بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکده برق و کامپیوتر

کنترل ماشین درایو القایی روتورسیم پیچی شده ازنوع توان لغزشی فاصله هوایی بر اساس روش های کنترل غیر خطی تطبیقی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی برق - قدرت

امیر فرخ پیام

استاد راهنما

دکتر جعفر سلطانی

۱۳۸۴

دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکده برق و کامپیوتر

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی برق- قدرت آقای امیرفرخ پیام

تحت عنوان

کنترل ماشین درایو القایی روتورسیم پیچی شده ازنوع توان لغزشی فاصله هوایی بر اساس روش‌های کنترل غیر خطی تطبیقی

در تاریخ ۱۳۸٤/۱۲/۹ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

۱- استاد راهنمای پایان نامه — دکتر جعفر سلطانی

۲- استاد مشاور پایان نامه — دکتر فرید شیخ الاسلام

سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده — دکتر علیمحمد دوست حسینی

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و نوآوریهای ناشی از تحقیق موضوع این پایان نامه متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است.

خداوند را سپاسگذارم که به من توفیق داد تا این دوره را به پایان برسانم. بی‌شک گذراندن این دوره بدون همکاری و همراهی خانواده اساتید و دوستان ارجمندم امکان پذیر نبود، لذا از خداوند متعال موفقیت و بهروزی این عزیزان را خواستارم.

لازم می دانم از زحمات بی دریغ پدر و مادر عزیزم که در دوران تحصیل مشوق و یاور بنده بودند و موجبات موفقیت من را فراهم آوردند تشکر و قدردانی نمایم.

از جناب آقای دکتر جعفر سلطانی که با رهنمودهای دلسوزانه در تمام طول دوره همراه بنده بودند کمال تشکر را دارم. بی‌شک بدون راهنمایی‌های ایشان انجام این پایان‌نامه میسر نبود، از خداوند متعال موفقیت روزافزون ایشان را خواهانم.

بر خود لازم می‌دانم از جناب آقای دکتر فرید شیخ الاسلام که در طول این دوره از نعمت مشاوره با ایشان بهره‌مند بوده‌ام همچنین آقایان دکتر جواد عسگری و دکتر بهزاد میرزاییان که زحمت داوری این پایان‌نامه را پذیرفتند، جناب آقای علی محمددوست حسینی سرپرست تحصیلات تکمیلی و سرکار خانم نکویی بخاطر زحمات بی‌دریغ بویژه در مراحل نهایی پایان‌نامه تشکر و قدردانی نمایم

امیر فرخ پیام

۱۳۸۴

تقدیم به پدر و مادر عزیزم

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست‌مطالب ..... هشت
چکیده ۱

فصل اول: مقدمه
۱-۱- کلیات ۲
۱-۲- اهداف و نوآوری‌های این تحقیق ۶
۱-۳- ترتیب ارائه‌مطالب ۷

فصل دوم: کنترل توان لغزشی فاصله هوایی ماشین‌های القایی روتور سیم‌پیچی‌شده
۲-۱-مقدمه ۹
۲-۲- تزریق ولتاژ در مدار روتور ۱۰
۲-۳- محرکه استاتیکی شربیوس ۱۲
۲-۴- روشهای کنترل سرعت در حالت موتوری فوق‌سنکرون و ژنراتوری زیرسنکرون ۱۳
۲-۵- مدل ریاضی ماشین القایی روتور سیم‌پیچی‌شده از نوع کنترل توان لغزشی فاصله هوایی ۱۶
۲-۶- معادلات ماشین در دستگاه مختصات مرجع اختیاری ۱۷
۲-۷- معادله گشتاور در متغیرهای دستگاه مرجع‌اختیاری ۱۸
۲-۸- تثبیت ولتاژ لینک dc ۱۹
۲-۸-۱- تثبیت ولتاژ لینک dc بر اساس روش کنترل برداری ۱۹
۲-۸-۲- تثبیت ولتاژ لینک dc بر اساس روش خطی‌سازی فیدبک ورودی-خروجی ۲۲

فصل سوم: تئوری کنترل غیرخطی
۳-۱- مقدمه ۲۴
۳-۲- سیستم خطا و تابع لیاپانوف ۲۵
۳-۲-۱- سیستم خطا ۲۶
۳-۲-۲- تابع لیاپانوف ۲۷
۳-۳- سیستمهای خطی‌پذیر ۲۸
۳-۳-۱- سیستمهای خطی پذیر فیدبک حالت ۲۸
۳-۳-۲- سیستمهای خطی پذیر فیدبک ورودی-خروجی ۳۱
۳-۳-۳- سیستمهای اکیدا فیدبک ۳۳
۳-۴- کنترل تطبیقی‌غیرخطی ۳۷
۳-۴-۱- طراحی براساس تابع لیاپانوف ۳۸
۳-۴-۲- روش گام به گام به عقب تطبیقی ۴۰
۳-۵- رویتگر حالت ۴۱
۳-۵-۱- کنترل مبتنی بر رویتگر حالت ۴۱

۳-۶- تئوری کنترل لغزشی ۴۳
۳-۶-۱- ایده اصلی کنترل‌کننده لغزشی کلاسیک ۴۳
۳-۶-۲- شرایط رسیدن به سطح سوئیچینگ ۴۴

