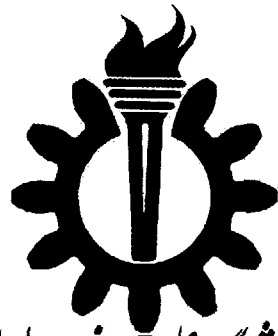


۱۳۸۰ / ۱۲ / ۲۸

۲۰۰۲۴



دانشگاه علم و صنعت ایران

دانشکده مهندسی برق

گروه الکترونیک

016726

طراحی و شبیه‌سازی سیستم کنترل موتورهای DC بدون جاروبک

عباس اشرفی

پایان‌نامه جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی برق - الکترونیک

استاد راهنما: دکتر عبدالرضا رحمتی

آبان ۱۳۸۰

تقدیم به همه

آنهایی که هدفشان

رشد و شکوفایی

زندگی انسانهاست.

چکیده :

رشد صنعت و تکنولوژی همواره در جهت کاهش حجم سیستم و افزایش کار آئی بوده است. به همین جهت در استفاده از موتورهای الکتریکی که یکی از زمینه های پر کاربرد در صنعت می باشد این مسئله همواره مورد توجه بوده است.

کاربرد موتورهای DC معمولی به علت مشکلات آنها از قبیل تعمیر و نگهداری بالا در دودهه اخیر رو به کاهش بوده است، با توجه به پیشرفت الکترونیک قدرت در دو دهه اخیر و تولید موتورهای AC قابل کنترل، موتورهای DC معمولی جای خود را به این موتورها داده اند. ولی با توجه به اینکه موتورهای DC معمولی از نظر ویژگی ترمینال از جمله تولید گشتاور صاف مناسب می باشند، همواره سعی شده است از این ویژگی خوب آنها در صنعت استفاده شود.

در دهه اخیر با پیشرفت الکترونیک قدرت، شرایط برای تولید یک موتور D C بدون جاروبک که دارای ویژگی ترمینالی مشابه موتورهای DC معمولی است فراهم شده است. موتورهای DC بدون جاروبک مشکلات موتورهای DC معمولی را ندارند، و نسبت گشتاور به وزن در این موتورها نسبت به موتورهای DC معمولی بیشتر است که یکی از محاسن این موتورها می باشد. موتورهای DC بدون جاروبک با توجه به ویژگی خوب آنها از قبیل حجم کم، طول عمر بالا و گشتاور صاف در صنایع مهم مثل موشک سازی و ماهواره ای از آن استفاده می شود.

به همین جهت در این پروژه به بررسی ساختمان و شبیه ساز سیستم کنترل موتور های D C بدون جاروبک پرداخته شده است.

این پروژه در دو قسمت است، یک قسمت بررسی و اصول کار موتورهای D C بدون جاروبک و قسمت بعد شبیه سازی سیستم کنترل این موتورها می باشد.

| عنوان..... | صفحه..... |
|---|-----------|
| ۲-۳-۲: موتور DC بدون جاروبک سینوسی..... | ۳۷ |
| ۱-۲-۳-۲: جریان AC ورودی سینوسی..... | ۳۷ |
| ۲-۲-۳-۲: چگالی شار سینوسی در فاصله هوایی..... | ۳۷ |
| ۳-۲-۳-۲: توزیع سیم پیچ ها به صورت سینوسی..... | ۳۸ |
| ۴-۲-۳-۲: EMF مخالف..... | ۴۰ |
| ۵-۲-۳-۲: گشتاور..... | ۴۲ |
| ۶-۲-۳-۲: EMF و گشتاور سه فاز..... | ۴۳ |
| ۳-۳-۲: مقایسه موتور سینوسی و ذو ذنقه ای..... | ۴۵ |
| ۴-۲: مگنت های دائم و میدان ها..... | ۴۶ |
| ۱-۴-۲: مواد مغناطیس دائم..... | ۴۷ |
| ۲-۴-۲: اثرات دمائی روی مواد مغناطیس دائم..... | ۴۷ |
| ۵-۲: ویژگی موتورهای DC بدون جاروبک..... | ۴۹ |
| ۱-۵-۲: مشخصات..... | ۵۰ |
| ۲-۵-۲: گشتاور دندانه اره ای..... | ۵۱ |
| ۶-۲: نتیجه گیری..... | ۵۴ |

