

دانشگاه زنجان

دانشکده فنی و مهندسی

گروه مهندسی برق - الکترونیک

پایان نامه جهت اخذ کارشناسی مهندسی برق - الکترونیک

# مبدل های الکترونیک قدرت و مقایسه

## آنها و شبیه سازی خروجی

استاد:

جناب آقای دکتر جلیله زاده

دانشجو:

سارا اسمخانی زنجان

تابستان ۹۱

تقديم به:

تقديم به قلب مهربان و دل دريایی مادرم و همت والای پدر صبورم.

عزیزانی که بیان به دلم بر زنجیر محبتشان استوار است.

به امید موفقیت این عزیزان

تقدیر و تشکر

حمد و سپاس بی حد ایندو را تسبیح که آدم را صاحب علم و قلم نمود تا کرامتی در خور میندود و در فراوان نثار صاحبان فضل و معرفت

که روشنی بخش عرصه ی گیتی شدند.

و پس از آنان که اگر کلمه ی برای این صفحات نشسته بجز بیاری و دست گیری آنان نبوده است؛ از حضور محترم و یاری اساتید

عزیزم و از دست های نیا تشکر پدر و مادر عزیزم که هر چه است از جوانه های سبز دعای آنان است مجدانه سپاس گزارم.

## فهرست مطالب

### فصل اول: اینورترها

مقدمه ..... ۲

۱-۱- اینورترها ..... ۳

۱-۱-۱- موارد مصرف اینورترها ..... ۳

۱-۱-۲- پارامترهای اجرایی ..... ۴

۱-۲-۱- تعریف مدولاسیون پهنای پالس (PWM) ..... ۶

۱-۲-۱-۱- انواع مدولاسیون پالس ..... ۶

۱-۲-۲-۱- مدولاسیون پالس آنالوگ ..... ۶

۱-۲-۳-۱- مدولاسیون پهنای پالس (PWM) ..... ۶

۱-۲-۳-۲-۱- مدولاسیون پهنای پالس ..... ۷

۱-۲-۳-۲-۱- انواع مدولاسیون ..... ۸

۱-۲-۳-۳-۱- ملاحظات عملی ..... ۹

۱-۳-۱- بررسی تغییر ولتاژ موثر ناشی از تغییر اندیس مدولاسیون (M) ..... ۹

### فصل دوم: مدار کنترل

مقدمه ..... ۱۳

۱-۲- مبدل‌های آنالوگ به دیجیتال (ADC) ..... ۱۴

۱-۲-۱- انواع مبدل‌های آنالوگ به دیجیتال ..... ۱۴

۱-۲-۲- مبدل شمارشی ..... ۱۴

۱-۲-۳- مبدل تقریب متوالی ..... ۱۵

۱-۲-۴- مبدل فلاش یا موازی ..... ۱۶

۱-۲-۵- مبدل آنالوگ به دیجیتال (TLC 0820) ..... ۱۷

۲-۲- سنسور دما (LM35)..... ۱۹

۲-۳- مالتیپلکسر (۷۴۱۵۷)..... ۲۰

۲-۴- سنسور جریان (CSNE 151\_100)..... ۲۱

۲-۵- درایور پل سه فاز "IR2130" IGBT..... ۲۳

### فصل سوم: بلوک دیاگرام مدار قدرت و فرمان اینورتر

مقدمه..... ۲۷

۳-۱- بلوک حفاظت (PROTECTION)..... ۳۰

۳-۲- بلوک رابط کاربر و دستکاه (INTERFACE)..... ۳۰

