دانشکده مهندسی برق و رباتیک

گروه قدرت

طراحی و ساخت اینورتر سه فاز چهار شاخه جهت تغذیه بارهای نامتعادل

دانشجو: جواد برسلانی

استاد راهنما:

دکتر علی دستفان

استاد مشاور:

مهندس مهدی حق شناس

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

بهمن ماه ۱۳۹۱

بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده : برق و رباتیک

گروه : قدرت

پایان نامه کارشناسی ارشد آقای جواد برسلانی

تحت عنوان: طراحی و ساخت اینورتر چهار شاخه جهت تغذیه بارهای نامتعادل

در تاریخ ..... توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد مورد ارزیابی و با درجه ..... مورد پذیرش قرار گرفت.

استاد راهنما	امضاء	استاد مشاور	امضاء
نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی :	

اساتید داور	امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء
نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی :	
نام و نام خانوادگی :			
نام و نام خانوادگی :			
نام و نام خانوادگی :			

دانشکده مهندسی برق و رباتیک

گروه قدرت

طراحی و ساخت اینورتر سه فاز چهار شاخه جهت تغذیه بارهای نامتعادل

دانشجو: جواد برسلانی

استاد راهنما:

دکتر علی دستفان

استاد مشاور:

مهندس مهدی حق شناس

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

بهمن ماه ۱۳۹۱

تقدیم به:

پدر و مادر عزیزم که در تمامی مراحل زندگی، پشتیبان همیشگی‌ام هستند. همچنین به همسر مهربانم که در تک تک لحظه های زندگی همراهم می‌باشد.

تشکر و قدردانی

وظیفه خود می‌دانم سپاسگزار تمـام آنهـایی باشـم کـه در ایـن دوره ارزشـمند بودنشـان و امیدشان راهگشای من بود؛ پدر و مادر عزیزم که همانند تمام روزهای گذشته با صبر و حوصله در کنارم بودند.

همچنین از استاد عزیز و گرانقدرم جناب آقای دکتر دستفان که با تلاش‌های بی‌شائبه خود مرا در انجام این پایان‌نامه یاری نمودند و به هنگام نیاز برای حل مشکلات اینجانب از هیچ کمکـی دریغ نورزیدند. برای ایشان آرزوی سلامتی، موفقیت و سربلندی را دارم. نیـز کمـال قـدردانی را از جناب آقای مهندس حق شناس به عمل می آورم که در انجام این پروژه از راهنمـایی هایشـان بـه عنوان استاد مشاور بهره برده ام. از کلیه دوستان عزیزم مخصوصا اعضای محترم شرکت مهندسـی نیکان توان پژوهان که در طول مدت تحصیل به اینجانب کمک نمودند، تشکر می کنم و بطور ویژه از برادر مهربانم جناب آقای مهندس حسن برسلانی به جهت حمایت های دلسوزانه‌شان تشکر می-کنم.

تعهد نامه

اینجانب .....**جواد برسلانی**..... دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته .....**برق / قدرت**..... دانشکده .....**برق و رباتیک**..... دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه .... **طراحی و ساخت اینورتر چهار شاخه جهت تغذیه بارهای نامتعادل**.... تحت راهنمائی...**دکتر علی دستفان**....متعهد می شوم .

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است .
- در استفاده از نتایج پژوهش محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است .
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است .
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود» و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید .
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است .
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه رایانه ای، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود .
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده

این پایان‌نامه به معرفی، مدل‌سازی و کنترل اینورترهای سه فاز چهار شاخه جهت تغذیه بارهای نامتعادل می‌پردازد و دو روش جدید در کنترل این مبدل ارائه می‌دهد. روش اول مبتنی بر مجزاسازی و کنترل سیستم با استفاده از فیدبک حالت و روش دوم برپایه مجزاسازی و کنترل به کمک فیدبک ولتاژی مجزاکننده می‌باشد. در هر یک از روش‌های پیشنهادی مدلسازی و طراحی روش کنترل به طور کامل صورت گرفته و بحث‌هایی نظیر پاسخ به اغتشاش و پایداری تا حد امکان بیان شده است. روش‌های پیشنهادی به علت عملکرد در دستگاه abc و نیز سادگی ساختار، در پیاده‌سازی پیچیدگی‌های روش‌های قبلی را نداشته و دارای پاسخ قابل قبولی در حالات بار نامتعادل می‌باشند. نتایج شبیه‌سازی‌ها، توانایی روش‌های بکار گرفته شده را در کاهش خطای ردگیری ولتاژ مرجع خروجی نشان می‌دهد که ارزیابی مقیاس‌های متعارف در بررسی سیستم‌های نامتعادل اعم از اعوجاج کلی هارمونیکی، ضریب عدم تعادل و خطای حالت دائم بر این ادعا صحه می‌گذارد. به منظور بررسی یکی از روش‌های کنترل پیشنهادی در شرایط کار عملی، یک نمونه آزمایشگاهی اینورتر سه فاز چهار شاخه به همراه کلیه‌ی ملزومات آن شامل فیلتر خروجی، بردهای واسط الکترونیک، واحد پردازنده و ... طراحی و ساخته شده است. نتایج حاصل از ساخت نمونه ساخته شده اینورتر و مقایسه‌ی آن با شبیه سازی‌های صورت گرفته، صحت و کارایی روش بکار گرفته شده را اثبات می‌کند.

واژه‌های کلیدی: اینورتر ولتاژ سه فاز چهار شاخه، بار نامتعادل، مدل میانگین اینورتر، روش-های کنترل مجزا کننده، مدولاسیون اینورترهای چهار شاخه.

فهرست مطالب

فصل ۱: مقدمه ۱

۱-۱- تعریف موضوع ۲

۱-۲- هدف پژوهش ۴

۱-۳- مروری بر فصول پایان نامه ۴

فصل ۲: اینورتر های منبع ولتاژ جهت تغذیه بارهای نامتعادل ۷

۲-۱- مقدمه ۸

۲-۲- ساختارهای مختلف اینورتری جهت تغذیه بارهای نامتعادل ۸

۲-۲-۱- ساختار های با سه شاخه ی کلید زنی ۹

۲-۲-۲- اینورتر ولتاژ سه فاز چهار شاخه ۱۲

۲-۳- مفهوم بارهای نامتعادل در دستگاه سه فاز ۱۵

۲-۳-۱- تعاریف مختلف ضریب عدم تعادل ۱۵

۲-۴- روش های مدولاسیون در اینورتر ها ۲۰

۲-۵- روش های کنترل اینورترهای منبع ولتاژ ۲۳

۲-۵-۲- کنترل کننده میزان موثر ولتاژ خروجی ۲۵

۲-۵-۳- کنترل کننده های بر پایه ی مقادیر لحظه ای ولتاژ ۲۶

۲-۵-۴- سایر روشهای کنترلی ۳۱

فصل ۳: روش های پیشنهادی در مدلسازی و کنترل ۳۲

۳-۱- مقدمه فصل ۳۳

۳-۱- مدلسازی اینورتر سه فاز چهار شاخه در دستگاه abc ۳۴

۳-۱-۱- معرفی مدار اینورتر و بدست آوردن مدل میانگین ۳۴

۳-۱-۲- معرفی معادلات حالت سیستم ۳۶

۳-۱-۳- بررسی سیستم کنترل نشده ۳۸

۳-۲- روش اول پیشنهادی، کنترل سیستم با استفاده از فیدبک حالت مجزا کننده ۴۲

۳-۲-۲- کنترل کننده فیدبک حالت ۴۳

۳-۲-۳- مجزا سازی با استفاده از فیدبک حالت ۴۴

۳-۲-۴- بررسی اثر اغتشاش جریان بار در روش کنترل پیشنهادی ۴۸

۳-۳- روش دوم پیشنهادی، کنترل سیستم با فیدبک ولتاژی مجزا کننده ۵۱

۳-۳-۱- مجزا سازی سیستم با استفاده از فیدبک ولتاژی ۵۱

۳-۳-۲- کنترل سیستم مجزا شده ۵۴
۳-۴- مدولاسیون و تعیین سیگنال های گیت کلیدها ۵۶
۳-۵- خلاصه فصل ۵۶

