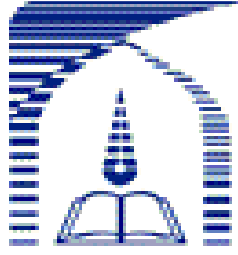


اللهم صل على محمد
والعائلة الطيبة



دانشگاه تربیت مدرس
دانشکده فنی و مهندسی

پایان نامه دوره‌ی کارشناسی ارشد مهندسی برق-قدرت

طراحی و ساخت اینورتر نه سوئیچ‌ی تعمیم یافته

جهت تغذیه‌ی مستقل دو بار سه فاز چهار سیمه

مهدی عزیزی

استاد راهنما:

دکتر مصطفی محمدیان

استاد مشاور:

دکتر علی یزدیان

زمستان ۱۳۸۹

تقديم

تشکر و قدردانی

چکیده

در این پایان نامه، یک مبدل جدید بر گرفته از ترکیب مبدل چهار ساق و مبدل نه سوئیچ پیشنهاد شده است که با استفاده از سوئیچ‌های کمتر نسبت به دو مبدل چهارساق، قادر به تغذیه مستقل دو بار سه فاز چهار سیمه می‌باشد. این مبدل جدید مزایای هر دو مبدل پایه همانند قابلیت جبران نامتعادلی بار، امکان تزریق جریان نامتعادل به شبکه، مقاومت در برابر خطا، تعداد کلیدهای قدرت کاهش یافته و در نتیجه مدارات راه‌انداز و کنترلی کمتر، را داراست. ابتدا ساختار مبدل پیشنهادی که از لحاظ عملکرد در ردیف مبدل‌های چهارساق و از لحاظ ساختمان در زمره مبدل‌های با ساق‌های سه سوئیچ قرار می‌گیرد، معرفی و شیوه‌های کلیدزنی آن، هم با استفاده از مدولاسیون موج حامل و هم مدولاسیون بردار فضایی ارائه شده است. سپس استفاده از آن در کاربرد اینورتر دو خروجی به همراه شبکه امپدانس Z ، مبدل ac/ac چهارساق مقاوم در برابر خطا و سیستم بهبود کیفیت توان یکپارچه، بررسی شده است. یک نمونه آزمایشگاهی از مبدل پیشنهادی ساخته شد. نتایج حاصل از شبیه‌سازی و نمونه آزمایشگاهی که موید صحت مباحث نظری عنوان شده، می‌باشند در انتهای هر فصل ارائه شده‌اند.

کلید واژه: مبدل چهارساق، مبدل نه سوئیچ، مدولاسیون موج حامل و بردار فضایی، مبدل مقاوم در برابر خطا، سیستم کیفیت توان یکپارچه.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فهرست جدول‌ها.....	د
فهرست شکل‌ها.....	ه
فصل ۱- مقدمه	۱
۱-۱- پیشگفتار.....	۱
۱-۲- هدف تعریف شده برای این پایان‌نامه.....	۱
۱-۳- ساختار پایان‌نامه.....	۱
فصل ۲- اینورتر چهار ساق	۳
۱-۲- مقدمه.....	۳
۲-۲- اینورتر سه ساق با بار نامتعادل.....	۳
۳-۲- توپولوژی و مدلسازی اینورتر چهارساق.....	۴
۱-۳-۲- ساختمان اینورتر چهارساق.....	۴
۲-۳-۲- مدلسازی شبکه‌ی کلیدزنی اینورتر چهارساق.....	۵
۴-۲- روش‌های کلیدزنی اینورتر چهارساق.....	۷
۱-۴-۲- مدولاسیون بردار فضایی سه بعدی.....	۷
۲-۱-۴-۲- حالات کلیدزنی و بردارهای ولتاژ.....	۷
۲-۱-۴-۲- انتقال بردارهای ولتاژ به قاب مرجع $\alpha\beta\gamma$	۸
۲-۴-۲- تولید بردار ولتاژ مرجع در قاب مرجع $\alpha\beta\gamma$ به وسیله‌ی بردارهای ولتاژ.....	۱۱
۱-۲-۴-۲- اورمدولاسیون.....	۱۷
۳-۴-۲- مدولاسیون بردار فضایی در قاب مرجع abc	۱۷
۳-۴-۲- روش کلیدزنی Carrier-Based PWM اینورتر چهارساق.....	۲۱
فصل ۳- اینورتر نه سوئیچ	۲۶
۱-۳- مقدمه.....	۲۶
۲-۳- ساختمان اینورتر نه‌سوئیچ.....	۲۶
۳-۳- روش کلیدزنی Carrier-Based.....	۲۷
۴-۳- روش مدولاسیون بردار فضایی.....	۳۱
۵-۳- نتیجه‌گیری.....	۳۳
فصل ۴- اینورتر منبع امپدانس	۳۴
۱-۴- اینورتر منبع امپدانس.....	۳۵
۲-۴- معادلات اینورتر منبع امپدانس.....	۳۸
۱-۲-۴- عملکرد حالت ماندگار.....	۳۸