۳-۳- بلوک کنترل (CONTROL)..... ۳۱

۳-۴- بلوک انتخاب فرمان تریگر (SWITCH)..... ۳۱

۳-۵- بلوک درایور (DRIVER)..... ۳۲

۳-۶- بلوک پل سه فاز (3 Arms Bridge Igbt)..... ۳۲

۳-۷- بلوک سنسورها (CURRENT & TEMPRATURE SENSE)..... ۳۲

### فصل چهارم: پیاده سازی با میکروکنترلر AVR

مقدمه..... ۳۴

۴-۱- معرفی میکروکنترلر AVR..... ۳۵

۴-۱-۱- خصوصیات ATMEGA16..... 35

۴-۲- فیز بیت های ATMEGA16..... ۳۷

۴-۲-۱- فیز بیت CKOPT..... ۳۸

۴-۲-۲- فیز بیت های CKSEL3..CKSEL0..... ۳۹

۴-۲-۳- تنظیمات فیز بیت های CKSEL3..0 و CKOPT و SUT1..0 در زمان..... ۳۹

استفاده از کلاک های متفاوت..... ۳۹

۴-۲-۳-۱- اسیلاتور کریستالی..... ۳۹

۴-۲-۳-۲-اسیلاتور RC کالیبره شده داخلی..... ۴۱

۴-۲-۴-فیوز بیت‌های BODEN و BODELEVEL..... ۴۲

۴-۳-درگاه‌های میکروکنترلر AVR ATMEGA16..... ۴۳

۴-۳-۱-کاربردهای جایگزین پورت A..... ۴۵

۴-۳-۲-کاربردهای جایگزین پورت D..... ۴۶

۴-۴-معرفی تایمر/کانتریک، رجیسترهای کاربردی و امکانات آن..... ۴۶

۴-۴-۱-تایمر/کانتریک در حات PWM..... ۴۸

۴-۴-۲-وقفه سرریزی تایمر/کانتریک..... ۴۹

۴-۵-مبدل آنالوک به دیجیتال داخلی میکروکنترلر..... ۴۹

۴-۵-۱-تکنیکهای کاهش نویز ADC..... ۵۰

۴-۶-زبان برنامه نویسی C و کامپایلر CODEVISION..... ۵۰

۴-۶-۱-دستورات تعریفی زبان C..... ۵۱

۴-۶-۱-۵-تعریف آرایه ها..... ۵۳

۴-۶-۲-عملگرهای زبان C..... ۵۳

۴-۶-۳-دستورات کنترلی..... ۵۵

۴-۷-توابع..... ۶۰

۴-۸-کاربرد اسمبلی در زبان C..... ۶۳

## فصل پنجم: شرح برنامه های میکروکنترلرها

مقدمه..... ۶۴

۵-۱-رابط کاربر با

دستگاه (Interface)..... ۶۵

۵-۱-۱-برنامه ارتباطی بین کاربر و دستگاه..... ۶۵

۵-۱-۲-صفحه کلید..... ۶۵

۵-۱-۲-۱-الگوریتم شناسایی کلید زده شده توسط کاربر.....۶۵

۵-۱-۲-۲-عملکرد کلیدهای صفحه کلید.....۶۷

۵-۱-۳-صفحه نمایش LCD کاراکتری.....۶۸

۵-۱-۴-اتصالات میکروکنترلر.....۶۹

۵-۱-۵-توضیحاتی درباره برنامه.....۷۲

۵-۱-۵-۱-ارتباط با بخش حفاظت مدار.....۷۲

۵-۱-۵-۲-ارتباط با بخش تولید کننده پالس PWM.....۷۲

۵-۱-۶-نحوه ارتباط با دستگاه و مفهوم پیامهای دستگاه.....۷۲

۵-۱-۶-۱-تنظیمات دستگاه.....۷۲