فصل سوم:

| | |
|------------------------------------|----|
| ۱-۳: مقدمه..... | ۵۴ |
| ۲-۳: سنسورها..... | ۵۷ |
| ۱-۲-۳: اثر هال..... | ۵۸ |
| ۲-۲-۳: تاکوهای AC بدون جاروبک..... | ۵۹ |
| ۳-۲-۳: رزلور..... | ۶۱ |
| ۴-۲-۳: انکودرهای نوری..... | ۶۲ |

عنوان:..... صفحه

| | | |
|---------|------------------------------------|----|
| ۳-۳ | : الکترونیک قدرت | ۶۵ |
| ۱-۳-۳ | : اینورترهای الکترونیک قدرت | ۷۰ |
| ۴-۳ | : کموتاسیون سه فاز | ۷۲ |
| ۱-۴-۳ | : کموتاسیون موتور ذو ذنقه ای | ۷۵ |
| ۱-۱-۴-۳ | : اندازه گیری وضعیت قطب | ۷۵ |
| ۲-۱-۴-۳ | : اندازه گیری سرعت شافت | ۷۶ |
| ۲-۴-۳ | : کموتاسیون موتور سینوسی | ۸۰ |
| ۱-۲-۴-۳ | : اندازه گیری سرعت رتور | ۸۰ |
| ۵-۳ | : ترکیب سنسور - موتور | ۸۳ |
| ۱-۵-۳ | : سنسور اثر هال - موتور ذو ذنقه ای | ۸۴ |
| ۲-۵-۳ | : انکودر و تاکو - موتور ذو ذنقه ای | ۸۴ |
| ۳-۵-۳ | : رزلور یا انکودر - موتور سینوسی | ۸۵ |
| ۶-۳ | : نتیجه گیری | ۸۶ |

فصل چهارم:

| | | |
|---------|---------------------------------|----|
| ۱-۴ | : مقدمه | ۸۸ |
| ۲-۴ | : معادلات موتور | ۸۸ |
| ۱-۲-۴ | : سرعت های ثابت | ۸۸ |
| ۲-۲-۴ | : سرعت های گذرا | ۸۹ |
| ۱-۲-۲-۴ | : معادله الکتریکی | ۹۱ |
| ۲-۲-۲-۴ | : معادله دینامیکی | ۹۱ |
| ۳-۲-۲-۴ | : ثابت زمانی الکتریکی و مکانیکی | ۹۳ |
| ۴-۲-۲-۴ | : معادله الکترومکانیکی | ۹۶ |
| ۳-۲-۴ | : پاسخ فرکانسی | ۹۷ |

عنوان:..... صفحه

- ۳-۴: تغییرات اینرسی بار ۱۰۱
- ۱-۳-۴: فراجش ۱۰۳
- ۲-۳-۴: سیستم کنترل ۱۰۵
- ۴-۴: نتیجه گیری ۱۰۶

فصل پنجم:

- ۱-۵: مقدمه ۱۰۸
- ۲-۵: بررسی وضعیت رتور از طریق EMF مخالف ۱۰۹
- ۳-۵: برآورد وضعیت فلوی رتور و کنترل هدایت جریان ۱۱۱
- ۴-۵: نحوه محاسبه هارمونیک سوم محرک در حال کار ۱۱۵
- ۵-۵: نتیجه گیری ۱۲۰

فصل ششم:

- ۱-۶: مقدمه ۱۲۲
- ۲-۶: بلوک دیاگرام کلی کنترل کننده موتور DC بدون جاروبک ۱۲۵
- ۳-۶: بلوک دیاگرام کنترل موتور DC بدون جاروبک سه فاز ۱۲۷
- ۴-۶: شبیه سازی سیستم کنترل موتور بدون جاروبک سینوسی ۱۳۲
- ۱-۴-۶: بررسی شکل موج ها ۱۴۲
- ۲-۴-۶: تغییرات بار ۱۴۶
- ۳-۴-۶: مدار جبران ساز برای یک سرعت ثابت ۱۴۹
- ۱-۳-۴-۶: نتایج شبیه سازی با جبران ساز ۱۵۱
- ۵-۶: پالس های PWM در شبیه سازی ۱۵۴
- ۶-۶: شبیه سازی کنترل موتور بدون جاروبک دودنقه ای ۱۵۶
- ۱-۶-۶: تولید شکل موج های با هدایت ۲۴۰ درجه ۱۶۵

عنوان:..... صفحه

۲-۶-۶ : بلوک دیاگرام و نتایج شبیه سازی با هدایت ۲۴۰ درجه ۱۶۶

۳-۶-۶ : تنظیم ۲۴۰ درجه برای هردور موتور ۱۶۹

۷-۶ : نتیجه گیری ۱۷۵

نتیجه گیری کلی ۱۷۷

مراجع ۱۸۷

فهرست شکل ها

عنوان:.....صفحه

فصل ۱:

- شکل (۱-۱) : اساس کار موتور DC معمولی مغناطیسی دائم ۴
- شکل (۲-۱) : نمای از جلو استاتور و رتور یک موتور مغناطیسی دائم ۷
- شکل (۳-۱) : نمای از جلو یک موتور DC بدون جاروبک ۹
- شکل (۴-۱) : عملکرد یک موتور DC بدون جاروبک ۹
- شکل (۵-۱) : بلوک دیاگرام سیستم کنترل موتور DC بدون جاروبک ۱۲
- شکل (۶-۱) : موتور DC بدون جاروبک دو فاز ۱۴

فصل ۲:

- شکل (۱-۲) : قسمت های اصلی موتور DC بدون جاروبک ۱۸
- شکل (۲-۲) : چگالی شار فاصله هوایی در اطراف یک رتور
استوانه ای دو قطب ۲۰
- شکل (۳-۲) : موتور و رتور بدون جاروبک ۲۲
- شکل (۴-۲) : عبور شار در اطراف اسلات های استاتور ۲۳
- شکل (۵-۲) : گشتاور یک موتور بدون جاروبک ساده ۲۵
- شکل (۶-۲) : گشتاور و EMF مخالف یک موتور بدون جاروبک تک فاز ۲۶
- شکل (۷-۲) : موتور دو قطب سه فاز با دو اسلات در هر فاز ۲۹
- شکل (۸-۲) : گشتاور و فلوی مخالف هر فاز ۳۱
- شکل (۹-۲) : اثر اتصالات موتور روی جریان و ولتاژ هر فاز ۳۴
- شکل (۱۰-۲) : EMF و گشتاور برای یک اتصال ستاره موتور ذودنقه ای ۳۶
- شکل (۱۱-۲) : جزئیات اصلی یک موتور بدون جاروبک سینوسی ۳۹
- شکل (۱۲-۲) : چگالی شار و جریان در یک موتور بدون جاروبک
سینوسی دو قطب ۴۱

عنوان:..... صفحه

- شکل (۲-۱۳): گشتاور از یک فاز موتور سینوسی ۴۳
- شکل (۲-۱۴): ترکیب گشتاور سه فاز از یک موتور سینوسی ۴۴
- شکل (۲-۱۵): نمودار کاری یک مغناطیس سخت ۴۸
- شکل (۲-۱۶): غیر مغناطیسی شدن مغناطیس های
Sm-Co و Ne-Fe-B در اثر دما ۴۹
- شکل (۲-۱۷): سروموتورهای بدون جاروبک ۵۰
- شکل (۲-۱۸): اثر کج کردن اسلات ها روی گشتاور دندان اهر ای ۵۳

فصل ۳:

- شکل (۳-۱): درایو و تغذیه جریان موتور ۵۷
- شکل (۳-۲): نمودار نحوه تولید ولتاژ اثر هال ۵۸
- شکل (۳-۳): گشتاور و EMF مخالف یک موتور بدون جاروبک ذوذنقه ای ۶۰
- شکل (۳-۴): ترمینال رزولور های بدون جاروبک ۶۱
- شکل (۳-۶): نصب انکودر در انتهای شافت مطابق شکل ۶۴
- شکل (۳-۷): کنترل مسقیم تایرستور و جریان های متغیر ۶۷
- شکل (۳-۸): سوئیچ های قدرت نیمه هادی ۶۸
- شکل (۳-۹): اینورتر تک فاز ۷۱
- شکل (۳-۱۰): اینورتر برای موتورهای ذوذنقه ای و سینوسی سه فاز ۷۳
- شکل (۳-۱۱): جریان های موتور سینوسی و ذوذنقه ای
سوئیچ شده توسط اینورتر ۷۴
- شکل (۳-۱۲): خروجی ها از سنسور اثر هال ۷۶
- شکل (۳-۱۳): خروجی های تاکوی AC به درایو ۷۷
- شکل (۳-۱۴): اندازه گیری سرعت شافت موتور ذوذنقه ای ۷۹
- شکل (۳-۱۵): سیگنال های رزولور ۸۱

عنوان:..... صفحه

شکل (۳-۱۶): توصیف وضعیت شافت ۸۲

شکل (۳-۱۷): وضعیت های مکانیکی قطب های رتور ۸۳

فصل ۴:

شکل (۴-۱): مدار معادل رتور قفل شده ۹۰

شکل (۴-۲): یک مدار معادل برای موتور بدون جاروبک ۹۱

شکل (۴-۳): سیستم دینامیکی موتور ۹۲

شکل (۴-۴): صعود جریان و سرعت در حالت رتور قفل ۹۴

شکل (۴-۵): صفحه S برای وضعیت قطب ها ۹۸

شکل (۴-۶): پاسخ سرعت با نقطه های متغیر روی صفحه S ۹۹

شکل (۴-۷): قطب های یک موتور بدون بار ۱۰۰

شکل (۴-۸): حرکت قطب ها برای بار با افزایش اینرسی ۱۰۲

شکل (۴-۹): جهش سرعت موتور ۱۰۴

فصل ۵:

شکل (۵-۱): ولتاژ و جریان فاز موتور بدون جاروبک در روش کنترل

سطح عبور از صفر شار مخالف ۱۱۰

شکل (۵-۲): فلوی شار فاصله هوائی و هارمونیک اصلی و سوم ۱۱۱

شکل (۵-۳): EMF برگشتی، ولتاژ هارمونیک سوم، فلوی هارمونیک سوم،

فلوی هارمونیک اصلی و جریان فازها در موتور بدون جاروبک ۱۱۳

شکل (۵-۴): اتصال ستاره مقاومتی برای بدست آوردن

هارمونیک سوم EMF برگشتی ۱۱۶

شکل (۵-۵): ولتاژ هارمونیک سوم و شار مورد نظر برای

کموتا سیون جریان اینورتر ۱۱۹

فصل ۶:

- شکل (۱-۶) : ساختمان کلی سیستم کنترل موتور DC بدون جاروبک ۱۲۶
- شکل (۲-۶) : مدار کنترلی موتور DC بدون جاروبک سه فاز ۱۲۸
- شکل (۳-۶) : مدار اینورتر موتور DC بدون جاروبک ۱۲۹
- شکل (۴-۶) : زمان خاموش و روشن کردن المان های قدرت و شکل موج جریان فازهای موتور سینوسی و ذوذنقه ای ۱۳۰
- شکل (۵-۶) : بلوک دیاگرام برای شبیه سازی موتور بدون جاروبک سینوسی ۱۳۵
- شکل (۶-۶) : بلوک دیاگرام تولید شکل موج مرجع سه فاز ۱۳۶
- شکل (۷-۶) : بلوک دیاگرام PWM تطبیقی جریان ۱۳۹
- شکل (۸-۶) : بلوک دیاگرام مبدل PWM ۱۴۰
- شکل (۹-۶) : بلوک دیاگرام داخلی مقایسه کننده ۱۴۱
- شکل (۱۰-۶) : سیگنال های مرجع سه فاز ۱۴۳
- شکل (۱۱-۶) : شبیه سازی گشتاور و سرعت موتور بدون جاروبک سینوسی ۱۴۵
- شکل (۱۲-۶) : جریان فازهای استاتور موتور بدون جاروبک سینوسی ۱۴۶
- شکل (۱۳-۶) : سرعت موتور با تغییرات گشتاور موتور ۱۴۷
- شکل (۱۴-۶) : تغییرات جریان و مرجع در اثر تغییر بار ۱۴۸
- شکل (۱۵-۶) : بلوک دیاگرام برای تولید یک سرعت ثابت ۱۵۱
- شکل (۱۶-۶) : سرعت موتور با تغییر گشتاور بار با جبران ساز ۱۵۳
- شکل (۱۷-۶) : جریان و مرجع های موتور با جبران ساز ۱۵۴
- شکل (۱۸-۶) : زمان خاموش و روشن شدن المان های قدرت در موتور بدون جاروبک سینوسی ۱۵۵
- شکل (۱۹-۶) : جریان فاز استاتور یک موتور بدون جاروبک ذوذنقه ای ۱۵۷

