

معرفی دو نمونه ماشین خطی سوئیچ فلاکس و بررسی عملکرد دینامیکی

شهرام میکائیلی تکلدانی^۱، پیمان نادری^۲، عباس شیری^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد الکترونیک قدرت و ماشینهای الکتریکی ۲- دانشیار دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی ۳- دانشیار دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی (دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی)

چکیده

در این مقاله دو نوع موتور خطی سوئیچ فلاکس که هرکدام در دو ساختار متفاوت ارائه شده اند بررسی و عملکرد آنها آنالیز شده است. در یک نوع میدان از طریق سیم پیچی و در نوع دیگر میدان از طریق ماده مغناطیس دائم (آهنربا) تامین می شود. در هریک از این دو نوع مذکور دو ساختار متفاوت از نظر ترکیب دندانه های رتور و استاتور امکان پذیر است که به اختصار ۱۲/۱۰ و ۱۲/۱۴ نامگذاری می شوند. در این مقاله عملکرد هریک از آنها بررسی و مشخصات الکتریکی آنها از طریق تحلیل المان محدود ارائه می گردد. نظر به استفاده این گونه ماشین ها در سیستم های خطی از قبیل حمل و نقل ریلی، نتایج این مقاله جهت استفاده محققین مفید خواهد بود.

کلیدواژه ها :

اثر اشباع، تحلیل المان محدود، موتور فلاکس-سوئیچ خطی، موتور خطی با آهنربای دائم

۱. مقدمه در سه دهه اخیر ماشین های خطی سنکرون با آهنربای دائم به دلیل سرعت ثابت و نیروی رانش بالاتر نسبت به موتورهای دیگر مورد توجه ویژه محققین قرار گرفته است، ماشین های خطی انواع مختلف دارند که می توان آنها را به نوع القائی و سنکرون تقسیم بندی نمود، نوع سنکرون به دسته های مختلفی تقسیم می شود، از جمله نوع تحریک سیم بندی شده که با اتصال به جریان مستقیم مغناطیس شده و در زیر قطب های استاتور قفل شده و به صورت همزمان با سرعت میدان استاتور (اولیه) حرکت می کند.

نوع دوم این ماشین ها تحریک با آهنربای دائم می باشد که به جای سیم پیچی از آهنربای دائم بر روی قسمت متحرک استفاده شده است. در نوع دیگری از تقسیم بندی های ماشین های سنکرون خطی آهنربای دائم بر روی اولیه یا استاتور قرار می گیرد. همین ماشین ها می تواند بصورت اولیه یک طرفه و دوطرفه ساخته شود که هر کدام مزایا و معایب خاص خود را دارد. نوع دیگری از موتورهای خطی سوئیچ فلاکس هستند که اگرچه از خانواده ماشین های سنکرون هستند اما از نظر ساختاری تفاوت هایی با آنها دارند، شایان ذکر است این ماشین ها نیز نوع مغناطیس دائم و سیم پیچی شده دارند. اما ساختار روتورهای (ثانویه یا تحریک) آن ساده است و تنها به صورت دندانه دندانه هستند و آهنربا بر روی اولیه می باشد، به همین دلیل از نظر اقتصادی مقرون به صرفه بوده و می تواند مورد توجه واقع شود. در مسیرهای طولانی و در حمل و نقل های جاده ای به دلیل طول مسیر استفاده از آهنربا و سیم پیچ بر روی ریل هزینه های هنگفتی دارد علاوه بر آن تعمیر و نگهداری این گونه ماشین ها را بسیار سخت و هزینه بر می باشد و با قراردادن آهنربا بر روی قسمت متحرک هزینه های مذکور بسیار کاهش می یابد. در ماشین های خطی جدید به دنبال کاهش هزینه های تولید تلاش بر آن است تا تمام سیم پیچی ها و آهنربا بر روی قسمت متحرک قرار گیرد. موتور خطی فلاکس سوئیچ یک ماشین ویژه است که در بسیاری از کاربردها مورد بررسی قرار می گیرد. به عنوان نمونه ترانزیت ریلی شهری. برخلاف ماشین های خطی القائی که ساختار ساده و کم هزینه مزیت این نوع ماشین ها می باشد و ضریب قدرت کم و سرعت غیر ثابت، نیروی ترمزی بالا و راندمان پائین از معایب آن می باشد، در ماشین های سنکرون خطی می توان سرعت ثابت داشت و با استفاده از آهنربای دائم به جای سیم پیچ می توان راندمان و چگالی توان را بهبود بخشید. در این مقاله نیروی رانش و ریپل نیرو و بازده ماشین طراحی شده را با نمونه مشابه آن با آهنربای نصب شده بر روی ثانویه مقایسه خواهیم نمود و از آنجا که مقرون به صرفه بودن آن کاملاً مشخص است نتایج شبیه سازی ها و محاسبات می تواند کمک شایانی به سیستم های حمل و نقل با ماشین های خطی نماید.