۴۱	۳-۴	روشهای مدولاسیون پهنای باند اینورتر منبع امپدانس
۴۱	۱-۳-۴	روش کنترل بوست ساده
۴۲	۲-۳-۴	روش کنترل ماکزیمم بوست
۴۴	۳-۳-۴	روش کنترل ماکزیمم بوست ثابت
۴۶	۴-۳-۴	روش مدولاسیون بردار فضایی اینورتر منبع امپدانس استراتژی ماکزیمم بوست ثابت
	۵-۳-۴	روش مدولاسیون <i>Carrier-Based</i> اینورتر منبع امپدانس چهار ساق با حالات اتصال کوتاه
۴۸		توزیع شده
۵۰	۴-۴	طراحی المان های منبع امپدانس
۵۰	۱-۴-۴	سلف شبکه امپدانس
۵۱	۲-۴-۴	خازن شبکه امپدانس
۵۱	۳-۴-۴	ادوات نیمه هادی

فصل ۵- اینورتر چهارساق دو خروجی پیشنهادی و روشهای کلیدزنی آن ۵۲

۵۲	۱-۵	مقدمه
۵۲	۲-۵	ساختمان اینورتر پیشنهادی
۵۵	۳-۵	روشهای مدولاسیون اینورتر چهارساق دو خروجی
۵۵	۱-۳-۵	روش مدولاسیون <i>Carrier-based</i> اینورتر چهارساق دو خروجی
۵۸	۲-۳-۵	روش کلیدزنی مدولاسیون بردار فضایی اینورتر چهارساق دو خروجی
۵۸	۱-۲-۳-۵	روش کلیدزنی SVM در قاب $\alpha\beta\gamma$
۶۳	۲-۲-۳-۵	روش کلیدزنی SVM در قاب abc
۶۵	۳-۲-۳-۵	نحوه چینش بردارهای کلیدزنی
۶۷	۴-۵	نتایج شبیهسازی و عملی
۶۸	۱-۴-۵	نتایج روش کلیدزنی CBM
۶۹	۲-۴-۵	نتایج روش کلیدزنی SVM در قاب $\alpha\beta\gamma$
۷۱	۳-۴-۵	نتایج روش کلیدزنی SVM در قاب abc
۷۲	۴-۴-۵	نتایج حالت کاری فرکانس برابر
۷۲	۵-۵	نتیجه گیری

فصل ۶- اینورتر چهارساق دو خروجی منبع امپدانس ۷۴

۷۴	۱-۶	مقدمه
۷۵	۲-۶	روشهای مدولاسیون اینورتر چهارساق دو خروجی منبع امپدانس
۷۵	۱-۲-۶	روش کلیدزنی CBM اینورتر چهارساق دو خروجی منبع امپدانس
۷۷	۱-۲-۶	روش کلیدزنی SVM اینورتر چهارساق دو خروجی منبع امپدانس
۷۸	۳-۶	نتایج عملی و شبیهسازی
۷۹	۴-۶	نتیجه گیری

فصل ۷- مبدل AC/AC چهارساق مقاوم در برابر خطا ۸۱

۸۱	۱-۷	مقدمه
----	-----	-------

۸۲	۲-۷	ساختمان مبدل AC/AC چهارساق
۸۲	۳-۷	مدهای کاری مبدل AC/AC چهارساق
۸۲	۱-۳-۷	مد فرکانس متفاوت (DF)
۸۳	۲-۳-۷	مد کاری فرکانس یکسان (EF)
۸۵	۴-۷	شیوه های کنترلی مبدل AC/AC پیشنهادی
۸۶	۵-۷	آرایشهای اصلاح شده برای جبران نامتعادلی یک سمت
۸۶	۶-۷	نتایج شبیه سازی
۸۷	۱-۶-۷	شبیه سازی رفتار مبدل هنگام کار در شرایط عادی
۸۸	۲-۶-۷	شبیه سازی رفتار مبدل هنگام وقوع خطا در شبکه
۹۱	۳-۶-۷	شبیه سازی رفتار مبدل هنگام وقوع خطا در مبدل
۹۱	۷-۷	نتیجه گیری

فصل ۸- استفاده از اینورتر چهارساق دو خروجی در UPQC..... ۹۴

۹۴	۱-۸	مقدمه
۹۶	۲-۸	استفاده از اینورتر چهارساق دو خروجی در UPQC
۹۶	۳-۸	کنترل بخش سری
۹۷	۴-۸	کنترل بخش موازی
۹۸	۵-۸	نتایج شبیه سازی
۹۸	۱-۵-۸	بار نامتعادل و هارمونیکی
۹۸	۲-۵-۸	ولتاژ هارمونیکی شبکه
۹۹	۳-۵-۸	ولتاژ نامتعادل شبکه
۱۰۰	۴-۵-۸	اختلال در ولتاژ شبکه
۱۰۰	۶-۸	نتیجه گیری

