www.ElitesJournal.ir

مجله نخبگان علوم و مهندسی

Journal of Science and Engineering Elites

ISSN 2538-581X

جلد ۲- شماره ۳- سال ۱۳۹۶

بررسی تاثیر تعداد قطبها بر روی گشتاور تولیدی و شار عبوری در موتور رلوکتانسی

لیلا احمدی[1*]، محمود حسینی علی آبادی[2]

۱-دانشجو، دانشکده فنی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران‌مرکز

۲- استادیارو دانشکده فنی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران‌مرکز

*eleila578@gmail.com

ارسال: خرداد ماه ۹۶ پذیرش: مرداد ماه ۹۶

چکیده

با توجه به پیشرفت روز افزون الکترونیک قدرت، موتورهای رلوکتانس سوئیچی از جایگاه ویژه ایی برخوردار گشته اند. عدم وجود سیم پیچ در روتور این موتورها، ساختار ساده، قابلیت اطمینان بازه سرعت گسترده، هزینه ساخت کم، نگهداری ساده و سادگی سیم پیچی باعث توجه هر چه بیشتر به این موتورها شده است. این موتورهای در مقایسه با سایر موتورها با یک جریان مشخص، گشتاور بیشتری تولید میکنند. در این مقاله، با استفاده از روش المان محدود (FEM) دو موتور رلوکتانس سوئیچی ۶/۴ و ۱۲/۸ طراحی شده و نتایج گشتاور تولیدی به کمک نرم افزار مگنت (یک نرم افزار سه/دو بعدی برای شبیه سازی میدان های مغناطیسی است که توسط آن می- توان تجهیزات الکترومغناطیسی نظیر موتور را مدل سازی کرده و رفتار مغناطیسی آنها را از قبل از ساخت نمونه واقعی به صورت سه بعدی یا دو بعدی مشاهده کنیم).شبیه سازی شده است. از نتایج حاصل مشخص شد تعداد قطب های موتور تاثیر مستقیم بر روی گشتاور تولید شده دارد.

کلمات کلیدی: موتور رلوکتانس سوئیچی، روش المان محدود، گشتاور، نرم‌افزار Magnet.

۱. مقدمه

موتورهای الکتریکی هرکدام با ویژگی‌های منحصربه‌فردی که دارند، برای کاربردهای خاص طراحی و ساخته می‌شوند. به همین منظور همواره در جهت بهبود عملکرد این نوع موتورها کوشیده شده است. با توجه به این نکته که موتورهای الکتریکی از مهم‌ترین ابزارهای مورداستفاده در صنعت می‌باشند، بنابراین هدف بر پایه‌ی طراحی ماشین‌هایی با بازده حداکثری، قابلیت کنترل بالا، هزینه نگهداری کم‌تر، حجم کوچک‌تر و بهبود عملکرد پایه‌ریزی می‌شود. در سال‌های اخیرگرایش به بهره‌برداری از موتورهای رلوکتانس سوئیچی به‌منظور بهره‌گیری از این نوع موتورها در صنعت به‌طور چشمگیری افزایش‌یافته است.لیکن موتورهای SRM یک اختراع جدید نیست و سابقه‌ای ۱۵۰ ساله دارد. کاربرد اولیه SRM در سال ۱۸۴۲ برای کشش یک لوکوموتیو بوده است. در سال ۱۹۶۹ اولین مرجع علمی مطرح کننده موتورهای رلوکتانس سوئیچی، در IEEE Proceedings توسط ناسار[2] انتشار یافت[۱] و در سال ۱۹۶۰ با گسترش و پیشرفت درزمینه‌ی الکترونیک قدرت، نرم‌افزارهای طراحی و ریزپردازنده‌های دیجیتالی با سرعت و قدرت محاسبات بالا و همچنین در نظر داشتن مزایایی چون کاهش هزینه

ساخت و راه‌اندازی منجر به توجه مجدد به این موتورها گردید. پتانسیل بازار این محصول میتواند در بسیاری زمینه‌ها مثل ماشین‌های برقی لوازم خانگی، صنایع هوایی و ... استفاده شود[۲] و ژنراتور رلوکتانس سوئیچ‌ها برای کاربردهایی شبیه استارترهای توربین گازی هواپیما[۳]- [۴] . ژنراتور آسیاب بادی[۶]-[۵] وبعنوان دینام خودرو[۶] و برنامه‌های کاربردی[۷]، مورد استفاده قرار میگیرد. موتورهای رلوکتانس سوئیچی معمولاً با لفظ SRM که مخفف Switched Reluctance Motors است، شناخته می‌شوند. البته الفاظی همچون موتور رلوکتانسی بدون جاروبک[۳]، موتور با رلوکتانس متغیر[۴] و موتور با رلوکتانس کموتاسیونی[۵] نیز متداول گشته است.

علت نام‌گذاری SRM برای این نوع خاص از موتورها، کلید زنی ولتاژ روی سیم‌پیچ‌ها و درنتیجه ایجاد یک رلوکتانس مغناطیس سوئیچ شده روی هسته ایجاد می‌شود که منجر به چرخش روتور می‌گردد. این موتور دارای سیم‌پیچ‌های میدان مشابه موتور DC برای استاتور است و برای روتور آن سیم‌پیچی تعبیه نشده است، این خصوصیت را هم به‌عنوان مزیت و هم به‌عنوان عیب می‌توان برشمرد. به‌عبارت‌دیگر در این حالت روتور دارای ساختار ساده و درنتیجه کاهش هزینه‌های منجر به مغناطیس و دی مغناطیس شدن خواهد شد. همچنین استاتور و روتور هر دو قطب برجسته‌اند و به همین دلیل به این نوع از ماشین‌ها با عنوان ماشین با برجستگی دوبل نیز یاد می‌شود.