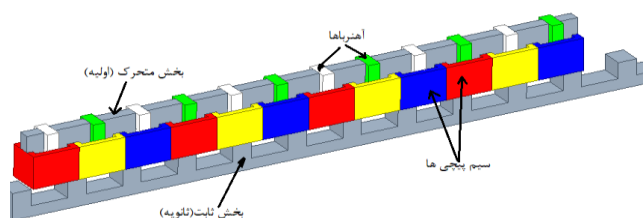
به طور کلی موتورهای فلاکس سوئیچ در دونوع دوار و خطی ساخته یک موتور فلاکس سوئیچ از سه قسمت اصلی تشکیل شده است: استاتور یا اولیه ، روتور یا ثانویه، سیم پیچ تحریک و یا آهنرباهای دائم. در [۱] ساختار جدیدی از موتور خطی سوئیچینگ فلاکس آهنربای دائم (PM-FSLM) را با اولیه مازولار ساده با وزن کم و ریپل رانش تولیدی مورد قبول ارائه می دهد. در [۲] نمونه ای از ماشین فلاکس سوئیچ جریان مستقیم ارائه شده است و یک تکنیک انعطاف پذیر مبتنی بر MEC با دقت قابل تنظیم استفاده شده است و اثر انتهایی توسط دو ناحیه مجازی در نظر گرفته شده است. در [۳] مقایسه بین موتور القائی خطی و فلاکس سوئیچ آورده شده است، موتورهای القائی خطی به دلیل سادگی به وفور در راه آهن های شهری استفاده شده است، اما به دلیل تلفات مسی و جریان گردابی راندمان آنها پایین است. در [۴] رویکردهایی برای سیستم ترمز راه آهن ها با کم کردن تلفات انرژی ارائه می کند و از ترمز الکترومغناطیسی بجای ترمزهای مکانیکی و ترمزهای با آهنربای دائم استفاده شده است. در [۵] با استفاده از مدار معادل دانکن یک معادله تحلیل جدید برای مدل سازی نیروی ترمزی اثر انتهایی ارائه شده است. در [۶] یک ماشین فلاکس سوئیچ خطی با آهنربای دائم با اولیه پارتیشن بندی شده جهت بهینه سازی نیروی رانش و حداقل کردن ریپل رانش جدید ارائه کرده است. در [۷] یک ابر رسانای مازولار جدید با دمای بالا را پیشنهاد و تجزیه و تحلیل کرده است. در [۸] بیان شده است که نیروی بازدارنده در ماشین خطی با آهنربای دائمی توسط اثر انتهایی و تاثیر شیارها ایجاد می شود و با تفکیک نیروی بازدارنده به مولفه های اثر انتهایی و اثر شیارها برای تجزیه و تحلیل و طراحی مفید خواهد بود. در ماشین های خطی معمولی اثر انتهایی و نیروی بازدارنده را می توان یک مدل بدون شیار در نظر گرفت. که اثر دندانه ای حذف می شود. در [۹] عملکرد کششی یک موتور القائی خطی یک طرفه و موتور سنکرون با آهنربای دائم یک طرفه بدون هسته (هالباخ) برای قطار سرعت کم و متوسط مورد بحث قرار گرفته است. نتیجه شده است که Halbach PM-LSM برای سیستم حمل و نقل قطارهای شهری مناسب تر می باشد. در [۱۰] یک ماشین فلاکس سوئیچ جدید با اولیه پارتیشن بندی با تعداد قطب فرد ارائه نموده است. برای کم کردن ریپل نیروی رانش ماشین جدید بهینه شده پارتیشن بندی شده از ترکیب استاتور ۹ قطب و ثانویه ۱۰ قطب به دست آمده است.