فصل ۹- نتیجه گیری و پیشنهادها..... ۱۰۲

۱۰۲	۱-۹	نتیجه گیری
۱۰۲	۲-۹	پیشنهادها

فهرست مراجع..... ۱۰۳

واژه نامه‌ی فارسی به انگلیسی..... ۱۰۵

واژه نامه‌ی انگلیسی به فارسی..... ۱۰۶

فهرست جدول‌ها

صفحه	عنوان
۸	جدول ۱-۲. حالات کلیدزنی و بردارهای ولتاژ.....
۹	جدول ۲-۲. حالات کلیدزنی و بردارهای ولتاژ در قاب مرجع استاتور.....
۱۳	جدول ۳-۲. هرم های هر منشور به همراه بردارهای ولتاژ هر هرم.....
۱۶	جدول ۴-۲. ماتریس تصویر مربوط به هر هرم.....
۱۷	جدول ۵-۲. بردارهای ولتاژ در قاب مرجع abc.....
۲۰	جدول ۶-۲. بردارهای ولتاژ و RP مربوط به هر هرم.....
۲۴	جدول ۷-۲. ولتاژ افسست در هرم های منشور اول.....
۲۵	جدول ۸-۲. علامت ولتاژ تولیدی توسط بردارهای ولتاژ هر هرم های منشور اول.....
۳۱	جدول ۱-۳. بردارهای کلیدزنی اینورتر نه سوئیچ.....
۳۲	جدول ۲-۳. وضعیت کلیدهای هر ساق در بردارهای کلیدزنی اینورتر نه سوئیچ.....
۳۵	جدول ۱-۴. حالت‌های کلیدزنی اینورتر منبع ولتاژ سه ساق.....
۵۳	جدول ۱-۵. حالات کلیدزنی.....
۵۴	جدول ۲-۵. حالات کلیدزنی مجاز اینورتر چهارساق دو خروجی.....
۵۹	جدول ۳-۵. بردارهای کلیدزنی مجاز اینورتر چهارساق دو خروجی در قاب مرجع $\alpha\beta\gamma$
۶۲	جدول ۴-۵. بردارهای اکتیو هر مهای هر منشور.....
۶۳	جدول ۵-۵. بردارهای کلیدزنی اینورتر چهار ساق دو خروجی در فضای abc.....
۶۵	جدول ۶-۵. بردارهای کلیدزنی مشخص شده به وسیله RP.....
۶۷	جدول ۷-۵. مشخصات بار.....
۶۷	جدول ۸-۵. مشخصات فزمان ولتاژ خروجی بالایی و پایینی.....
۷۲	جدول ۹-۵. مشخصات فزمان ولتاژ خروجی بالایی و پایینی در حالت کاری هم‌فرکانس.....
۷۷	جدول ۱-۶. حالت کلیدزنی اتصال کوتاه.....
۷۸	جدول ۲-۶. تعداد کلیدزنی.....
۷۸	جدول ۳-۶. مشخصات فرمان ولتاژ اینورتر.....
۸۷	جدول ۱-۷. پارامترهای بار.....
۸۷	جدول ۲-۷. مشخصات ولتاژ منبع.....

فهرست شکل‌ها

عنوان.....	صفحه
شکل ۱-۲. آرایش اینورتر سه ساق برای تامین اتصال نقطه خنثی بار.....	۴
شکل ۲-۲. ساختمان اینورتر چهارساق.....	۵
شکل ۳-۲. شبکه کلیدزنی اینورتر چهارساق.....	۵
شکل ۴-۲. مدل متوسط سیگنال بزرگ شبکه Γ ی کلیدزنی.....	۶
شکل ۵-۲. مدل متوسط سیگنال بزرگ اینورتر چهارساق.....	۷
شکل ۶-۲. حجم ایجاد شده توسط بردارهای ولتاژ در قاب مرجع $\alpha\beta\gamma$ و هفت سطح ولتاژ.....	۱۰
شکل ۷-۲. تصویر بردارهای ولتاژ در سطوح موازی با صفحه $\alpha\beta$	۱۰
شکل ۸-۲. منشورهای قابل تشخیص در حجم سه بعدی تشکیل یافته از بردارهای ولتاژ.....	۱۱
شکل ۹-۲. الگوریتم تشخیص منشور بردار ولتاژ مرجع.....	۱۲
شکل ۱۰-۲. هرم Γ های موجود در منشور اول.....	۱۲
شکل ۱۱-۲. حجم تولید شده توسط بردارهای ولتاژ در فضای abc.....	۱۸
شکل ۱۲-۲. هرم های مشخص شده با RP هشت و ۵۷.....	۲۰
شکل ۱۳-۲. اینورتر چهار ساق.....	۲۱
شکل ۱۴-۲. ولتاژهای لحظه ای سه ساق بر حسب ولتاژ افسست.....	۲۲
شکل ۱۵-۲. بلوک دیاگرام روش Carrier-Based.....	۲۵
شکل ۱-۳. ساختار اینورتر نه سوئیچه.....	۲۶
شکل ۲-۳. اینورتر نه سوئیچه. الف) اینورتر یک، ب) اینورتر دو.....	۲۷
شکل ۳-۳. کلیدزنی اینورتر نه سوئیچه.....	۲۸
شکل ۴-۳. نحوه مدولاسیون PWM برای اینورتر نه سوئیچه.....	۲۹
شکل ۵-۳. پیاده سازی مدولاسیون PWM برای اینورتر نه سوئیچه.....	۲۹
شکل ۶-۳. مدولاسیون PWM بهبود یافته برای اینورتر نه سوئیچه.....	۳۰
شکل ۷-۳. بلوک دیاگرام مدولاسیون بهبود یافته اینورتر نه سوئیچه.....	۳۰
شکل ۸-۳. کلیدزنی PWM اینورتر نه سوئیچه بر حسب بردارهای کلیدزنی.....	۳۱
شکل ۹-۳. دیاگرام بردار فضایی برای تعیین بردارهای فعال اینورتر نه سوئیچه.....	۳۳
شکل ۱-۴. اینورتر منبع امپدانس ولتاژی سه ساق.....	۳۴
شکل ۲-۴. اینورتر منبع امپدانس ولتاژی چهار ساق.....	۳۶
شکل ۳-۴. روش کلیدزنی PWM برای اینورتر منبع ولتاژ.....	۳۷
شکل ۴-۴. روش کلیدزنی PWM اصلاح شده برای اینورتر منبع امپدانس.....	۳۷
شکل ۵-۴. مدار معادل اینورتر منبع امپدانس.....	۳۸
شکل ۶-۴. مدار معادل اینورتر منبع امپدانس در حالت اتصال کوتاه.....	۳۸

