

مقایسه بازده و عملکرد تکنولوژیهای مدرن درایو با سرعت متغیر

عبدالرضا مرادپوریان

moradpourian@hotmail.com

دانشگاه یزد

چکیده: موتورهای را Brushless DC یکی از تکنولوژیهای نوین به درایو با سرعت متغیر دارد. مقایسه بین عملکرد و بازده موتورها و شیوه های درایو می تواند به مصرف کننده نهایی جهت انتخاب تکنولوژی متناسب با کاربری مورد نظر کمک کند. در این مقاله اصول کلی درایو موتورهای جاروبکدار، موتورهای القایی و موتورهای بدون جاروبک جریان مستقیم بیان شده نتایج به دست آمده از آزمایشات مورد قیاس قرار گرفته است.

واژگان کلیدی: Brushless DC، موتور DC جاروبکدار، موتور القایی، اینورتر PWM،

کنترل برداری

۱- مقدمه

تکنولوژیهای درایو سرعت متغیر در سالهای اخیر پیشرفت زیادی داشته است. عمده دلایل این پیشرفت عبارتند از در دسترس قرار گرفتن ادوات کلیدزنی توان بالا و مواد مغناطیسی که پیش از این قابل دسترسی نبودند. این تکنولوژیها از ۳۰ سال پیش شناخته شده بودند ولی قطعاتی که بتواند این تکنولوژیها را با قیمتهای رقابتی پیاده سازی کند در دسترس نبودند. شرح شیوه های پایه ای درایو و بحث در مورد مشخصه ها و بازده هر یک در این مقاله آمده است. تکنولوژیهای مورد بحث عبارتند از:

کنترل موتور ac القایی با اینورتر PWM

کنترل برداری موتور القایی

موتور DC جاروبکدار به عنوان پایه مقایسه

موتور Brushless DC

۲- موتور القایی

موتور القایی در سال ۱۹۲۴ توسط نیکلا تسلا اختراع شد و خود را به عنوان پرکاربردترین موتور مطرح کرد که هنوز نیز اهمیت خود را حفظ کرده است. سرعت این موتور با فرکانس اعمال شده رابطه مستقیم و با تعداد قطبها رابطه معکوس دارد. اصل القا مستلزم آن است که شار روتور (قفسه

سنجایی) توسط جریان استاتور القا شود. این امر موجب بروز لغزش (Slip) بین شار گردان استاتور و چرخش روتور می شود. بر هم نهی شارهای گردان استاتور و روتور موجب تولید گشتاور می شود. مزیت موتور القایی ساختمان ساده آن است و به طور گسترده مورد استفاده قرار می گیرد. دو نمونه از تکنولوژیهای مدرن که در بهره برداری از این موتور مورد استفاده قرار می گیرد یکی اینورتر نوع PWM و دیگری کنترل برداری است.

۲-۱-۲- اینورتر PWM

اینورتر نوع PWM جریان جریان خروجی سه فاز با فرکانس متغییر (معمولا ۳ تا ۱۲۰ هرتز برای موتور با فرکانس نامی ۶۰ هرتز) تولید می کند و نسبت ولتاژ موتور به فرکانس را ثابت نگه می دارد. این نسبت ثابت است ولی در سرعتهای پایین به منظور غلبه بر تلفات سرعت پایین باید افزایش یابد. همچنین برای آسیب نرسیدن به عایق بندی موتور نیاز است تا اجازه داد این نسبت در فرکانس های بالای ۶۰ هرتز افزایش یابد. این نوع کنترل غالبا حلقه باز است. کنترلر به موتور فرمان میدهد تا با سرعتی بچرخد ولی اگر بار موجب تغییر در سرعت شود معمولا هیچ نوع فیدبکی برای اصلاح سرعت وجود ندارد. هر چند این کنترلر برای بعضی کاربردها قابل پذیرش است ولی نمی تواند جایگزین دقت بالا و پاسخ دینامیکی خوب موتورهای جریان مستقیم جاروبکدار شود. [۴]