۲. مدل مورد نظر

در این مقاله با نوع خطی موتورهای فلاکس سوئیچ در دونوع ۱۲/۱۰ که مفهوم آن ۱۰ دندانه از ثانویه در هر لحظه زیر ۱۲ شیار از اولیه می باشد و همچنین نوع ۱۲/۱۴ که مفهوم آن ۱۴ دندانه از ثانویه در هر لحظه زیر ۱۲ شیار از اولیه می باشد در دو ساختار متفاوت با تحریک سیم پیچی و جریان DC که در شکل های (۱) و (۲) آورده شده است و نوع تحریک با آهنربای دائم که در شکل های (۳) و (۴) آورده شده است پرداخته شده است و نتایج آن ها با یکدیگر مقایسه خواهد شد. در این مقاله چهار نمونه مورد بررسی و مقایسه قرار خواهد گرفت که به اختصار به آنها نمونه ۱ تا ۴ نام گذاری خواهیم کرد که در جدول (۱) مشخص گردیده است.

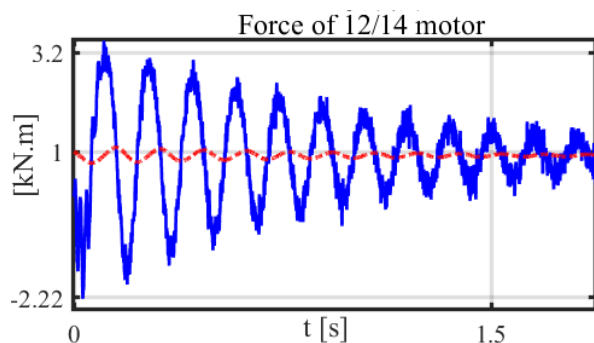
جدول (۱) انواع موتور خطی مدنظر مقاله

نمونه ۱	فلاکس سوئیچ ۱۲/۱۰ با سیم پیچ تحریک و جریان DC
نمونه ۲	فلاکس سوئیچ ۱۲/۱۴ با سیم پیچ تحریک و جریان DC
نمونه ۳	فلاکس سوئیچ ۱۲/۱۰ با آهنربای دائم
نمونه ۴	فلاکس سوئیچ ۱۲/۱۴ با آهنربای دائم



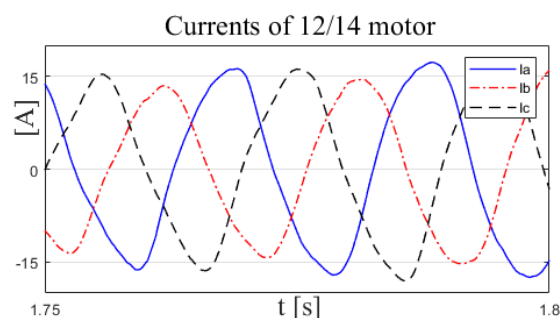
شکل (۱) نمای سه بعدی از موتور فلاکس سوئیچ خطی نمونه

در شکل (۱) نمائی سه بعدی از موتور فلاکس سوئیچ خطی آورده شده است. در تمام نمونه موتورهای این مقاله طول اولیه آن ۹۶۰ میلی متر می باشد، فاصله هوایی های بین اولیه ثانویه یکسان و برابر با ۵ میلی متر و گام سیم پیچی اولی ۷۰ میلی متر و پهنای دندانه های اولیه ۲۰ میلی متر و ارتفاع دندانه اولیه ۶۰ میلی متر و ولتاژ سیم پیچی های اولیه سه فاز ۳۸۰ ولت و مقاومت اهمی سیم پیچی های اولیه ۰/۸۵ اهم می باشد، هدف این مقاله بررسی نیروی رانش تولید شده و جریانی که سیم پیچی های اولیه در حالت های مختلف و ساختارهای متفاوت از شبکه دریافت می کند می باشد.



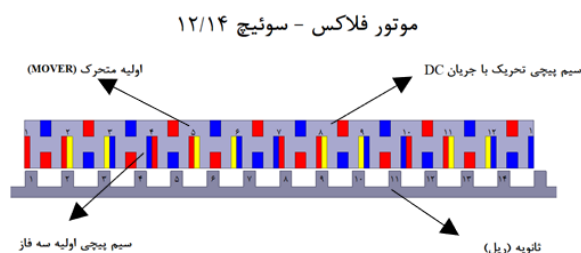
شکل (۴) موج رانش موتور نمونه (۱)

در شکل (۵) شکل موج جریانی که این موتور از شبکه اخذ می کند آورده شده است که حدود ۱۸ آمپر می باشد.



