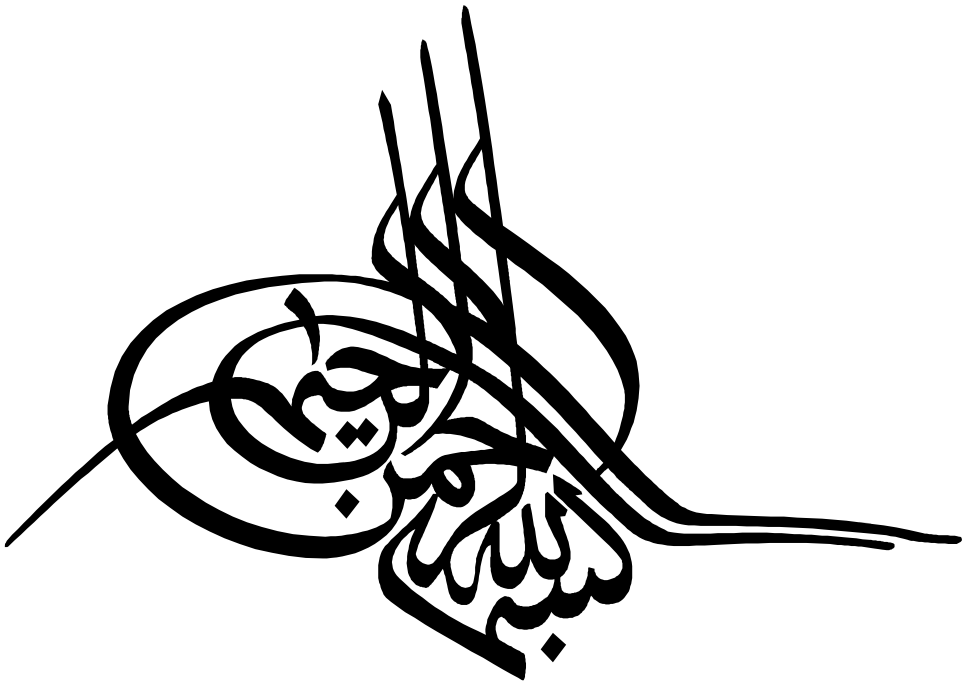


دانشکده مهندسی برق

پایان نامه کارشناسی ارشد

مهندسی برق –کنترل

عنوان:

کنترل مستقیم گشتاور موتور سنکرون رلوکتانسی سه فاز بوسیله کنترل کننده فازی تطبیقی

استاد راهنما:

دکترحسین قلی زاده نرم

نگارش:

مهدی محمدی شیرکلای

دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده برق

گروه کنترل

پایان نامه کارشناسی ارشد آقای مهدی محمدی شیرکلای

تحت عنوان: کنترل مستقیم گشتاور موتور سنکرون رلوکتانسی سه فاز بوسیله کنترل کننده فازی تطبیقی

ر تاریخ ..... توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد

مورد ارزیابی و با درجه ..... مورد پذیرش قرار گرفت.

اساتید راهنما	امضاء	اساتید مشاور	امضاء
نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی :	
نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی :	

اساتید داور	امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء
نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی :	
نام و نام خانوادگی :			
نام و نام خانوادگی :			
نام و نام خانوادگی :			

تقدیم به

پدر، مادر و همسرم، و تمامی کسانی که در به انجام رسیدن این کار یاریم نموده‌اند.

.

سپاسگزاری:

با تشـــکر از جناب آقای دکتر حســـین قلی زاده نرم استاد ارجمندم به خاطر زحمات فراوانی که در به ثمر رســـیدن این پروژه متحمل شدند و تقدیر از راهنمایی های دلسوزانه ایشان در چندین سالی که افتخار داشتم شاگرد ایشان باشم.

با آرزوی توفیق الهی برای ایشان

تعهد نامه

اینجانب مهدی محمدی شیرکلای دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی کنترل دانشکده برق دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه کنترل مستقیم گشتاور موتور سنکرون رلوکتانسی سه فاز بوسیله کنترل کننده فازی تطبیقی تحت راهنمائی جناب آقای دکتر حسین قلی زاده نرم متعهد می شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است

.