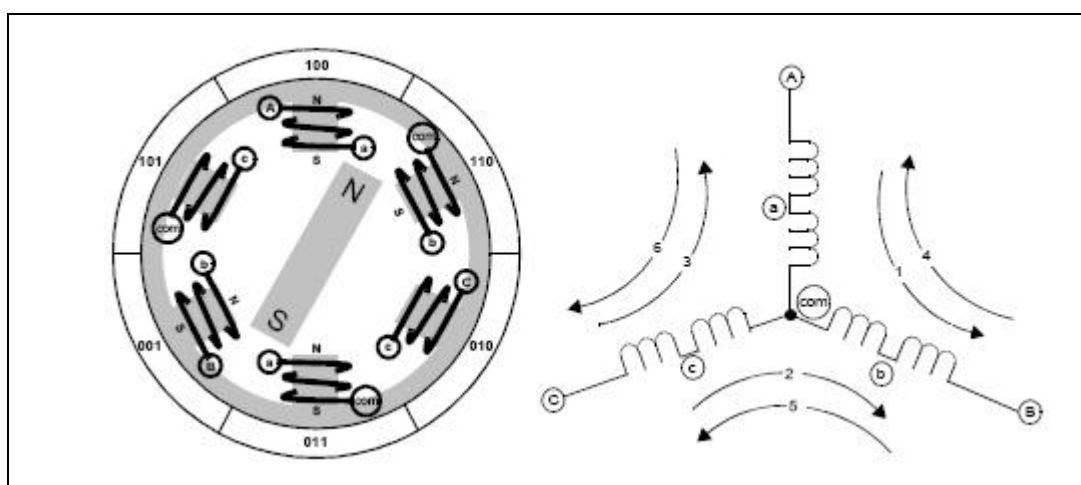
۲-۲- کنترلر برداری

در کنترلر برداری، شار رتور بصورت دینامیکی با جریان آنی استاتور ساخته می شود که برای کنترل از طریق الگوریتمی بردار جریان مورد نیاز منتج خواهد شد. این بردار دارای اندازه و جهت گیری زاویه ای است و بطور دینامیکی با تغییر بار و سرعت موتور اندازه و زاویه آن تغییر می کند. این تغییر می تواند بسیار سریع باشد. بنا بر این الگوریتمی که بر پایه جریان، دما، ولتاژ، سرعت، مقاومت و اندوکتانس موتور است باید به صورت دائم و با سرعت کافی به منظور کنترل موتور محاسبه گردد. با استفاده از این تکنیک با فرض آنکه طراحی به خوبی صورت گرفته و از فیدبک وضعیت شنت یا انکدر استفاده شده باشد، دقت عمل بسیار بالا و پاسخ دینامیکی خوبی حاصل خواهد شد. هر چند که بازده در سرعت و بار نامی افزایش نخواهد یافت. [۴]

۳- موتور Brushless DC

این موتور با اصولی مشابه موتور جاروبکدار کار می کند. ممکن است فردی فکر کند موتور Brushless DC یک موتور پشت و رو است، به طوری که سیم پیچ میدان جای خود را به مغناطیس دائم داده و از قاب موتور به شفت منتقل شده است. آرمیچر همچنان از سیم پیچهای چندگانه تشکیل شده ولی از شفت به قاب رفته است. در واقع اکنون در این موتور میدان از می چرخد در حالی که آرمیچر ثابت است. Brushless DC از لحاظ ساختمانی

مشابه موتور سنکرون است. بخش قدرت کنترلر آن تقریباً شبیه اینورتر برداری است و از متد PWM استفاده می‌کند. اما شباهتها به همینجا ختم می‌شود. جریان در سیم پبج میدان نه به صورت سینوسی بلکه به صورت دوزنقه ای کنترل می‌شود. همچنین جریان در هر لحظه در هر سه سیم پیچ جاری نیست و چنانکه در شکل (۱) مشخص است، در هر لحظه فقط از دو سیم پیچ جریان می‌گذرد. درایور Brushless DC در مقایسه با اینورتر برداری ساده تر است. زیرا در هر لحظه ولتاژ را به یک جفت از سیم پیچ های داخل موتور سوئیچ می‌کند و از طریق وسیله فیدبک وضعیت تعبیه شده در موتور، تشخیص می‌دهد کدام سیم پیچ ها باید سوئیچ شوند. فیدبک که معمولاً از سنسورهای اثر هال و یا قطعات فتو الکتریک و انکودر دریافت می‌شود نقش کموتاتور را در این موتور بازی می‌کند. [۱]، [۲]، [۳]