- شکل ۴-۷. مدار معادل اینورتر منبع امپدانس در حالت غیر اتصال کوتاه..... ۳۹
- شکل ۴-۸. کلیدزنی PWM ساده برای اینورتر منبع امپدانس..... ۴۲
- شکل ۴-۹. نمودار بهره بر حسب ضریب مدولاسیون برای روش بوست ساده..... ۴۲
- شکل ۴-۱۰. روش کلیدزنی ماکزیمم بوست [۱۷]..... ۴۳
- شکل ۴-۱۱. نمودار بهره بر حسب ضریب مدولاسیون برای کنترل ماکزیمم بوست..... ۴۴
- شکل ۴-۱۲. روش کلیدزنی ماکزیمم بوست ثابت..... ۴۵
- شکل ۴-۱۳. نمودار بهره بر حسب ضریب مدولاسیون برای روش ماکزیمم بوست ثابت..... ۴۶
- شکل ۴-۱۴. بردارهای کلیدزنی اینورتر منبع ولتاژ رایج..... ۴۶
- شکل ۴-۱۵. چگونگی توزیع بردارهای اتصال کوتاه در پریرود کلیدزنی..... ۴۹
- شکل ۵-۱. ساختمان اینورتر چهار ساق دو خروجی پیشنهادی..... ۵۳
- شکل ۵-۲. حالات مجاز ۱۲ و ۲۷..... ۵۵
- شکل ۵-۳. سیگنال مدوله کننده ساق چهارم..... ۵۶
- شکل ۵-۴. سیگنالهای مدوله کننده ساق a ۵۷
- شکل ۵-۵. بلوک دیاگرام روش کلیدزنی CBM ۵۷
- شکل ۵-۶. سیگنالهای مدوله کننده ساق a در حالت هم فرکانس بودن دو خروجی..... ۵۸
- شکل ۵-۷. توزیع بردارهای کلیدزنی اینورتر پیشنهادی در فضای $\alpha\beta\gamma$ ۶۰
- شکل ۵-۸. هرمهای موجود در منشور پنجم..... ۶۱
- شکل ۵-۹. الگوریتم تشخیص منشور بردار ولتاژ مرجع..... ۶۱
- شکل ۵-۱۰. توزیع بردارهای کلیدزنی اینورتر چهارساق دو خروجی در فضای abc ۶۴
- شکل ۵-۱۱. هرمهای معادل هرمهای منشور پنجم..... ۶۴
- شکل ۵-۱۲. چینش بردارها برای کمترین تلفات کلیدزنی..... ۶۶
- شکل ۵-۱۳. چینش بردارها برای کمترین THD..... ۶۶
- شکل ۵-۱۴. THD جریان بار در روشهای متفاوت کلیدزنی..... ۶۷
- شکل ۵-۱۵. نتایج روش CBM (راست) نتایج عملی (چپ) نتایج شبیه سازی..... ۶۸
- شکل ۵-۱۶. نتایج روش SVM در قاب $\alpha\beta\gamma$ (راست) نتایج عملی (چپ) نتایج شبیه سازی..... ۶۹
- شکل ۵-۱۷. نتایج روش SVM در قاب abc (راست) نتایج عملی (چپ) نتایج شبیه سازی..... ۷۱
- شکل ۵-۱۸. نتایج حالت کاری هم فرکانس، (راست) نتایج عملی (چپ) نتایج شبیه سازی..... ۷۳
- شکل ۶-۱. اینورتر چهار ساق دو خروجی منبع امپدانس..... ۷۴
- شکل ۶-۲. تعداد حالات اتصال کوتاه در نصف پریرود کلیدزنی اینورتر چهارساق دو خروجی منبع امپدانس..... ۷۶
- شکل ۶-۳. فرمانهای ولتاژ پل خروجی بالایی و پایینی به دست آمده از روش کلیدزنی CBM ۷۷
- شکل ۶-۴. نحوه چینش بردارها در اینورتر چهار ساق دو خروجی (a) کمترین کلیدزنی (b) کمترین THD..... ۷۸
- شکل ۶-۵. ولتاژ خازن شبکه امپدانس. (راست) نتایج عملی (چپ) نتایج شبیه سازی..... ۷۹