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده:

در سالهای اخیر تغییراتی بر روی ساختارموتور سنکرون رلوکتانسی صورت گرفته است. در این نوع موتورها ماده‌ی مغناطیس دائم و لغزش وجود ندارد.لذا این موتور به دلیل داشتن ضریب توان بالا و چگالی گشتاور زیاد، برای استفاده در سیستم راه انداز AC مورد توجه قرار گرفته است. در این پایان نامه، طراحی کنترل‌کننده تطبیقی برای سیستم راه انداز بدون سنسور، با کنترل مستقیم گشتاور برای موتور سنکرون رلوکتانسی پیشنهاد می‌شود. الگوریتم کنترل فازی تطبیقی مستقیم و غیرمستقیم، برای بهبود عملکرد کنترلی طراحی می‌گردد. آنالیز تئوری‌های مختلف برای طراحی کنترل‌کننده‌های فوق انجام شده و پایداری سیستم‌های حلقه‌بسته به اثبات می‌رسد. کنترل‌کننده‌های طراحی شده روی یک موتور نوعی اعمال شده و عملکرد مناسب آنها نشان داده خواهد شد. در ادامه مقایسه‌ای میان عملکرد کنترل‌کننده‌ها از نظر خطا، لرزش گشتاور، پاسخ گذرا و ردگیری انجام خواهد شد. همچنین اغتشاش بار بر روی سیستم اعمال شده، و مقاوم بودن کنترل کننده بررسی می‌گردد.

کلمات کلیدی: **موتور سنکرون رلوکتانسی، سیستم راه انداز AC، کنترل‌کننده تطبیقی ، کنترل فازی تطبیقی مستقیم و غیرمستقیم.**

فهرست مطالب:

فصل اول: مقدمه ۱

۱-۱ پیشگفتار ۲

۱-۲ ساختار پایان نامه: ۷

فصل دوم: موتور سنکرون رلوکتانسی ۹

۲-۱ مقدمه: ۱۰

۲-۲ پیشینه مقالات: ۱۰

۲-۲-۱ طراحی وتولید موتور سنکرون رلوکتانسی SynRM: ۱۰

۲-۲-۲ توسعه مدل ریاضی برای موتور سنکرون رلوکتانسی SynRM: ۱۱

۲-۲-۳ طراحی کنترل کننده: ۱۱

۲-۲-۴ تکنیکهای تخمین روتور: ۱۲

۲-۲-۵ استراتژی کلیدزنی اینورتر موتور سنکرون رلوکتانسی SynRM: ۱۲

۲-۳ مدل ریاضی: ۱۳

۲-۳-۱ معادلات حرکت موتور در متغییرهای a,b,c : ۱۴

۲-۴ راه‌اندازی موتوربا استفاده ازمبدلهای الکترونیک قدرت: ۲۱

۲-۵ کنترل گشتاور مستقیم (DTC): ۲۴

فصل سوم: سیستمهای فازی و تطبیقی ۲۹

۳-۱- مقدمه: ۳۰

۳-۲- سیستم های فازی: ۳۰

۳-۲-۱- فازی سازها: ۳۴

۳-۲-۲ پایگاه قواعد فازی: ۳۶

۳-۲-۳ موتور استنتاج فازی: ۳۸

۳-۲-۴ غیرفازی ساز: ۴۰

۳-۳کنترل کننده های تطبیقی: ۴۲

۳-۴ سیستم های تطبیقی: ۴۳

۳- ۵ نحوه استفاده از کنترل تطبیقی : ۴۵

۳- ۶ ساختار کنترل کننده های تطبیقی: ٤٥
۳-۷ انواع کنترل تطبیقی : ٤٦
۳-۷-۱کنترل تطبیقی غیر مستقیم: ٤٦
۳-۷-۲کنترل تطبیقی مستقیم: ٤٧
۳-۱۰ سیستم های فازی تطبیقی: ٤٩
۳-۱۱ مزیت کنترل کننده فازی-تطبیقی نسبت به کنترل کننده تطبیقی رایج: ٥٠
۳-۱۲ جمع بندی: ٥٣
فصل چهارم: طراحی کنترل کننده فازی تطبیقی..... ۵۵
۴-۱مقدمه: ٥٦
۴-۱ طراحی کنترل کننده فازی تطبیقی غیر مستقیم: ٥٦
۴-۲-۱ بحث پایداری: ٥٨
۴-۲-۲ طراحی توابع فازی: ٥٩
۴-۳ طراحی کنترل کننده فازی تطبیقی مستقیم: ٦٨
۴-۳-۱ طراحی کنترل کننده فازی تطبیقی مستقیم: ٦٩
۴-۳-۲ طراحی قاعده تطبیق: ٧١
فصل پنجم:شبیه سازی..... ۷۷
۵-۱ شبیه سازی سیستم کنترل فازی تطبیقی غیرمستقیم : ٧٨
فصل ششم: نتیجه گیری و پیشنهاد..... ۸۵
۶-۱ نتیجه گیری: ٨٦
۶-۲ پیشنهادات: ٨٧
منابع و مراجع:..... ۸۸

فهرست اشکال

شکل۱-۱. موتور سنکرون رلوکتانسی سه فاز*[۴]*..... ۴

شکل ۲-۱ . اینورتر نیم پل *[۳۱]*..... ۲۲

شکل ۲-۲ اینورتر سه فاز *[۳۱]* ۲۳

شکل.۲-۳ : نمودار بلوکیکنترل گشتاور مستقیم*[(DTC)۳۴]* ۲۴

شکل ۲-۴ . بردارهای ولتاژ اینورتر*[۷]* ۲۸

شکل۳-۱- اجزا بنیادین یک سیستم فازی..... ۳۴

شکل۳-۲- نحوه عملکرد موتور استنتاج مینیمم..... ۴۰

شکل ۳-۳-ساختارکلی کنترل کننده های تطبیقی..... ۴۶

شکل ۳-۴- نمایش کنترل کننده تطبیقی غیر مستقیم..... ۴۷

شکل۳-۵- دیاگرام کنترل تطبیقی مستقیم..... ۴۸

شکل ۴-۱. توابع تعلق *e*..... ۶۰

شکل۴-۲. توابع تعلق e..... ۶۱

شکل۴-۳. توابع تعلق *e*..... ۷۰

شکل۴-۴. توابع تعلقe..... ۷۱

شکل۴-۵ . نمودار بلوکی کنترل فازی تطبیقی مستقیم موتور سنکرون
رلوکتانسی ۷۵

شکل ۵-۱. خروجی مدل مرجع و سیستم حلقه بسته در شرایط فوق..... ۷۹

شکل ۵-۲. خطای دائم حاصل از اعمال شرایط فوق..... ۸۰

شکل ۵-۳. همگرایی پارامترهای کنترل کننده..... ۸۰

شکل ۵-۴. سیگنال کنترل ورودی فرایند (گشتاور و شار اعمالی به موتور)..... ۸۱

شکل ۵-۵. خروجی مدل مرجع و سیستم حلقه بسته در شرایط فوق..... ۸۲

شکل ۵-۶. خطای دائم حاصل از اعمال شرایط فوق..... ۸۲

شکل ۵-۷. همگرایی پارامترهای کنترل کننده..... ۸۲

شکل ۵-۸. سیگنال کنترل ورودی فرایند (گشتاور و شار اعمالی به موتور) ۸۳

فصل اول: مقدمه

۱-۱ پیشگفتار

موتور سنکرون رلوکتانس[۱] SynRM امتیازات زیادی نسبت به دیگر موتورهای AC دارد. برای مثال ساختار ساده ونیرومندی دارد. روتور آن هیچ سیم‌پیچ یا ماده مغناطیسی ندارد.در دو دهه قبل SynRM نسبت به دیگر موتورهای AC به علت میانگین گشتاور پایین و نوسان گشتاور بالا در درجه دو اعتبار قرار داشته است.اخیرا تعدادی محقق روشهای مختلفی با توسعه عملکرد سیستم راه‌انداز موتور[۲] پیشنهاد کردند [۳]-[۱].