شکل ۱: ایجاد شار گردان از طریق سوئیچینگ سرهای سیم پیچهای استاتور

۴-مقایسه بازده و عملکرد

در این قسمت داده های عملی را که در آزمایشات انجام شده بر روی موتورها به دست آمده است، مورد بررسی قرار می‌دهیم. این تستها توسط شرکت Ontario Hydro در کانادا به منظور مقایسه بی درایو موتورهای DC متعارف و نوع Brushless انجام شده است.

یکی از سیستم های مورد آزمایش یک سیستم بدون جاروبک جریان مستقیم ساخت شرکت POWERTEC با موتور ۲۵ اسب بخار که دارای رنج سرعت ۱:۱۰۰ در گشتاور نامی و بدون نیاز به فن خنک کننده بوده است. دیگری یک سیستم DC جاروبکدار با کنترلر Emerson و موتور ۲۰ اسب بخار ساخت Leroy-Sommer بوده است، با رنج سرعت ۱:۲۰ و مجهز به سیستم خنک کننده. آزمایشات انجام عبارت بوده اند از: بازده، ضریب توان، هارمونیکهای خط ورودی. نتایج این آزمایشات در ادامه آمده است.

**EFFICIENCY IN PERCENT, AC LINE TO OUTPUT SHAFT
TORQUE, PERCENT OF RATED**

| RPM% ↓ | ۱۰۰٪ | ۷۵٪ | ۵۰٪ | ۲۵٪ |
|--------|------|------|------|------|
| ۱۰۰ | ۸۷,۹ | ۸۶,۷ | ۸۵,۰ | ۷۸,۴ |
| ۷۵ | ۸۵,۴ | ۸۴,۹ | ۸۲,۹ | ۷۶,۶ |
| ۵۰ | ۸۰,۸ | ۸۰,۰ | ۷۹,۰ | ۷۲,۶ |
| ۲۵ | ۶۹,۸ | ۶۷,۶ | ۶۶,۸ | ۶۴,۳ |
| ۱۰ | ۶۵,۱ | ۶۵,۱ | ۶۵,۱ | ۵۸,۹ |

جدول ۱

**BRUSH DC DRIVE, EMERSON – ۲۰ HP
EFFICIENCY IN PERCENT, AC LINE TO OUTPUT SHAFT
TORQUE, PERCENT OF RATED**

| RPM% ↓ | ۱۰۰٪ | ۷۵٪ | ۵۰٪ | ۲۵٪ |
|--------|------|------|------|------|
| ۱۰۰ | ۷۷,۸ | ۷۷,۱ | ۷۶,۶ | --- |
| ۷۵ | ۷۴,۰ | ۷۲,۶ | ۶۸,۷ | ۶۵,۴ |
| ۵۰ | ۶۶,۷ | ۶۵,۱ | ۶۰,۹ | ۵۰,۹ |
| ۲۵ | ۵۱,۸ | ۵۰,۴ | ۴۶,۷ | ۳۸,۱ |
| ۱۰ | ۳۱,۳ | ۳۰,۰ | ۲۶,۹ | ۱۹,۲ |

جدول ۲

**INCREASED PERCENTAGE EFFICIENCY OF BRUSHLESS OVER BRUSH TYPE DRIVE
TORQUE, PERCENT OF RATED**

| RPM% ↓ | ۱۰۰٪ | ۷۵٪ | ۵۰٪ | ۲۵٪ |
|--------|-------|-------|-------|-------|
| ۱۰۰ | ۱۳,۰ | ۱۴,۰ | ۱۵,۵ | --- |
| ۷۵ | ۱۵,۴ | ۱۶,۶ | ۲۲,۱ | ۱۷,۱ |
| ۵۰ | ۲۱,۱ | ۲۲,۸ | ۲۹,۷ | ۴۲,۶ |
| ۲۵ | ۳۴,۷ | ۳۴,۱ | ۴۳,۰ | ۷۸,۱ |
| ۱۰ | ۱۰۸,۰ | ۱۱۷,۰ | ۱۴۲,۰ | ۲۰۶,۷ |

جدول ۳

جداول ۴ و ۵ نتایج را مشابه بالا منتهی در مورد ضریب توان، بیان می دارند. نتایج، فزونی ضریب توان موتورهای جریان مستقیم بدون جاروبک را نسبت به نوع جاروبکدار نشان می دهند. این فزونی در سرعتهای پایین به بیش از ۲۰۰٪ بالغ می شود.