- شکل ۶-۶. راست) نتایج عملی چپ) نتایج شبیه‌سازی ۸۰
- شکل ۱-۷. On-line UPS ۸۱
- شکل ۲-۷. مبدل چهارساق دو خروجی در کاربرد تبدیل AC/AC ۸۲
- شکل ۳-۷. (a) سیگنال مدولاسیون برای یک فاز نوعی در مد DF (b) سیگنال مدولاسیون ساق چهارم در مد DF ۸۳
- شکل ۴-۷. (a) سیگنال مدولاسیون یک فاز نوعی در مد EF (b) سیگنال مدولاسیون ساق چهارم در مد EF ۸۴
- شکل ۵-۷. بلوک دیاگرام مدولاسیون ۸۵
- شکل ۶-۷. آرایش اصلاح شده هنگام متعادل بودن بار ۸۶
- شکل ۷-۷. آرایش اصلاح شده هنگام متعادل بودن منبع ۸۶
- شکل ۸-۷. ولتاژ و جریان شبکه ۸۷
- شکل ۹-۷. توان اکتیو و راکتیو ورودی به مبدل ۸۷
- شکل ۱۰-۷. جریان بار ۸۸
- شکل ۱۱-۷. ولتاژ باس DC ۸۸
- شکل ۱۲-۷. خطای شبکه : قطع یک فاز (a) جریان و ولتاژ شبکه (b) توان اکتیو و راکتیو ورودی به مبدل (c) جریان بار (d) ولتاژ باس DC ۸۹
- شکل ۱۳-۷. خطای شبکه : قطع دو فاز (a) جریان و ولتاژ شبکه (b) توان اکتیو و راکتیو ورودی به مبدل (c) جریان بار (d) ولتاژ باس DC ۹۰
- شکل ۱۴-۷. خطای مبدل : قطع یک ساق (a) جریان و ولتاژ شبکه (b) توان اکتیو و راکتیو ورودی به مبدل (c) جریان بار (d) ولتاژ باس DC ۹۲
- شکل ۱۵-۷. خطای مبدل : قطع دو ساق (a) جریان و ولتاژ شبکه (b) توان اکتیو و راکتیو ورودی به مبدل (c) جریان بار (d) ولتاژ باس DC ۹۳
- شکل ۱-۸. آرایش معمول UPQC ۹۴
- شکل ۲-۸. استفاده از اینورتر ۹ سوئیچ در UPQC ۹۵
- شکل ۳-۸. اینورتر چهارساق دو خروجی به عنوان مبدل UPQC ۹۶
- شکل ۴-۸. کنترلر بخش سری ۹۷
- شکل ۵-۸. کنترلر بخش موازی ۹۷
- شکل ۶-۸. جریان بار پیش از جبران‌سازی ۹۸
- شکل ۷-۸. جریان شبکه (جریان بار جبران‌سازی شده توسط UPQC) ۹۸
- شکل ۸-۸. ولتاژ هارمونیک شبکه ۹۹
- شکل ۹-۸. ولتاژ بار پس از جبران‌سازی توسط UPQC ۹۹
- شکل ۱۰-۸. ولتاژ نامتعادل شبکه ۹۹
- شکل ۱۱-۸. ولتاژ جبران شده تحویلی به بار ۹۹
- شکل ۱۲-۸. ولتاژ شبکه پیش و پس از اختلال ۱۰۰

شکل ۸-۱۳. ولتاژ تحویلی به بار..... ۱۰۰

شکل ۸-۱۴. ولتاژ باس DC پیش و پس از اختلال..... ۱۰۰

فصل ۱ - مقدمه

۱-۱- پیشگفتار

مبدل‌ها به عنوان واسط میان منابع تغذیه و بار ، قلب سیستم‌های الکترونیک قدرت به شمار می‌روند. بهبود شاخص‌های عملکردی مبدل‌ها موجب افزایش کارایی همه‌ی سیستم‌های الکترونیک قدرت می‌گردد. به همین دلیل تحقیق در زمینه‌ی مبدل‌ها یکی از شاخه‌های رو به رشد الکترونیک قدرت است. این تحقیقات علاوه بر ارتقا سطح کیفی مبدل‌ها کاهش قیمت تمام شده‌ی آنها را نیز مد نظر دارند. این اهداف یا از طریق معرفی آرایشی جدید و یا با اصلاح یکی از آرایشهای موجود محقق می‌گردد.

۱-۲- هدف تعریف شده برای این پایان‌نامه

یکی از روش‌هایی که در سال‌های اخیر برای کاهش هزینه تمام شده مبدل‌های الکترونیک قدرت مورد توجه قرار گرفته ، کاهش تعداد سوئیچ‌های به کار رفته در ساختمان آنهاست. در این راستا اینورتر نه سوئیچه به عنوان یک مبدل سه فاز با قابلیت تغذیه مستقل دو بار سه فاز سه سیمه معرفی شد. اینورتر نه سوئیچه یک مبدل دو خروجی است که دو مجموعه ولتاژ سه فاز تولیدی توسط آن از لحاظ دامنه و فرکانس از یکدیگر مستقلند.

اینورتر چهارساق یک مبدل High Performance است که قادر به تولید ولتاژ سه فاز متعادل یا نامتعادل مستقل از بار است. این آرایش مناسب‌ترین گزینه برای تغذیه بارهای سه فاز چهار سیمه است.

در این پایان‌نامه به منظور تغذیه مستقل دو بار سه فاز چهارسیمه که می‌توانند متعادل یا نامتعادل باشند یک مبدل چهارساق دو خروجی معرفی می‌شود. این مبدل معادل دو اینورتر چهارساق است که با هم تلفیق شده‌اند و تعداد سوئیچهای مورد نیاز برای ساخت آنها کاهش یافته‌است. روشهای کلیدزنی این مبدل نیز ارائه می‌شود.

برای مبدل پیشنهادی کاربردهایی به عنوان اینورتر دو خروجی و مبدل AC/AC مقاوم در برابر خطا و کار در ساختمان UPQC پیشنهاد می‌شود. همچنین در کاربرد اینورتری اینورتر دو خروجی پیشنهادی با شبکه امپدانس ترکیب شده تا قابلیت افزایش ولتاژ ورودی را نیز پیدا کند. یک نمونه آزمایشگاهی نیز ساخته شد تا نتایج عملی موید الگوریتم‌های کلیدزنی پیشنهادی باشند.