فصل چهارم: کنترل مستقل توانهای اکتیو وراکتیو استاتور

۴-۱- مقدمه ۴۶
۴-۲- کنترل ماشین القایی روتور سیم‌پیچی‌شده از نوع توان لغزشی فاصله هوایی به روش فیدبک حالت خروجی ۴۷
۴-۲-۱- مدل ماشین واهداف کنترل ۴۷
۴-۲-۲- طراحی استراتژی کنترل فیدبک خروجی برای ماشین القایی روتور سیم‌پیچی‌شده ۴۸
۴-۲-۳- نتایج شبیه‌سازی ۵۱
۴-۳- طراحی رویتگر حالت بر اساس روش گام به گام به عقب تطبیقی برای تخمین سرعت و مقاومت روتور ۶۸
۴-۳-۱- تحلیل پایداری ۷۰
۴-۳-۲- نتایج شبیه‌سازی ۷۱

فصل پنجم: کنترل گشتاور و ضریب توان واحد

۵-۱-مقدمه ۷۴
۵-۲- مدل ماشین واهداف کنترل ۷۵
۵-۳- طراحی کنترل‌کننده گام به گام به عقب گشتاور –شار ۷۶
۵-۳-۱- نتایج شبیه‌سازی ۷۹
۵-۴- طراحی کنترل‌کننده گام به گام به عقب تطبیقی به منظور کنترل گشتاور وتنظیم ضریب توان واحد ۸۸
۵-۴-۱- طراحی کنترل‌کننده گام به گام به عقب گشتاور–شار ۸۸
۵-۴-۲- نتایج شبیه‌سازی ۹۰

فصل ششم: طراحی کنترل‌کننده مستقیم گشتاور و شار روتور

۶-۱-مقدمه ۹۷
۶-۲- مدل ماشین ۹۸
۶-۳-طراحی کنترل‌کننده مدلغزشی ۹۹
۶-۳-۱- نتایج شبیه‌سازی ۱۰۲
۶-۴- کنترل ماشین القایی روتور سیم‌پیچی‌شده با استفاده از رویتگر حالت به روش گام به گام به عقب‌تطبیقی ۱۰۹
۶-۴-۱- طراحی رویتگر حالت تخمین شار روتور براساس روش گام به گام به عقب تطبیقی ۱۱۰
۶-۴-۲- نتایج شبیه‌سازی ۱۱۳
۶-۵-طراحی کنترل‌کننده گام به گام به عقب تطبیقی جهت کنترل مستقیم گشتاور وشار روتور ۱۱۹
۶-۵-۱- نتایج شبیه‌سازی ۱۲۲

فصل هفتم: نتیجه گیری و پیشنهاد

۷-۱- نتیجه گیری ۱۳۰
۶-۲- پیشنهادات ۱۳۱

ضمیمه ۱۳۲

مراجع ۱۴۰

چکیده

در سه دهه اخیر پایداری و مقاومت درایوهای الکتریکی نسبت به نامعینی‌های پارامتریک و گشتاور بار نامشخص محققین و مهندسین طراح در این زمینه را با چالش مواجه کرده است. به منظور حل این مساله کنترل‌کننده‌های تطبیقی غیرخطی برای این سیَتم‌ها طراحی شد. در سالهای اخیر با وجود اینکه آین کنترل‌کننده‌ها برای ماشین القایی قفسه سنجابی طراحی شده‌اند ولی ماشین القایی تغذیه‌شده ازدوسو کمتر مورد توجه قرار گرفته است.در این پایان‌نامه، کنترل درایو القایی روتورسیم‌پیچی‌شده از نوع کنترل توان لغزشی فاصله هوایی با استفاده از روشهای کنترل غیرخطی، مورد بررسی قرار می‌گیرد. ابتدا بر اساس تئوری کنترل فیدبک حالت خروجی یک کنترل‌کننده مقاوم به منظور کنترل مستقل توانهای اکتیو وراکتیو استاتور با استفاده از اینورتر سه‌فاز از نوع مدولاسیون بردار فضایی دوسطحی طراحی می‌شود. در ادامه با استفاده از رویتگر حالت و براساس روش گام به گام به عقب تطبیقی به منظور کنترل مستقل توانهای اکتیو وراکتیو استاتور کنترل‌کننده‌ای بدون استفاده از نمونه‌بردار سرعت طراحی می‌شود. در قدم دوم به منظور کنترل گشتاور وتنظیم ضریب توان واحد در حالت دایم کنترل‌کننده با روش گام به گام به عقب تطبیقی طراحی می‌شود. مزیت این کنترل‌کننده در مقاوم بودن سیستم کنترل نسبت به تغییرات و نامعینی‌های مقاومت‌های استاتور وروتور می‌باشد. در پایان و با استفاده از کنترل مدلغزشی ابتدا کنترل‌کننده مدلغزشی به‌منظور کنترل مستقیم گشتاور و شار روتور برای درایو مدنظر طراحی می‌گردد و سپس با استفاده از رویتگر حالت بر پایه روش گام به گام به عقب تطبیقی مقاومت‌های روتور و استاتور همچنین شار روتور تخمین زده می‌شود ودر اختیار کنترل‌کننده مدلغزشی طراحی شده قرار می‌گیرد. امتیاز این روش در مقایسه با حالت قبل در مقاوم بودن سیستم نسبت به تغییرات مقاومت‌های روتور واستاتور همچنین عدم نیاز به نمونه‌بردار شار روتور می‌باشد. در پایان نیز با ترکیب روشهای کنترل مدلغزشی و گام به گام به عقب تطبیقی به‌منظور کنترل مستقیم گشتاور وشار روتور کنترل‌کننده‌ای غیرخطی که نسبت به تغییرات و نامعینی‌های مقاومت‌های روتور واستاتور مقاوم می‌باشد طراحی می‌گردد. لازم به ذکر است که در این پایان‌نامه عملکرد درایو در حالات موتوری و ژنراتوری در زیر و بالای سرعت سنکرون در نظر گرفته شده بدین منظور یک استراتژی کنترل بر اساس روش فیدبک حالت ورودی-خروجی جهت ثابت نگه داشتن ولتاژ لینک dc ارائه می‌شود.

