دانشگاه زنجان

دانشکده‌ی مهندسی

گروه برق

پایان‌نامه‌ی کارشناسی

گرایش: قدرت

عنوان: بررسی انواع اینورترها و ساخت یک اینورتر ۱۰۰۰ ولت‌آمپر

استاد راهنما: جناب آقای مهندس مصطفی طاهری

نگارش: مجید تاران

میثم حسنی

فرهاد رحیمی

تاریخ دفاعیه: **بهمن ۱۳۸۸**

سپاس‌گزاری:

پیش از هر چیز از شما که این پایان‌نامه را در دست گرفته‌اید و قصد مطالعه‌ی حاصل زحمات ما را دارید، سپاس‌گزاری می‌کنیم. هم‌چنین، بر خود لازم می‌دانیم، تشکر کنیم از تمام کسانی که در این مدت ما را صمیمانه هم‌راهی کردند: جنای آقای سلیمی که دوستانه و فراتر از مسئولیت خویش ما را یاری رساندند؛ جناب آقای حاجی‌میری، بیات و انصاری که مسئولانه شرایط مورد نیاز را مهیا نمودند. در آخر، از جناب آقای مهندس طاهری که راه‌نمای ما در این راه بودند، سپاس‌گزاریم.

پیش‌کش به:

پدرم،

به حرمت نانی که به خانه آورد

و مادرم،

به حرمت لقمه‌ای که در دهانم گذاشت،

با لب‌خندی.

فهرست

عنوان صفحه

فصل اول: درآمد

مقدمه ۲

تاریخچه ۲

اینورترهای اولیه ۲

اینورترهای یک‌سوساز کنترل‌شده ۴

کاربردها ۵

بهره‌برداری از منابع تغذیه‌ی DC ۵

منابع تغذیه‌ی بدون وقفه ۶

گرمایش القایی ۷

انتقال توان HVDC ۸

راه‌اندازی‌های فرکانس‌متغیر ۸

راه‌اندازی‌های وسایل نقلیه‌ی الکتریکی ۹

چشم‌انداز ۹

فصل دوم: مبدل‌های DC به DC

مقدمه ۱۳

اساس طرز کار کاهش پله‌ای ۱۳

اساس طرز کار افزایش پله‌ای ۱۵

مبدل‌های تغییر دهنده‌ی حالت ۱۷

مبدل‌های باک ۱۹

مبدل‌های بوست ۲۲

مبدل‌های باک-بوست ۲۴

مبدل کاک ۲۷

مبدل‌های با ترانسفورماتور ایزوله‌کننده ۳۲

مبدل فلای‌بک ۳۲

مبدل فوروارد ۳۴

مبدل پوش-پول ۳۵

مبدل نیم‌پل ۳۷
مبدل تمام‌پل ۳۸
فصل سوم: اینورترهای مدولاسیون پهنای پالس
مقدمه ۴۲
اصول کلی اینورترهای حالت کلیدزنی ۴۴
کلیدزنی مدولاسیون پهنای پالس ۴۵
مقادیر m_f کوچک $(m_f \leq 21)$ ۵۰
مقادیر m_f بزرگ $(m_f > 21)$ ۵۱
اضافه مدولاسیون $(m_a > 1)$ ۵۱
کلیدزنی موج مربعی ۵۳
آرایش‌های مختلف اینورترهای تک‌فاز ۵۴
اینورترهای نیم‌پل ۵۴
اینورترهای تمام‌پل ۵۵
مدولاسیون پهنای پالس با کلیدزنی ولتاژ دوقطبی ۵۵
مدولاسیون پهنای پالس با کلیدزنی ولتاژ تک‌قطبی ۵۹
کنترل خروجی با حذف ولتاژ ۶۲
ریپل در خروجی اینورتر تک‌فاز ۶۳
اینورترهای پوش-پول ۶۶
نرخ کاربرد کلید در اینورترهای تک‌فاز ۶۷
سایر روش‌های کلیدزنی اینورتر ۶۹
کلیدزنی پالس موج مربعی ۶۹
کلیدزنی حذف هارمونیک برنامه‌ریزی‌شده ۷۰
مدولاسیون تنظیم شده با جریان ۷۱
کنترل نوار تلرانس ۷۲
کنترل فرکانس ثابت ۷۳
فصل چهارم: مبدل‌های تشدیدی
مقدمه ۷۵
کلیدزنی جریان القایی در مبدل‌های حالت کلیدزنی ۷۵