فصل ۴: نتایج شبیه سازی و ساخت ۵۸
۴-۱- مقدمه فصل ۵۹
۴-۲- طراحی پارامترهای سیستم ۶۰
۴-۳- شبیه سازی سیستم در نرم افزار متلب ۶۱
۴-۳-۲- شبیه سازی روش کنترل پیشنهادی اول ۶۳
۴-۳-۳- شبیه سازی روش کنترلی پیشنهادی دوم ۶۴
۴-۴- ساخت سخت افزار و پیاده سازی برنامه اینورتر مورد بررسی ۶۶
۴-۵- نتایج شبیه سازی و ساخت ۷۷
۴-۵-۱- بررسی و مقایسه پاسخ روش های کنترلی پیشنهادی با استفاده از شبیه سازی ۷۷
۴-۵-۲- بررسی نتایج حاصل از ساخت و مقایسه با شبیه سازی ۱۰۱

فصل ۵: نتیجه گیری و پیشنهادات ۱۱۷
۵-۱- نتیجه گیری ۱۱۸
۵-۲- پیشنهادات ۱۲۰

مراجع ۱۲۱

پیوست‌ها ۱۲۶

فهرست اشکال

شکل (۲-۱) ساختار کلی اینورتر سه فاز سه شاخه با ترانس خروجی مثلث به ستاره جهت تامین سیم نوترال [۱]..... ۹
شکل (۲-۲) ساختار کلی اینورتر سه فاز با سر وسط خازن لینک DC [۱]..... ۱۰
شکل (۲-۳) ساختار کلی اینورتر نیم پل تک فاز [۱]..... ۱۱
شکل (۲-۴) ساختار کلی اینورترولتاژ سه فاز چهار شاخه [۱]..... ۱۲
شکل (۲-۵) ساختار کلی اینورترولتاژ تک فاز تمام موج [۱]..... ۱۳
شکل (۲-۶) ساختار اینورتر دو شاخه دارای دو درجه آزادی در ورودی و یک درجه آزادی در ولتاژ خروجی [۲۱]..... ۱۴
شکل (۲-۷) ساختار اینورتر سه شاخه دارای سه درجه آزادی در ورودی و دو درجه آزادی در ولتاژ خروجی [۲۱]..... ۱۴
شکل (۲-۸) ساختار اینورتر چهار شاخه دارای چهار درجه آزادی در ورودی و سه درجه آزادی در ولتاژ خروجی [۲۱]..... ۱۴
شکل (۲-۹) دیاگرام کلی برداری های فضایی سه بعدی در اینورترهای چهار شاخه [۲۷]..... ۲۲
شکل (۲-۱۰) نمای کلی اینورتر کنترل شده حلقه بسته تکفاز در یک UPS [۲۷]..... ۲۴
شکل (۳-۱) نمودار کلی مدار قدرت اینورتر سه فاز چهار شاخه به همراه فیلتر خروجی..... ۳۴
شکل (۳-۲) مدل میانگین سیگنال بزرگ یک اینورتر سه فاز چهار شاخه در دستگاه abc..... ۳۶
شکل (۳-۳) نمودار لگاریتمی اندازه و فاز سیستم کنترل نشده؛ نمودارهای آبی و سبز به ترتیب مربوط به تابع تبدیل عناصر قطری اصلی و غیر قطری اصلی تابع تبدیل رابطه (۳-۱۸)..... ۴۱
شکل (۳-۴) دیاگرام کلی روش کنترلی پیشنهادی (a): سیستم حلقه باز با وجود اغتشاش (b): سیستم حلقه بسته با فیدبک حالت خطی مجزا کننده بدون اغتشاش (c): تابع تبدیل معادل سیستم مجزا شده حلقه بسته (d): کنترل کننده تناسبی پیشنهادی برای سیستم مجزا شده نهایی با اغتشاش..... ۴۷
شکل (۳-۵) اینورتر تکفاز معادل در هر یک از فازها پس از مجزا سازی..... ۵۳
شکل (۳-۶) مدل حوزه فرکانس اینورتر معادل در هر یک از فازهای خروجی..... ۵۴
شکل (۳-۷) بلوک دیاگرام روش کنترل پیشنهادی با در نظر گرفتن اثر تاخیر مربوط به نمونه برداری ۵۵
شکل (۴-۱) ساختار کلی اینورتر سه فاز چهار شاخه مورد بررسی در شبیه سازی و ساخت..... ۶۰

