

به نام خدا

موتورهای BLDC

و

کنترل، سرعت و کاربردهای آن

نوید رجبی



تلفن: ۳۲۳۱۶۰۳۳ و ۳۲۲۲۱۹۱۶



موتورهای BLDC و کنترل سرعت و کاربردهای آن

نوید رجبی

استاد راهنما: حسین عافیان

(عضو هیئت علمی دانشکده شهید باهنر شیراز)

شابک ۹۷۸-۶۲۲-۷۱۲۹-۰۵-۲

نوبت و سال چاپ: اول ۱۳۹۸ / شمارگان: ۱۰۰۰ نسخه / قطع وزیری

لیتوگرافی / چاپ و صحافی: سمر

حروف چینی و صفحه آرایی: اطلس دهقانی

طرح جلد: نوید رجبی

قیمت: ۲۵۰۰۰ تومان



Printed in the Islamic Republic of Iran – Shiraz

حق چاپ محفوظ است



سازمان اسناد و کتابخانه ملی
جمهوری اسلامی ایران

سرشناسه	: رجبی، نوید، ۱۳۷۵-
عنوان و نام پدیدآور	: موتورهای BLDC و کنترل سرعت و کاربردهای آن/ نوید رجبی.
مشخصات نشر	: شیراز: انتشارات شاه چراغ (ع)، ۱۳۹۸.
مشخصات ظاهری	: ۱۳۶ص.
شابک	: 978-622-7129-05-2
وضعیت فهرست نویسی	: فبا
یادداشت	: کتابنامه: ص. ۱۲۵.
موضوع	: موتورهای برقی بدون جاروبک
موضوع	: Electric motors, Brushless
موضوع	: موتورهای برقی بدون جاروبک -- طرح و ساختمان
موضوع	: Electric motors, Brushless -- Design and construction
رده بندی کنگره	: TK۲۶۸۱
رده بندی دیویی	: ۶۲۱/۴۶
شماره کتابشناسی ملی	: ۶۰۸۰۶۴۹



تلفن: ۳۲۲۳۱۶۰۳ و ۳۲۲۲۱۹۱۶

موتورهای BLDC و کنترل سرعت و کاربردهای آن

نوید رجبی

استاد راهنما حسین خیابان

(عضو هیئت علمی دانشگاه شهید بهشتی شیراز)

شابک ۷۱۲۹-۰۵-۲-۶۲۲-۷۸

نوبت و سال چاپ: اول ۱۳۹۸ / شمارگان: ۱۰۰۰ نسخه/ قلم بربری

لیتوگرافی / چاپ و صحافی: سمن

حروف چینی و صفحه آرایی: اطلس دهقانی

طرح جلد: نوید رجبی

قیمت: ۲۵۰۰۰ تومان



Printed in the Islamic Republic of Iran – Shiraz

حق چاپ محفوظ است

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
چکیده.....	۹
مقدمه.....	۱۱
فصل اول: کلیات موتورهای DC بدون جاروبک (Brush Less DC Motor).....	۱۳
مقدمه.....	۱۳
۱-۱- ساختارها و مدار راه اندازی.....	۱۳
۲-۱- مدار راه اندازی.....	۱۵
۱-۲-۱- درایو تک قطبی.....	۱۵
۳-۱- مدار معادل و معادله های کلی.....	۱۶
۴-۱- منحنی گشتاور - سرعت.....	۱۸
۵-۱- بازده.....	۱۹
فصل دوم: موتورهای DC بدون جاروبک.....	۲۳
۱-۲- تحلیل موتورهای DC بدون جاروبک.....	۲۳
۲-۲- معادلات اساسی.....	۲۴
۱-۲-۲- گشتاور الکترو مغناطیسی موتور PM بدون جاروبک.....	۲۴
۲-۲-۲- گشتاور الکترو مغناطیسی موتور سنکرون بدون جاروبک.....	۲۴
۳-۲-۲- گشتاور الکترو مغناطیسی موتور بدون جاروبک (موتور DC).....	۲۴
۴-۲-۲- سرعت خطی و دوار موتورهای بدون جاروبک.....	۲۴
۳-۲- EMF و گشتاور موتورهای بدون جاروبک مغناطیس دائم.....	۲۵
۱-۳-۲- موتور سنکرون.....	۲۵
۲-۳-۲- موتورهای d.c بدون جاروبک مغناطیس دائم.....	۲۸
فصل سوم: مقایسه موتورهای DC راجع و موتورهای DC بدون جاروبک.....	۳۱
۱-۳- مقایسه موتورهای BLDC با سایر موتورها.....	۳۱