فصل اول

مقدمه

۱-۱-کلیات

درماشین القایی روتورسیم‌پیچی‌شده، چون توان فاصله‌هوایی آنها را می‌توان از طریق تغذیه مدار روتور با یک اینورتر منبع ولتاژ یا یک اینورتر منبع جریان سه‌فاز کنترل نمود، لذا این درایو توانایی کار به هر دو صورت موتوری و ژنراتوری در زیر و بالای سرعت پایه را دارا می‌باشد. مقادیر نامی جریان، ولتاژ و توان ظاهری نامی اینورتر به کارگرفته شده در مدار روتور این موتور در مقایسه با موتور القایی قفسه‌سنجابی هم‌قدرت که کنترل سرعت و یا موقعیت آن فقط از طریق استاتور امکان‌پذیر است، بسیار کمتر است. زیرا در درایو روتورسیم‌پیچی‌شده فقط توان لغزشی فاصله‌هوایی موتور"Slip Power" تحت کنترل قرار می‌گیرد.

در مرجع [۱] حالات کاری مختلف ماشین القایی با توجه به تزریق ولتاژ به مدار روتور و نحوه تبادل توان به طور کامل مورد بررسی قرار گرفته است. در دهه‌های اخیر به علت پیشرفت مباحث الکترونیک‌قدرت و کنترل درایوهای الکتریکی، درایو ماشین القایی روتورسیم‌پیچی‌شده از نوع توان لغزشی فاصله‌هوایی با بکارگیری مبدل (AC-AC) در مدار روتور برای حالات کاری موتوری و ژنراتوری در زیر و بالای سرعت سنکرون موسوم به درایو القایی تغذیه‌شده‌ازدوطرف[1] (DFIM) مورد توجه ومطالعه قرار گرفته است[۲و۳] .

[1] Doubly Fed Induction Machine

از اولین و معروفترین نوع این درایوها می‌توان به درایو شربیوس یا استاتیکی کرامر اشاره کرد. از مهمترین مزیتهای این نوع درایو، می‌توان به کاهش هزینه مبدلهای الکترونیک‌قدرت همچنین هزینه درایو اشاره کرد. علاوه بر این به علت کارایی در سرعتهای متغیر، این نوع از درایو قابلیت بالا و ویژه‌ای برای استفاده به صورت ژنراتورهای سرعت متغیر مانند ژنراتورهای بادی و یا هیدروژنراتور دارند [۴و۵] .

برای یک ژنراتور متصل به شبکه، با ولتاژ و فرکانس تغذیه ثابت، جریان روتور و بنابراین سرعت و توان توسط اینورتر مدار روتور کنترل می‌گردند. سادگی، ارزانی و سبکی و توانایی ارائه توان بیش از توان نامی سیستم بدون ایجاد حرارت اضافی از دیگر مزایای این مدل از درایو در حالت ژنراتوری می‌باشد. همچنین کاهش قابل ملاحظه در مقادیر نامی و هزینه مبدل الکترونیک‌قدرت از دیگر مزایای این درایو می‌باشد [۵و۶] .

نتایج شبیه‌سازی عملکرد دینامیکی سیستم، امکان اینکه این مدل در هردو توربین محور عمودی و افقی کار کند را نشان می‌دهد[۶].

در مراجع [۴و۵و۶] عملکرد درایو استاتیکی کرامر به عنوان یک ژنراتور القایی مورد بررسی قرارگرفته است.

روش کنترلی جهت کنترل حلقه‌بسته درایو شربیوس در مرجع [۷] ارائه گردیده است. در طرح اولیه درایو شربیوس به علت وجود پل دیودی در مدار روتور امکان انتقال توان از سمت شبکه به سمت روتور وجود ندارد، لذا این درایو فقط توانایی کنترل سرعت محرکه در زیر سرعت پایه برای حالت موتوری و توانایی کار به صورت ژنراتوری بالای سرعت سنکرون را داراست. به همین علت با اعمال تغییراتی در مبدلهای مدار روتور این درایو می‌توان امکان انتقال توان در هر دو جهت و لذا توانایی کار به صورت موتوری و ژنراتوری در زیر و بالای سرعت پایه را ایجاد نمود. اکثر درایوهای شربیوس از یک پل یکسوکننده سه‌فاز دیودی جهت ایجاد لینک dc استفاده می‌کنند [۶و۸و۹] . آنالیز تحلیلی از رفتار سیستم بر اساس مدل هایبرید dq برای شبیه‌سازی رفتار حالت دایم درایو بازگشت توان لغزشی در مرجع [۹] ارائه گردیده است. این مبدلها باعث ایجاد جریان مربعی در شبکه شده و علاوه بر ایجاد آلودگی هارمونیکی قابل ملاحظه، موجب ازدیاد تلفات و نیز ضربان‌های گشتاوری می‌گردند. در مرجع [۱۰] تحلیل هارمونیکی درایو استاتیکی شربیوس که در آن از پل دیودی در مدار روتور استفاده شده انجام گرفته و نشان داده شده که جریان‌های استاتور و روتور حتی در شرایط ماندگار، پریودیک نیستند. همچنین در چنین درایوی یک سلف بزرگ به عنوان چک در لینکdc قرار می‌گیرد، که موجب افزایش هزینه درایو می‌گردد. از دیگر معایب