شکل (۴-۲) مدار قدرت شبیه سازی شده اینورتر سه فاز چهار شاخه مورد بررسی در نرم افزار متلب / سیمولینک..... ۶۲
شکل (۴-۳) بلوک دیاگرام کلی نحوه ی پیاده سازی روش کنترلی پیشنهادی اول در نرم افزار متلب ۶۴
شکل (۴-۴) بلوک دیاگرام کلی نحوه ی پیاده سازی روش کنترلی پیشنهادی اول در نرم افزار متلب ۶۵
شکل (۴-۵) بلوک دیاگرام ارتباط سخت افزار تست ساخته شده برای اینورتر سه فاز چهار شاخه مورد بررسی..... ۶۶
شکل (۴-۶) شماتیک مدار قدرت در نمونه تست ساخته شده اینورتر سه فاز چهار شاخه مورد بررسی ۶۷
شکل (۴-۷) نمایی از دستگاه ساخته شده در آزمایشگاه..... ۶۷
شکل (۴-۸) نمای مدار درایور مربوط به یکی از شاخه های کلید زنی به همراه دو MOSFET در یک شاخه در دستگاه ساخته شده..... ۶۹
شکل (۴-۹) نمایی از برد CPLD به همراه اتصالات آن به بردهای Signal Conditioning، برد ARM و برد درایور..... ۷۱
شکل (۴-۱۰) شمای کلی مربوط به فرایند تولید سیگنالهای PWM و زمان وقوع وقفهها در میکروکنترلر ARM مورد استفاده..... ۷۵
شکل (۴-۱۱) فلوچارت برنامه پیاده سازی شده در میکروکنترلر ARM به زبان برنامه نویسی C..... ۷۶
شکل (۴-۱۲) نحوه ی اتصالات و انواع مختلف بار شبیه سازی شده ۷۸
شکل (۴-۱۳) شکل موج ولتاژها و جریانهای خروجی حاصل از شبیه سازی در حالت بی بار، (a): روش کنترل حلقه باز، (b): روش کنترل پیشنهادی اول، (c): روش کنترل پیشنهادی دوم ۸۲
شکل (۴-۱۴) آنالیز هارمونیک شکل موج ولتاژ فاز a خروجی حاصل از شبیه سازی در حالت بی بار، (a): روش کنترل حلقه باز، (b): روش کنترل پیشنهادی اول، (c): روش کنترل پیشنهادی دوم... ۸۳
شکل (۴-۱۵) شکل موج جریان های سلف های خروجی فیلتر اینورتر حاصل از شبیه سازی در حالت بی بار، (a): روش کنترل حلقه باز، (b): روش کنترل پیشنهادی اول، (c): روش کنترل پیشنهادی دوم ۸۴