۲. اصول عملکرد

زمانی که جفت قطب استاتور روبه‌روی یکدیگر قرار گیرند، تحریک شوند. در لحظه‌ی تحریک قطعه‌ی دوار (روتور) ترجیح می‌دهد به سمت موقعیتی که کمترین رلوکتانس را داشته باشد، قرار گیرد و با قطب‌های استاتور هم‌محور شود. زمانی که دو قطب از استاتور با قطب‌های روتور هم‌محور می‌شوند، یک‌فاز تحریک می‌شود و به‌این‌ترتیب به‌صورت ترتیبی سه فاز تحریک می‌شوند. به دلیل گردش روتور و درنتیجه تولید گشتاور و توان و کلیدزنی جریان در سیم‌پیچی‌های استاتور (در زمان تغییر رلوکتانس) این نوع درایو موتور با سرعت متغیر، درایو موتور رلوکتانس سوئیچی نامیده می‌شود.

زمانی که دو قطب از روتور با دو قطب از استاتور هم‌راستا شود، جریانی در یک‌فاز ماشین اعمال می‌شود. مسیر شار از میان دو قطب استاتور و روتور برقرار می‌گردد که تمایل دارد قطب‌های غیر هم‌راستای روتور را به سمت خود کشاند. زمانی که آن‌ها هم‌محور شوند، جریان فاز استاتور قطع می‌گردد. در این حالت سیم‌پیچ دیگر استاتور تحریک می‌شود که این کار موجب می‌شود تا دو قطب دیگر روتور به سمت قطب‌های استاتور بچرخند. به همین ترتیب فاز دیگر نیز تحریک می‌شود؛ بنابراین تحریک متوالی سه فاز در هر دوره موجب چرخش روتور به‌اندازه‌ی ۹۰ درجه می‌گردد. البته چرخش کامل روتور به تعداد قطب‌های روتور بستگی دارد که معمولاً در قطب کمتر از استاتور دارد. جهت حرکت روتور (ساعت‌گرد یا پادساعت‌گرد بودن آن) بستگی به تحریک فازها دارد.

۱.۲. مزایا و معایب موتور رلوکتانس سوئیچی

در سال‌های اخیر موتور رلوکتانس سوئیچی جهت کاربرد در سرعت‌های متغیر مورداستفاده قرارگرفته است. ساختار ساده آن به دلیل عدم استفاده از مغناطیس، سیم‌پیچی روتور و جاروبک و همچنین بازده بالا موجب شده تا بیش‌ازپیش در کانون توجه صنعتگران قرار گیرد. به‌طور خلاصه می‌توان مزایای موتور رلوکتانس سوییچی را به‌صورت زیر برشمرد:

الف- ساختارساده روتور: روتور موتور رلوکتانس سوئیچی تنها یک هسته آهنی است و فاقد هرگونه سیم‌پیچی است، بنابراین ازنظر مکانیکی دارای استحکام و قوام بیشتری است و می‌توان در سرعت‌های بالا از آن بهره گرفت. بعلاوه مراحل ساخت آن کمتر و دارای هزینه کمتری نسبت به موتورهای جریان مستقیم و متناوب خواهد بود.

ب- ساختار استاتور: استاتور موتور رلوکتانس سوئیچی از نوع قطب برجسته است و سیم‌پیچی فازها به‌صورت متمرکز روی قطب‌ها قرار دارند، بنابراین توجیه اقتصادی بیشتری نسبت به موتورهای متداول دارد.

پ- روتور قطب برجسته: روتور نیز همانند استاتور از نوع قطب برجسته است و به دلیل عدم وجود هرگونه سیم‌پیچی لختی کمتری را شامل می‌شود، لذا شتاب آن افزایش‌یافته و امکان دسترسی به سرعت‌های بالاتر را فراهم می‌آورد.

ج- گشتاور راه‌اندازی بالا: در موتور رلوکتانس سوئیچی گشتاور راه‌اندازی به دلیل متناسب بودن با مجذور جریان گذرنده از قطب، می‌توان افزایش چشمگیری داده شود.

چ- در بسیاری از موارد، نیاز به مشخصه‌ی گشتاور-سرعت حس می‌شود که دسترسی به این مشخصه برای موتور رلوکتانس سوییچی ساده‌تر خواهد بود.

ویژگی‌های برشمرده فوق موجب افرایش راندمان، کاهش قیمت، سرعت‌بالا و چگالی توان بالا می‌گردد؛ اما به دلیل وجود معایب که در ادامه به آن پرداخته می‌شود، در سال‌های اخیر به‌طور گسترده مورد بهره‌برداری قرار نگرفته‌اند، البته تلاش برای رفع این معضلات ادامه خواهد داشت.

برخی معایب موتورهای رلوکتانس سوئیچی از قرار زیر است:

الف- نیاز به مدار راه‌انداز جداگانه: راه‌اندازی این نوع موتور نیاز به مدار راه‌انداز دارد و نمی‌توان آن را مستقیم به برق شهر وصل کرد. همچنین برای راه‌اندازی آن به اطلاعات مکان روتور نیاز داریم. برای این منظور بایستی اطلاعاتی از اعمال جریان به فازها و چرخش روتور در هرلحظه کسب شود؛ بنابراین نیاز به ادوات الکترونیک قدرت در این حالت حس می‌شود.

ب- به دلیل قطب برجسته بودن و عدم پیوستگی ذاتی به وجود آمده دارای نویز صوتی شدیدی است.