شکل (۵) جریان دریافتی موتور از شبکه

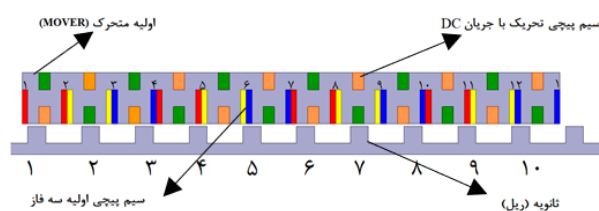
این موتور قادر به تامین نیروی ۱۰۰۰ نیوتن می باشد و در بار بالاتر از این مقدار موتور ناپایدار می شود و تحت بار می ماند.



شکل (۶) موتور فلاکس-سوئیچ ۱۲/۱۴ با سیم پیچ تحریک

۴. موتور نمونه (۲) موتور فلاکس سوئیچ ۱۲/۱۴ با سیم پیچ تحریک که در شکل (۶) نمونه آن آورده شده است که در هر لحظه ۱۴ دندانه از ثانویه زیر دوازده شیار از اولیه (طول اولیه) قرار دارد. از آنجا که ابعاد اولیه تغییری نداشته است از آوردن کمیت های تکراری در جدول پرهیز شده است. نیروی رانش و سرعت نمونه (۲) در شکل های (۷) و (۸) آورده شده است.

موتور فلاکس - سوئیچ ۱۲/۱۰

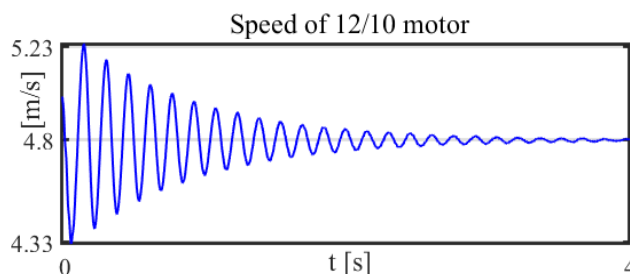


شکل (۲) موتور فلاکس سوئیچ ۱۲/۱۰ با سیم پیچ تحریک

۳. شکل (۲) نمونه موتور (۱) این مقاله می باشد که نتایج ناشی از شبیه سازی آن را در شکل های (۳) و (۴) می توان مشاهده نمود، سرعت ۴/۸۲ متر بر ثانیه و نیروی رانش تولیدی ۱۰۰۰ نیوتن پس از رسیدن سرعت به پایداری می باشد. ابعاد و نتایج حاصله پس از شبیه سازی نمونه موتور (۱) در جدول (۲) آورده شده است.

جدول (۲) ابعاد و مشخصات فنی موتور نمونه (۱)

واحد	اندازه	کمیت
میلی متر	۲۲/۸۵	پهنای دندانه های ثانویه
میلی متر	۴۵/۷۱	پهنای شیارهای ثانویه
دور	۶۰	تعداد دور سیم پیچی های اولیه
هرتز	۵۰	فرکانس
آمپر	۱۸	جریان موتور
نیوتن	۱۰۰۰	نیروی بار روی موتور
کیلوگرم	۱۴۲	وزن کلی موتور

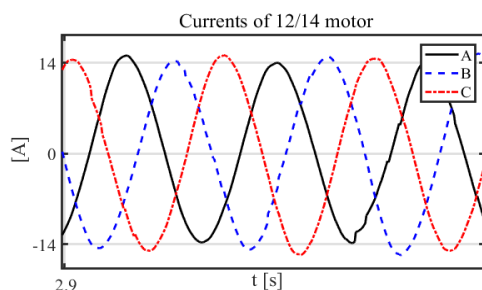


شکل (۳) شکل موج سرعت موتور نمونه (۱)

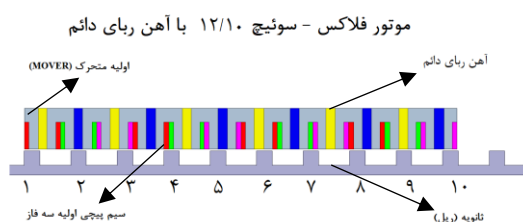
همان طور که مشاهده می شود ریبیل سرعت کم در زمان زیر یک ثانیه بیانگر به پایداری رسیدن سریع این الکتروموتور در تامین نیروی مورد نیاز بار را دارد.