۳۱	۱-۱-۳- مقایسه با موتورهای DC معمولی
۳۲	۱-۲-۳- مقایسه با موتورهای القایی
۳۲	۱-۳-۳- مقایسه با موتورهای PMSM
۳۲	۲-۳- مقایسه موتورهای DC راج و موتورهای DC بدون جاروبک
۳۳	۳-۳- اختلاف در کموتاسیون
۳۶	۴-۳- تفاوت در سیم پیچی
۳۶	۵-۳- چگونگی سیم بندی موتورهای DC بدون جاروبک
۳۷	۶-۳- اجزا اصلی یک موتور DC بدون جاروبک
۳۹	فصل چهارم: چگونگی تعیین موقعیت روتور در موتورهای DC بدون جاروبک
۳۹	۱-۴- روش تعیین موقعیت روتور در موتورهای DC بدون جاروبک
۳۹	۲-۴- کنترل وضعیت با استفاده از اثر هال
۳۹	۱-۲-۴- مدارهای و عناصر هال
۴۰	۲-۲-۴- اثر هال
۴۰	۳-۲-۴- اصول تعیین وضعیت با استفاده از عناصر هال
۴۱	۳-۴- روشهای عملی تعیین وضعیت
۴۲	۴-۴- ICهای هال
۴۵	۵-۴- موتورهای بدون سنسور
۴۷	فصل پنجم: کاربرد موتورهای DC بدون جاروبک
۴۷	۱-۵- کاربرد موتورهای DC بدون جاروبک
۴۷	۲-۵- دلایل ترجیح سرو موتورهای بدون جاروبک بر انواع جاروبک دار
۴۸	۳-۵- مزایای موتورهای مغناطیس دایم (PM) بر موتورهای القایی (۱، ۴)
۴۸	۴-۵- مزیت های موتورهای القایی نسبت به درایوهای مغناطیس دایم
۴۹	۵-۵- کاربردهای ماشین های DC بدون جاروبک
۵۰	۶-۵- کاربردهای موتورهای DC بدون جاروبک
۵۱	۷-۵- برخی کاربردهای موتورهای BLDC شامل موارد زیر می باشد
۵۳	فصل ششم: تعمیر و نگهداری موتورهای مغناطیس دائم
۵۳	۱-۶- انتظارات کلی از ماشینهای الکتریکی
۵۳	۲-۶- خصوصیات تکنیکی و اقتصادی موتورها را می توان به شرح زیر طبقه بندی نمود
۵۳	۱-۲-۶- انتظارات عمومی
۵۳	۲-۲-۶- انتظاراتی که به شرایط کاری بستگی دارد
۵۴	۳-۶- اعتبار