**BRUSHLESS DC DRIVE, POWERTEC - ۲۰ HP
MEASURED AC INPUT POWER FACTOR**

TORQUE (PERCENT OF RATED)

| RPM% ↓ | ۱۰۰٪ | ۷۵٪ | ۵۰٪ | ۲۵٪ |
|--------|------|-----|-----|-----|
| ۱۰۰ | .۹۳ | .۹۵ | .۹۴ | .۹۰ |
| ۷۵ | .۹۵ | .۹۵ | .۹۴ | .۸۷ |
| ۵۰ | .۹۵ | .۹۵ | .۹۱ | .۸۱ |
| ۲۵ | .۹۴ | .۹۲ | .۸۵ | .۷۲ |
| ۱۰ | .۸۳ | .۸۰ | .۷۷ | .۷۲ |

جدول ۴

**BRUSH DC DRIVE, EMERSON - ۲۰ HP
MEASURED AC INPUT POWER FACTOR
TORQUE (PERCENT OF RATED)**

| RPM% ↓ | ۱۰۰٪ | ۷۵٪ | ۵۰٪ | ۲۵٪ |
|--------|------|-----|-----|-----|
| ۱۰۰ | .۸۰ | .۸۱ | .۸۱ | --- |
| ۷۵ | .۶۵ | .۶۴ | .۶۳ | .۶۲ |
| ۵۰ | .۴۸ | .۴۸ | .۴۷ | .۴۶ |
| ۲۵ | .۳۲ | .۳۲ | .۳۲ | .۳۳ |
| ۱۰ | .۲۲ | .۲۲ | .۲۲ | .۲۶ |

