بسم الله الرحمن الرحيم

٤٠٨٠٤

مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران
تقدیم مرکز

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده برق و کامپیوتر

۱۳۸۱ /۴/ ۲۶

یک روش جدید باند هیسترزیس برای پیش بینی زاویه روتور در موتور رلکتانس سوئیچ شونده

پایان نامه کارشناسی ارشد برق قدرت

۴۰۸۰۶

روح ا... کافی موسوی نجف آبادی

استاد راهنما

دکتر سید مرتضی سقائیان نژاد

۱۳۸۰

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده برق و کامپیوتر

۱

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته برق قدرت آقای روح ا... کافی موسوی نجف آبادی

تحت عنوان

یک روش جدید باند هیسترزیس برای پیش بینی زاویه روتور در موتور رلکتانس سوئیچ شونده

در تاریخ ۱۹ / ۱۲ / ۸۰ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت .

۱ ـ استاد راهنمای پایان نامه — دکتر سید مرتضی سقائیان نژاد

۲ ـ استاد مشاور پایان نامه — دکتر حمیدرضا کارشناس

سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده — دکتر علیمحمد دوست حسینی

تشکر و قدردانی

از کلیه اساتیدی که با بذل عمر گرانمایه خویش در راه اعتلای علم و دانش کوشش می نمایند تشکر و قدردانی می نمایم .

در اینجا لازم می دانم از راهنمایی های جناب آقای **دکتر سیدمرتضی سقائیان نژاد** استاد راهنمای پایان نامه و جناب آقای **دکتر حمیدرضا کارشناس** استاد مشاور پایان نامه تشکر و قدردانی نمایم .

همچنین از اساتید محترم داور جناب آقای **دکتر مهدی معلم** و جناب آقای **دکتر محمد ابراهیمی** تشکر و قدردانی می نمایم .

از مسئول محترم تحصیلات تکمیلی دانشکده جناب آقای **دکتر علیمحمد دوست حسینی** و مسئول محترم امور آموزشی سرکار **خانم دیباجی** به جهت همکاری های فراوان در امور آموزشی سپاسگذاری می نمایم.

از همکاری آقای **مهندس تورج عباسیان** در انجام پروژه و حضور آقای **مهندس نیلی** ، آقای **مهندس عرب** و آقای **مهندس کمالی** و کلیه دوستان در جلسه دفاع از پایان نامه تشکر می نمایم.

از همگی اعضای خانواده و خصوصاً خواهران عزیزم که در تایپ پایان نامه مرا یاری دادند قدردانی می نمایم.

کلیه حقوق مادی مترتب بـر نتـایج مطالعـات ، ابتکارات و نوآوریهای ناشی از تحقیق موضوع این پایان نامه متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است .

تقدیم به بزرگ پرچمدار

آزادی

شجاعت

و

شهادت

حضرت اباعبدالله الحسین (ع)

و تقدیم به همه شهدا ، از اول تا آخر

خصوصاً شهدای دشت کربلا

تقدیم به پدر و مادر فداکار و دلسوزم

سازمان اطلاعات و مدارک علمی ایران
کتابخانه مرکزی

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فهرست مطالب	هفت
چکیده	۱
فصل اول : مقدمه	
۱ ـ ۱ ـ تاریخچه ومعرفی	۲
۱ ـ ۲ ـ مرور مختصر پایان نامه	٤
فصل دوم : موتور رلکتانسی سوئیچ شونده	
۲ ـ ۱ ـ مقدمه	٥
۲ ـ ۲ ـ ساختمان موتورهای SR	٥
۲ ـ ۳ ـ گشتاور	۱۰
۲ ـ ٤ ـ مدار قدرت	۱۲
۲ ـ ٥ ـ کموتاسیون	۱٤
۲ ـ ٦ ـ نتایج	۱٦
فصل سوم : مدل های مختلف SRM	
۳ ـ ۱ ـ مقدمه	۱۷
۳ ـ ۲ ـ روش اجزاء محدود (FEM)	۱۸
۳ ـ ۳ ـ روش مدار معادل مغناطیسی	۱۸
۳ ـ ٤ ـ روش مقدار متوسط	۱۹