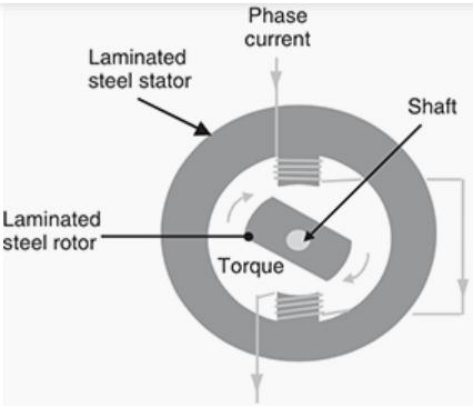
پ- بالا بودن گشتاور الکترومغناطیسی: به علت خاصیت غیرخطی موتور، گشتاور خروجی آن به‌خصوص در سرعت‌های پایین دارای نوسان است که این ضربان مطلوب به‌حساب نمی‌آید. ضربان گشتاور موجب اختلال در عملکرد بار می‌شود و حتی آسیب به آن می‌شود.

البته برخی از این معایب با تلاش محققین در این امر بهبودیافته است.

۲.۲. ساختار موتورهای رلوکتانس سوئیچی

موتورهای رلوکتانس سوئیچی دارای قطب‌های برجسته روی روتور و استاتور هستند و تعداد این قطب‌ها برای مثال ۴/۲، ۸/۶،۶/۴ به‌طور نابرابر است [۸] اما سیم‌پیچی‌ها فقط روی یکی، روتور یا استاتور قرار دارند که معمولاً استاتور سیم‌پیچی داشته و روتور فقط شامل قطب‌های برجسته است. در ساختمان روتور هیچ قفس مغناطیسی یا آهنربای دائمی استفاده‌نشده است، بلکه قطب‌های برجسته از جنس آهن سیلیس‌دار که قابلیت انتقال شار را به‌خوبی دارد و تلفات هیسترزیس در آن کم است، استفاده‌شده است. در شکل ۱- یک موتور دوقطبی ساده با تحریک یگانه نشان داده‌شده است که روتور آن حول یک محور افقی حرکت دورانی دارد.

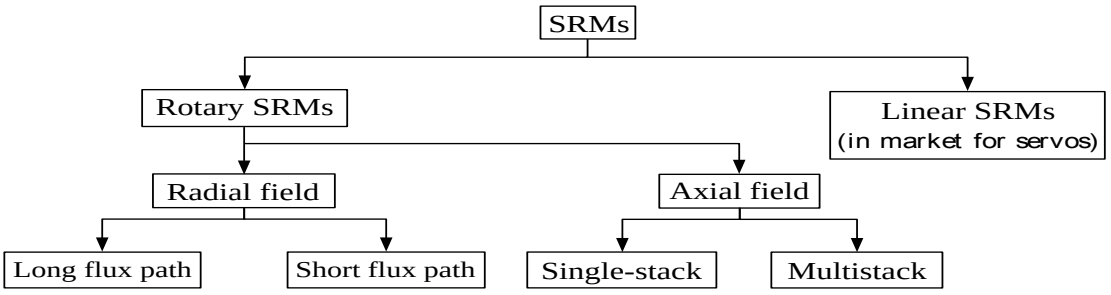
لفظ تحریک یگانه، به خاطر قرارگیری روتور مابین دو قطب استاتور که فقط با یک سیم‌پیچ تحریک می‌شود به‌کاربرده می‌شود. این سیستم ساده مغناطیسی به‌عنوان یک طرح ساده از موتور رلوکتانس سوئیچی در بسیاری از کتب آورده شده است و در ساعت‌های قدیمی و گرامافون‌ها از آن استفاده‌شده است.



شکل۱- موتور رلوکتانس سوئیچی دوقطبی ساده

۳.۲. انواع موتورهای رلوکتانس سوئیچی

به‌طورکلی موتورهای رلوکتانس سوئیچی را می‌توان به دودسته کلی خطی و چرخشی تقسیم کرد.



شکل۲- انواع موتورهای رلوکتانس سوییچی

۴.۲. موتورهای چرخشی

این موتورها دارای حرکت دورانی است و با توجه به مسیر تولید شار نسبت به محور به دودسته تقسیم می‌شوند که عبارت‌اند از:

۱- موتورهای استوانه‌ای با قطب برجسته مضاعف*

۲- موتورهای صفحه‌ای (دیسکی[۲])

۱.۴.۲. موتورهای استوانه‌ای با قطب برجسته مضاعف

این موتورها دارای قطب‌های برجسته روی روتور و استوانه می‌باشند. ازاین‌رو به آن قطب برجسته مضاعف می‌گویند. سیم‌پیچ‌ها روی استاتور بسته‌شده و هیچ‌گونه سیم‌پیچی روی روتور آن قرار ندارد. ترکیبات متنوعی از قطب‌های استاتور و روتور وجود دارد که با تغییر تعداد قطب‌ها مشخصه‌ی گشتاور- سرعت تغییر خواهد کرد. در حالت ایده آل با دو برابر شدن تعداد قطب‌ها می‌توان به گشتاور دو برابر و مقادیر بالاتری از سرعت دست‌یافت. همان‌طور که قبلاً اشاره شد، بسته به موقعیت روتور و استاتور جریان را در سیم‌پیچ‌ها استاتور کنترل می‌کنیم. این کنترل با قطع و وصل کردن جریان صورت می‌گیرد که جریان را از یک‌فاز به فاز همزمان با چرخش روتور منتقل می‌کند. گفتنی است تمایل به کاهش حداکثری رلوکتانس نیز

- Doubly-Salient Cylindrical Motor
2-- Disk-Type Motor

موجب ایجاد گشتاور می‌گردد که این امر به خط تراز روتور نسبت به استاتور بستگی داشته تا اثر سلفی کوپل تحریک‌شده را حداکثر نماید.