کلیدزنی‌های ولتاژ صفر و جریان صفر ۷۷
دسته‌بندی مبدل‌های تشدید ۷۹
مبدل‌های تشدید بار ۸۰
مبدل‌های با کلید تشدیدی ۸۰
مبدل‌های با اتصال dc تشدید ۸۱
مبدل‌های نیم‌سیکل انتگرالی با اتصال فرکانس‌بالا ۸۱
مفاهیم اولیه‌ی مدار تشدید ۸۱
مدارهای تشدید سری ۸۲
مدار تشدید سری میرانشده ۸۲
مدار تشدید سری با بار موازی خازن ۸۳
مشخصه‌های فرکانسی مدار تشدید سری ۸۵
مدارهای تشدید موازی ۸۶
مدار تشدید موازی میرانشده ۸۶
مشخصه‌های فرکانسی مدار تشدید موازی ۸۶
مبدل‌های تشدید بار ۸۸
مبدل‌های dc به dc تشدید با بار سری ۸۸
حالت هدایت ناپیوسته با $\omega_s < 1/2\ \omega_0$ ۹۰
حالت هدایت پیوسته با $1/2\ \omega_0 < \omega_s < \omega_0$ ۹۲
حالت هدایت پیوسته با $\omega_s > \omega_0$ ۹۳
مشخصه‌های کار حالت پایدار ۹۴
کنترل مبدل‌های SLR dc-dc ۹۶
مبدل‌های dc به dc تشدید با بار موازی ۹۶
حالت ناپیوسته‌ی کار ۹۸
حالت پیوسته‌ی کار زیر ω_0 ..... ۹۹
حالت پیوسته‌ی کار بالای ω_0 ..... ۱۰۰
مشخصه‌های کار حالت پایدار ۱۰۱
مبدل dc به dc تشدید مختلط ۱۰۲
اینورترهای dc به ac تشدید موازی، منبع جریانی ۱۰۳

راه‌اندازی ۱۰۵
مبدل‌های کلاس E ۱۰۵
مبدل‌های کلید تشدید ۱۰۸
مبدل‌های کلید تشدید ZCS ۱۱۰
مبدل‌های کلید تشدید ZVS ۱۱۵
مقایسه‌ی آرایش‌های ZCS و ZVS ۱۱۸
آرایش‌های کلیدزنی ولتاژ صفر، ولتاژ کلمپ شده ZVS-CV ۱۱۹
مبدل‌های dc به dc ZVS-CV ۱۲۰
اینورترهای dc به ac ZVS-CV ۱۲۲
مبدل dc به dc ZVS-CV با حذف ولتاژ ۱۲۳
اینورترهای با اتصال dc تشدید با کلیدزنی‌های ولتاژ صفر ۱۲۶
مبدل‌های نیم‌سیکل انتگرالی با اتصال فرکانس‌بالا ۱۳۰
فصل پنجم: اینورترهای نوین
اینورترهای چندسطحی ۱۳۳
روش مدولاسیون با حامل‌های دارای اختلاف فاز ۱۳۵
روش مدولاسیون با حامل‌های دارای اختلاف سطح ۱۳۷
روش مدولاسیون پلکانی ۱۴۰
اینورتر Z-source ۱۴۱
مبدل Z-source ۱۴۴
مدار معادل، اصول کار، و کنترل ۱۴۷
تجزیه و تحلیل مدار و ولتاژ خروجی قابل حصول ۱۵۰
نتایج شبیه‌سازی، نمونه‌ی آزمایشی، و نتایج تجربی ۱۵۲
نتیجه‌گیری ۱۵۵
فصل ششم: طراحی و ساخت یک اینورتر ۱۰۰۰ ولت‌آمپر
مقدمه ۱۵۸
مشخصات اولیه‌ی سامانه ۱۵۸
انتخاب اول ۱۵۹
انتخاب دوم: انتخاب نحوه‌ی تبدیل dc به dc ۱۶۰

مشخصات طبقه‌ی اول (افزاینده‌ی dc) ۱۶۱
انتخاب سوم: انتخاب نوع اینورتر ۱۶۲
محاسبات ۱۶۴
مشخصات موجود ۱۶۴
محاسبات الکتریکی ۱۶۴
محاسبات ترانس مبدل DC به DC ۱۶۵
انتخاب قطعات در مدار قدرت ۱۶۷
طراحی بخش کنترل و راه‌اندازی ۱۶۸
کنترل طبقه‌ی اول ۱۶۹
مدار راه‌انداز ماسفت طبقه‌ی اول ۱۷۲
کنترل طبقه‌ی اینورتر ۱۷۴
راه‌اندازی ماسفت‌های تمام‌پل در اینورتر ۱۸۰
تغذیه‌ی مدار ۱۸۳
طراحی مدارچاپی ۱۸۵

نتیجه‌گیری و پیشنهادها ۱۸۹
مراجع ۱۹۰
ضمایم ۱۹۱

چکیده

این پایان‌نامه انواع مبدل‌های به کار گرفته‌شده در الکترونیک قدرت را، که در تبدیل‌های مختلف dc به ac، ac به dc، dc به dc، و ac به ac به کار می‌روند، با تمرکز بر تبدیل‌های dc به dc و به ویژه، dc به ac مورد بررسی قرار می‌دهد. با دسته‌بندی انواع مبدل‌ها و اینورترها در هر بخش، آرایش‌ها، روش‌های کنترل و روابط مربوطه بیان می‌شود. در ادامه، اینورترهای نوینی مانند اینورترهای چندسطحی و منبع امپدانسی توضیح داده می‌شوند. در انتها، نحوه‌ی طراحی و ساخت یک اینورتر عملی ۱۰۰۰ ولت‌آمپر با به کارگیری روش مدولاسیون پهنای پالس و نتایج تجربی به دست آمده از آن آورده می‌شود.