است، که با توجه به استفاده از آهن بیشتر منطقی به نظر می‌رسد. در تامین نیروی مورد نیاز برای بار ۱۰۰۰ نیوتنی موتور فلاکس سوئیچ

۱۲/۱۴ (نمونه دوم) حدود ۴ آمپر کمتر جریان از شبکه دریافت می‌کند.



شکل (۸) شکل موج جریان موتور نمونه (۲)



شکل (۹) موتور فلاکس سوئیچ ۱۲/۱۰ با آهن ربای دائم

۵. موتور نمونه (۳) فلاکس سوئیچ ۱۲/۱۰ با آهن ربای دائم همان طور که در شکل (۹) ملاحظه می‌نمائید این موتور همان موتور نمونه (۱) می‌باشد که به جای سیم پیچی‌های تحریک از آهن‌رباهای دائم جهت تحریک استفاده شده است. تعداد ۱۲ آهن‌ربا در بین هسته اولیه قرار گرفته است و این آهن‌رباها نسبت به آهن‌ربای بعدی از نظر شکل شار و قطب مخالف می‌باشد. این موتور ماژولار می‌باشد یعنی هسته‌ها از هم جدا بوده و پس از قرار گرفتن آهن‌رباها در بین هسته‌ها آنها را به هم محکم می‌کنیم. در جدول (۴) اندازه و کمیت‌های مربوط به این نمونه آورده شده است.

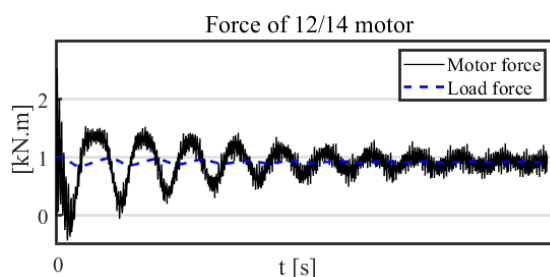
جدول (۴) ابعاد و مشخصات فنی موتور نمونه (۳)

واحد	اندازه	کمیت
میلی‌متر	۲۲/۸۵	پهنای دندانه‌های ثانویه
میلی‌متر	۴۵/۷۱	پهنای شیارهای ثانویه
هرتز	۵۰	فرکانس
آمپر	۱۰	جریان موتور
نیوتن	۱۰۰۰	نیروی بار روی موتور
کیلوگرم	۱۳۷/۷	وزن کلی موتور

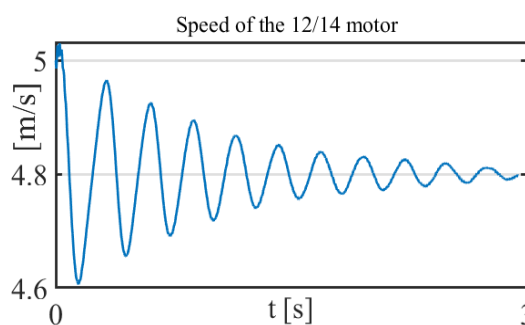
نیروی رانش این موتور ۱۰۰۰ نیوتن و بر اساس شکل (۸) جریانی که از شبکه دریافت می‌کند ۱۴/۲۶ آمپر می‌باشد که در مقایسه با نمونه (۱) جریان بسیار زیادی را از شبکه دریافت میکند البته قابل ذکر است که نیروی بار در این حالت پنج برابر بار متصل به موتور نمونه (۱) می‌باشد.