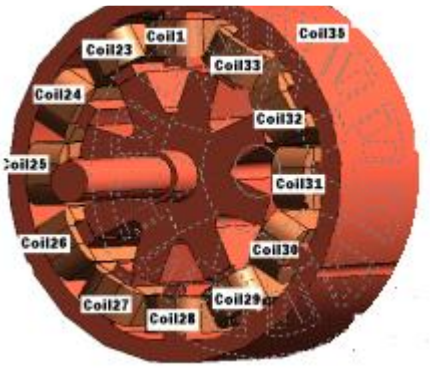
ترکیبات معمول موتورهای رلوکتانس سوییچی برای تعداد قطب‌های استاتور و روتور به‌صورت ۶/۴ و ۱۲/۸ برای موتور سه فاز، ۸/۶ برای موتور چهار فاز و ۱۰/۸ برای موتور پنج فاز اشاره کرد. ترکیبات فوق در تمام جایگاه‌ها گشتاور تولید می‌کنند ولی برخی ترکیبات همانند ۸/۶،۲/۴،۲/۲ نیز وجود دارد که در برخی جایگاه‌ها گشتاور تولید نمی‌گردد. لازم به ذکر است که موتورهای چرخشی می‌توانند به شکل چندلایه استفاده شوند. موتورهای SRM در کاربردهای وسیعی از کمترین توان تا چند کیلووات بکار برده می‌شوند، از سرعت‌های کم، گشتاور بالا (۳۰rpm) تا سرعت‌های بالا (۵۰۰۰rpm) به‌عنوان موتور و ژنراتور بکار برده می‌شوند.

۳. طراحی و شبیه سازی موتورهای رلوکتانسی سوئیچی

همان‌طور که قبلاً گفته شد، در این مقاله سعی بر آن شده است که انواع متداول‌تر موتورهای رلوکتانس سوئیچی بررسی و مقایسه شوند و ایده‌آل‌ترین آن‌ها مشخص گردد. روال کار به این صورت است که هر یک از موتورها ابتدا طراحی گردیده‌اند و سپس طرح موتور در نرم‌افزار Magnet واردشده و کارهای لازم اعم از سیم بندی، اختصاص جریان به هر سیم و تعریف متریال متناسب با کار انجام گردید. سپس نرم‌افزار به آنالیز مدل واردشده پرداخته و نتایج مقتضی شامل گشتاور و شار تولید شده، ارائه می‌گردد.

ابتدا به هر سه موتور جریان نامی ۵ آمپر داده شده است و توان ۷۴۶ وات و ولتاژ ۱۰۰ ولت برای تمامی موتورها یکسان است.

پس از فراخوانی شکل استاتور و روتور موتور در محیط نرم‌افزار MAGNET با تعریف مشخصات ماشین از قبیل مشخص نمودن جنس استاتور و روتور، تعریف فضا برای ماشین و تعریف سیم‌پیچی‌ها برای موتور، به تعریف مسئله‌های (problem)مختلف برای موتور می‌پردازیم. شکل۳ – طرح موتور به همراه سیم‌پیچی‌های تعریف شده در نرم افزار Magnet نشان می‌دهد.

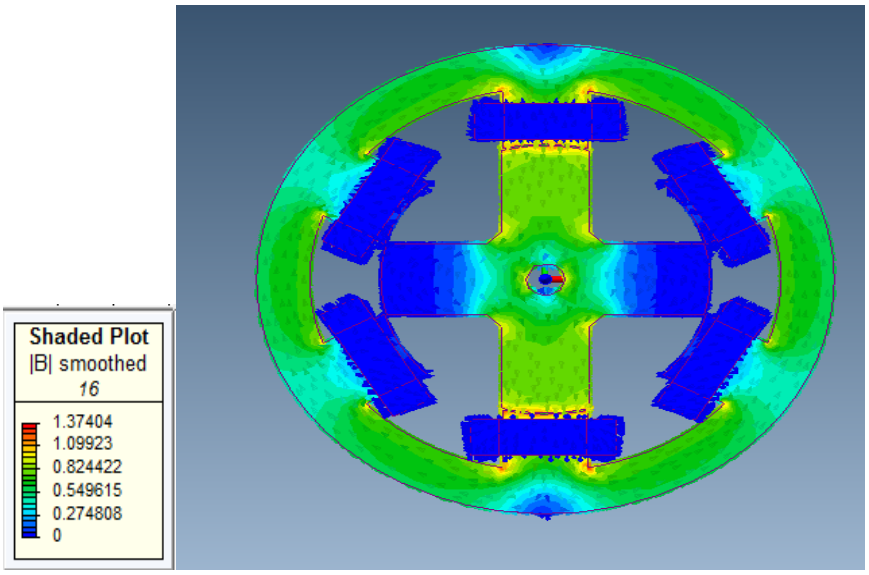


شکل۳- طرح موتور بهمراه سیم‌پیچی‌های تعریف شده

به این ترتیب که با قرار دادن روتور و استاتور به صورت هم‌مرکز و دوران آنها برای حصول موقعیت‌های مناسب اندازه‌گیری و مشاهده شار عبوری از روتور و استاتور در آن موقعیت تا حد مورد نظر برای طرح خود مسئله تعریف می نماییم که این مسائل توسط نرم افزار برای اندازه گیری شار و گشتاور عبوری از ماشین حل می‌شود.