این نوع درایو می‌توان به نیاز به یک سیستم کموتاسیون کمکی در سرعت‌های نزدیک سرعت سنکرون اشاره کرد که موجب عملکرد ضعیف درایو در لغزش‌های پایین می‌گردد [۱۱] . مشکلات ذکر شده را می‌توان با استفاده از یک سیکلوکانورتر سه فاز در مدار روتور و پیاده‌سازی روش کنترل برداری درایو شربیوس رفع کرد [۱۲و۱۳و۱۴و۱۵و۱۶و۱۷] . مراجع [۱۲] -[۲۴] روشهای مختلف کنترل برداری درایو DFIM را ارائه کرده و مورد تحلیل قرار داده‌اند. قابل ذکر است که در روشهای کنترل برداری ذکر شده از اثرات امپدانس پراکندگی استاتور صرفنظر می‌گردد لذا در حالت ماندگار خطای ماندگار بوجود می‌آید. بهبود عملکرد از لحاظ ضریب‌توان بهتر و آلودگی کمتر با استفاده از مدارهای بازگشتی جایگزین در مرجع [۲۵] آمده است. روشی براساس امتدادیابی میدان و کنترل فازی برای درایو DFIM در [۲۲] ارائه شده است. براساس شبکه‌عصبی نیز مرجع [۲۶] روشی جهت کنترل درایو مد نظر ارائه داده است.

در مرجع [۱۹] با استفاده از اینورتر منبع‌جریان PWM ذوزنقه‌ای در مدار روتور با استفاده از کنترل برداری در مختصات امتدادیابی شار استاتور، توانهای اکتیو و راکتیو استاتور در زیر و بالای سرعت پایه بطور مستقل کنترل گردیده‌اند. از مزیتهای این روش می‌توان به ضریب‌قدرت بالاتر، هارمونیک جریان کمتر و ضربانات گشتاور کمتر اشاره کرد. علاوه بر این در نزدیکی سرعت سنکرون به مدار کموتاسیون کمکی نیازی نمی‌باشد.

مشکلات کموتاسیون را می‌توان با استفاده از دو اینورتر PWM ولتاژی در مدار روتور نیز منتفی ساخت. چنین سیستمی دارای مزیتهای زیر می‌باشد:

-عملکرد ژنراتوری و موتوری در زیر و بالای سرعت پایه

-امکان کنترل مستقل توان‌های اکتیو و راکتیواستاتور و یا کنترل گشتاور، سرعت و توان راکتیو

-تنظیم و تثبیت ولتاژ لینکdc با استفاده از مبدل سمت شبکه

در مرجع [۲۳] بر اساس مختصات مرجع بردارهای ولتاژ شبکه روشی جهت تثبیت ولتاژ لینکdc مربوط به دو اینورتر پشت‌به‌پشت (back-to-back) درایو القایی روتورسیم‌پیچی‌شده از نوع کنترل توان لغزشی فاصله‌هوایی پیشنهاد شده است. در مراجع [۲۳] و [۲۴] براساس این روش تثبیت ولتاژ لینکdc بخوبی شبیه‌سازی شده و نتایج شبیه‌سازی با نتایج عملی مقایسه شده است.

برای کنترل درایوهای روتورسیم‌پیچی‌شده از نوع کنترل توان لغزشی، از روش کنترل برداری در مختصات شاردور مغناطیسی و استاتور، بر پایه کنترل مستقل توانهای اکتیو و راکتیو در حالت کاری موتوری و ژنراتوری استفاده شده است[۱۸] و [۲۷] .

شایان ذکر است که در روشهای امتدادیابی ارائه شده برای این درایو به منظور طراحی کنترل‌کننده *PI* جریانی جهت حصول کنترل مستقل توانهای اکتیو و راکتیو تزریقی از سمت استاتور لازم است تا از افت ولتاژ بر روی امپدانس پراکندگی استاتور صرفنظر شود از اینرو وجود خطای ماندگار اجتناب‌ناپذیر است. بعلاوه یک ضعف کلی روشهای کنترل برداری آن است که عمل امتدادیابی فقط در حالت ماندگار محقق می‌شود. برای حل این مشکل برای اولین بار در مراجع [۲۸و۲۹] در یک مختصات مرجع سنکرون که در آن محور d در امتداد بردار فضایی ولتاژهای شبکه ثابت تغذیه استاتور قرار می‌گیرد، یک کنترل‌کننده غیرخطی بر پایه روش خطی‌سازی ورودی-خروجی مقاوم طراحی و پیاده سازی شده است.