۱-۳- ساختار پایان‌نامه

این پایان‌نامه در نه فصل تنظیم شده‌است. در فصول دو ، سه و چهار به ترتیب مروری بر ساختمان و روشهای کلیدزنی اینورتر چهار ساق ، اینورتر نه سوئیچه و مبدل منبع امپدانس انجام می‌شود. در فصل پنجم آرایش پیشنهادی معرفی و روشهای کلیدزنی آن ارائه می‌شود. در ششمین فصل از آرایش پیشنهادی به عنوان مبدل AC/AC مقاوم در برابر خطا استفاده می‌گردد. در فصل هفتم به کارگیری این

مبدل در بهساز کیفیت توان یکپارچه مورد بررسی قرار می‌گیرد. سرانجام در فصل نهم نتیجه‌گیری کلی انجام می‌شود.

فصل ۲- اینورتر چهار ساق

۲-۱- مقدمه

منابع تغذیه بزرگ بارهای ترکیبی‌ای را تغذیه می‌کنند که ممکن است متعادل نباشند. اغلب وسایل الکترونیکی در ولتاژ شبکه نامتعادلی و اعوجاج ایجاد می‌کنند و خود نیز نسبت به این عدم تعادل و محتوای هارمونیک ولتاژ حساس هستند. این ادوات الکترونیکی بار غیر خطی به شمار می‌آیند. در صورتی که بار نامتعادل و یا غیرخطی باشد مجموع جریان‌های سه فاز صفر نخواهد شد و جریان خنثی وجود خواهد داشت. در صورتی که اتصال نقطه‌ی خنثی برای عبور این جریان تامین نشود، نقطه‌ی خنثی بار دارای ولتاژ شده و ولتاژ فازها نامتعادل خواهند شد.

یکی از شیوه‌های حل مشکلات فوق‌الذکر استفاده از اینورتر چهارساق است. اینورتر چهارساق می‌تواند ولتاژ نقطه‌ی خنثی را کنترل و همچنین اتصال نقطه‌ی خنثی بار را برای جاری شدن جریان خنثی از طریق ساق چهارم تامین کند. این جریان خنثی ممکن است ناشی از بارهای نامتعادل یا بارهای غیرخطی باشد. اینورتر چهارساق سه ولتاژ خروجی مستقل از هم تولید می‌کند و به همین سبب حتی زمانی که بار نامتعادل یا غیرخطی باشد نیز توانایی تولید یک مجموعه ولتاژ سه فاز متعادل را دارد. کاربردهای عمده‌ی اینورتر چهارساق عبارتند از [۱]:

۱- تولید پراکنده^۱

۲- فیلترهای فعال^۲

۳- منابع تغذیه بدون وقفه^۳

به طور کلی در تمامی کاربردهایی که در آنها بار نامتعادل و یا غیرخطیست و داشتن ولتاژ متعادل در آنها دارای اهمیت است می‌توان از اینورتر چهارساق استفاده نمود.

۲-۲- اینورتر سه ساق با بار نامتعادل

در یک سیستم سه فاز چهار سیمه نیاز به تامین اتصال نقطه‌ی خنثی بار ضروریست چرا که اگر بار متعادل باشد به دلیل عدم وجود جریان توالی صفر نقطه‌ی خنثی بار می‌تواند به صورت معلق رها شود اما اگر بار نامتعادل باشد و نقطه‌ی خنثی بار به صورت معلق رها شود، به سبب آنکه جریان توالی صفر نمی‌تواند جاری شود ولتاژ فازها نامتعادل خواهند شد. روش‌های متفاوتی برای این کار وجود دارد.

¹ Disterbuted Generation

² Active Power Filter

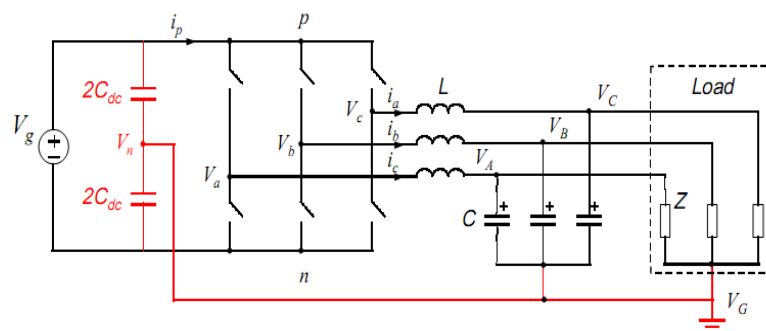
³ Unintrruptable Power Supply

یک راه استفاده از ترانسفورمر با اتصال ستاره/مثلث (Δ/Y) است. طرف ستاره ترانسفورمر به بار متصل می شود و نقطه ی خنثی بار به نقطه خنثی ترانسفورمر متصل می شود. سمت مثلث هم به اینورتر وصل می شود. جریان توالی صفر داخل حلقه ی مثلث به دام می افتد و به اینورتر و باس DC انتقال نمی یابد.

روش دیگر استفاده از ترانسفورمر با اتصال زیگ زاگ^۱ برای تامین اتصال نقطه ی خنثی بار است. در این روش به خاطر ساختار این نوع ترانسفورمر جریان توالی صفر حذف می شود.