۵-۱-۶-۲-روشن کردن دستگاه.....۷۳

۵-۱-۶-۳-نحوه لغو هشدارها و شروع کار مجدد سیستم حفاظت.....۷۳

۵-۱-۶-۴-پیامهای صفحه نمایش.....۷۳

۵-۱-۷-تنظیمات فیوز بیتها.....۷۵

۵-۱-۸-برنامه مورد استفاده در interface.....۷۶

۵-۲-مدار حفاظت جریان و دمای پل سه فاز IGBT.....۹۱

۵-۲-۱-حسگرها(سنسورها).....۹۲

۵-۲-۱-۱-سنسور جریان.....۹۲

۵-۲-۱-۲-مدار آنالوگ نمونه جریان ورودی.....۹۲

۵-۲-۱-۳-سنسور دما مدار آنالوگ مربوطه.....۹۳

۵-۲-۲-اتصالات میکروکنترلر.....۹۴

۵-۲-۳-توضیحاتی درباره برنامه.....۹۵

۵-۲-۳-۱-ارتباط با بخش رابط کاربر.....۹۵



۶-۱-۲ فرمان تبدیل مقادیر آنالوگ به دیجیتال و نمونه گیری از ولتاژ ورودی..... ۱۲۲

۶-۱-۳ شکل موج خروجی PWM..... ۱۲۳

۶-۱-۴ نمایی از مدار مورد آزمایش بسته شده روی برد..... ۱۲۶

## فصل هفتم: شبیه سازی و مقایسه اینورتر سه فاز دو سطحی با استفاده از MATLAB

۷-۱ شبیه سازی اینورتر سه فاز دو سطحی..... ۱۲۹

۷-۲ توضیحات مدار..... ۱۲۹

۷-۳ نحوه کار مدار..... ۱۳۰

## فصل هشتم: نتیجه گیری و پیشنهادات

۸-۱ جمع بندی..... ۱۳۲

۸-۲ نتیجه

گیری..... ۱۳۲

۸-۳ پیشنهادها..... ۱۳۳

منابع..... ۱۳۵

## فهرست تصاویر

- شکل ۱- ۱: پل اینورتر سه فاز..... ۵
- شکل ۱- ۲: مدولاسیون پهنای پالس سینوسی..... ۷
- شکل ۱- ۳: مدولاسیون پهنای پالس سینوسی اشباع شده..... ۸
- شکل ۱- ۴: مدار اینورتر سه فاز که خروجی آن فیلتر شده..... ۱۰
- شکل ۱- ۵: خروجی اینورتر سه فاز برای  $m=0.7$  و  $m=0.85$ ..... ۱۱
- شکل ۲- ۱: مبدل شمارشی..... ۱۵
- شکل ۲- ۲: مبدل تقریب متوالی..... ۱۶
- شکل ۲- ۳: مبدل فلاش (موازی)..... ۱۷
- شکل ۲- ۴: مد کاری مبدل ۰.۸۲۰..... ۱۸
- شکل ۲- ۵: شکل ظاهری..... ۱۸
- شکل ۲- ۶: نحوه اتصالات مبدل ۰.۸۲۰..... ۱۹
- شکل ۲- ۷: نحوه اتصال سنسور دما..... ۲۰
- شکل ۲- ۸: نمای زیر سنسور دما..... ۲۰
- شکل ۲- ۹: ساختار مالتی پلکسر ۷۴۱۵۷..... ۲۱
- شکل ۲- ۱۰: شکل ظاهری سنسور جریان..... ۲۲
- شکل ۲- ۱۱: نحوه اتصال سنسور جریان..... ۲۲
- شکل ۲- ۱۲: نحوه اتصالات پایه های سنسور..... ۲۳
- شکل ۲- ۱۳: نحوه اتصال سنسور جریان..... ۲۴
- شکل ۲- ۱۴: نحوه اتصال سنسور جریان..... ۲۴
- شکل ۲- ۱۵: نحوه اتصال سنسور جریان..... ۲۵