پیش‌گفتار

هر چند در پایان‌نامه‌های دانش‌جویی چندان معمول نیست، اما جز همین چند سطر، مجالی نیافتیم برای گفتن این چند حرف:

حرف اول، شاید به جرأت بتوان گفت پایان‌نامه‌ی دوره‌ی کارشناسی، کم‌ترین درجه‌ی اهمیت و جدیت را در نظر اساتید و دانش‌جویان داراست، تا آن‌جا که گاه این نبود جدیت به طنز گرایش می‌یابد؛ انتخاب موضوعات دم‌دستی، کپی‌برداری زحمات دیگران، و در به‌ترین حالت، گردآوری و ارائه‌ی پایان‌نامه در عرض یک هفته (!) از جمله‌ی این طنزهاست. در چنین شرایطی، به دنبال انتخاب یک موضوع جدی گشتن و ماه‌ها برای آن وقت گذاشتن، خود طنز دیگری است. گلایه‌ی ما این‌ها نیست، چرا که ما تمسخرها و طعنه‌های جماعتی را که عادت به کسب نمره‌های بی‌زحمت کرده‌اند، به جان خریدیم. بارها شنیده‌ایم که هدف اصلی پایان‌نامه‌ی دوره‌ی کارشناسی، انجام پژوهش نیست بلکه، یادگیری روش پژوهش است؛ اما، حتی مایی که ماه‌ها و ساعت‌ها وقت خود را بر سر این پایان‌نامه گذراندیم، نمی توانیم مدعی آگاهی از روش پژوهش علمی باشیم، چرا که آموزشی در این مهم ندیدیم؛ شوربختانه، طنز اصلی همین جاست، پژوهش بدون آگاهی از روش پژوهش (!).

حرف دوم، همان حرف تکراری تمام پژوهش‌ها است که از هر زبان بشنوی نامکرر است، به ویژه پژوهش‌های عملی: کمبود امکانات که اغلب می‌شود نبود امکانات، برای دانش‌جویان کارشناسی. برای یافتن یک قطعه‌ی ساده و متداول باید هفته‌ها منتظر بمانی و سرآخر، به دلیل نبود دست‌رسی نزدیک، به قطعه‌ای تن دهی که نیازت را برآورده نمی‌سازد. ما خود آگاهیم که این پروژه، پروژه‌ی کوچکی است، منتها آن‌قدر با نبود امکانات در دانشگاه و شهر روبه‌رو می‌شدیم که بزرگ تصور کردن این پروژه چندان خطا به نظر نمی‌رسید.

حرف سوم، دیدیم و شنیدیم که چه اغلب اساتید و چه اغلب دانش‌جویان از پایان‌نامه‌ی گروهی فراری‌اند. ما با آگاهی این خطر را پذیرفتیم؛ خطری که با توجه به روحیه و تمایل اغلب افراد، می‌تواند منجر به ناتمام بودن بسیاری از پروژه‌ها گردد، اما خوش‌بختانه، با صبر و تحمل و روحیه‌ی مثبت خود توانستیم بر این خطر غلبه کنیم. البته، انکار نمی‌کنیم ضعف‌هایی را که در کار گروهی داشتیم و چه بسا برخی جاها توازن را مختل کرد، با این حال، چه جای سرزنش که کسی به ما نیاموخته بود روحیه‌ی جمعی را و اگر نبود پافشاری خود ما، این تجربه نیز به دست نمی‌آمد.

حرف آخر، با این که تمام تلاش خود را کردیم، در حد امکان، تا کار کاملی ارائه دهیم، با این حال، خوب می‌دانیم که کاستی‌ها و نبودهای زیادی در آن یافت خواهد شد. خواهش‌مندیم نظرات، پیشنهادات، انتقادات، و در صورت نیاز، پرسش‌های خود را از طریق ایمیل‌های زیر با ما در میان بگذارید:

مجید تاران majidtaran@gmail.com

میثم حسنی meisam.hassani@gmail.com

فرهاد رحیمی farhad.rahimi@gmail.com

با تشکر

فصل اول

درآمد

مقدمه

اصطلاح "اینورتر" نخستین بار توسط دیوید پرینس[1] به کار گرفته شد[۱]. البته، نمی‌توان با اطمینان ادعا کرد که پرینس ابداع‌کننده‌ی این اصطلاح رایج مهندسی برق است؛ با این حال، او در سال ۱۹۲۵ مقاله‌ای با عنوان "اینورتر[2]" در مجله‌ی GE Review منتشر می‌کند، که دربرگیرنده‌ی تقریباً تمامی عناصر مهم مورد نیاز در اینورترهای نوین است و احتمالاً اولین مطلب منتشر شده‌ای است که این اصطلاح را به طور عام به کار می‌گیرد. شخصی به نام الکساندرسون[3] برای این منظور از اصطلاح "یک‌سوسازی معکوس شده[4]" استفاده کرده بود. به نظر می‌رسد پرینس اصطلاح به کار رفته توسط الکساندرسون را اقتباس کرده و از روی آن، کلمه‌ی مجزایی را با نام اینورتر ایجاد نموده است.