۳ـ۵ـ مدل های پیشنهادی ۱۹

۳ـ۵ـ۱ـ روش تقریبی پیشنهادی ۲۰

۳ـ۵ـ۲ـ مدل ماشین SR بر اساس برازش منحنی ۲۱

۳ـ۶ـ نتایج ۲۶

فصل چهارم : روش های تعیین موقعیت روتور بدون استفاده از سنسورهای موقعیت سنج

٤ـ۱ـ مقدمه ۲۷

٤ـ۲ـ دسته بندی روش های بدون سنسور تعیین موقعیت ۲۸

٤ـ۲ـ۱ـ روش های مبتنی بر آشکار سازی موج ۲۸

٤ـ۲ـ۲ـ روش های مبتنی بر تزریق سیگنال ٤۰

٤ـ۳ـ معیار های انتخاب مناسب ترین روش بدون سنسور ٤۲

٤ـ۳ـ۱ـ انتخاب بر مبنای تعداد فازها ٤۲

٤ـ۳ـ۲ـ انتخاب بر مبنای نوع مبدل ٤۳

٤ـ۳ـ۳ـ انتخاب بر مبنای ملاحظات عملی ٤۳

٤ـ٤ـ نتایج ٤۳

فصل پنجم : مدلسازی سیستم درایو موتور SR

۵ـ۱ـ مقدمه ٤٤

۵ـ۲ـ مدلسازی موتور رلکتانس سوئیچ شونده ٤٤

۵ـ۳ـ معادلات دیفرانسیل حاکم بر SRM ٤۷

۵ـ۳ـ۱ـ معادلات دیفرانسیلی الکتریکی ٤۷

۵ـ۳ـ۲ـ معادلات دیفرانسیل مکانیکی ٤۸

۵ـ ٤ ـ شبیه سازی SRM ٤٩

۵ـ ۵ ـ کنترل موتور SR ٤٩

۵ـ ٦ ـ نتایج ۵۱

فصل ششم : روش پیشنهادی برای تعیین موقعیت روتور بدون استفاده از سنسورهای موقعیت سنج

٦ـ ۱ ـ مقدمه ۵۲

٦ـ ۲ ـ کنترل جریان در باند هیسترزیس ۵۲

٦ـ ۳ ـ تئوری روش پیشنهادی ۵٤

٦ـ ٤ ـ زاویه هم پوشانی مغناطیسی ۵٦

٦ـ ۵ ـ تعیین موقعیت θ_{om} ٦۵

٦ـ ٦ ـ بررسی دقت روش پیشنهادی ٦۸

٦ـ ۷ ـ مزایا و معایب روش پیشنهادی ۷۰

٦ـ ۸ ـ نتایج ۷۱

فصل هفتم : نتایج و پیشنهادات

۷ـ ۱ ـ نتایج ۷۷

۷ـ ۲ ـ پیشنهادات ۷۸

ضمیمه ۷۹

مراجع ۹٤

چکیده

موتور رلوکتانسی سوئیچ شونده دارای ساختاری قطب برجسته است و به سبب طبیعت به شدت غیر خطی این موتور و کار در شرایط اشباع مغناطیسی و ساختار غیر استوانه ای روتور و استاتور مدل ریاضی ساده و دقیقی ندارد و در نتیجه عملکرد دینامیکی آن نیز به شدت غیر خطی و غیر قابل پیش بینی است .

از طرفی سنسورهای تعیین موقعیت ، جزء لاینفک درایوهای موتور رلکتانس سوئیچ شونده می باشند . سنسورهای تعیین موقعیت روتور ، عموماً در درایو SR جهت کموتاسیون فازها مورد استفاده قرار می گیرند . استفاده از این سنسورها باعث افزایش هزینه و کاهش قابلیت اعتماد درایو در بعضی از محیط های صنعتی خاص می شود .

هدف اصلی این پروژه شرح یک روش جدید برای تعیین غیرمستقیم موقعیت روتور در موتورهای رلکتانس سوئیچ شونده ای که از کنترل جریان هیسترزیس استفاده می کنند ، می باشد .برای آشکارسازی ازتغییر زمان صعود جریان در باند هیسترزیس به منظورآشکارسازی ابتدای موقعیت هم پوشانی قطب های روتورواستاتوردرهردوره تبدیل انرژی استفاده می شود.