جدول (۳) ابعاد و مشخصات فنی موتور نمونه (۲)

واحد	اندازه	کمیت
میلی‌متر	۲۲/۸۵	پهنای دندانه‌های ثانویه
میلی‌متر	۴۵/۷	پهنای شیارهای ثانویه
هرتز	۷۰	فرکانس
آمپر	۱۴/۲۶	جریان موتور
نیوتن	۱۰۰۰	نیروی بار روی موتور
کیلوگرم	۱۷۷/۸	وزن کلی موتور

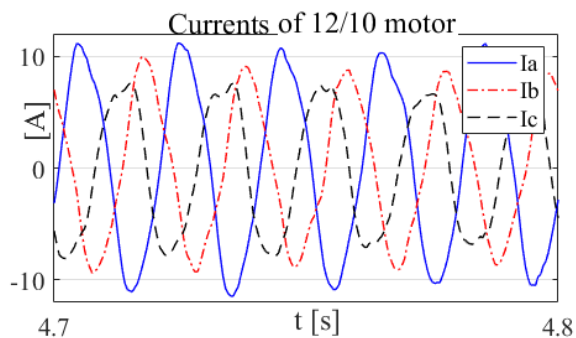


شکل (۷) شکل موج نیروی رانش و نیروی بار موتور نمونه (۲)

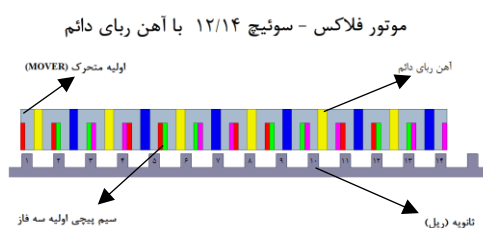


شکل (۸) شکل موج سرعت موتور نمونه (۲)

در مقایسه موتورهای نمونه (۱) و (۲) به این نتیجه می‌رسیم که جهت رسیدن به پایداری حدود سرعت سنکرون فرکانس ۵۰ هرتز برای ۱۲/۱۰ و فرکانس ۷۰ هرتز برای موتور ۱۲/۱۴ نیاز است. در آینده مقاله‌ای دیگر افزایش ۵ هرتز به ازای اضافه شدن هر دندانه از ثانویه زیر اولیه مورد بررسی قرار خواهد گرفت. در مقایسه‌ای دیگر وزن موتورهای با دندانه بیشتر در ثانویه حدود ۳۵ کیلوگرم سنگین‌تر



شکل (۱۲) شکل موج جریان موتور نمونه (۳)



شکل (۱۳) موتور فلاکس سوئیچ ۱۲/۱۴ با آهن ربای دائم

۶. موتور نمونه (۴) فلاکس سوئیچ ۱۲/۱۴ با تحریک آهن ربای دائم که در شکل (۱۳) قابل مشاهده است. ابعاد و کمیت‌های مربوط به این نمونه در جدول (۵) آورده شده است. در این نمونه به ازای طول شیارها که ۱۲ عدد می‌باشد ۱۴ دندان از ثانویه (ریل) در هر لحظه زیر آن قرار دارد، علاوه بر آن به جای سیم پیچی تحریک از آهن رباهای دائم که بصورت مختلف الجهت در داخل هسته وجود دارند استفاده شده است، تمام شبیه سازی ها در نرم افزار Maxwell-2D انجام شده است.

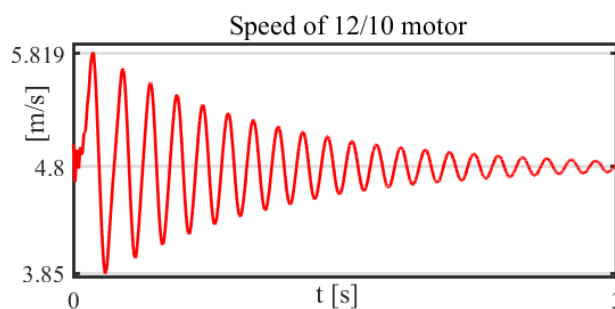
شکل موج نیروی رانش تولید شده جهت تامین نیروی رانش مورد نیاز بار در شکل (۱۴) آورده شده است که بیانگر توان تامین این نیرو توسط موتور نمونه (۴) می‌باشد. در شکل (۱۵) شکل موج سرعت موتور آورده شده است، رسیدن به سرعت ثابت و پایداری سرعت این نمونه بیانگر توانایی تامین بار و درستی ابعاد و موقعیت اولیه اولیه این موتور نسبت به ثانویه می‌باشد. شکل موج نیروی رانش و شکل موج نیروی بازدارنده در شکل (۱۴) نشان داده شده است نیروی رانش (TA) ۷۵۰۰ نیوتن است و میزان نیروی ضد رانش ۵۰۰۰ نیوتن است. که بیانگر توانایی موتور طراحی شده در فراهم کردن نیروی لازم برای به حرکت در آوردن بار است. علاوه بر آن در شکل (۱۳) نیز موج سرعت تا رسیدن به پایداری و سرعت ثابت نشان داده شده است.

