل (۳ – ٦٤) نحوه اتصال اینورتر Z-Source در حالت استفاده از روش مدولاسیون
بردار فضایی در ساختار سه ساق ..... ۱۰۲
شکل (۳ – ٦۵) شکل موج تغییرات ولتاژ باس۱۱ ..... ۱۰۳
شکل (۳ – ٦٦ ) شکل موج ولتاژ تزریقی توسط DVR ..... ۱۰٤
شکل (۳ – ٦۷) شکل موج ولتاژ دو سر بار حساس ..... ۱۰٤
شکل (۳ – ٦۸)- الف)توان منبع DC. ب)توان اکتیو تزریقی توسط DVR. ج)توان
راکتیو تزریقی توسط DVR ..... ۱۰۵
شکل (۳ – ٦۹)- الف)توان اکتیو باس ۱۱ و ۱۲. ب)توان راکتیو باس ۱۱ و ۱۲ ..... ۱۰۵
شکل (۳ – ۷۰) آنالیز هارمونیکی ولتاژ بار در زمان ۰.۲٤ ثانیه ..... ۱۰٦
شکل (۳ – ۷۱) شکل موج ولتاژ دو سر بار حساس ..... ۱۰٦
شکل (۳ – ۷۲) ولتاژ مرجع dc و ولتاژ خازن شبکه امپدانسی Z-Source ۱۰۷
شکل (۳ – ۷۳)- الف)توان منبع DC. ب)توان اکتیو تزریقی توسط DVR. ج)توان
راکتیو تزریقی توسط DVR ..... ۱۰۷
شکل (۳ – ۷٤)- الف)توان اکتیو باس ۱۱ و ۱۲. ب)توان راکتیو باس ۱۱ و ۱۲ ..... ۱۰۸
شکل (۳ – ۷۵) آنالیز هارمونیکی ولتاژ بار در زمان ۰.۲٤ ثانیه ..... ۱۰۸
شکل (۳ – ۷٦) نحوه اتصال اینورتر Z-Source در حالت استفاده از روش مدولاسیون
بردار فضایی در ساختار چهار ساق ..... ۱۰۹
شکل (۳ – ۷۷) شکل موج تغییرات ولتاژ باس۱۱ ..... ۱۰۹
شکل (۳ – ۷۸ ) شکل موج ولتاژ تزریقی توسط DVR ..... ۱۰۹
شکل (۳ – ۷۹) شکل موج ولتاژ دو سر بار حساس ..... ۱۱۰
شکل (۳ – ۸۰)- الف)توان منبع DC. ب)توان اکتیو تزریقی توسط DVR. ج)توان ۱۱۰

راکتیو تزریقی توسط DVR .....
شکل (۳ – ۸۱)- الف)توان اکتیو باس ۱۱ و ۱۲. ب)توان راکتیو باس ۱۱ و ۱۲..... ۱۱۱
شکل (۳ – ۸۲) آنالیز هارمونیکی ولتاژ بار در زمان ۰.۲٤ ثانیه ..... ۱۱۱
شکل (۳ – ۸۳) شکل موج ولتاژ دو سر بار حساس ..... ۱۱۲
شکل (۳ – ۸٤) ولتاژ مرجع dc و ولتاژ خازن شبکه امپدانسی Z-Source ..... ۱۱۲
شکل (۳ – ۸۵)- الف)توان منبع DC. ب)توان اکتیو تزریقی توسط DVR. ج)توان
راکتیو تزریقی توسط DVR ..... ۱۱۳
شکل (۳ – ۸٦)- الف)توان اکتیو باس ۱۱ و ۱۲. ب)توان راکتیو باس ۱۱ و ۱۲ ..... ۱۱۳
شکل (۳ – ۸۷) آنالیز هارمونیکی ولتاژ بار در زمان ۰.۲٤ ثانیه ..... ۱۱٤
شکل (۳ – ۸۸) سیستم قدرت شبیه سازی شده DVR معمولی تغذیه شده از شبکه ..... ۱۱۵
شکل (۳ – ۸۹) شکل موج تغییرات ولتاژ باس۱۱ ..... ۱۱٦
شکل (۳ – ۹۰ ) شکل موج ولتاژ تزریقی توسط DVR ..... ۱۱٦
شکل (۳ – ۹۱) شکل موج ولتاژ دو سر بار حساس ..... ۱۱٦
شکل (۳ – ۹۲)- الف)توان منبع DC. ب)توان اکتیو تزریقی توسط DVR. ج)توان
راکتیو تزریقی توسط DVR ..... ۱۱۷
شکل (۳ – ۹۳)- الف)توان اکتیو باس ۱۱ و ۱۲. ب)توان راکتیو باس ۱۱ و ۱۲ ..... ۱۱۷
شکل (۳ – ۹٤) ولتاژ dc یکسوکننده ..... ۱۱۸
شکل (۳ – ۹۵) آنالیز هارمونیکی ولتاژ بار در زمان ۰.۳٤ و ۰.۵ ثانیه ..... ۱۱۸
شکل (۳ – ۹٦) سیستم قدرت شبیه سازی شده DVR با Z-Source تغذیه شده از شبکه ۱۱۹
شکل (۳ – ۹۷) شکل موج ولتاژ دو سر بار حساس ..... ۱۲۰
شکل (۳ – ۹۸) ولتاژ مرجع dc و ولتاژ خازن شبکه امپدانسی Z-Source ..... ۱۲۰
شکل (۳ – ۹۹)- الف)توان منبع DC. ب)توان اکتیو تزریقی توسط DVR. ج)توان
راکتیو تزریقی توسط DVR ..... ۱۲۱
شکل (۳ – ۱۰۰)- الف)توان اکتیو باس ۱۱ و ۱۲. ب)توان راکتیو باس ۱۱ و ۱۲ ..... ۱۲۱
شکل (۳ – ۱۰۱) ولتاژ dc یکسوکننده ..... ۱۲۲
شکل (۳ – ۱۰۲) آنالیز هارمونیکی ولتاژ بار در زمان ۰.۳٤ و ۰.۵ ثانیه ..... ۱۲۲
شکل (۳ – ۱۰۳) ولتاژ تزریقی توسط DVR ..... ۱۲۳