این موتورها در درایوهای الکتریکی صنعتی سرعت بالا استفاده می‌شوند و پایین (در مقایسه با موتور دارای قابلیت بالای اند از معایب آن اثربخشی پایین(در مقایسه با موتور سنکرون مغناطیس دائم و ماشین القایی)نوسان بالا وکنترل‌پذیری ضعیف است. تلاشهای زیادی که در طی این سالها برای بهبود عملکردموتور SynRM انجام گرفت منجربه تظمین عملکرد دینامیکی مورد نیاز برای درایوهای پیشرفته با عملکرد بالا گشت. در شکل۱ موتور سنکرون رلوکتانسی مشاهده می‌شود.

که استاتور آن مانند استاتور موتورهای القایی است. سیم‌پیچ استاتور با ۱۲۰ درجه اختلاف فاز بصورت سینوسی توزیع شده است،بوسیله جریان گذرنده از سیم‌پیچ متقارن استاتورنیرو محرکه مغناطیسی[۳] در فاصله هوایی ساخته می‌شودوگشتاور الکترومغناطیسی به علت اثر متقابل نیرو محرکه مغناطیسی mmf راتولید می‌شود.[۴]

مزیت های موتور سنکرون رلوکتانسی،باعث شدهاست که این موتور بعنوان جایگزین مناسبی برای دیگر موتورهای AC مطرح شود. نبودن تلفات روتور آشکارا به سادگی کنترل آن اشاره می کند.امکان عملکرد مناسب و هزینه کم از امتیازات موتور سنکرون نسبت به