هر دو روش فوق الذکر دچار مشکل بزرگ بودن محتوای راکتیو هستند.

روش دیگر استفاده از دو خازن در باس DC و اتصال نقطه ی خنثی بار به وسط دو خازن است. این روش به Split DC link capacitor موسوم است.



شکل ۱-۲. آرایش اینورتر سه ساق برای تامین اتصال نقطه خنثی بار

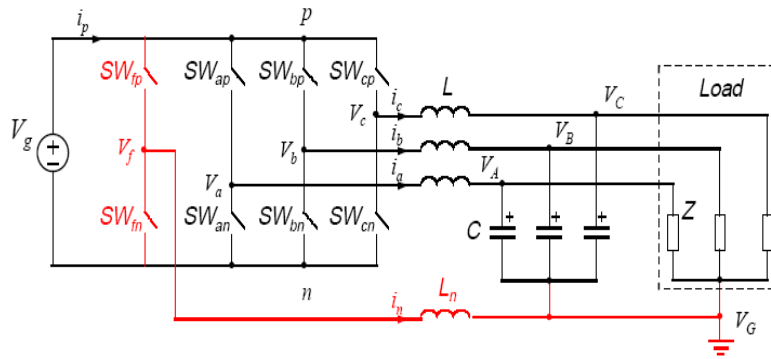
نیاز به خازن بزرگ در باس DC بخصوص هنگامی که بار نامتعادل است بزرگترین عیب این سیستم است. ولتاژ خازن های باس DC با یک ریپل ولتاژ با فرکانس 2ω ناشی از جریان توالی منفی بار و یک ریپل ولتاژ با فرکانس ω ناشی از جریان توالی صفر بار مواجه هستند. برای آنکه این ریپلها در حد قابل قبولی کنترل شوند نیاز به استفاده از خازنهای بزرگتری وجود دارد.

۲-۳- توپولوژی و مدلسازی اینورتر چهارساق

۲-۳-۱- ساختمان اینورتر چهارساق

ساختمان اینورتر چهارساق به شکل زیر است :

^۱ Zig_Zag

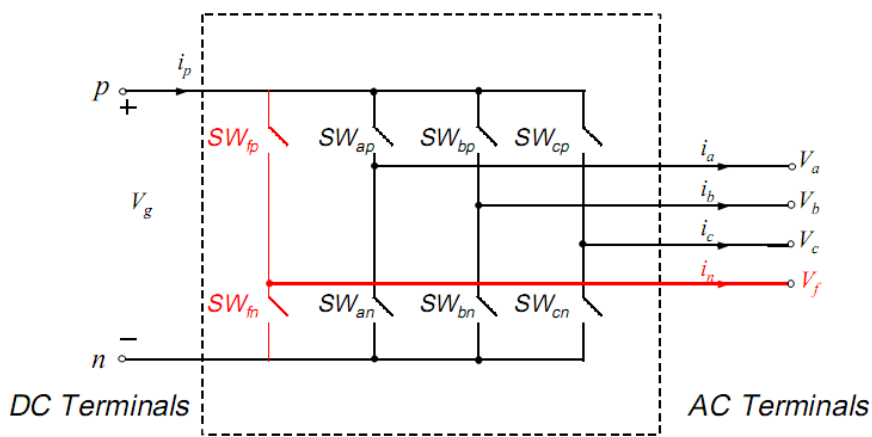


شکل ۲-۲. ساختمان اینورتر چهارساق

همانگونه در شکل ۲-۲ نشان داده شده است ساختمان اینورتر چهارساق شامل شبکه‌ی کلیدزنی ، منبع DC ورودی و فیلتر خروجی است. شبکه‌ی کلیدزنی متشکل از چهار ساق است که در هر ساق دو سوئیچ قرار دارد. استفاده از فیلتر خروجی برای بهبود شکل موج تولیدی توسط اینورتر و کاهش محتوای هارمونیک آن است. سلف قرار گرفته در ساق چهارم وظیفه کاهش ریب‌های با فرکانس کلیدزنی در جریان خنثی را بر عهده دارد و استفاده از آن الزامی نیست. اینورتر چهارساق توانایی تغذیه هر نوع بار اعم از متعادل یا نامتعادل ، خطی و یا غیرخطی را دارد.

۲-۳-۲- مدلسازی شبکه‌ی کلیدزنی اینورتر چهارساق [۱]

شبکه کلیدزنی اینورترهای چهارساق در شکل ۲-۳ نشان داده شده است.



شکل ۲-۳. شبکه کلیدزنی اینورتر چهارساق

برای توضیح عملکرد شبکه‌ی کلیدزنی ، یک تابع کلیدزنی به صورت (۲-۱) تعریف می شود :

$$S_{jf} = \begin{cases} 1 & \text{if } S_{jp} \text{ and } S_{fn} \text{ are closed} \\ 0 & \text{if } S_{jp} \text{ and } S_{fp} \text{ or } S_{jn} \text{ and } S_{fn} \text{ are closed } \quad j = \{a, b, c\} \\ -1 & \text{if } S_{jn} \text{ and } S_{fp} \text{ are closed} \end{cases} \quad (2-1)$$