شکل ۵-۲: مدار شیفیت دهنده نمونه ولتاژ..... ۹۳

شکل ۵-۲: مدار چهار برابر کننده ولتاژ خروجی سنسور دما..... ۹۳

شکل ۵-۳: مدار شیفیت دهنده نمونه ولتاژ ورودی..... ۱۰۸

شکل ۶-۱: شکل موج ورودی و خروجی مدار شیفیت دهنده..... ۱۲۲

شکل ۶-۲: شکل موج فرمان میکروکنترلر به ADC..... ۱۲۳

شکل ۶-۳: شکل موج PWM خروجی..... ۱۲۳

شکل ۶-۴: شکل موج PWM خروجی..... ۱۲۴

شکل ۶-۵: شکل موج PWM خروجی..... ۱۲۴

شکل ۶-۶: شکل موج PWM خروجی..... ۱۲۴

شکل ۶-۷: شکل موج PWM خروجی..... ۱۲۵

شکل ۶-۸: شکل موج PWM خروجی..... ۱۲۵

شکل ۶-۹: شکل موج PWM خروجی..... ۱۲۵

شکل ۶-۱۰: شکل موج PWM خروجی..... ۱۲۶

شکل ۶-۱۱: شکل موج PWM خروجی..... ۱۲۶

شکل ۶-۱۲: نمایی از برد ساخته شده..... ۱۲۷

شکل ۷-۱: انورتر سه فاز دو سطح شبیه سازی شده با MATLAB..... ۱۲۹

## فصل اول

## اینورترها

## مقدمه

ساده‌ترین و اولین کاربرد اینورترها در واقع مربوط به زمانی بود که نیاز به ذخیره انرژی الکتریکی بود و این ذخیره‌سازی انرژی الکتریکی در ولتاژ DC به راحتی با استفاده از انباره‌های الکتریکی قابل انجام بود ولی زمانی که بحث مصرف‌کننده های AC پیش می‌آمد این ذخیره‌سازی به دلیل ماهیت تناوبی امواج AC دچار مشکل می‌شد، از اینرو نیاز به ابزاری که ولتاژ AC را به ولتاژ DC تبدیل کند تا قابل ذخیره‌سازی شود و بتواند در زمان نیاز به انرژی الکتریکی با ولتاژ AC مجدداً این انرژی را به صورت AC به مصرف‌کننده تحویل دهد، احساس شد. قسمت اول که تبدیل AC به DC می‌باشد، به راحتی توسط عناصر یکسوکننده قابل تولید بود و قسمت دوم با تعویض پیای جهت منبع در دو سر بار ایجاد شد ولی این روش نقایص زیادی داشت و جریان گذرنده از بار دارای کیفیت مطلوب نبود و بر روی کیفیت کار مصرف‌کننده تأثیر می‌گذاشت پس از این مدارات مختلف جهت تولید ولتاژ AC از منابع DC ساخته شد و کیفیت ولتاژ و جریان بار بسیار بهبود یافت. پس از این کاربردهای دیگر این ابزار مورد توجه قرار گرفت که از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- راه اندازی و کنترل سرعت موتورهای سنکرون
- راه اندازی و کنترل سرعت موتورهای آسنکرون
- انتقال انرژی به صورت DC و تحویل انرژی الکتریکی AC به مشترکین
- استفاده در ساخت رکتیفایرهای (Rectifier) جوشکاری با قوس الکتریکی
- منابع بدون وقفه جهت استفاده در منازل
- استفاده از انرژی خورشیدی
- پس از گسترش استفاده از اینورترها بحث هارمونیکها قوت گرفت و روشهای مختلفی جهت کاهش هارمونی ولتاژ و جریان AC