در مرجع [۲۹] گر چه که ادعا شده سیستم کنترل پیشنهادی نسبت به تغییرات و نامعینی پارامتریک و اغتشاش گشتاوربار پایدار و مقاوم است ولیکن این موضوع به صورت تئوریک و عملی نمایش داده نشده است. از طرفی در مرجع [۲۹] از درایو مورد نظر به صورت ژنراتوری در بالای سرعت پایه استفاده شده است به طوریکه از روی مقادیر توانهای اکتیو و راکتیو مرجع داده شده، مقادیر جریان استاتور و شار روتور مرجع محاسبه می‌گردند. کنترل جریان استاتور و شار روتور در مقایسه با کنترل جریان و شار استاتور اولا پیچیده‌تر و ثانیا بیشتر تحت تاثیر نامعینی‌های پارامتریک قرار می‌گیرد.

مرجع [۲۸] نیز در مختصات مرجع سنکرون به طراحی کنترل‌کننده غیرخطی جهت کنترل گشتاور و شار استاتور بر اساس روش گام به گام به عقب در حالت کاری ژنراتوری پرداخته است. از محدودیتهای روش بکار گرفته شده می‌توان به این نکته اشاره کرد که این روش فقط برای حالت ضریب توان واحد استاتور کاربرد دارد زیرا مولفه محور d شار استاتور را صفر در نظر می‌گیرد و علاوه بر این در این مرجع نیز گر چه که ادعا شده سیستم کنترل پیشنهادی نسبت به تغییرات و نامعینی پارامتریک مقاوم است ولیکن این موضوع به صورت تئوریک به اثبات نرسیده و بعلاوه نتایج شبیه‌سازی و عملی مقاله مذکور هم نشان داده نشده است. از طرفی در مرجع [۲۸] از درایو مورد نظر فقط به صورت ژنراتوری در بالای سرعت پایه استفاده شده است. مرجع [۳۰] نیز براساس روش خطی‌سازی فیدبک ورودی-خروجی به طراحی کنترل‌کننده دینامیکی سرعت برای این درایو پرداخته و محدودیت این روش نیز مانند مرجع [۲۸] در این است که مولفه محور d شار استاتور را صفر در نظر می‌گیرد. مرجع [۳۱] بر اساس امتدادیابی غیرمستقیم شار استاتور به طراحی کنترل‌کننده سرعت و گشتاور همراه با ضریب توان واحد برای عملکرد حالت دایم این درایو پرداخته است. از محدودیتهای این روش می‌توان به عدم‌تطبیق و مقاومت در برابر نامعینی‌های سیستم و تغییرات پارامتریک سیستم اشاره کرد. مرجع [۳۲] بر اساس امتدادیابی شار روتور به طراحی کنترل‌کننده

مستقیم گشتاور برای این درایو پرداخته است. این کنترل‌کننده بر اساس چشم‌پوشی از افت ولتاژ بر روی مقاومت روتور طراحی گشته لذا دچار خطای ماندگار می‌شود.

در [۳۳] و [۳۴] بر اساس مدل مرجع سیستم تطبیقی کنترل‌کننده برداری بدون نمونه‌بردار سرعت برای این درایو پیشنهاد داده‌اند. محدودیت اصلی این روش علاوه بر مشکل ذاتی کنترل برداری که بدان اشاره شد عدم مقاوم بودن کنترل‌کننده به تغییرات پارامتریک و اختلالات بوجود آمده برای سیستم می‌باشد. [۳۵] بر اساس کنترل غیرخطی به مطالعه و بررسی کنترل توان این درایو در حالی که به یک هرزگرد متصل است پرداخته است. شایان ذکر است که بر اساس اطلاعات و کاوشهائی که انجام دادیم تاکنون مقاله‌ای در خصوص بکارگیری روش‌های کنترل غیرخطی متکی بر روشهای گام به گام به عقب تطبیقی و کنترل فیدبک ورودی-خروجی تطبیقی در دسترس نیست.

۱-۲- اهداف و نوآوریهای این تحقیق

با توجه به مطالب ارائه شده در بخش قبل وبا ذکر این نکته که با بررسی‌ها وکاوشهای انجام گرفته تاکنون مرجعی که در آن از روشهای کنترل غیرخطی مبتنی بر روشهای گام به گام به عقب تطبیقی و کنترل ورودی-خروجی تطبیقی و کنترل مدلغزشی، همچنین کنترل مستقیم گشتاور و شار روتور در مختصات مرجع ساکن دردسترس نیست، در این تحقیق برای حل مشکلات روش ارائه شده در مرجع [۲۹] و همچنین حصول رفتار درایو موردنظر برای حالت کاری موتوری و ژنراتوری در زیر و بالای سرعت پایه، ابتدا بر اساس روش مشروح در [۲۹] با استفاده از شارهای دو محوری استاتور به جای شارهای دو محوری روتور، همچنین تثبیت ولتاژ لینکdc با استفاده از دو اینورتر پشت به پشت از نوع SVM دو سطحی، کنترل‌کننده مستقل توانهای اکتیو و راکتیو استاتور برای حالات کاری موتوری و ژنراتوری در زیر و بالای سرعت پایه پیاده‌سازی می‌شود.