۴-۶	مشخصه های مفید در تحلیلی ماشینهای الکتریکی به شرح زیر می باشد	۵۴
۱-۴-۶	احتمال کارکرد بدون عیب ($P(t)$)	۵۴
۲-۴-۶	شدت خرابی $\lambda(t)$	۵۵
۳-۴-۶	زمان متوسط کارکرد بدون عیب (tav)	۵۶
۵-۶	معایب ماشینهای الکتریکی	۵۷
۶-۶	محاسبه اعتبار موتورهای بدون جاروبک PM دار کوچک	۶۰
۷-۶	ارتعاشات و نویز	۶۲
۸-۶	کاهش نویز	۶۵
۹-۶	رابطه سانیترینگ	۶۵
۱۰-۶	مقاومت	۶۸
فصل هفتم: روشهای کنترل رین و جابجایی آن برای کنترل موتورهای بدون جاروبک DC		
۱-۷	روش های کنترل رین و جابجایی آن برای کنترل موتورهای بدون جاروبک DC	۶۹
۲-۷	موتور BL-DC	۶۹
۳-۷	درایور دو قطبی - تک قطبی	۷۰
۴-۷	عملکرد ولتاژ شین متغیر با ثابت	۷۰
۵-۷	درایور حلقه بسته و حلقه باز	۷۱
۱-۵-۷	روشهای کنترل جریان و جا به جایی شش مرحله ای	۷۲
۲-۵-۷	کنترل جریان و جابجایی سینوسی	۷۶
۳-۵-۷	روش کد گذاری پیشرفته	۸۳
۴-۵-۷	روش تفکیک کنندگی	۸۴
۵-۷	روش کنترلی	۸۴
۶-۷	جمع بندی	۸۵
فصل هشتم: کنترل مستقیم گشتاور موتور BLDC		
۱-۸	مقدمه	۸۷
۲-۸	کنترل مستقیم گشتاور (DTC) در موتور BLDC با اینورتر شش سوئیچه	۸۷
۱-۲-۸	کنترل مستقیم گشتاور موتور BLDC در حالت هدایت دو فاز	۸۸
۱-۱-۲-۸	کنترل مستقیم گشتاور بر اساس الگوریتم معمول در موتورهای القایی	۹۰
۳-۸	کنترل مستقیم گشتاور موتور BLDC با اینورتر چهار سوئیچه در حالت هدایت دو فاز	۹۳
۱-۳-۸	طرح کنترل مستقیم گشتاور موتور BLDC با اینورتر چهار سوئیچه	۹۳
۴-۸	بلوک دیاگرام طرح کنترل مستقیم گشتاور درایو موتور BLDC با اینورتر چهار سوئیچه	۹۵
۱-۴-۸	کنترل گشتاور الکترومغناطیسی با انتخاب بردارهای فضایی ولتاژ	۹۷
۲-۴-۸	کنترل مستقیم گشتاور و غیر مستقیم شار موتور BLDC با اینورتر چهار سوئیچه	۱۰۲

- ۸-۵- تحلیل کموتاسیون درایو موتور BLDC با اینورتر چهار سوئیچ با هدایت دو فاز..... ۱۰۴
- ۸-۶- عملکرد موتور BLDC با استفاده از اینورتر چهار سوئیچ..... ۱۰۵
- ۸-۶-۱- مدل درایو موتور BLDC با اینورتر چهار سوئیچ..... ۱۰۵
- ۸-۶-۲- تنظیم جریان برای درایو موتور BLDC با اینورتر چهار سوئیچ..... ۱۰۵
- ۸-۷- تحلیل کموتاسیون..... ۱۰۷
- ۸-۷-۱- رفتار جریان فاز در کموتاسیون..... ۱۰۷
- ۸-۷-۲- کموتاسیون در سکتورهای متفاوت..... ۱۰۸
- ۸-۷-۱-۲- سکتور II..... ۱۰۹
- ۸-۷-۲-۲- سکتور IV..... ۱۱۳
- ۸-۷-۳- سکتور VI..... ۱۱۵
- ۸-۸- ریبیلشتاور در کموتاسیون ها..... ۱۱۸
- ۸-۸-۱- ریبیلشتاور در کموتاسیون..... ۱۱۸
- ۸-۸-۱-۱- سکتور I..... ۱۱۹
- ۸-۸-۱-۲- سکتور V..... ۱۲۰
- ۸-۸-۱-۳- سکتور VI..... ۱۲۰
- ۸-۹- تحلیل نتایج تئوری..... ۱۲۱
- ۸-۱۰- مقایسه اقتصادی بین درایو چهار سوئیچ با شش سوئیچ..... ۱۲۳
- منابع و مأخذ..... ۱۲۵

کلیاتی از قبیل تاریخچه کاربردها و نحوه عملکرد و ویژگی‌های خاص ماشین dc بدون جاروبک آغازگر متنی باشد.

این ماشین‌ها ظاهری شبیه به ماشین‌های سنکرون به انضمام یکسو کننده دارند. تغذیه سیم بندی میدان از طریق سیستم تریک بدون جاروبک انجام می‌گیرد. لازم به ذکر است که به دلیل ویژگی‌های برجسته این موتور، در قرن بیستم یکم قرن موتورهای مغناطیس دائم می‌باشند.