عنوان:..... صفحه

- شکل (۶-۲۰): جریان سه فاز و زمان خاموشی و روشن شدن
المان های قدرت برای موتور ذو ذنقه ای ۱۵۹
- شکل (۶-۲۱): سیستم مدار کنترل برای شبیه سازی موتور ذو ذنقه ای ۱۶۱
- شکل (۶-۲۲): ولتاژ روی فاز های استاتور موتور ذو ذنقه ای سه فاز ۱۶۳
- شکل (۶-۲۳): سرعت و گشتاور موتور ۱۶۴
- شکل (۶-۲۴): دیاگرام سیستم کنترل برای هدایت ۱۲۰ درجه ۱۶۹
- شکل (۶-۲۶): باند های هیستریزس برای هدایت ۱۲۰ درجه ۱۷۰
- شکل (۶-۲۷): موج اصلی و هارمونیک سوم بر آورد وضعیت ۱۷۲
- شکل (۶-۲۸): شکل موج فاز a با هدایت ۲۴۰ درجه برای هر سیکل ۱۷۲
- شکل (۶-۲۹): شکل موج سه فاز با هدایت ۲۴۰ درجه برای هر فاز ۱۷۳
- شکل (۶-۳۰): نمودار گشتاور و سرعت موتور با تغییر گشتاور بار ۱۷۴
- شکل (۶-۳۱): جریان فاز های استاتور موتور ذو ذنقه ای ۱۷۴

فصل ۱

مقدمه ای از موتورهای DC معمولی و بدون جاروبک

۱-۱: مقدمه

سرو موتورهای DC بدون جاروبک از نظر تقسیم بندی زیر مجموعه موتورهای سنکرون می باشند. موتورهای DC بدون جاروبک در صنعت به دو دسته اصلی تقسیم می شوند. یک دسته از این موتورها، موتور DC بدون جاروبک با تغذیه سینوسی است و نوع دیگر موتور DC بدون جاروبک با تغذیه دوزنقه ای می باشد، [۱۹].

هر دوی این موتورها دارای ساختمان یکسان می باشد و هم چنین از نظر فیزیکی مشابه یکدیگر هستند. هر دوی این موتورها دارای خصوصیات مشابه موتورهای DC معمولی و یا موتورهای با جاروبک می باشند، و از منبع جریان مستقیم تغذیه می شوند.

موتورهای DC بدون جاروبک دارای خواص مشابه موتورهای DC معمولی می باشد، به عبارت دیگر ویژگی ترمینال این موتورها مشابه موتورهای DC معمولی می باشد ولی از نظر فیزیکی مشابه موتور های سنکرون AC می باشند، [۱۸]، [۱۹].

بنابراین در این فصل برای آشنائی این موتورها مقدمه ای از موتورهای DC معمولی بررسی می شود و در فصل های بعد از این نتایج برای موتورهای DC بدون جاروبک استفاده می شود.

هم چنین مقدمه ای از اصول کار موتورهای DC بدون جاروبک و مقایسه آنها با موتورهای DC

معمولی را نیز در این فصل بیان می کنیم.