سپس روش مشروح در [۲۸] برای هر دو حالت موتوری و ژنراتوری در زیر و بالای سرعت پایه همراه با تثبیت ولتاژ لینکdc شبیه‌سازی می‌گردد. همچنین در این تحقیق با استفاده از رویتگر گام به گام به عقب تطبیقی جهت تخمین نامعینی‌های پارامتریک سیستم، کنترل‌کننده غیرخطی بر اساس روش خطی‌سازی با فیدبک خروجی جهت کنترل مستقل توانهای اکتیو و راکتیو استاتور ونیز کنترل مستقیم گشتاور و شار روتور ارائه می‌گردد.

از دیگر نوآوری‌های این تحقیق می‌توان به طراحی کنترل‌کننده غیرخطی براساس روش کنترل مدلغزشی جهت کنترل مستقیم گشتاور و شار روتور در مختصات ساکن اشاره کرد. علاوه بر این، در این

تحقیق با ترکیب روش کنترل مدلغزشی و روش گام به گام به عقب تطبیقی که برای اولین بار برای درایو القایی روتورقفسه‌سنجابی در مرجع [۳۶] ارائه گردیده است، برای کنترل مستقیم گشتاور و شار روتور در مختصات ساکن استفاده می‌شود. یکی دیگر از اهداف این تحقیق کنترل سیستم درایو مدنظر بدون استفاده از نمونه‌بردار مکانیکی سرعت است. نمونه‌بردارهای مکانیکی پیچیدگی سخت‌افزاری سیستم را بالا برده و بر روی هزینه سیستم کنترل درایو نیز اثر قابل‌ملاحظه‌ای می‌گذارند. یکی از روش‌های حذف نمونه‌بردارهای مکانیکی استفاده از رویتگرهای حالت است. در این تحقیق از رویتگر حالت بر اساس روش گام به گام به عقب تطبیقی که در [۳۷] به منظور کنترل برداری موتور القایی قفسه‌سنجابی بدون نمونه‌بردار سرعت استفاده شده، استفاده شده است. قابل ذکر است که در این تحقیق هدف به دست آوردن رفتار ماشین به دو صورت موتوری و ژنراتوری برای حالتی است که از اینورترهای منبع‌ولتاژ پشت‌به‌پشت در مدار روتور استفاده می‌شود. نحوه کنترل دو اینورتر back-to-back در مرجع [۲۳] توضیح داده شده است. همچنین بر اساس روش خطی‌سازی فیدبک ورودی- خروجی روشی جهت کنترل اینورتر سمت شبکه و تثبیت ولتاژ لینکdc ارائه می‌گردد.

۱-۳- ترتیب ارائه مطالب

خلاصه ارائه مطالب به این صورت است که در فصل دوم ابتدا تئوری کنترل توان لغزشی در ماشین‌های القایی شرح داده می‌شود، سپس درایو القایی روتورسیم‌پیچی‌شده از نوع توان لغزشی فاصله‌هوایی مورد بررسی قرار گرفته و در ادامه این فصل نحوه تثبیت ولتاژ لینکdc توضیح داده می‌شود.

در فصل سوم اصول و مبانی تئوری کنترل غیرخطی بویژه با تاکید بر مطالب و روشهایی که در این تحقیق از آنها استفاده شده شرح داده می‌شود. در فصل چهارم نحوه کنترل مستقل توانهای اکتیو و راکتیو استاتور در حالت ژنراتوری و نیز کنترل سرعت روتور و توان راکتیو استاتور در حالت موتوری با استفاده از روش کنترل مقاوم فیدبک حالت خروجی شرح داده شده و نتایج شبیه سازی این روش ارائه می‌گردد. در ادامه فصل چهارم با استفاده از رویتگر حالت و روش گام به گام به عقب تطبیقی کنترل مستقل توانهای اکتیو و راکتیو استاتور بدون نمونه‌بردار مکانیکی سرعت ارائه شده و نتایج شبیه‌سازی همراه با تثبیت ولتاژ لینکdc ارائه می‌گردد. در فصل پنجم ابتدا نحوه پیاده‌سازی کنترل‌کننده غیرخطی جهت کنترل گشتاور و تنظیم ضریب توان واحد در حالت دایم برای عملکرد ژنراتوری و کنترل سرعت همراه با تنظیم ضریب توان واحد در حالت دایم برای عملکرد موتوری در زیر و بالای سرعت پایه با استفاده از روش گام به گام به عقب و تابع لیاپانوف شرح داده می‌شود. سپس نتایج شبیه‌سازی نشان داده می‌شود. در پایان این فصل نیز بر اساس روش گام به گام به عقب

تطبیقی، کنترل‌کننده‌ای جهت کنترل گشتاور و یا سرعت و تنظیم ضریب توان واحد برای این درایو طراحی گشته و نتایج شبیه‌سازی نشان داده خواهد شد. فصل ششم به نحوه طراحی کنترل‌کننده غیرخطی جهت کنترل مستقیم گشتاور و شار روتور اختصاص دارد. در ابتدای این فصل بر اساس روش کنترل مدلغزشی، کنترل‌کننده‌ای به‌منظور کنترل مستقیم گشتاور و شار روتور طراحی شده و نتایج شبیه‌سازی آن نشان داده می‌شود. سپس با استفاده از رویتگر حالت و بر اساس روش گام به گام به عقب تطبیقی مقاومت‌های روتور و استاتور تخمین زده شده و از آنهاجهت کنترل مستقیم گشتاور و شار روتور استفاده می‌شود. در پایان این فصل نیز بر اساس ترکیب روش کنترل مدلغزشی و گام به گام به عقب تطبیقی کنترل‌کننده مستقیم گشتاور و شار روتور که نسبت به تغییرات مقاومت‌های روتور و استاتور مقاوم است، طراحی می‌گردد و در پایان نتایج شبیه‌سازی نشان داده می‌شود. در فصل هفتم نتیجه‌گیری و پیشنهادات لازم جهت ادامه این تحقیق ارائه می‌شود.