با استفاده از تابع کلیدزنی تعریف شده در (۱-۲) ولتاژهای ترمینال AC و جریان باس DC به شکل (۲-۲) بیان می شوند:

$$\begin{bmatrix} v_{af} \\ v_{bf} \\ v_{cf} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} s_{af} \\ s_{bf} \\ s_{cf} \end{bmatrix} V_g, \quad (2-2)$$

$$i_p = [s_{af} \quad s_{bf} \quad s_{cf}] \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix}$$

v_{if} و i_p ها شکل موجهای پالسی با پریود T_s (پریود کلیدزنی) هستند. متوسط این سیگنالها در یک پریود کلیدزنی به صورت (۳-۲) است:

$$\begin{bmatrix} \overline{v_{af}} \\ \overline{v_{bf}} \\ \overline{v_{cf}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_{af} \\ d_{bf} \\ d_{cf} \end{bmatrix} V_g, \quad (3-2)$$

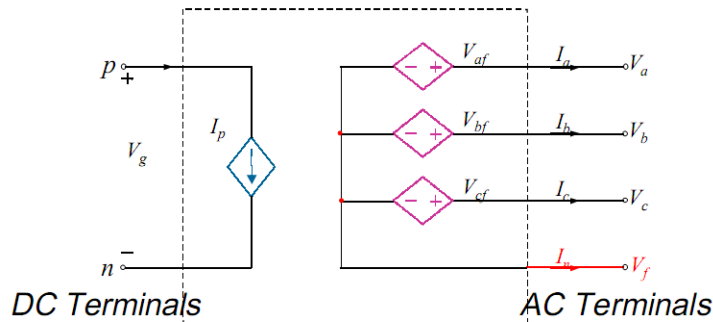
$$I_p = [d_{af} \quad d_{bf} \quad d_{cf}] \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix}$$

منظور از d_{if} در رابطههای بالا عبارت است از:

$$d_{if} = \frac{1}{T_s} \int_{t-T_s}^t S_{if}(\tau) d\tau$$

d_{if} ها دوره کار ساقهای اینورتر هستند. از این پس جهت سادگی برای نمایش مقادیر متوسط به جای نماد \bar{x} از X استفاده می شود.

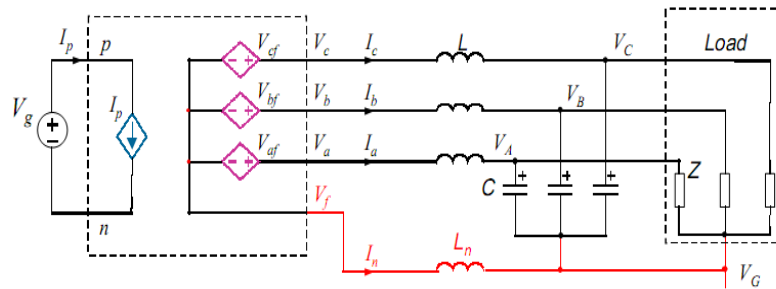
با توجه به رابطه (۳-۲) مدل متوسط سیگنال بزرگ^۱ شبکهی کلیدزنی به صورت زیر خواهد بود:



شکل ۲-۴. مدل متوسط سیگنال بزرگ شبکهی کلیدزنی

با استفاده از مدل به دست آمده برای شبکهی کلیدزنی و قرار دادن آن در مدار اینورتر چهار ساق می توان مدل متوسط سیگنال بزرگ اینورتر چهارساق را به شکل زیر به دست آورد:

^۱ Averaged Larg_Signal model



شکل ۲-۵. مدل متوسط سیگنال بزرگ اینورتر چهارساق

۲-۴- روش‌های کلیدزنی اینورتر چهارساق

در این بخش تعدادی از روش‌های متداول کلیدزنی اینورتر چهارساق شرح داده می‌شوند. ابتدا به روش کلاسیک مدولاسیون برداری سه بعدی پرداخته می‌شود و سپس سایر روش‌ها بررسی خواهند شد.

۲-۴-۱- مدولاسیون بردار فضایی سه بعدی [۱]

۲-۴-۱-۱- حالات کلیدزنی و بردارهای ولتاژ

هر ساق اینورتر چهار حالت سوئیچینگ دارد:

۱. هر دو سوئیچ باز: وقوع این حالت مجاز نیست زیرا هنگام باز بودن دو سوئیچ ولتاژ ساق نامشخص و وابسته به جریان بار است.
 ۲. هر دو سوئیچ بسته: این حالت نیز به علت اتصال کوتاه شدن باس DC مجاز نیست و باید از وقوع آن جلوگیری شود.
 ۳. سوئیچ بالایی بسته و سوئیچ پایینی باز: در این حالت خروجی ساق به سر مثبت باس DC وصل می‌شود. این ترکیب با علامت p نمایش داده می‌شود.
 ۴. سوئیچ بالایی باز و سوئیچ پایینی بسته: با این ترکیب خروجی ساق به سر منفی باس DC متصل می‌گردد. این ترکیب با علامت n نشان داده می‌شود.
- در اینورتر چهار ساق با توجه به حالات چهارگانه فوق‌الذکر برای هر ساق، روی هم رفته شانزده ترکیب قابل قبول کلیدزنی وجود دارد که از آنها به حالت کلیدزنی^۱ تعبیر می‌شود.
- هر یک از حالات کلیدزنی یک بردار ولتاژ^۲ تولید می‌کند که همان ولتاژ سه فاز خروجی اینورتر است. بردار ولتاژ متشکل از ولتاژهای خروجی سه فاز اینورتر این گونه است:

$$[v_{af} \ v_{bf} \ v_{cf}]^T$$

¹ Switching state

² Voltage vector