شکل (۳ – ۱۰٤) شکل موج ولتاژ بار حساس ..... ۱۲۳
شکل (۳ – ۱۰۵)- الف)توان منبع DC. ب)توان اکتیو تزریقی توسط DVR. ج)توان راکتیو تزریقی توسط DVR ..... ۱۲٤
شکل (۳ – ۱۰٦)- الف)توان اکتیو باس ۱۱ و ۱۲. ب)توان راکتیو باس ۱۱ و ۱۲ ..... ۱۲٤
شکل (۳ – ۱۰۷) شکل موج ولتاژ منبع DC ..... ۱۲٤
شکل (۳ - ۱۰۸) شکل موج ولتاژ تزریقی توسط DVR و ولتاژ تزریقی مرجع ..... ۱۲۵
شکل (۳ – ۱۰۹) ولتاژ تزریقی توسط DVR ..... ۱۲۵
شکل (۳ – ۱۱۰) شکل موج ولتاژ بار حساس ..... ۱۲٦
شکل (۳ – ۱۱۱)- الف)توان منبع DC. ب)توان اکتیو تزریقی توسط DVR. ج)توان راکتیو تزریقی توسط DVR ..... ۱۲٦
شکل (۳ – ۱۱۲)- الف)توان اکتیو باس ۱۱ و ۱۲. ب)توان راکتیو باس ۱۱ و ۱۲ ..... ۱۲۷
شکل (۳ – ۱۱۳) شکل موج ولتاژ منبع DC و ولتاژ مرجع خازن و ولتاژ خازن شبکه امپدانسی Z-Source ..... ۱۲۷
شکل (۳ – ۱۱٤) شکل موج سیگنال مرجع ..... ۱۲۸
شکل (۳ – ۱۱۵) خروجی ولتاژ اینورتر دیود کلمپ Z-Source ..... ۱۲۸
شکل (۳ – ۱۱٦) سطوح ایجاد شده توسط اینورتر دیود کلمپ مبتنی بر مبدل Z-Source ..... ۱۲۹
شکل (۳ – ۱۱۷) ولتاژ مرجع dc و ولتاژ خازن شبکه امپدانسی Z-Source ..... ۱۳۰
شکل (۳ – ۱۱۸) ولتاژ تزریقی توسط DVR ..... ۱۳۰
شکل (۳ – ۱۱۹) شکل موج ولتاژ بار حساس ..... ۱۳۱
شکل (۳ – ۱۲۰) ولتاژ مرجع dc و ولتاژ خازن شبکه امپدانسی Z-Source ..... ۱۳۱
شکل (۳ – ۱۲۱)- الف)توان اکتیو باس ۱۱ و ۱۲. ب)توان راکتیو باس ۱۱ و ۱۲ ..... ۱۳۱
شکل (۳ – ۱۲۲) آنالیز هارمونیکی ولتاژ بار در زمان ۰.۲۷ ثانیه ..... ۱۳۲

**مقدمه:**

با افزایش روزافزون بارهای حساس به کیفیت ولتاژ شبکه و بارهای غیرخطی که موجب ایجاد اغتشاش در جریان و ولتاژ شبکه می شوند و همچنین تقاضای مشتریان و شرکت های توزیع برق برای بهبود کیفیت توان، مطالعات و ساختار تجهیزات مناسب برای دستیابی به این اهداف به یک امر اجتناب ناپذیر تبدیل شده است. در این راستا پیشرفت تکنولوژی الکترونیک قدرت، مسیر تازه ای را برای بهبود عملکرد شبکه های انتقال و توزیع ایجاد کرده است.

کاربرد عناصر الکترونیک قدرت در سیستم های انتقال به منظور کنترل توان، افزایش ظرفیت خطوط انتقال و بهبود پایداری گذرا و دینامیکی صورت می گیرد. در حالیکه افزایش قابلیت اطمینان، کیفیت توان و کاهش تلفات اهدافی هستند که در شبکه های توزیع مدنظر قرار می گیرند. در سیستمهای انتقال اهداف فوق بوسیله‌ی ادوات FACT انجام می گیرد. در سیستم های توزیع از ادوات FACT برای بهبود کیفیت توان با استراتژی کنترلی متفاوت و به منظور برآورده کردن نیازهای مطرح در سیستمهای توزیع تحت عنوان ادوات Custom Power استفاده می شود.

یکی از مهمترین پارامترهای کیفیت توان کمبود یا بیشبود ولتاژ یا به عبارت دیگر ولتاژ نوسانی است. که این موضوع می تواند موجب عملکرد ناصحیح کنترل کننده های سرعت موتورها و از کار افتادن بارهای حساس و صنعتی شود.

ادوات Custom Power وظیفه‌ی حفاظت مشترکین را از وقفه ها، کمبود ولتاژ و اغتشاشات هارمونیکی بوجود آمده از طرف شرکت های تولید برق و یا از طرف سایر مشترکین و برعکس را برعهده دارد.