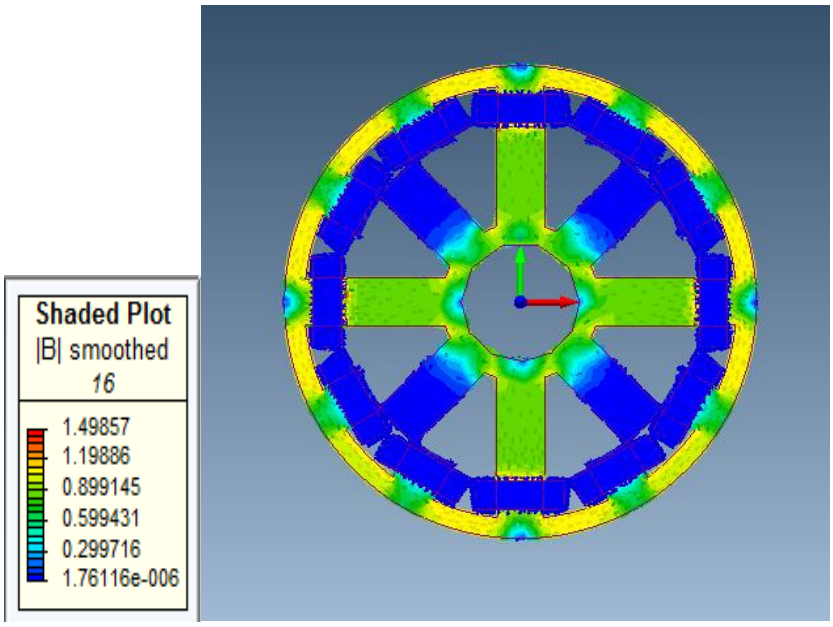
قبل از انجام حل توسط نرم‌افزار، جریان ۵ آمپر را به سیم‌پیچی اعمال می‌کنیم. با انجام شبیه‌سازی و حل مسائل تعریف شده توسط نرم‌افزار مگنت شار عبوری از استاتور و روتور به صورت گرافیکی و به صورت رنگی در هر قسمت از موتور قابل

مشاهده می‌باشد. شکل۴. .نتیجه حاصل از شبیه‌سازی را برای موتور رلوکتانسی سوئیچی ۶/۴ با تعداد ۴ عدد قطب روتور وتعداد ۶ عدد قطب استاتور با تعداد ۶۷ دور را نشان داده است



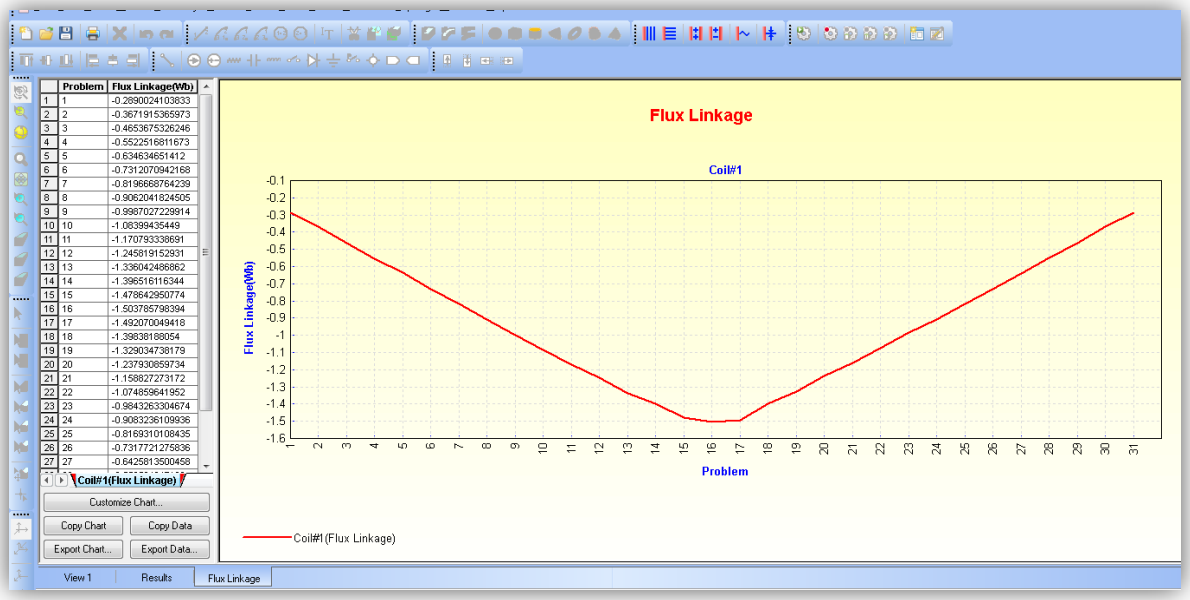
شکل۴- نتیجه حاصل از شبیه‌سازی موتور رلوکتانس سوییچی ۶/۴

و موتور رلوکتانس سوییچی ۱۲/۸ با تعداد ۸ عدد قطب روتور و تعداد ۱۲ عدد قطب استاتور و تعداد دور ۶۵ نیز در شکل ۵- نشان داده شده است:



شکل۵- نتیجه حاصل از شبیه‌سازی موتور رلوکتانس سوییچی ۱۲/۸

با اتمام مراحل حل مسائل توسط نرم‌افزار به تحلیل داده های بدست آمده از آن می‌پردازیم. نرم‌افزار Magnet در پایان نمودار و داده‌های مربوط به شار عبوری از هر سیم‌پیچ را در مسائل مختلف در اختیار می‌گذارد. شکل ۶. نمودار شار عبوری از سیم-پیچ مشخص شده در شکل ۴.(با رنگ قرمز) نشان می‌دهد.