اینورتر، وسیله‌ای الکتریکی است که سیگنال جریان مستقیم (dc) را به سیگنال جریان متناوب (ac) تبدیل می‌کند؛ با استفاده از ادوات مناسب می‌توان سیگنال ac در ولتاژ و فرکانس مطلوب تولید کرد.

اینورترهای استاتیک، قسمت‌های متحرک ندارند و در کاربردهای گسترده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند، از منابع تغذیه‌ی سویچینگ کوچک در رایانه‌ها گرفته تا ادوات dcی فشارقوی در انتقال توان‌بالا. اینورترها معمولاً برای تغذیه‌ی ac از منابع dc به کار می‌روند مانند صفحات یا باتری‌های خورشیدی. در مورد کاربردهای اینورتر در ادامه به طور مفصل بحث خواهد شد.

در واقع اینورتر الکتریکی یک نوسان‌گر الکترونیکی توان‌بالاست. واژه‌ی اینورتر به این دلیل انتخاب شده است که مبدل‌های ac به dc به صورت عکس به کار گرفته شدند تا سیگنال dc را به ac تبدیل کنند؛ اینورترها عمل‌کردی عکس یک‌سوسازها دارند.

۱-۱ تاریخچه [۲]

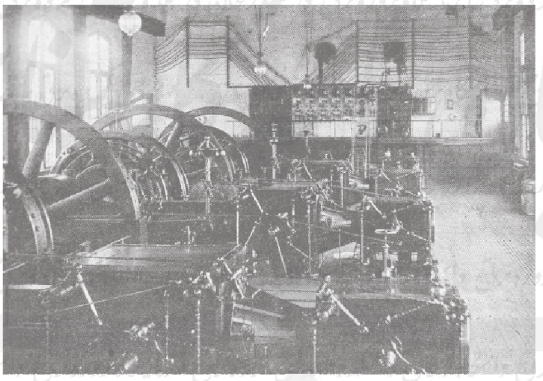
۱-۱-۱ اینورترهای اولیه

از اواخر قرن نوزدهم تا اواسط قرن بیستم، تبدیل توان dc به ac با به کارگیری مبدل‌های گردان[5] یا مجموعه‌های موتور-ژنراتوری[6] (مجموعه‌های M-G) انجام می‌پذیرفت.

---

1. David Prince
2. The Inverter
3. Alexanderson
4. Inverted Rectification
5. Rotary Converter
6. Motor-Generator Set

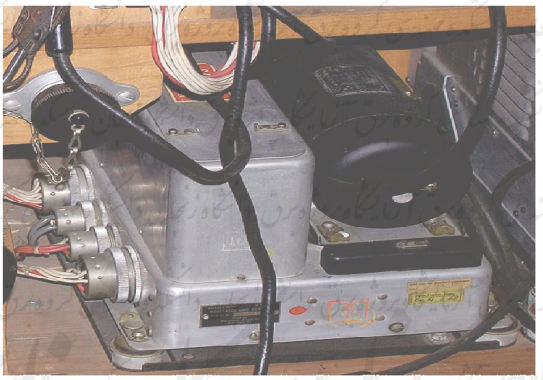
مبدل گردان نوعی از ماشین‌های الکتریکی است که به عنوان یک‌سوساز یا اینورتر مکانیکی عمل می‌کند. استفاده از این مبدل‌ها در گذشته، جهت تامین توان dcی مورد نیاز بخش‌های تجاری، صنعتی و نیز تغذیه‌ی خطوط راه‌آهن رایج بوده است. در زیر دو نمونه از مبدل‌های گردان قدیمی نشان داده شده است:



شکل ۱-۱ نیروگاه ایستگاه راه‌آهن بالتیمور و اوهایو، نصب شده در سال ۱۹۱۰ با ظرفیت ۵۰۰۰ کیلووات، دارای مبدل گردانی جهت تبدیل ولتاژ acی سه‌فاز ۱۳۲۰۰ ولت ۲۵ هرتز به ۶۷۵ ولت dc

شکل ۲-۱ مبدل گردان موجود در موزه‌ی راه‌آهن ایلینویز با توانایی تبدیل ولتاژ ac به ۶۰۰ ولت dc