فصل دوم

کنترل توان لغزشی فاصله هوایی ماشین های القایی روتور سیم پیچی شده

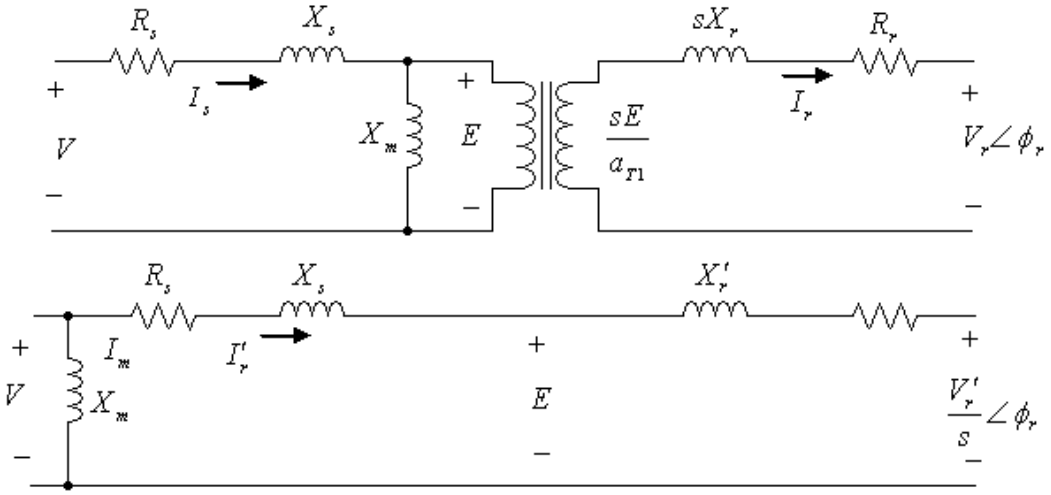
۲-۱-مقدمه

موتورهای القایی از نظر ساختمان روتور به دو نوع روتورسیم‌پیچی‌شده و قفسه‌سنجابی تقسیم می‌شوند. با استفاده از روشهای مختلف از جمله کنترل ولتاژ، کنترل فرکانس و... می‌توان ماشین القایی را از طرف استاتور کنترل نمود. برخی روشهای کنترلی نیز جهت کنترل موتور القایی روتورسیم‌پیچی‌شده از سمت روتور پیشنهاد شده‌اند. از مزیتهای ماشین‌های القایی قفسه‌سنجابی نسبت به ماشین‌های القایی روتورسیم‌پیچی‌شده می‌توان به وزن و حجم و هزینه کمتر اشاره نمود. بعلاوه، بدلیل وجود جاروبک و حلقه‌های لغزان مسائل نگهداری و تعمیر ماشین‌های القایی روتورسیم‌پیچی‌شده از نوع قفسه‌سنجابی بیشتر می‌باشد. در مقابل بدلیل دسترسی به سیم‌پیچ‌های روتور، قابلیت کنترل ماشین القایی روتور سیم‌پیچی‌شده از طرف مدار روتور، ضمن برخورداری از راندمان بالاتر، ارزانتر از روش‌های کنترل ماشین‌های قفسه‌سنجابی می‌باشد. یکی از روش‌هایی که می‌توان از طریق روتور ماشین القایی را کنترل نمود، روش کنترل توان لغزش می‌باشد. منظور از توان لغزش، قسمتی از توان فاصله‌هوایی است که به توان مکانیکی تبدیل نمی‌شود. در روش کنترل توان لغزش، مقدار توان لغزش تنظیم می‌گردد، بنابراین در یک توان فاصله‌هوایی معین، توان تبدیل نشده به توان مکانیکی قابل کنترل بوده، لذا در یک گشتاور معین، سرعت تغییر می‌نماید. کنترل مقاومت روتور و تزریق ولتاژ به مدار روتور از جمله روشهای کنترل توان لغزش

می‌باشند. در این فصل ابتدا روش تزریق ولتاژ به مدار روتور در نواحی مختلف کار ماشین مورد بررسی قرار می‌گیرد. در ادامه محرکه استاتیکی شربیوس معرفی شده و پس از بیان تغییرات لازم در محرکه استاتیکی شربیوس جهت داشتن عملکرد کنترل سرعت در حالت موتوری فوق‌سنکرون و ژنراتوری زیرسنکرون، مدل‌های جدیدتر و پیشرفته‌تر این درایو به اختصار بررسی شده و در پایان مدل ریاضی درایو القایی روتورسیم‌پیچی‌شده از نوع کنترل توان لغزشی فاصله‌هوایی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۲-۲-تزریق ولتاژ در مدار روتور

شکل (۲-۱) مدار معادل موتور القایی روتورسیم‌پیچی‌شده با ولتاژ تزریق شده $V_r\angle\phi$ در فاز روتور را نشان می‌دهد [۱] .