شکل (۴-۱۶) شکل موج شاخصهای مدولاسیون خروجی کنترل کننده (ورودی PWM) حاصل از شبیه سازی در حالت بی بار، (a) : روش کنترل حلقه باز، (b): روش کنترل پیشنهادی اول، (c): روش کنترل پیشنهادی دوم ۸۵
شکل (۴-۱۷) شکل موج ولتاژها و جریانهای خروجی حاصل از شبیه سازی در حالت بار کامل متعادل، (a): روش کنترل حلقه باز، (b): روش کنترل پیشنهادی اول، (c): روش کنترل پیشنهادی دوم ۸۷
شکل (۴-۱۸) آنالیز هارمونیک شکل موج ولتاژ فاز a خروجی حاصل از شبیه سازی در حالت بار کامل متعادل، (a): روش کنترل حلقه باز، (b): روش کنترل پیشنهادی اول، (c): روش کنترل پیشنهادی دوم..... ۸۸
شکل (۴-۱۹) شکل موج جریان های سلف های خروجی فیلتر اینورتر حاصل از شبیه سازی در حالت بار کامل متعادل، (a): روش کنترل حلقه باز، (b): روش کنترل پیشنهادی اول، (c): روش کنترل پیشنهادی دوم..... ۸۹
شکل (۴-۲۰) شکل موج شاخصهای مدولاسیون خروجی کنترل کننده (ورودی PWM) حاصل از شبیه سازی در حالت بار کامل متعادل، (a) : روش کنترل حلقه باز، (b): روش کنترل پیشنهادی اول، (c): روش کنترل پیشنهادی دوم..... ۹۰
شکل (۴-۲۱) شکل موج ولتاژها و جریانهای خروجی حاصل از شبیه سازی در حالت بار نامتعادل تک فاز، (a): روش کنترل حلقه باز، (b): روش کنترل پیشنهادی اول، (c): روش کنترل پیشنهادی دوم ۹۲
شکل (۴-۲۲) آنالیز هارمونیک شکل موج ولتاژ فاز a خروجی حاصل از شبیه سازی در حالت بار نامتعادل تک فاز،(a) : روش کنترل حلقه باز، (b): روش کنترل پیشنهادی اول، (c): روش کنترل پیشنهادی دوم..... ۹۳
شکل (۴-۲۳) شکل موج جریان های سلف های خروجی فیلتر اینورتر حاصل از شبیه سازی در حالت بار نامتعادل تک فاز، (a): روش کنترل حلقه باز، (b): روش کنترل پیشنهادی اول، (c): روش کنترل پیشنهادی دوم ۹۴
شکل (۴-۲۴) شکل موج شاخصهای مدولاسیون خروجی کنترل کننده (ورودی PWM) حاصل از شبیه سازی در حالت بار نامتعادل تک فاز، (a) : روش کنترل حلقه باز، (b): روش کنترل پیشنهادی اول، (c): روش کنترل پیشنهادی..... ۹۵

شکل (۴-۲۵) شکل موج ولتاژها و جریانهای خروجی حاصل از شبیه سازی در حالت بار نامتعادل خط به خط، (a): روش کنترل حلقه باز، (b): روش کنترل پیشنهادی اول، (c): روش کنترل پیشنهادی دوم ۹۷
شکل (۴-۲۶) آنالیز هارمونیک شکل موج ولتاژ فاز a خروجی حاصل از شبیه سازی در حالت بار نامتعادل خط به خط، (a): روش کنترل حلقه باز، (b): روش کنترل پیشنهادی اول، (c): روش کنترل پیشنهادی دوم ۹۸
شکل (۴-۲۷) شکل موج جریان های سلف های خروجی فیلتر اینورتر حاصل از شبیه سازی در حالت بار نامتعادل خط به خط، (a): روش کنترل حلقه باز، (b): روش کنترل پیشنهادی اول، (c): روش کنترل پیشنهادی دوم ۹۹
شکل (۴-۲۸) شکل موج شاخصهای مدولاسیون خروجی کنترل کننده (ورودی PWM) حاصل از شبیه سازی در حالت بار نامتعادل خط به خط، (a) : روش کنترل حلقه باز، (b): روش کنترل پیشنهادی اول، (c): روش کنترل پیشنهادی ۱۰۰
شکل (۴-۲۹) شکل موج ولتاژهای فاز سه فاز خروجی در حالت بار کامل متعادل با بکار گیری روش کنترل پیشنهادی دوم، (a): نتیجه ساخت (b): شبیه سازی در نرم افزار ۱۰۴
شکل (۴-۳۰) شکل موج جریان های بار سه فاز خروجی در حالت بار کامل متعادل با بکار گیری روش کنترل پیشنهادی دوم، (a): نتیجه ساخت (b): شبیه سازی در نرم افزار ۱۰۵
شکل (۴-۳۱) شکل موج ولتاژ و جریان یکی از خازن ها، ورودی های فید بک شده به حلقه کنترل در حالت بار کامل متعادل با بکار گیری روش کنترل پیشنهادی دوم، (a): نتیجه ساخت (b): شبیه سازی در نرم افزار ۱۰۶
شکل (۴-۳۲) شکل موج شاخص مدولاسیون یکی از فازها (خروجی حلقه کنترل) در حالت بار کامل متعادل با بکار گیری روش کنترل پیشنهادی دوم، (a): نتیجه ساخت (b): شبیه سازی در نرم افزار ۱۰۷
شکل (۴-۳۳) شکل موج ولتاژهای فاز سه فاز خروجی در حالت بار نامتعادل حالت اول با بکار گیری روش کنترل پیشنهادی دوم، (a): نتیجه ساخت (b): شبیه سازی در نرم افزار ۱۰۸
شکل (۴-۳۴) شکل موج جریان های بار سه فاز خروجی در حالت بار نامتعادل حالت اول با بکار گیری روش کنترل پیشنهادی دوم، (a): نتیجه ساخت (b): شبیه سازی در نرم افزار ۱۰۹