مجموعه‌های موتور-ژنراتوری وسیله‌هایی هستند که برای تبدیل‌های dc به ac، ac به dc، dc به dc و ac به ac به کار می‌رفتند. در زیر نمونه‌ی کوچکی از این مبدل‌ها را مشاهده می‌کنید:



شکل ۳-۱ مجموعه‌ی موتور-ژنراتور

در اوایل قرن بیستم، استفاده از لامپ‌های خلأ[1] و لامپ‌های گازی[2] به عنوان کلید در مدارهای اینورتری آغاز شد. متداول‌ترین نوع لامپ‌های به کار رفته، تیراترون[3] نام داشت. تیراترون نوعی از لامپ‌های گازی بود که به عنوان کلید الکتریکی با انرژی بالا و یک‌سوساز کنترل‌شده به کار می‌رفت. بر خلاف لامپ خلأ، تیراترون نمی‌تواند برای تقویت خطی سیگنال‌ها به کار رود.

شکل ۴-۱ تیراترون هیدروژنی بزرگ

۲-۱-۱ اینورترهای یک‌سوساز کنترل‌شده[4]

1. Vacuum Tube 2. Gas Filled Tube 3.Thyratron
4. Controlled Rectifier Inverter

از آن‌جا که ترانزیستورهای اولیه با مقادیر ولتاژ و جریان کافی جهت استفاده در کاربردهای اینورتری در دست‌رس نبودند، تریستور یا یک‌سوساز کنترل‌شده‌ی سیلیکونی (SCR[1]) در سال ۱۹۵۷ معرفی شد که امکان گذار به مدارهای اینورتری حالت جامد را مهیا کرد.

شکل ۵-۱ تریستور ۱۰۰۰ آمپری ۱۲۰۰ ولت

هم‌چنان که نیمه‌هادی‌هایی مانند ترانزیستورها یا IGBTها در سطوح ولتاژی و جریانی بالاتر در دست-رس قرار می‌گیرد، ترجیح داده می‌شود که از این اجزای کلیدزنی در مدارهای اینورتری استفاده شود.

۲-۱ کاربردها

۱-۲-۱ بهره‌برداری از منابع تغذیه‌ی DC

اینورتر، برق dc را از منابعی مانند باتری‌ها، صفحات خورشیدی، یا سلول‌های سوختی به برق ac تبدیل می‌کند.

اینورترهای متصل به شبکه (GTI[2]) نوع خاصی از اینورترها هستند که در سامانه‌های انرژی تجدیدپذیر به کار می‌روند تا برق dc را به ac تبدیل کنند و آن را به شبکه‌ی برق تزریق نمایند. به این اینورترها، اینورترهای سنکرون[3] نیز گفته می‌شود که می‌توانند به هنگام از دست رفتن توان ورودی، به طور خودکار کلیدها را قطع کنند.

1. Silicon-Controlled Rectifier 2. Grid Tie Inverter 3. Synchronous Inverter

شکل ۶-۱ اینورتر متصل به شبکه

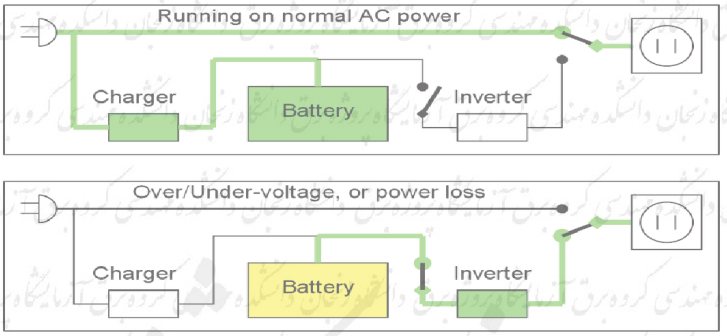
نوع دیگری از اینورترها، میکرواینورترها هستند که برق dcی صفحات خورشیدی را به برق acی سازگار با شبکه‌ی برق تبدیل می‌کنند.

۲-۲-۱ منابع تغذیه‌ی بدون وقفه[1]

منبع تغذیه‌ی بدون وقفه (UPS)، یا باتری پشتیبان، وسیله‌ای الکتریکی است که انرژی اضطراری مورد نیاز برای یک بار را، زمانی که شبکه‌ی برق قطع می‌شود، تامین می‌کند. UPS با سامانه‌ی انرژی جانبی یا اضطراری یا ژنراتور ذخیره تفاوت دارد و در واقع به وسیله‌ی یک یا چند باتری متصل و مدارهای الکترونیکی مربوطه یک نوع حفاظت لحظه‌ای در مقابل وقفه‌های توان ورودی ایجاد می‌کند. مدت زمان این حفاظت در UPSها نسبتاً کم است، حدود ۵ تا ۱۵ دقیقه در واحدهای کوچک، اما همین زمان کم مدت زمان کافی را در اختیار ما قرار می‌دهد تا منبع تغذیه‌ی جانبی را وارد خط یا تجهیزات حفاظت شده را به طور صحیح خاموش کنیم.