شکل۶- نمودار شار عبوری از یکی از سیم‌پیچ‌ها به همراه جدول داده‌های مربوطه در نرم‌افزار Magnet

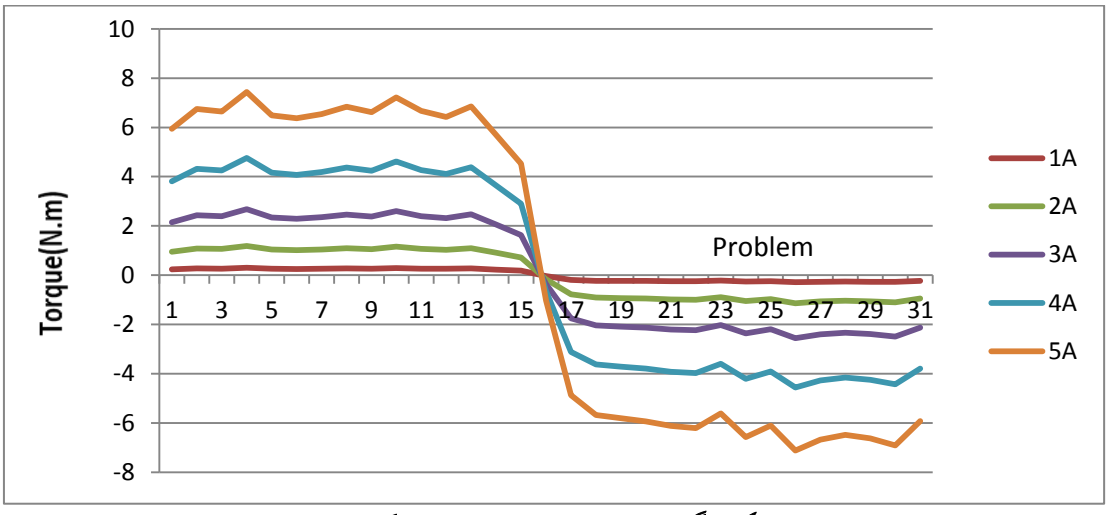
و به‌منظور مقایسه‌ی موتورها با یکدیگر می‌بایست موتورها را ازلحاظ گشتاور/ حجم موردبررسی قرار گیرند؛ بنابراین داریم:

جدول۱- حجم موتورهای مقایسه شده

نوع موتور	حجم (متر مکعب)
۶/۴	۰.۰۱۰۸۳۷۳۶۵
۱۲/۸	۰.۰۱۲۸۹۸۹۲۹

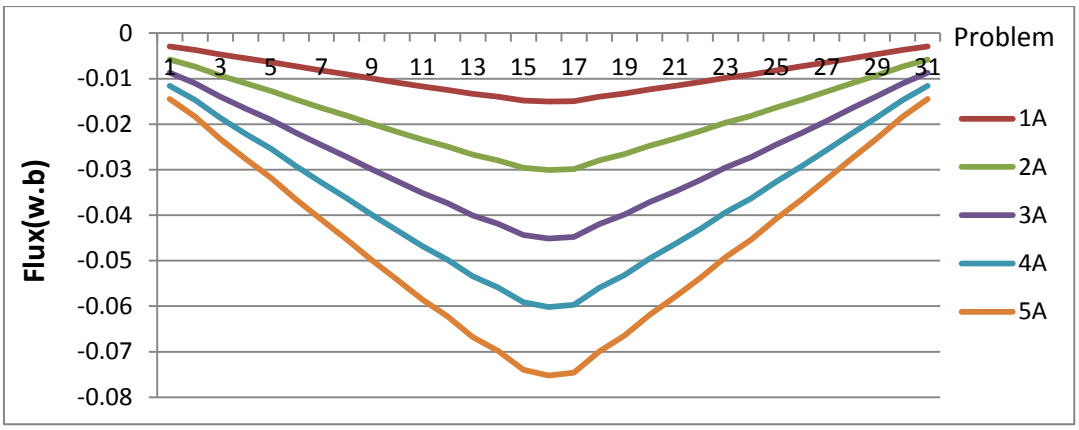
۴. مقایسه شار و گشتاور وارد شده به موتورها در جریان‌های مختلف

حال به مقایسه گشتاور این ۲ موتور در جریان‌های ۱،۲،۳،۴و۵ آمپر در شکل۵. پرداخته می‌شود:



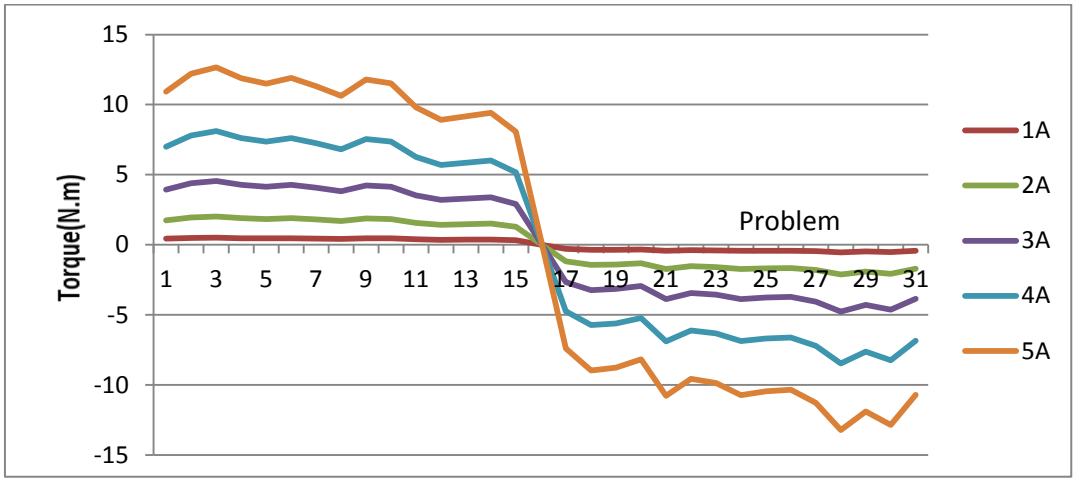
شکل۶- گشتاور واردشده موتور ۶/۴ در جریان‌های ذکرشده