این روش برای اغلب توپولوژی های SRM ، رنج وسیع سرعت وتوان ، و در چندین توپولوژی اینورتر کاربرد دارد .

همچنین مروری مختصر بر انواع روش های تعیین موقعیت انجام خواهد شد .

فصل اول
مقدمه

۱ – ۱) تاریخچه ومعرفی

اولین موتور رلکتانس سوئیچ شونده (SRM) در سال ۱۸۳۸ ساخته شده است . بدلیل عدم پیشرفت در زمینه الکترنیک قدرت واز اینرو عدم امکان کنترل ساده موتور ، تا سال های ۱۹۷۰ این موتور کنار گذاشته شد. درسال های ۱۹۶۰ با گسترش نیمه هادی ها ،امکان کنترل درایوهای الکتریکی میسر شد. وازاینرو SRM نیز به عنوان یک رقیب بسیار قوی در مقابل موتورهای القایی(I M)مطرح شد . تعداد مقالات روز افزونی که هر ساله از طرف محققین در مورد SRM ارائه می شود خود بیانگر اهمیت موضوع می باشد . مزایای این موتور بطور خلاصه عبارتند از :

- ساختمان ساده و قابل اعتماد[1]
- سیم پیچی روی روتور وجود ندارد از اینرو ذاتا ارزانتر است .
- نسبت گشتاور به اینرسی بالا داردودرمقایسه بایک ماشین القائی،درتوان یکسان،حجم کمتری دارد.
- ماکزیمم سرعت ودمای قابل تحمل این ماشین در مقایسه با ماشین های مشابه بیشتر است .

---

[1] robust

- سیم پیچی های هر فاز مستقل از یکدیگر هستند لذا قابلیت اعتماد این موتور بیشتر است .
- گشتاور موتور مستقل از جهت جریان می باشد از این رو مبدل درایو SRM تنها نیاز به یک سوییچ در هر فاز دارد .
- در چهار ناحیه راست گرد ، چپ گرد ، گشتاور مثبت و گشتاور منفی می تواند کار کند .
- یک ناحیه وسیع گشتاوریا توان ثابت در مشخصه گشتاور سرعت آن وجود دارد .
- بازده بالا درهمه رنج گشتاور ـ سرعت دارد .

معایب این ماشین بطور خلاصه عبارت است از :

- گشتاور تولیدی ، پالسی شکل است که منجر به ایجاد ریپل گشتاور و نویز شنوایی[1] می شود.
- برای داشتن نسبت گشتاور به حجم بالا ، فاصله هوایی بین استاتور وروتور باید خیلی کوچک باشد .این باعث کاهش تولرانس صنعتی[2] وافزایش نویز شنوایی می شود .
- یک مدل ریاضی مشخص ودقیق برای ماشین وجود ندارد .
- نیاز به سنسور مو قعیت سنج برای کموتاسیون فازها

بنابراین با توجه به مزایای فراوانی که این ماشین نسبت به سایر ماشین های الکتریکی دارد در کاربردهای فراوانی نظیر وسایل الکتریکی [3]، حمل ونقل[4]، درایوهای صنعتی[5] ، سروموتورها[6] ، رباتیک[7]، نساجی[8]، فضائی[9]، اتوماسیون های اداری[10] و ماشین ابزارها[11] ، و ... استفاده می شود .

با استفاده از یک روش کنترلی مناسب در درایو ، می توان مقدار ریپل گشتاور ونویز شنوایی را کاهش داد . همچنین با استفاده از روش های تخمین موقعیت ، سنسورهای موقعیت سنج حذف می شوند. .مقالات بسیار زیادی توسط محققین مختلف در این زمینه ها در سال های اخیر ارائه شده است که هر کدام به نحوی یک یا چند یک از معایب فوق را بر طرف کرده اند . در این پایان نامه هدف ، ارائه روشی برای تشخیص موقعیت رتور بدون استفاده از سنسورهای وضعیت سنج می باشد . وجود سنسور برروی موتور باعث افزایش قیمت ، افزایش اتصلات مکانیکی وکاهش قابلیت اعتماد ماشین می شود .