UPS با به کارگیری یک اینورتر، جریان dcی باتری‌ها را به جریان ac تبدیل می‌کند و نیز هنگامی که منبع تغذیه‌ی اصلی در دسترس است، با به کارگیری یک یک‌سوساز، توان dcی لازم را برای شارژ باتری‌ها تامین می‌نماید.

1. Uninterruptible Power Supplies



شکل ۷-۱ نمودار UPS و طرز به کارگیری اینورتر در دو حالت تغذیه‌ی بار و شارژ باتری

۳-۲-۱ گرمایش القایی[1]

در این کاربرد، اینورترها توان acی اصلی فرکانس‌پایین را به فرکانس‌بالا تبدیل می‌کنند تا در گرمایش القایی به کار روند. برای انجام این کار، توان ac ابتدا یک‌سوسازی می‌شود و سپس اینورتر، توان dc را به توان acی فرکانس‌بالا تبدیل می‌کند.

گرمایش القایی، فرآیند گرمایش یک هادی الکتریکی (معمولاً یک فلز) توسط القای الکترومغناطیسی است، که جریان‌های گردابی[2]، درون فلز تولید می‌شوند و مقاومت ایجاد شده موجب گرم شدن فلز می‌شود. گرم‌کننده‌ی القایی شامل یک آهن‌ربای الکتریکی است که از درون آن جریان acی فرکانس‌بالا عبور می‌کند. هم‌چنین، این گرما ممکن است توسط تلفات هیسترزیس در موادی که نفوذپذیری نسبی قابل توجهی دارند، ایجاد شود. فرکانس acی به کار رفته به اندازه، نوع و تزویج ماده با سیم‌پیچ به کار رفته و عمق نفوذ بستگی دارد.

شکل ۸-۱ گرمایش القایی

1. Induction Heating 2. Eddy Current

از کاربردهای گرمایش القایی می‌توان به کوره‌ی القایی[1]، جوش‌کاری القایی[2]، پخت القایی[3]، لحیم‌کاری القایی[4]، آب‌بندی القایی[5]، و ... اشاره نمود.

۴-۲-۱ انتقال توان HVDC[6]

در انتقال توان HVDC، توان ac یک‌سوسازی و توان dcی فشارقوی به مکان دیگری منتقل می‌شود. در مکان تحویل، یک اینورتر این توان را دوباره به ac تبدیل می‌کند.

۵-۲-۱ راه‌اندازی‌های فرکانس‌متغیر[7]

راه‌اندازی فرکانس‌متغیر، سرعت کار موتور ac را با فرکانس و ولتاژ تغذیه‌کننده‌ی موتور کنترل می‌کند. این توان کنترل شده را یک اینورتر تامین می‌کند. در اغلب موارد، راه‌اندازی فرکانس‌متغیر شامل یک یک‌سوساز است که توان dcی ورودی اینورتر را از منبع توان acی اصلی تامین می‌کند. از آن‌جا که اینورتر، بخش کلیدی این مجموعه است راه‌اندازی فرکانس‌متغیر گاهی راه‌اندازی اینورتر و یا تنها اینورتر نامیده می‌شود.

شکل ۹-۱ مجموعه‌ی راه‌اندازهای فرکانس‌متغیر کوچک و بزرگ ABB

1. Induction Furnace
2. Induction Welding
3. Induction Cooking
4. Induction Brazing
5. Induction Sealing
6. High Voltage DC
7. Variable-Frequency Drives

۱-۲-۶ راه‌اندازی‌های وسایل نقلیه‌ی الکتریکی

هم‌اکنون، اینورترهای کنترل سرعت موتور قابل تنظیم برای تغذیه‌ی موتورهای پرقدرت کششی[1] در برخی وسایل نقلیه‌ی ریلی الکتریکی و دیزل‌الکتریکی و نیز برخی وسایل نقلیه‌ی الکتریکی تغذیه‌شونده با باتری و هیبریدی به کار می‌روند. هم‌چنین، در وسایل نقلیه‌ی با سامانه‌ی ترمز بازتولیدی[2]، اینورتر انرژی را از موتور، دریافت و در باتری‌ها ذخیره می‌کند.

۱-۳ چشم‌انداز

پیش از هر چیز باید بگوییم که در این پایان‌نامه به اینورترهای قدیمی که دیگر کاربردی ندارند، نپرداختیم و تنها به بررسی اینورترهایی که در حال حاضر به کار برده می‌شوند، خواهیم پرداخت. سعی ما بر این بود که اینورترهای معرفی شده را تا حدامکان به صورت کامل و ریزبه‌ریز مورد بررسی قرار دهیم تا مرجع کاملی برای کاربران باشد.