شکل (۴-۳۵) شکل موج ولتاژ و جریان یکی از خازن ها، ورودی های فید بک شده به حلقه در حالت بار نامتعادل حالت اول با بکار گیری روش کنترل پیشنهادی دوم، (a): نتیجه ساخت (b): شبیه سازی در نرم افزار ۱۱۰
شکل (۴-۳۶) شکل موج شاخص مدولاسیون یکی از فازها (خروجی حلقه کنترل) در حالت بار نامتعادل حالت اول با بکار گیری روش کنترل پیشنهادی دوم، (a): نتیجه ساخت (b): شبیه سازی در نرم افزار ۱۱۱
شکل (۴-۳۷) شکل موج ولتاژهای فاز سه فاز خروجی در حالت بار نامتعادل حالت دوم با بکار گیری روش کنترل پیشنهادی دوم، (a): نتیجه ساخت (b): شبیه سازی در نرم افزار..... ۱۱۲
شکل (۴-۳۸) شکل موج جریان های بار سه فاز خروجی در حالت بار نامتعادل حالت دوم با بکار گیری روش کنترل پیشنهادی دوم، (a): نتیجه ساخت (b): شبیه سازی در نرم افزار..... ۱۱۳
شکل (۴-۳۹) شکل موج ولتاژ و جریان یکی از خازن ها، ورودی های فید بک شده به حلقه در حالت بار نامتعادل حالت دوم با بکار گیری روش کنترل پیشنهادی دوم، (a): نتیجه ساخت (b): شبیه سازی در نرم افزار ۱۱۴
شکل (۴-۴۰) شکل موج شاخص مدولاسیون یکی از فازها (خروجی حلقه کنترل) در حالت بار نامتعادل حالت دوم با بکار گیری روش کنترل پیشنهادی دوم، (a): نتیجه ساخت (b): شبیه سازی در نرم افزار ۱۱۵
شکل (۴-۴۱) شکل موج پالس های PWM مربوط به یک شاخه خروجی برد CPLD ورودی برد درایور، فرکانس کلید زنی 4kHz و زمان مرده 4 میکرو ثانیه..... ۱۱۶

فهرست جداول

جدول (۳-۱) مقادیر نوعی پارامترهای سیستم مورد بررسی ۳۹
جدول (۴-۱) پارامترهای اصلی سیستم در شبیه سازی و ساخت..... ۶۱
جدول (۴-۲) پارمترهای المانهای نیمه هادی مربوط به شبیه سازی در نرم افزار..... ۶۲
جدول (۴-۳) مقادیر پارامترهای تنظیم شده در شبیه سازی روش کنترل پیشنهادی اول ۶۳
جدول (۴-۴) مقادیر پارامترهای تنظیم شده در شبیه سازی روش کنترل پیشنهادی اول ۶۵
جدول (۴-۵) پارامترها و مشخصههای سیستم تست ساخته شده اینورتر سه فاز چهار شاخه..... ۶۹
جدول (۴-۶) مشخصات کلید و درایور مورد استفاده در دستگاه نمونه تست ساخته شده..... ۷۰
جدول (۴-۷) مشخصات اصلی برد طراحی شده برای راه اندازی میکروکنترلر ۷۴
جدول (۴-۸) مشخصات اصلی میکروکنترلر ARM به کار گرفته شده..... ۷۵
جدول (۴-۹) مشخصات انواع مختلف بار تست شده در شبیه سازی توسط نرم افزار متلب ۷۸
جدول (۴-۱۰) نتایج حاصل از شبیه سازی اینورتر سه فاز چهارشاخه با استفاده از روش های کنترل پیشنهادی در حالتهای مختلف بار ۷۹
جدول (۴-۱۱) مشخصات حالات مختلف بار در نظر گرفته شده در تست عملی..... ۱۰۲
جدول (۴-۱۲) نتایج حاصل از تست نمونه ساخته شده اینورتر سه فاز چهار شاخه در حالات مختلف بارگذاری با بکار گیری روش کنترل پیشنهادی دوم ۱۰۲