ایده اصلی روش های تعیین موقعیت ، بدون استفاده از سنسور (از این به بعد بطور اختصار " روش های بدون سنسور " گوییم.) بر این اصل استوار می باشد که اندوکتانس هر فاز موتور ثابت نبوده و با پریدی وابسته به تعداد قطب های روتور (Nr / ۳۶۰) بصورت پریدیک تکرار می شود . البته دلیل ثابت نبودن اندوکتانس فاز ناشی از عدم یکنواخت بودن مشخصه شار ـ زاویه (بدلیل برجستگی قطب های روتور و استاتور) در این موتور می باشد . واضح است که مشخصه شار ـ زاویه خود وابسته به جریان فاز می باشد . در

---

[1] acoustic noise
[2] manu facturing tolerances
[3] electric vehicles
[4] traction
[5] industrial
[6] position servo
[7] robotics
[8] textiles
[9] aerospace
[10] office automation
[11] machine tools

بسیاری از روش های بدون سنسور با توجه به مشخصه شار ـ جریان ـ زاویه با معلوم بودن جریان و اندازه گیری شار ، موقعیت روتور در هر لحظه پیشگویی می شود . در روش های دیگر از اثر غیر یکنواختی مشخصه شار ـ زاویه استفاده می شوند . مثلاً تغییر شیب جریان فاز در موقعیت هم پوشانی کامل ، که در فصل های آینده بطور کامل شرح داده خواهد شد .

۲ – ۱) مرور مختصر پایان نامه

در فصل دوم به معرفی موتور رلکتانسی سوئیچ شونده پرداخته می شود واصول کار آن تا حدودی شرح داده می شود و یک سری از پارامترهای ماشین که در فصل های بعدی مورد استفاده قرار می گیرد تعریف می شود .همچنین مدار قدرت نحوه کموتانس فازها وتغییر زوایای هدایت از جمله موارد دیگری است که در فصل دوم مورد بررسی قرار خواهند گرفت در فصل سوم به بررسی مدل های ارائه شده برای ماشین SRM پرداخته شده ویکی از این روش ها برای شبیه سازی ماشین انتخاب می شود .

در فصل چهارم ابتدا روش های مختلف تعیین موقعیت روتور بدون استفاده ازسنسور که توسط محققین مختلف ارائه شده اند به دو دسته کلی زیر تقسیم می شود :

- روش های مبتنی بر آشکار سازی موج
- روش های مبتنی بر تز ریق سیگنال

سپس در هر مورد مثال هایی ارائه شده ومزایا و معایب هر یک بیان می شود و در پایان معیارهای انتخاب بهترین روش تعیین موقعیت بیان می شود .

در فصل پنجم مشخصات یک موتور SR واقعی ارائه می شود و سپس با استفاده از نتایج FEM که بر روی این موتور انجام شده است معادلات دیفرانسیل الکتریکی و مکانیکی حاکم بر عملکرد ماشین ، جهت شبیه سازی حالت دینامیکی آن بیان می شود .

در فصل ششم ابتدا روش پیشنهادی ، جهت تعیین مو قعیت رتور با استفاده از روابط و شکل ، استدلال می شود سپس دقت مدل ارائه شده مورد بررسی قرار می گیرد و در پایان ، نتایج شبیه سازی های انجام شده بر روی موتور مفروض ارائه می شود .

در فصل هفتم نتایج حا صل از این پایان نامه به همراه پیشنهاداتی برای ادامه کار آورده می شود.