و مقایسه شار در ۱،۲،۳،۴،۵ آمپر موتور ۶/۴ در شکل ۷، مورد بررسی قرار داده می‌شود:

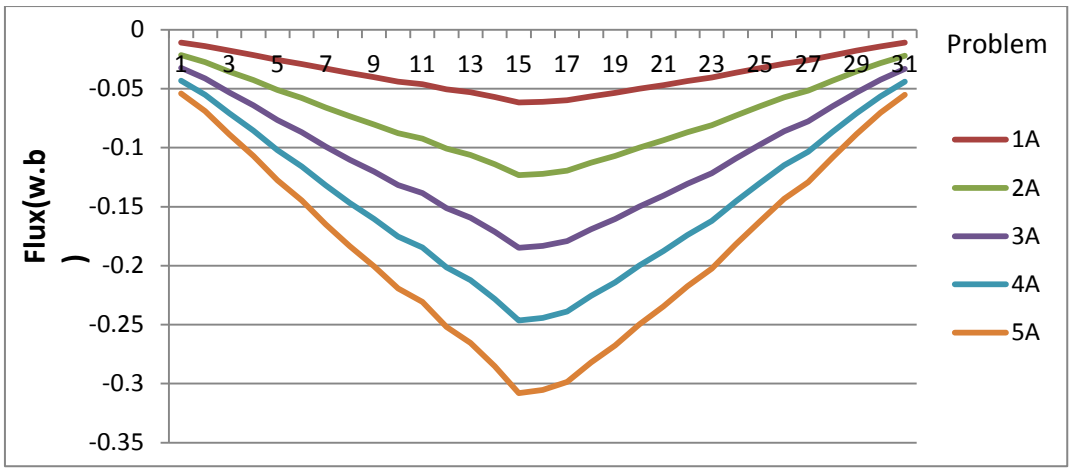


شکل۷- شار مقایسه‌ای موتور ۶/۴

و به بررسی موتور ۱۲/۸ در تغییرات جریان فوق در شکل‌های ۸و۹می‌پردازیم



شکل ۸- گشتاور واردشده موتور ۱۲/۸ در جریان‌های ذکر شده

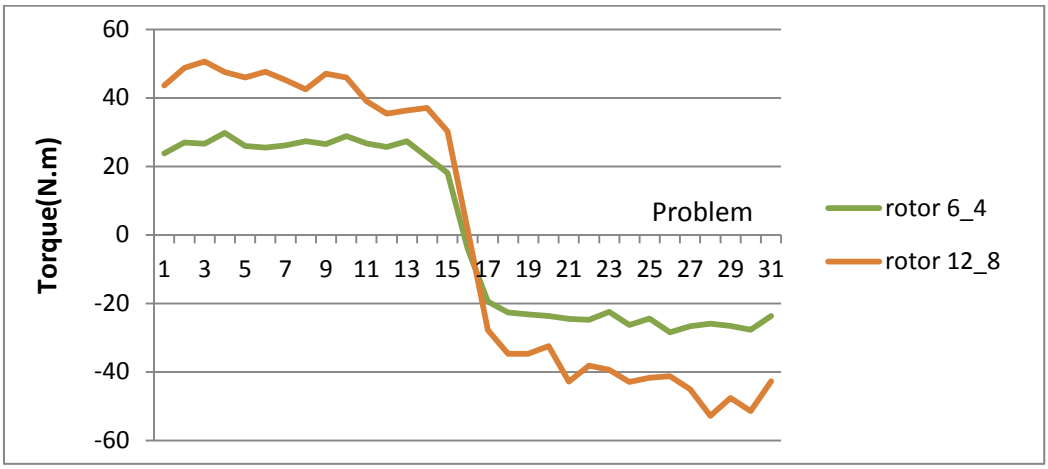


شکل۹- شار مقایسه‌ای موتور ۱۲/۸

۵. مقایسه دو موتور

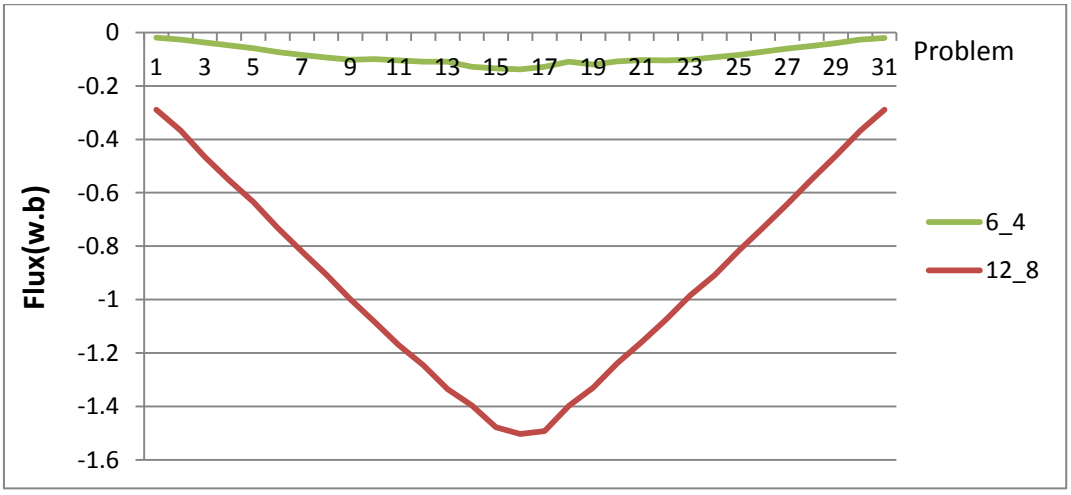
نتایج حاصل از نرم‌افزار Magnet به‌صورت زیر است:

شکل ۱۰- نمایانگر گشتاور واردشده به روتور است که همان‌طور که انتظار می‌رفت، این میزان برای موتور ۱۲/۸ ، حدود ۵۲ نیوتن –متر است. این نمودار مهم‌ترین مشخصه برای طراح به‌منظور تصمیم‌گیری بهترمی‌باشد.