## ۱-۱-۱- اینورترها [۳]

کنورترهای DC به AC را اینورتر می‌نامند. کار این اینورتر، تغییر ولتاژ ورودی DC به خروجی AC متقارن در دامنه و فرکانس مورد نظر است. ولتاژ خروجی می‌تواند در یک فرکانس ثابت یا متغیر باشد. ولتاژ خروجی متغیر با تغییر ولتاژ ورودی DC و نگه داشتن ضریب تقویت اینورتر به صورت ثابت می‌تواند به دست آید. از طرف دیگر اگر ولتاژ ورودی DC ثابت و غیر قابل کنترل باشد، می‌توان ولتاژ خروجی متغیر را با تغییر ضریب تقویت اینورتر ( $M$ ) به دست آورد که معمولاً با کنترل مدولاسیون پهنای پالس در اینورتر انجام می‌شود. به نسبت ولتاژ خروجی AC به ورودی DC ضریب تقویت اینورتر می‌گویند. شکل موج خروجی اینورتر ایده آل باید سینوسی باشد. با وجود این، شکل موج اینورترهای عملی، غیر سینوسی بوده و هارمونی‌های معینی دارد. برای مصارف قدرت کم و متوسط، ولتاژهای مربعی یا شبه‌مربعی قابل قبول است و برای مصارف قدرت بالا شکل موج سینوسی با نویز کم لازم است.

### ۱-۱-۱-۱- موارد مصرف اینورترها

- موتورهای ac با سرعت متغیر
- کوره‌های القایی
- منبع تغذیه اضطراری
- منبع تغذیه غیر قابل قطع (ups)

به طور کلی اینورترها به دو دسته تقسیم می‌شوند:

- اینورترهای تکفاز
- اینورترهای سه‌فاز

بسته به نوع کموتاسیون هر دسته به چهار گروه تقسیم می-شود:

- اینورتر با مدولاسیون پهنای پالس
- اینورتر با مدار تشدید
- اینورتر با کموتاسیون کمکی
- اینورتر با کموتاسیون تکمیلی

اگر ولتاژ ورودی اینورتر، ثابت باشد، آن اینورتر را اینورتر با تغذیه ولتاژ (VFI) و اگر جریان ورودی ثابت باشد، آن را اینورتر با تغذیه جریان می-نامیم. اگر ولتاژ ورودی قابل کنترل باشد، به اینورتر DC موسوم است.

### ۱-۱-۲- پارامترهای اجرایی [۱، ۲]

خروجی یک اینورتر عملی شامل هارمونی‌های معینی است و کیفیت یک اینورتر معمولاً برحسب پارامترهای اجرایی زیر تعیین می-شود:

ضریب هارمونی (HF)، که معیاری برای هر هارمونی است و به صورت زیر محاسبه می-شود:

$$HF_n = \frac{V_n}{V_1} \quad (۱-۱)$$

که  $V_1$  مقدار مؤثر مولفه اصلی و  $V_n$  مقدار مؤثر مؤلفه هارمونی  $n$  ام است.

اعوجاج هارمونی کل (THD)، که معیاری برای تشابه بین شکل موج سیگنال و مؤلفه اصلی آن است و به صورت زیر محاسبه می-شود:

$$THD = \frac{1}{V_1} \left( \sum_{n=2,3,\dots}^{\infty} V_n^2 \right)^{1/2} \quad (۲-۱)$$

ضریب اعوجاج (DF).

مقدار THD میزان هارمونی کل را نشان می-دهد، اما اندازه هر مؤلفه هارمونی را ارائه نمی-کند. اگر فیلتری در خروجی اینورتر به کار گرفته شود، هارمونی‌های بالاتر بیشتر

مؤثر واقع می‌شوند. بنابراین دانستن دامنه و فرکانس هر هارمونی مهم است. ضریب اعوجاج، مقدار اعوجاج هارمونی را که در شکل موج وجود دارد بعد از کاهش درجه دوی آن (یعنی تقسیم بر  $n^2$ ) نشان می‌دهد. بنابراین DF معیاری است برای تأثیر کاهش هارمونی ناخواسته بدون اینکه مجبور به تعیین مقادیر فیلتر درجه دوم بار باشیم، و این‌گونه محاسبه می‌شود:

$$DF = \frac{1}{V_1} \left[ \sum_{n=2,3,\dots}^{\infty} \left( \frac{V_n}{n^2} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (3-1)$$