فصل ۱: مقدمه

۱-۱- تعریف موضوع

با پیشرفت صنعت برق و افزایش تقاضای انرژی، استفاده از مبدل‌های الکترونیک قدرت به عنوان واسط انرژی توسعه پیدا کرده است. از جمله کاربردهای مهم این مبدل‌ها استفاده از آن‌ها به عنوان تغذیه می‌باشد. اینورتر منبع ولتاژ[۱] یکی از رایج ترین این مبدل‌هاست که انرژی را از منبع DC دریافت و با فرایند کلید زنی به ولتاژ AC در ترمینال خود تبدیل می‌کند.

اینورترها در یک دسته بندی کلی به دو نوع سه فاز و تک فاز دسته بندی می‌شوند. اینورترهای تکفاز با ساختارهای مختلف، قادرند با کنترل فرایند کلید زنی، ولتاژ AC را به بار تکفاز متصل به خود تحویل دهند. در مصارف مختلف بارهای مختلفی اعم از تکفاز و سه فاز موجود است که اتصال مجموعه بارهای تکفاز و سه فاز به یک سیستم انرژی سه فاز، سبب ایجاد نامتعادلی در بار کلی سیستم خواهد شد. به جهت آن‌که بتوان از اینورترهای سه فاز جهت تغذیه این چنین سیستم‌هایی استفاده کرد، لازم است اثر وجود نامتعادلی در بار خروجی را در عملکرد اینورتر بررسی نمود که این کار مستلزم شناخت بارهای نامتعادل و اثرات آن و نیز شناخت ساختارهایی از اینورترهای سه فاز است که قادر به تغذیه بارهای نامتعادل می‌باشند.

بارهای نامتعادل به طور کلی به بارهایی گفته می‌شوند که سبب ایجاد عدم تعادل در جریان‌های سه فاز می‌گردند. بنابراین جریان‌های بار دارای توالی‌های منفی و صفر خواهد شد که جاری شدن آن‌ها در سیستم سبب بوجود آمدن افت ولتاژهای توالی منفی و صفر بر روی امپدانس‌ها می‌گردند که در نهایت باعث نامتعادلی در ولتاژ ترمینال منبع سه فاز تغذیه کننده سیستم می‌شود.

اولین مسئله‌ای که در تغذیه‌ی این گونه بارها توسط اینورترهای ولتاژ مطرح می‌شود این است که اینورتر تغذیه کننده باید از لحاظ اتصالات سه فاز به گونه‌ای باشد که امکان جاری شدن جریان‌های توالی‌های منفی و صفر در آن وجود داشته باشد. به عبارت دیگر مبدل جهت تغذیه‌ی بارهای نامتعادل می‌بایست مسیر نوترال جریان توالی صفر را هم فراهم کند یا به اصطلاح اینورتر

---

[۱] Voltage Source Inverter

باید چهار سیم در خروجی خود داشته باشد. مسئله دیگر این است که نامتعادل شدن ولتاژها در یک سیستم سه فاز مطلوب نیست و اثرات زیانباری در سیستم بوجود خواهد آورد و به بارهای سه فاز متصل به سیستم آسیب میزند به طور مثال در موتورهای القایی سه فاز سبب ایجاد گشتاورهای مزاحم شده و عملکرد ماشین را مختل می‌کند. بنابراین اینورتر تغذیه کننده‌ی مجموعه بار نامتعادل باید با ایجاد ولتاژهای توالی منفی و صفر در خروجی خود، اثر نامتعادلی جریان بار را خنثی کرده و در نتیجه ولتاژ ترمینال خود را متعادل کند.