نیروی رانش تولید شده توسط موتور نمونه (۳) ۱۲۰۰ نیوتن و سرعت آن ۴/۸ متر بر ثانیه می‌باشد و جریان دریافتی این موتور از شبکه ۱۰

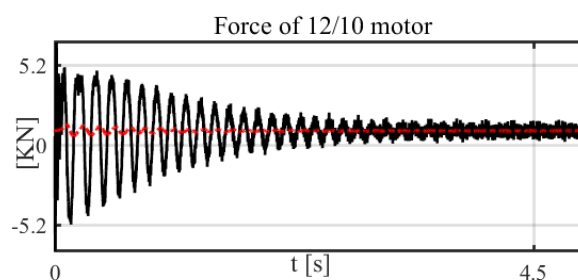
آمپر می‌باشد که در مقایسه با موتورهای نوع (۱) و (۲) جریان کمتری از شبکه دریافت می‌نماید که علت آن وجود آهن رباهای دائم می‌باشد. در شکل (۱۰) شکل موج سرعت و در شکل (۱۱) شکل موج نیروی رانش این موتور این موتور آورده شده است.

جدول (۵) ابعاد موتور فلاکس سوئیچ نمونه (۴)

واحد	اندازه	کمیت
میلی متر	۲۲/۸۵	پهنای دندانهای ثانویه
میلی متر	۴۵/۷	پهنای شیارهای ثانویه
هرتز	۷۰	فرکانس
آمپر	۷	جریان موتور
نیوتن	۱۰۰۰	نیروی بار روی موتور
کیلوگرم	۱۷۲	وزن کلی موتور



شکل (۱۰) شکل موج سرعت موتور نمونه (۳)



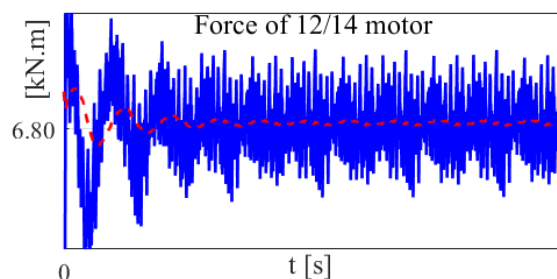
شکل (۱۱) شکل موج نیروی رانش موتور نمونه (۳)

از شکل (۱۲) مشخص است جریانی که این موتور برای تامین بار ۱۰۰۰ نیوتنی از شبکه دریافت می‌کند ۱۰ آمپر است که نسبت به حالت با سیم پیچی تحریک جریان کمتری از شبکه کشیده می‌شود که دلیل آن وجود آهن رباهای دائم می‌باشد.

تامین کند در حالی که در نوع با سیم پیچی همین موتور نیروی مورد نیاز بار تامین نشده و موتور تحت بار مانده است و این موتور با ابعاد مشابه و سیم پیچی و تحریک جریان مستقیم می‌تواند نیروی رانش ۱۰۰۰ نیوتنی تولید کند که تقریباً یک هشتم حالت با آهن‌ربای دائم است، از طرفی دیگر تامین جریان مستقیم و هزینه تعمیر و نگهداری بیشتر و وزن بیشتر موتورهای با تحریک سیم‌پیچی شده لزوم و دلیل افزایش روز افزون موتورهای PM را مشخص می‌نماید.

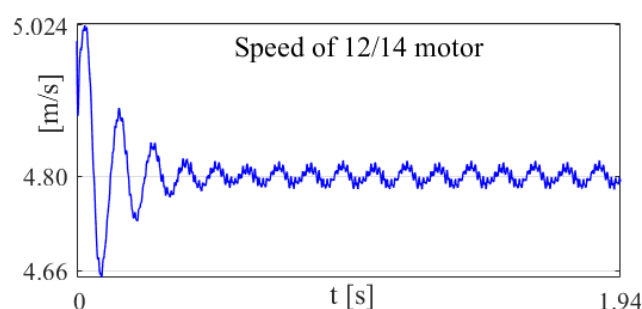
مراجع:

- [1]Naderi, Peyman, and Malihe Heidary. "A novel permanent magnet flux-switching linear motor performance analysis by flexible mec method." *IEEE Transactions on Energy Conversion* 36.3 (2020): 1910-1918
- [2]FARHADI, Ali, et al. A comprehensive analysis on a novel DC-Excited Flux-Switching Linear Motor as a new linear vehicle for transportation systems. *IET Electric Power Applications*, 2022
- [3]Cao, R., Lu, M., Jiang, N., Cheng, M.: 'Comparison between linear induction motor and linear flux-switching permanent-magnet motor for railway transportation', *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 2019, 66, (12), pp. 9394-940
- [4]Saadha, A., Aravind, C., Krishna, P., Azhar, F. 'Electromagnetic design analysis of single layered linear switching machine with fixed dc excitation for rail brake systems'. In: 2017 IEEE 15th Student Conference on Research and Development (SCORED). (IEEE, 2017. pp. 371-376
- [5]Shiri, A., Shoulaie, A.: 'End effect braking force reduction in high-speed singlesided linear induction machine', *Energy Conversion and Management*, 2012, 61, pp. 43-50
- [6]Ravanji, M.H., Nasiri.Gheidari, Z.: 'Design optimization of a ladder secondary single-sided linear induction motor for improved performance', *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 2015, 30, (4), pp. 1595-1603
- [7] Ma, W., Wang, X., Wang, Y., Li, X.: 'A hts-excitation modular flux-switching linear machine with static seals', *IEEE Access*, 2019, 7, pp. 32009-32018
- [8]Wang, C., Shen, J.: 'A method to segregate detent force components in permanentmagnet flux-switching linear machines', *IEEE transactions on magnetics*, 2011, 48, (5), pp. 1948-1955
- [9]Wang, H., Li, J., Qu, R., Lai, J., Huang, H., Liu, H.: 'Study on high efficiency permanent magnet linear synchronous motor for maglev', *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, 2018, 28, (3), pp. 1-5
- [10]Lu, Q., Yao, Y., Shi, J., Shen, Y., Huang, X., Fang, Y.: 'Design and performance investigation of novel linear switched flux pm machines', *IEEE Transactions on Industry Applications*, 2017, 53, (5), pp. 4590-4602

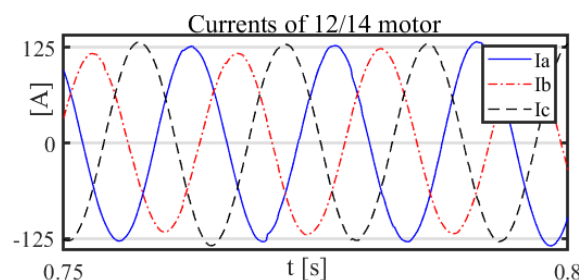


شکل (۱۴) نیروی رانش و نیروی ضد رانش

موتور مورد نظر باید بتواند پس از تامین نیروی لازم جهت راه افتادن و برآورده کردن نیروی مورد نیاز برای به حرکت در آوردن بار در سرعت ثابت ۵ متر بر ثانیه به حالت پایدار برسد که نتیجه شبیه سازی که در شکل (۱۴) آورده شده است نشان از این موضوع دارد. جریان دریافتی این موتور از شبکه در شکل (۱۶) آورده شده است. نتیجه شبیه سازی برای این موتور جریان ۱۲۵ آمپر را از شبکه دریافت می‌کند.



شکل (۱۵) شکل موج سرعت موتور نمونه (۴)



شکل (۱۶) شکل موج جریان موتور نمونه (۴)

۷. نتیجه گیری

در موتورهای فلاکس سوئیچ با دندانه‌ی بیشتر از ثانویه در زیر اولیه جهت تامین نیروی مورد نیاز بار مشابه، جریان کمتری از شبکه دریافت می‌نماید، موتور ۱۲/۱۰ بسیار سریع‌تر به سرعت پایدار می‌رسد. با افزایش بار مقدار رپل نیروی رانش زیاد می‌شود. استفاده از آهن‌رباهای دائم علاوه بر آن که منجر به کاهش وزن کلی موتور شده است نیروی رانش را افزایش داده و رپل نیرو را کاهش می‌دهد. در مدل ۱۲/۱۴ با آهن‌ربای دائم موتور توانسته است نیروی رانش مورد نیاز بار ۷۵۰۰ نیوتنی را