ضریب اعوجاج مؤلفه هارمونی (مثلاً n ام) به شکل زیر تعریف می‌شود:

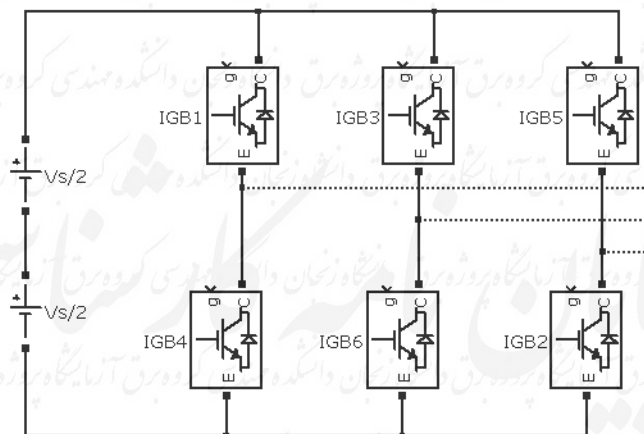
$$DF_n = \frac{V_n}{V_1 n^2} \quad (4-1)$$

هارمونی پایین‌ترین درجه (LOH)، هارمونی است که فرکانس آن به فرکانس مؤلفه اصلی نزدیک‌تر، و دامنه آن بزرگتر یا مساوی ۳٪ دامنه مؤلفه اصلی باشد.

با توجه به اینکه در این پروژه از اینورتر سه فاز استفاده شده است در ادامه مختصراً به توضیح آن می‌پردازیم. اینورترهای سه فاز معمولاً برای مصارف قدرت بالا استفاده می‌شوند. سه اینورتر پل (یا نیمه پل) تک فاز می‌توانند به طور موازی مانند شکل (۱-۱) برای تشکیل اینورتر سه فاز به هم متصل گردند. سیگنال‌های گیت اینورترهای تک فاز باید نسبت به هم ۱۲۰ درجه اختلاف فاز داشته باشند تا ولتاژهای سه فاز متقارن ایجاد گردد. وقتی IGBT1 روشن شود، ترمینال فاز U به ترمینال مثبت ولتاژ dc ورودی وصل می‌شود و وقتی IGBT4 روشن شود، ترمینال فاز U به ترمینال منفی منبع dc وصل می‌شود.

توجه داشته باشید که هیچ‌گاه هردو IGBT های ۱ و ۴ با هم روشن نمی‌شوند، در غیر این صورت دوسر منبع dc اتصال کوتاه شده مدار حفاظتی آن موجب قطع آن از مدار می‌شود. پالس‌های

تریگر IGBT ها توسط PWM تولید می‌شود که در ادامه به توضیح آن پرداخته می‌شود.



شکل (۱-۱): پل اینورتر سه فاز

## ۲-۱- تعریف مدولاسیون پهنای پالس (PWM) [۲، ۱]

مدولاسیون پهنای پالس پردازشی است که یک سیگنال آنالوگ در پریودهای زمانی منظم نمونه برداری می‌گردد و اطلاعات موجود در سیگنال آنالوگ در زمان نمونه‌برداری ارسال می‌گردد.

### ۱-۲-۱- انواع مدولاسیون پالس

مدولاسیون پالس می‌تواند به دو دسته مهم تقسیم گردد:

- آنالوگ

- دیجیتال

در مدولاسیون پالس آنالوگ، یک مشخصه از پالس، نظیر دامنه و یا پهنای، می‌تواند معین بوده و متناسب با دامنه شکل موج اصلی تغییر کند.

در مدولاسیون پالس دیجیتال، یک کد ارسال می‌گردد، کد نمونه دامنه را به نزدیکترین سطح مجزا کننده نشان می‌دهد.

### ۱-۲-۲- مدولاسیون پالس آنالوگ

چهار نوع مدولاسیون پالس آنالوگ مهم وجود دارند

- مدولاسیون دامنه پالس (PAM)