ساختارهای گوناگونی از اینورترهای منبع ولتاژ جهت تغذیه بارهای نامتعادل در مراجع معرفی شده‌اند که هر یک دارای مزیت‌ها و معایبی می‌باشند. یکی از این ساختارها، اینورتر منبع ولتاژ سه فاز چهار شاخه[1] می‌باشد که در آن مسیر جریان توالی صفر از طریق شاخه چهارم کلید زنی فراهم می‌آید. در این مبدل‌ها احتیاج به استفاده از ترانسفورماتور در خروجی نیست و ولتاژ ترمینال سه فاز از طریق کنترل کلید زنی در چهار شاخه پدید می‌آید. در این پایان‌نامه به عنوان یک ساختار پایه، این نوع از اینورترها در حالت تغذیه‌ی بار نامتعادل مورد بررسی قرارگرفته شده است. شرایط مطلوب برای این چنین سیستمی دستیابی به ولتاژهای پایدار سه فاز خروجی با مشخصه‌هایی نظیر اعوجاج کلی هارمونیکی و ضریب عدم تعادل پایین است. روشن است سیستم حلقه باز دارای مشخصه‌های مطلوب نیست و لازم است سیستم به طور حلقه بسته کنترل شود. لذا مدلسازی سیستم باید صورت گیرد تا براساس آن روش کنترل خاصی پیشنهاد گردد.

همچنین در این پایان نامه به منظور بررسی دقیق‌تر و عملی‌تر رفتار اینورتر سه فاز چهار شاخه، یک دستگاه نمونه تست آزمایشگاهی ساخته شده که در آن کلیه ملزومات اضافی مورد نیاز نظیر فیلتر خروجی، بردهای الکترونیک اندازه‌گیر، واحد پردازنده و ... در نظر گرفته شده تا مباحث تئوری مورد بحث را در آن پیاده سازی و تست کرد.

[1] Three Phase Four-leg Voltage Source Inverter

۱-۲- هدف پژوهش

هدف از این پژوهش بررسی و شناخت دقیق رفتار اینورتر منبع ولتاژ سه فاز چهار شاخه به عنوان یک ساختار کارآمد جهت تغذیه‌ی بارهای نامتعادل است که در گام اول منجر به تحلیل، مدلسازی و کنترل آن در فضای تئوری شده است. در مرحله بعد صحت تئوری‌های بیان شده و روش‌های کنترل پیشنهادی با استفاده از شبیه سازی در نرم افزار متلب مورد ارزیابی قرار می‌گیرد که در این مرحله، شبیه سازی با در نظر گرفتن شرایط واقعی یک دستگاه عملی انجام گرفته تا نتایج آن را بتوان با نتایج عملی مقایسه نمود. در نهایت با استفاده از طراحی‌های تئوری انجام گرفته و بر مبنای نتایج شبیه سازی، یک دستگاه اینورتر سه فاز چهار شاخه طراحی و ساخته شده است که این دستگاه قادر به تست مباحث تئوری و روش‌های کنترل پیشنهادی می‌باشد.

۱-۳- مروری بر فصول پایان نامه

فصل دوم این پایان‌نامه به معرفی اینورترهای منبع ولتاژ سه فاز جهت تغذیه‌ی بارهای نامتعادل می‌پردازد. در واقع زمینه تئوری لازم برای این پایان نامه در فصل دوم بیان شده است. در بخش اول این فصل چند ساختار رایج اینورترهای منبع ولتاژ سه فاز با چهار سیم خروجی بیان شده است که عبارتند از ساختارهای غیر فعال سه شاخه با ترانس در خروجی، ساختار سه شاخه با استفاده از سر وسط لینک DC جهت ایجاد نقطه‌ی نوترال و ساختار اینورتر ولتاژ چهار شاخه. در این بخش همچنین به مقایسه مختصر بین ساختارهای مطرح شده، پرداخته شده است و معایب و مزایای یاد شده در منابع در مورد هر یک از ساختارها بیان شده است. در قسمت بعد به بیان مفهوم بار نامتعادل پرداخته می‌شود و در ادامه مقیاسی عددی برای ارزیابی نامتعادلی در یک سیستم سه فاز با استفاده از استانداردهای موجود معرفی می‌گردد که مورد استفاده در بررسی یک سیستم نامتعادل است. به طور کلی از این بخش‌ها می توان دریافت که یکی از مشخصه‌های بارز بارهای نامتعادل صفر نبودن جریان نوترال در آن‌ها است لذا جهت تغذیه‌ی این‌گونه بارها احتیاج به اینورترهای با چهار سیم خروجی است. در انتهای فصل دوم جهت تکمیل شدن موضوع، انواع مدولاسیون و روش‌های کنترل حلقه بسته اینورترها مورد بحث قرار گرفته شده است.