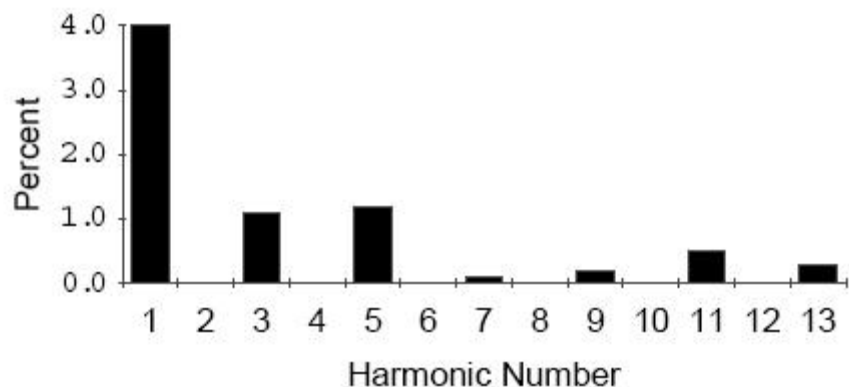
جدول ۵

**INCREASED PERCENTAGE POWER FACTOR OF
BRUSHLESS OVER BRUSH TYPE DRIVE
TORQUE (PERCENT OF RATED)**

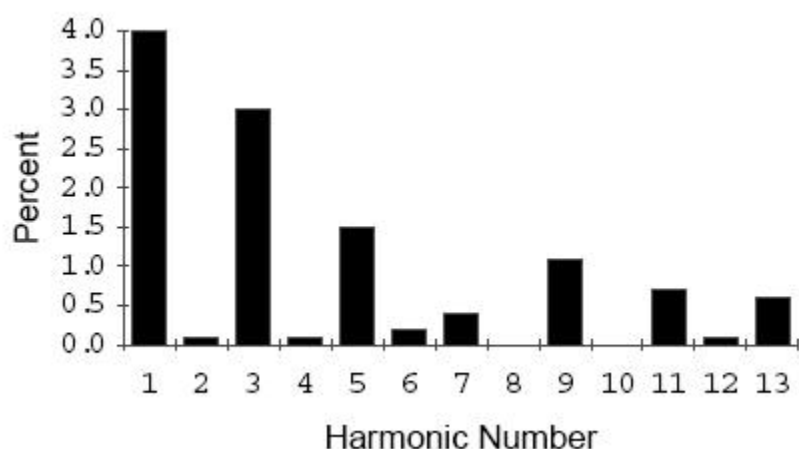
| RPM% ↓ | ۱۰۰٪ | ۷۵٪ | ۵۰٪ | ۲۵٪ |
|--------|-------|-------|-------|-------|
| ۱۰۰ | ۱۶,۶ | ۱۷,۲ | ۱۶,۰ | --- |
| ۷۵ | ۴۶,۱ | ۴۸,۴ | ۴۹,۲ | ۴۰ |
| ۵۰ | ۱۰۰,۰ | ۹۸,۰ | ۹۳,۶ | ۷۶,۰ |
| ۲۵ | ۱۹۳,۸ | ۱۸۷,۵ | ۱۶۵,۶ | ۱۱۸,۲ |
| ۱۰ | ۲۷۷,۳ | ۲۶۳,۹ | ۲۵۰,۰ | |

جدول ۶

هارمونیکهای خط ورودی ac نیز در این سری تستها مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج در سرعت و بار نامی در نمودارهای صفحه بعد آمده است. در مورد سایر سرعت ها و بارها نیز نتایج مشابهی موجود است.



نمودار ۱: هارمونیکهای خط در موتور Brushless DC



نمودار ۲: هارمونیکهای خط در موتور DC جاروبکدار

از داده های ارائه شده پیداست که هارمونیکهای سوم، پنجم، هفتم و نهم که بیشترین نگرانی ها را موجب می شوند در مورد موتور Brushless DC به طور قابل اعتنایی کمتر است. توجه شود که برای قابل نمایش بودن نتایج هارمونیک اصلی در نمودارهای بالا بریده شده است. یعنی در واقع مقدار آن را باید ۱۰۰٪ در نظر گرفت نه ۴۰٪*.

ه-نتیجه گیری

از ملاحظات انجام شده پیداست که درایور Brushless DC مزایای قابل توجهی نسبت به درایور موتور DC جاروبکدار دارد، هر چند از کنترلر پیچیده

* جداول نمودارها طبق اطلاعات مندرج در سایت شرکت POWERTEC و به نقل از شرکتهای Ontario Hydro و Ortech می باشد.

تری استفاده می شود. اما این پیچیدگی چندان از درایور موتور القایی با فرکانس متغیر بیشتر نیست. ضمناً ساختمان موتور بدون جاروبک جریان مستقیم ساده تر از ساختمان نوع جاروبکدار است.

همانگونه که از متن مقاله بر می آید تکنولوژی Brushless DC نسبت به درایور نوع جاروبکدار بازده بیشتر، هارمونیکهای خط کمتر و ضریب توان بالاتری را داراست. همچنین این تکنولوژی نسبت به موتور القایی با اینورتر PWM دارای پاسخ دینامیک و دقت بهتری است و نسبت به موتور القایی با کنترلر برداری پیچیدگی کمتری دارد. این مزایا میتواند عاملی برای جایگزینی تکنولوژی Brushless DC به جای انواع متعارف موتور ها باشد.

۶- مراجع

[۱] پ.سی. کراس و ا.و. زوج، ماشینهای الکتریکی، دانشگاه شهید چمران، چاپ اول ۱۳۷۸

[۲] پ.سی. کراوز، تحلیل ماشینهای الکتریکی، مرکز نشر دانشگاه صنعتی اصفهان، دی ماه ۱۳۷۶

[۳] W.E. Rudisch & R.E. Lordo "The Design and Development of a Line of Brushless DC Motors and Controls", PCIM '۸۹ Conference transaction, Oct ۱۶, ۱۹۸۹.

[۴] E.D. Lee, "Review of variable Speed Drive Technology", Powertec Industrial Corporation, June ۱۹۹۳