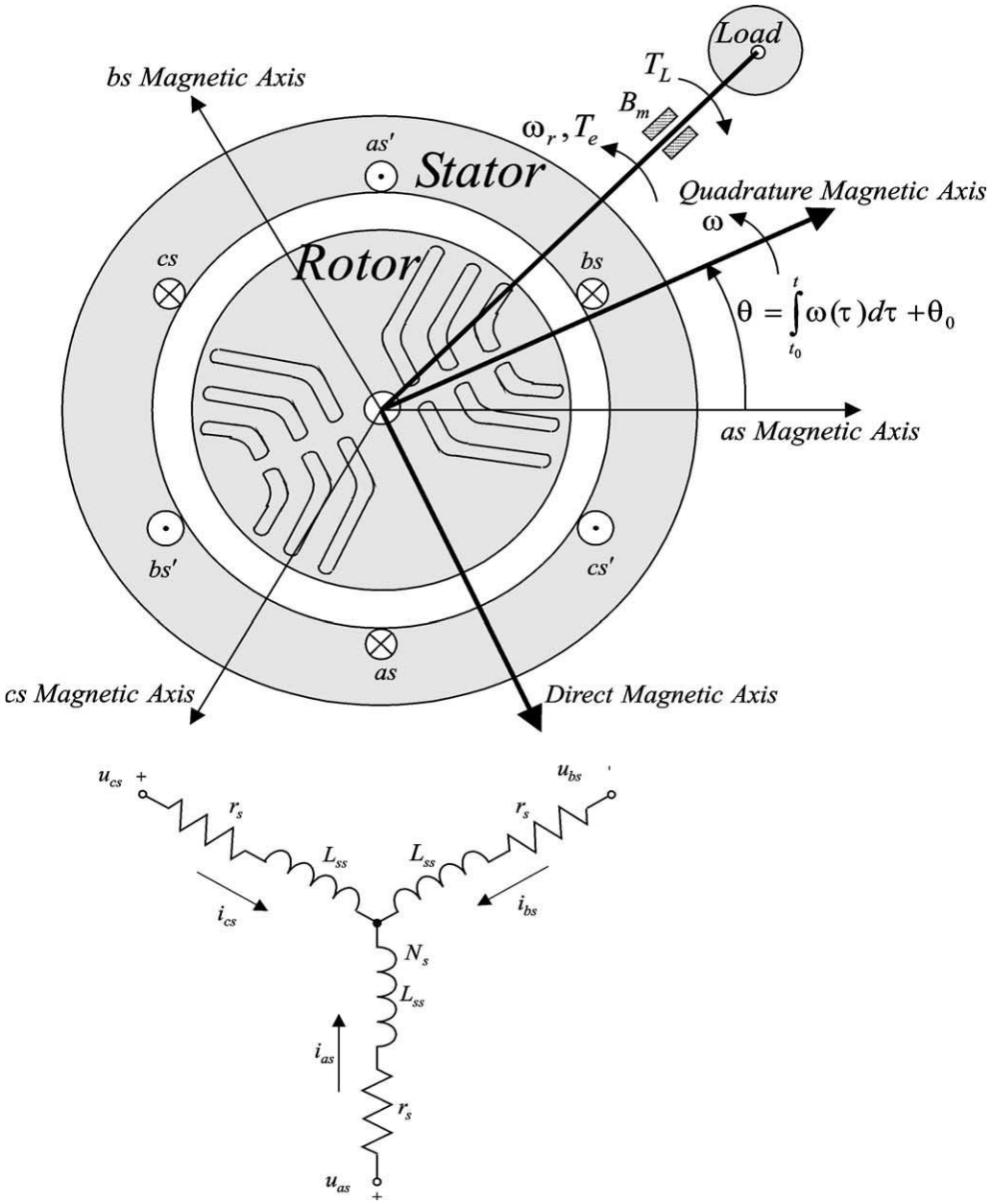
۱-*Synchronous Reluctance Motor*

۲- *Motor Drive System*

۳- *mmf*

موتور القایی است. نبود ماده مغناطیسی (بعلت وابسته بودن آن به دما و رفع مشخصات مغناطیسی) و ساختار ناهموار روتور را می‌توان از مزیت‌های آن نسبت به موتور مغناطیس دائم دانست.تولید گشتاور نرم ، نویز صوتی پایین ، عملکرد مطلوب در سرعت پایین ، و ریپل گشتاور پایین‌تر، مزیتهایش بر موتور رلوکتانسی سوئیچ شونده است.

بهبود طراحی آن در پیکربندی روتور آن می‌باشد . کلید طراحی پارامترها در برجستگی نرخ $\gamma = {L_{md}}/{L_{mq}}$ و بدین ترتیب موضوع اصلی طراحی ، ماکزیمم شدن شار جاری فراهم شده به سوی محور حقیقی با بدست آوردن اندوکتانس مغناطیسی L_{md} بالا، و ممانعت از حرکت شار به سوی محور q با کاهش اندوکتانس مغناطیسی L_{mq} است. در مجموع برای بهبود طراحی و اثربخشی بهینه موتور SynRMمی‌توان با اختصاص کنترل به متغیرهای ورودی موتور دست یافت. بنابراین SynRM اغلب در سیستم راه انداز سرعت قابل تنظیم بکار می‌رود[۵].



شکل۱-۱. موتور سنکرون رلوکتانسی سه فاز[۴]

گرچه موتورهای القای در صنعت بسیار مورد توجه می‌باشند. اما موتورهای SynRM جایگزینی ماندنی برای آنها هستند در صورتیکه گشتاور قابل مقایسه‌ای نسبت به موتور القای هم اندازه خود فراهم می‌کنند، تلفات در موتور SynRM حدود ۵۰٪ (نصف) آن در موتور القایی است.لذا بنظر می رسد SynRMتوجه روز افزونی را در آینده دریافت کند. SynRM بوسیله ساختار روتور با استفاده از تکنولوژی لایه لایه سازی از دیگر موتورها متمایز می‌شود که هم مقاومت مغناطیسی (رلوکتانس)کم و هم بالا را برای عبور شار مغناطیسی فراهم می‌کند .محور با رلوکتانس کم را محور مستقیم یا d

می‌نامند.ومحور با رلوکتانس بالا را محور موهومی یا معکوس ویا q می‌نامند. و استاتور موتور یک سیم پیچ توزیع شده سه فاز مثل اشتراک با دیگر موتورهای AC است.این موتور گشتاور را بوسیله هم‌تراز کردن محور رلوکتانس کم با میدان استاتور توسعه داده است.[۶]

آنها جایگزین سودمندی بجای موتور القایی در کاربردهای مختلف مثل درایوهای نساجی ،درایوهای رباتیک ، درایوهای انقباضی و کلاس بزرگی از درایوها که به درایوهای عملکرد متوسط و کم هزینه موسومندمی‌باشند. اینها شامل کنترل سرعت و گشتاور اند در جایکه نیازمند دقت و استارت شدن با تاخیر است.از جمله کاربردهای آن شامل لوازم خانگی و محصولات مصرفکنندگان با رنج توانی از۰,۵kw تا ۳-۴kw و هزینه کمتر از ۱۰ دلار می‌باشد.[۷]