با توجه به این‌که اغلب اینورترها سطح ولتاژ dc در دست‌رس با مقدار مطلوبی ندارند، به طورعمومی طبقه‌ی اول هر اینورتر را یک مبدل سطح ولتاژ dc تشکیل می‌دهد. هم‌چنین، از آن‌جا که در ساخت نمونه‌ی عملی اینورتر، سطح ولتاژ dc مقدار مناسبی نداشت، از یک افزاینده‌ی dc در طبقه‌ی اول آن استفاده کردیم؛ به همین دلیل، در فصل دوم این پایان‌نامه به بررسی انواع مبدل‌های dc به dc پرداخته‌ایم. در این فصل، ابتدا با بیان اساس کارکرد کاهش و افزایش پله‌ای، نحوه‌ی کنترل وتنظیم خروجی را با به کارگیری مدولاسیون پهنای پالس (PWM[3]) بیان کرده‌ایم. سپس، مبدل‌های dc به dc را که بدون ترانسفورماتور عمل افزایش یا کاهش را انجام می‌دهند، بررسی کرده‌ایم و در نهایت، مبدل‌هایی را که از ترانسفورماتور ایزوله‌کننده[4] برای افزایش یا کاهش ولتاژ استفاده می‌کنند.

در تمام مبدل‌های بیان‌شده در این فصل، کاربرد مدولاسیون پهنای پالس برای تنظیم و کنترل خروجی به وضوح دیده می‌شود. در معرفی هر یک از این مبدل‌ها مزایا و معایب و نیز کاربردها و محدوده‌ی کارکرد هر کدام از لحاظ توان یا ولتاژ و جریان بحث شده است.

---

1. Traction Motor
2. Regenerative Braking
3. Pulse Width Modulation
4. Isolated Transformer

در فصل سوم، به معرفی انواع اینورترهای با مدولاسیون پهنای پالس به صورت جزء به جزء پرداخته‌ایم. به این ترتیب که ابتدا، اصول کلی اینورترهای با مدولاسیون پهنای پالس و روش مدولاسیون پهنای پالس سینوسی (SPWM[1]) را به طور تفصیلی بررسی کرده‌ایم. سپس، آرایش‌های مختلفی را که در این اینورترها قابل به‌کارگیری است و روش‌های مختلف کلیدزنی در این آرایش‌ها را که هریک به منظور خاصی به کار می‌رود، مورد بررسی قرار داده‌ایم. بررسی روش‌های مختلف کنترل خروجی که کاربردهای گوناگونی دارند، از دیگر مباحث این بخش است. در انتها، با توجه به نرخ کاربرد کلید در انواع اینورترها، مقایسه‌ی کوچکی بین آرایش‌های مختلف انجام داده‌ایم.

در فصل چهارم، مبدل‌های تشدیدی[2] را معرفی کرده‌ایم. با توجه به این که جداسازی صرف اینورترهای تشدیدی موجب ناقص شدن مطلب و عدم فهم کامل مباحث مربوطه می‌شد، در این فصل مبدل‌های تشدیدی را به طور یک‌پارچه وکامل مورد بررسی قرار داده‌ایم.

در این فصل، ابتدا با تاکید بر معایب مبدل‌های حالت کلیدزنی[3] مطرح شده در فصل‌های پیشین و بیان ناکارآمدی آن‌ها در کاربردهای توان‌بالا یا فرکانس‌بالا، لزوم استفاده از این نوع مبدل‌ها و مزایای آن بیان شده است. سپس، با بیان اصول کلی مدارهای تشدیدی ومشخصه‌های فرکانسی مدارهای مختلف، پایه و اساس روش تبدیل توان تشدیدی را توضیح داده‌ایم. در ادامه، دسته‌بندی انواع مبدل‌های تشدیدی و نحوه‌ی کار هر یک و کاربردهای آن‌ها با جزئیات کامل گفته شده است. در نهایت، اشاره‌ای به روش‌های کنترل مبدل‌های تشدیدی کرده‌ایم و مقایسه‌ای بین برخی از این مبدل‌ها انجام داده‌ایم.

در فصل پنجم، به دو دسته‌ی مهم از اینورترهای نوین خواهیم پرداخت که عبارت‌اند از: اینورترهای چندسطحی[4] و اینورترهای منبع امپدانسی[5] (Z-source).

تمام اینورترهایی که در فصل‌های پیشین مورد بررسی قرار گرفته‌اند، دوسطحی بوده‌اند؛ ما در این بخش به بررسی ساختار کلی اینورترهای چندسطحی و روش‌های کنترل دامنه‌ی هارمونیک اصلی آن‌ها خواهیم پرداخت و سپس، مزایای آن‌ها را نسبت به اینورترهای دوسطحی بیان خواهیم کرد.

در بخش دوم از این فصل، ابتدا به معایب اینورترهای متداول منبع‌ولتاژی[6] و منبع‌جریانی[7] خواهیم پرداخت. سپس، برای غلبه بر این معایب، ساختار کلی اینورترهای Z-source و مزایای آن‌ها را بررسی خواهیم کرد. پس از توضیح اصول کار و کنترل این اینورترها و تجزیه و تحلیل مدارهای آن‌ها، نتایج شبیه‌سازی و تجربی به دست آمده از یک نمونه‌ی آزمایشی را نشان خواهیم داد.