شکل (۲-۱) مدار معادل موتور القایی با ولتاژ تزریق شده به مدار روتور

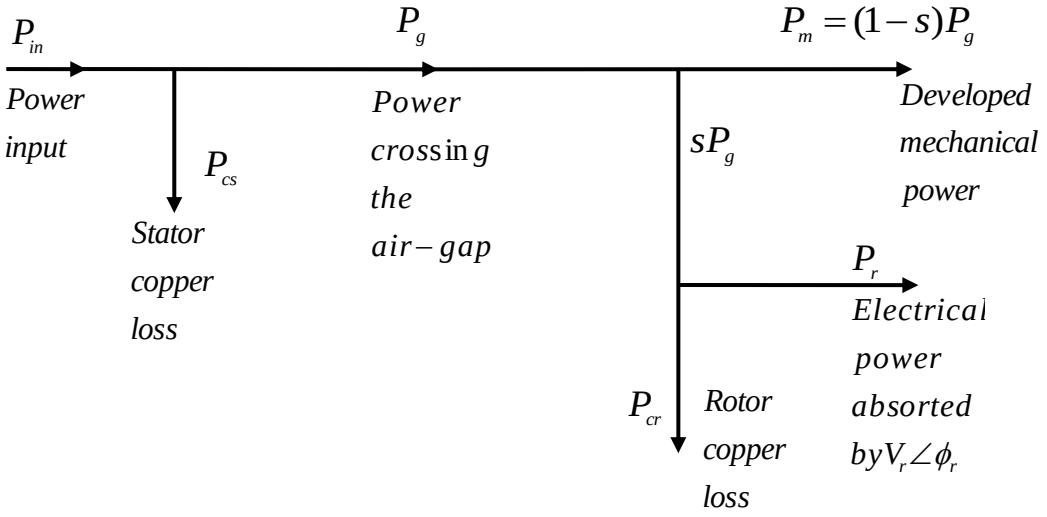
حالت بی‌باری ایده‌آل که جریان I_r درآن صفر باشد، اگر V_r وجود نداشته باشد در صورتی ممکن است که موتور در سرعت سنکرون باشد. ولی در صورتی که از ولتاژ تزریق شده روتور استفاده شود اگر V_r با E هم فاز باشد، در آن صورت I_r هنگامی صفر است که $(sE/n)=V_r$ باشد، لذا سرعت بی‌باری برابر است با

$$\omega_{m0} = (1-\frac{nV_r}{E})\omega_{ms} \qquad (۲-۱)$$

با توجه به معادله (۲-۱) با تغییر ولتاژ تزریقی V_r از صفر تا E/n سرعت موتور به ترتیب از سرعت سنکرون تا سکون تغییر می‌نماید. همچنین با معکوس شدن بردار V_r، s منفی شده و لذا سرعت بی‌باری از سرعت سنکرون نیز می‌تواند بالاتر رود [۱] .در این شرایط سرعت نسبی بین میدان گردان روتور و استاتور نسبت به حالت موتوری زیر سنکرون معکوس شده، در نتیجه توالی ولتاژ القایی روتور معکوس می‌شود. به عبارت دیگر با

معکوس شدن توالی فاز ولتاژ تزریقی V_r نسبت به توالی فاز ولتاژ استاتور، عملکرد در بالای سرعت سنکرون ممکن می‌شود. همچنین چون سرعت روتور و فرکانس ولتاژ القایی در روتور با هم مرتبط می‌باشند، فرکانس ولتاژ تزریقی در مدار روتور می‌باید فرکانس ولتاژ القایی استاتور را دنبال نماید.

نمودار جریان قدرت در یک موتور القایی با ولتاژ تزریقی در مدار روتور در شکل (۲-۲) نشان داده شده است.



شکل (۲-۲) نمودار توان در موتور القایی با ولتاژ تزریقی در روتور

قسمتی از توان ورودی به موتور P_{in} به صورت تلفات مسی استاتور تلف می‌شود(P_{cs}).باقیمانده توان فاصله هوایی(P_g) است. بخشی از توان فاصله هوایی که معادل $(1\text{-}s)P_g$است به کار مفید مکانیکی تبدیل می‌شود. و باقیمانده آن sP_g که توان لغزش نامیده می‌شود توان جذب شده در منبع V_r و تلفات مسی روتور را نشان می‌دهد.

از شکل (۲-۴) روابط بین توانها وسرعتها به صورت زیر است

$$P_m = P_g - P_r - P_{cr} \qquad (۲\text{-}۲)$$

$$T\omega_m = T\omega_{ms} - P_r - P_{cr} \qquad (۳\text{-}۲)$$

$$\omega_m = \omega_{ms} - \frac{P_r + P_{cr}}{T} \qquad (۴\text{-}۲)$$

اکنون با تغییر توالی ولتاژ تزریقی به روتور و تغییر علامت گشتاور مکانیکی اعمالی به ماشین می‌توان ماشین را در نواحی مختلف کاری قرار داد و عملکرد آن را بررسی کرده و مورد مطالعه قرار داد[۱] .

جدول (۲-۱) خلاصه ای از جهت و توالی ولتاژ تزریقی V_r را نشان می‌دهد. اگر از تلفات مسی روتور P_{cr} صرفنظر گردد می‌توان علامت‌های P_m و P_r و P_g (توان فاصله هوایی)را از این جدول بدست آورد.