درعمل نشان داده شده که برای سیستم راه‌انداز AC ، موتور سنکرون رلوکتانسی SynRMبنابر دلایل مختلف مناسب است.برای مثال در آن نیازی به محاسبه لغزش[۱] به عنوان یک موتور القایی نداریم. همچنین نتایج مسئله حساسیت پارامترها نیز وجودندارد.برخلاف موتور سنکرون مغناطیس دائمPMSM[۲] نیاز به ماده مغناطیسی‌دائم ندارد. سیستم‌های راه‌انداز بدون سنسور برای موتور رلوکتانسی بیشتر مورد توجه می‌باشد. عمده دلیل آن مربوط به کاهش هزینه و ذخیره فضا،در راه‌اندازهای بدون سنسور است.

عموما دو روش عمده برای دستیابی سیستم راه‌انداز بدون سنسور وجود دارد :

۱-Slip

۲-Permanent Magnet Synchronous Motor

الف-کنترل برداری

ب-کنترل گشتاور

بیشتر محققان برروی کنترل برداری تمرکز می‌کنند. ولی درسیستم راه‌انداز بدون سنسور در موتور سنکرون رلوکتانسی[۱۶]-[۸]،روش کنترل گشتاور مستقیم نسبت به کنترل برداری روشی ساده تر است.

در روش کنترل مستقیم گشتاور، بردار ولتاژ دستگاه به ۶یا ۱۲ بخش تقسیم ، سپس یک استراتژی سوئیچینگ بهینه‌ای را به هربخش اختصاص داده می‌شود. روش کنترل گشتاور مستقیم، مبتنی‌بر محدود کردن خطای گشتاور و خطای شار استاتور درون باند هیترزیس است.

قبل از اجرای کنترل هیترزیس یک الگوی سوئیچینگ بهینه با تولید شار وگشتاور خواسته شده از موتور انتخاب می‌شود.در نتیجه یک سیستم راه‌انداز حلقه بسته شامل موارد فوق است.

گرچه تعدادی از مقالات کنترل گشتاور را شرح داده اند [۱۳]-[۱۱] تنها تعداد اندکی از مقالات کنترل مستقیم گشتاور موتور سنکرون رلو کتانس را شرح داده اند. برای مثال [۱۰] کنترل گشتاور بدون سنسور را برای موتور SynRMپیشنهاد داده است. در این مقاله اگرچه تنها کنترل کننده PI استفاده شده در نتیجه پاسخ گذرا وپاسخ اغتشاش بار رضایت بخش نیست.برای حل مسئله، کنترل کننده فازی تطبیقی برای سیستم کنترل مستقیم گشتاور SynRM پیشنهاد شده است.بوسیله پیشنهاد این کنترل کننده ها قابلیت رد پاسخ گذرا و اغتشاش بار بطور بدیهی توسعه داده می‌شود.در مجموع سیستم پیشنهاد شده قابلیت ردیابی خوبی خواهد داشت.

۱-۲ ساختار پایان نامه:

این پایان نامه مشتمل بر شش فصل می باشد. در فصل دوم مروری بر روشهای مختلف اجرای عملکرد سیستم راه‌انداز موتور سنکرون رلوکتانسی ، تحلیل مدل ریاضی و توزیع مختصری از کنترل گشتاور مستقیم می‌پردازیم. در فصل سوم سیستم‌های فازی و تطبیقی معرفی می‌گردند. در فصل چهارم کنترل کننده‌های تطبیقی از قبیل، کنترل کننده تطبیقی پسگام، کنترل کننده تطبیقی مدل مرجع،کنترل کننده فازی تطبیقی غیر مستقیم و مستقیم طراحی گشته است . شبیه سازی در فصل پنجم گنجاده شده است. در نهایت، فصل ششم به نتیجه گیری و پیشنهادات اختصاص خواهد داشت.

فصل دوم: موتور سنکرون رلوکتانسی