---

1. Sinusoidal PWM Inverter
2. Resonant Converter
3. Switch Mode Converter
4. Multi-Level
5. Impedance-Source
6. Voltage-Source
7. Current-Source

فصل ششم، به ارائه‌ی مراحل طراحی و ساخت یک نمونه‌ی عملی اینورتر اختصاص دارد. در این فصل، طراحی مدار بر پایه‌ی اصول مطرح شده در فصل‌های پیشین بنیان گذاشته شده است، منتها، موارد فنی بسیاری نیز در لابه‌لای آن گفته شده است که در ساخت مدار باید مورد توجه قرار گیرد. بنابراین، در روند مطالب بیان شده در این فصل تا حدودی تفاوت‌هایی نسبت به فصل‌های پیشین دیده می‌شود؛ چرا که سعی ما بر این بوده است تا تمرکز ما هر چه بیش‌تر روی مسائل عملی و فنی باشد تا مسائل نظری. هر کجا که نیاز به پایه‌ی نظری بود، ارجاعات لازم داده شده است که می‌توانید به فصل‌های پیشین بازگردید.

در انتهای پایان‌نامه، نتیجه‌گیری کلی و پیشنهاداتی برای توسعه‌ی طرح بیان شده است.

دانشجویان محترم:

جهت دسترسی به متن کامل پایان نامه‌ها به کتابخانه دانشکده مهندسی و یا آزمایشگاه پروژه گروه برق مراجعه فرمایید.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این پایان‌نامه دسته‌ی گسترده‌ای از مبدل‌های پرکاربرد در حوزه‌ی الکترونیک قدرت، که در تبدیل‌های مختلف dc به ac، ac به dc، dc به dc، و ac به ac به کار می‌روند، مورد بررسی دقیق و کامل قرار گرفتند. البته، تمرکز و تاکید این پایان‌نامه در اغلب موارد بر روش‌ها و آرایش‌های مربوط به تبدیل dc به dc و به ویژه dc به ac بود. در نهایت، با در نظر گرفتن نکات فنی مختلف، یک اینورتر توان‌بالای ۱۰۰۰ ولت‌آمپر با به کارگیری روش مدولاسیون پهنای پالس، طراحی، ساخته و در شرایط مختلف آزمایش شد.

به عنوان گام‌های بعدی می‌توان با اعمال اصلاحات و افزودن برخی مدارهای جانبی دیگر، این اینورتر را صنعتی و تجاری ساخت. هم‌چنین، با توجه به این که سایر انواع مبدل‌های بررسی شده در این پایان‌نامه هر یک دارای مزایای ویژه‌ای هستند، به نظر می‌رسد طراحی و ساخت نمونه‌هایی از این مبدل‌ها و یا ترکیبی از آن‌ها بتواند در ادامه‌ی این پروژه مفید واقع شود؛ به ویژه، مبدل‌های منبع امپدانسی که نسبت به انواع دیگر به‌روزتر و نوین‌تراند و کم‌تر روی آن‌ها کار شده است، می‌توانند در قالب پروژه‌های متعدد مستقلی مورد بررسی قرار گیرند. هم‌چنین، در همین راستا می‌توان کاربردهای نوین انواع مبدل‌ها، به ویژه مبدل‌های نوین، را مورد پژوهش قرار داد.

مراجع

[1] Owen, Edward L., "History [origins of the inverter]", IEEE Industry Applications Magazine, Vol. 2, Issue 1, pp.64-66, Jan/Feb 1996

[2] Wikipedia, "Inverter (electrical)", http://en.wikipedia.org/wiki/Inverter_(electrical)

[۳] رشید،محمد هـ ، الکترونیک قدرت: مدارها، عناصر و کاربردها، چاپ هفتم ،تهران، نشر نوپردازان، بهار ۱۳۸۶

[۴] امیرسلیمانی، رضا: منابع تغذیه‌ی سوئیچینگ با کنترل جریان، ۱۳۸۳

[5] National Semiconductor, Introduction to Power Supplies, Application Note 556, Sep 2002

[6] Mohan, Ned, Undeland, Tore M., Robbins, William P., Power Electronics: Converters, Applications and Design, second edition, New York, John Wiley, 1995

[۷] کتابی، عباس، دیدبان، داریوش، الکترونیک صنعتی: المان‌ها، مدارها و کاربردها، چاپ اول، کاشان، نشر مرسل، ۱۳۸۷

[8] Peng, Fang Z., "Z-Source Inverter", IEEE Industry Applications, Vol. 39, Issue 2, pp.504-510, Mar/Apr 2003

[9] Pressman, Abraham, Switching Power Supply Design, second edition, United States, McGraw-Hill, 1998

[10] ST Microelectronics, Application Note AN2794, Feb 2009

[11] International Rectifier, Application Note AN-978, Mar 2007