فصل دوم
موتور رلکتانسی سوئیچ شونده

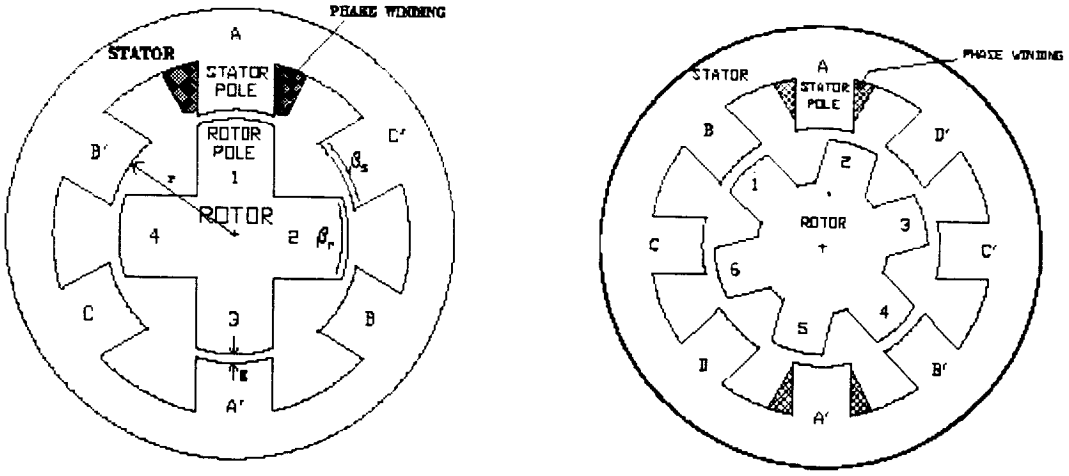
۲-۱) مقدمه

کنترل مناسب و بهینه سازی عملکرد موتور SR مستلزم شناخت کافی از ساختمان فیزیکی و مشخصه های الکتریکی آن می باشد . از اینرو در این فصل سعی شده است مروری بر ساختمان و مشخصه های الکتریکی آن صورت گیرد . هم چنین بعضی از پارامترهای این ماشین که در فصل های بعدی مورد استفاده قرار می گیرند معرفی می شوند .

۲ - ۲) ساختمان موتورهای SR

استاتور و روتور در موتورهای SR ، قطب برجسته و مورق می باشند . تعداد قطب های روتور و استاتورمساوی نبوده و می تواند با نسبت قطب های استاتور به روتور برابر ۲ : ۲ ، ۲ : ٤ ، ٤ : ٦ ، ٦ : ٨ ، ٤ : ١٠ ، ٨ : ١٢ ، ١٢ : ١٦ و... طراحی شود. که متداول ترین آن ها ٤ : ٦ و ٦ : ٨ می باشد (شکل (۲ – ۱)) . عدد سمت راست تعداد قطب های روتور و عدد سمت چپ تعداد قطب های استاتور را نشان می دهد.

روتور فاقد سیم پیچی بوده وسیم پیچی های استاتوربه صورت متمرکز روی قطب های استاتور از سری یا موازی کردن دو سیم پیچ روی دو قطب مقابل حاصل می شود .(شکل (۲ – ۱))



(a) (b)

شکل(۲ – ۱) موتورهای سوییچ رلکتانس متداول a) سه فاز ٦/٤ b) چهار فاز ٨/٦

وقتی جریان در یک فاز جاری می شود گشتاور رلکتانسی باعث می شود نزدیک ترین قطب روتور به قطب استاتور تحریک شده ، در جهت کاهش رلکتانس (افزایش اندوکتانس) حرکت کند. تا جایی که مینیمم رلکتانس (حداکثراندوکتانس) ایجاد شود. در صورتی که پسماند مغناطیسی در آهن وجود نداشته باشد جهت جریان در سیم پیچی فاز بی اهمیت می باشد.

حالت هم پوشانی کامل[1] وقتی است که یک قطب روتور دقیقاً روبروی قطب استاتور قرار می گیرد (شکل (۲-۲-a)) . حالت غیر هم پوشانی کامل[2] زمانی است که یک قطب استاتور دقیقاً بین دو قطب روتور قرار می گیرد (شکل (۲ – ۲ – b)) . موقعیت های دیگر غیر از هم پوشانی کامل را مو قعیت های غیر هم پوشانی[3] و یا موقعیت های میانی روتور[4] گویند (شکل (۲ – ۲ – c)) .

در حالت هم پوشانی کامل ، اندوکتانس ماکزیمم ، و در حالت غیر هم پوشانی کامل ، اندوکتانس مینیمم می باشد. در یک موتور SR می توان گفت اندوکتانسی که از دید روتور دیده می شود دارای پریدی معادل $\frac{360}{Nr}$ می باشد که Nr تعداد قطب های روتور است. برای نمونه مشخصه اندوکتانس یک موتور SR ٦، ٨ / به دو شکل مختلف ، با فرض جریان ثابت در شکل های (۲ – ۳) و (۲ – ٤) آمده است . پرید این اندوکتانس برابر ٦٠ درجه می باشد.

[1] Aligned position [2] Unali: ed position [3] Misaligned position
[4] Intermediate rotor positions