شکل ۱۰- مقایسه گشتاور وارد شده به هر دو موتور در موقعیت‌های مختلف روتور

شار نشتی هرکدام از سیم‌پیچ‌ها مقدار متفاوتی است که در سیم‌پیچ‌های دارای جریان (تحریک‌شده) مقادیر فراوان‌تری است. به همین منظور نمودار این سیم‌پیچ‌ها بررسی شدند. لازم به ذکر است طبق بررسی‌های انجام‌شده سیم‌پیچ‌های متقابل در یک‌فاز شار نشتی تقریباً ثابت اما با پلاریته متفاوت دارند. در بقیه سیم‌پیچ‌ها شار نشتی به‌صورت قابل‌ملاحظه‌ای کمتر است. شایان‌ذکر است که میزان این شار کاملاً بستگی به چگونگی قرار گرفتن سیم‌پیچ‌ها نسبت به قطب‌های استاتور دارد که این امر در صورت دقت هر چه بیشتر درزمینه‌یموقعیت سیم‌پیچ کشیده شده به قطب استاتور به‌نحوی‌که فاصله موردنیاز نیز درعین‌حال حفظ شود، می‌توان در جهت کاهش آن کوشید. البته توجه به این نکته نیز الزامی است که علاوه بر مورد ذکرشده میزان قوس قطب روتور نیز تأثیر به سزایی در این امر می‌گذارد. نتایج حاصل از مقایسه شار وارد شده به هر دو موتور در شکل ۱۱ آمده است:



شکل۱۱- مقایسه شار وارد شده به دوموتور در موقعیت‌های مختلف روتور

۶. نتیجه‌گیری

به‌منظور مقایسه گشتاور موتورها، علاوه بر یکسان‌سازی مقیاس گشتاور / حجم، سعی بر آن شده است که حجم موتورها تقریباً در یک رنج مشخص باشند. حجم موتورها با افزایش تعداد قطب روتور و استاتور افزوده می‌شود. به دلیل بیشتر بودن تعداد قطب ها در موتور ۱۲/۸ نسبت به موتور ۶/۴ گشتاور تولیدی موتور ۱۲/۸ بیشتر است. چون موارد مصرف موتور رلوکتانس سوئیچی نیاز به تأمین گشتاور بیشتر را ارجح‌تر می‌داند، بنابراین نیاز به صنعتی‌سازی موتورهای فوق به‌شدت احساس می‌شود. با توجه به اینکه این موتورها دارای گشتاور چشمگیری نسبت به موتورهای رایج در بازار دارند، اما تأمین تغذیه مناسب برای کلیه قطب‌ها از نکات اساسی در طراحی این نوع موتورها به‌حساب می‌آید. درواقع بایستی به این نکته توجه داشته باشیم که با دستیابی به برخی خصوصیات متمرکز، برخی دیگر را از دست خواهیم داد که این موضوع یکی از اساسی‌ترین موارد در طراحی به شمار می‌رود و هنر و علم طراح را در این زمینه نشان می‌دهد.

۷. قدردانی

در پایان لازمست از راهنمایی های استاتید بزرگوار جناب آقای دکتر محمود حسینی علی آبادی تشکر و قدردانی نمایم.

۸. مراجع

1. Nasar, S.A., D.C.-“switched reluctance motor”, in Proceedings of the Institution of Electrical Engineers (London), vol. 116, No. 6, pp. 1048, June 1969.

۲. رعنا معینی، افجه‌ای، سیادتان، "دستیابی به ایده تلفیقی نوین برای کاهش ریپل گشتاور در موتورهای رلوکتانس سوئیچ"، اولین کنفرانس ملی ایده‌های نودر مهندسی برق، آذر ۹۱

3.S. R. Mac Minn and J. W. Sember, "Control of a switched-reluctance aircraft starter generator over a very wide speed range," in Proc .Intersociety Energy Conversion Engineering Conf, 1989, pp. 631-638.

4.C.A Ferreira., S.R Jones, W.S. Heglund, W.D. Jones, "Detailed design of a 30-kW switched reluctance starter/generator system for a gas turbine engine application", IEEE Transactions on Industry Applications, Volume: 31 , Issue: 3 , May-June 1995.

5.M.A Mueller, "Design of low speed switched reluctance machines for wind energy converters"; Electrical Machines and Drives, 1999. Ninth tional Conference on (Conf Publ. No. 468), 1-3 Sept. 1999, pp. 60 - 64.

6.B. Fahimi, A. Emadi, R. Sepe, "A switched reluctance machine based starter/alternator for more electric cars" Energy Conversion, IEEE Transactions on Energy Conversion, Volume: 19 Issue: 1 March 2004 ,pp. 116 - 124

7.Ali Emadi, Energy-efficient Electric Motors, Third Edition MARCEL DEKKER, INC,2005

8.R.Krishman,"Switched Reluctance Motor Drives, analysis, Design, and Application", CRC Press,2001

9.Byrne, J. and J.C. Lacy, “Electrodynamic system comprising a variable reluctance machine”, U.S. Patent 3956678, May 1976