٣٣ ٢٢١

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده برق و کامپیوتر

جبران کننده اثر تغییر ثابت زمانی روتور در کنترل برداری موتور القایی و شرایط تغییر گشتاور با استفاده از شبکه های عصبی

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی برق (قدرت)

۱۳۸۰ /۱/ ۱۰

بابک واثقی

مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران
تعیین مدارک

۱۰۰۸۵

استاد راهنما

دکتر محمد ابراهیمی

۱۳۷۹

۳۳۲۲۱

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده برق و کامپیوتر

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی برق (قدرت) آقای بابک واثقی

تحت عنوان

جبران کننده اثر تغییر ثابت زمانی روتور در کنترل برداری موتور القایی و شرایط تغییر گشتاور با استفاده از شبکه‌های عصبی

در تاریخ ۱۳۷۹/۶/۲۷ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

۱ - استاد راهنمای پایان‌نامه — دکتر محمد ابراهیمی

۲ - استاد مشاور پایان‌نامه — دکتر ولی اله طحانی

سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده — دکتر علی محمد دوست حسینی

بر خود لازم می‌دانم از زحمات بی دریغ استاد اول پروژه جناب آقای دکتر محمد ابراهیمی، استاد دوم پروژه جناب آقای دکتر ولی‌اله طحانی صمیمانه تشکر نمایم. همچنین از جناب آقای دکتر بخشایی و آقای دکتر سقائیان‌نژاد که بعنوان داور، اینجانب را در تصحیح این رساله راهنمایی نمودند سپاسگزاری می‌نمایم.

از سرکار خانم دیباجی که در طول دوران تحصیل در مقاطع کارشناسی و کارشناسی ارشد، اینجانب رااز راهنمایی‌های آموزشی خود بهره‌مند نمودند صمیمانه قدردانی می‌نمایم.

در انتها از پدر و مادر و برادر و خواهرم، همچنین از کلیه سروران و دوستان و عزیزانی که با حضور در جلسه دفاع از پایان‌نامه، زینت‌بخش این مجلس بودند صمیمانه قدردانی می‌نمایم.

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

تقدیم به

پدر و مادر عزیزم

که همچون شمعی فروزان،

روشنایی‌بخش مسیر زندگی من بودند.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

چکیده ۱

فصل اول: مقدمه

۱ ـ ۱ ـ کلیات ۲

۱ ـ ۲ ـ روند ارائه مطالب ۴

فصل دوم: کنترل برداری ماشینهای القایی

۲ ـ ۱ مقدمه ۵

۲ ـ ۲ ـ کنترل گشتاور در ماشینهای dc ۷

۲ ـ ۳ ـ شباهت ماشین dc و ماشین القایی در حالت کنترل برداری ۷

۲ ـ ۴ ـ اجرای کنترل برداری موتور القایی ۹

۲ ـ ۵ ـ مدل فازورهای فضایی برای ماشینهای AC ۱۰

۲ ـ ۵ ـ ۱ ـ مقدمه ۱۰

۲ ـ ۵ ـ ۲ فازورهای فضایی جریان و نیروی محرکهٔ مغناطیسی رتور ۱۱

۲ ـ ۵ ـ ۳ فازور فضایی شار دور مغناطیسی رتور در مختصات چرخان ۱۳

۲ ـ ۵ ـ ۴ فازور فضایی شار دور مغناطیسی رتور در مختصات ساکن ۱۳

۲ ۵ ۵ فاروز ضمایی ولتاژهای رتور و استاتور ۱۴
۲ ۵ ۶ تولید گشتاور در ماشینهای DC ۱۴
۲ ۵ ۷ تولید گشتاور الکترومغناطیسی در ماشینهای جریان متناوب ۱۶
۲ ۵ ۸ معادلات فازورهای ضمایی ولتاژ در مختصات اختیاری ۱۷
۲ ۵ ۹ رابطهٔ گشتاور الکترومغناطیسی در مختصات اختیاری ۲۰
۲ ۵ ۱۰ رابطهٔ گشتاور الکترومغناطیسی در مختصات ویژه شار دور رتور ۲۰
۲ ۶ انواع روشهای کنترل برداری از نظر نوع جهت یابی شار ۲۲
۲ ۷ کنترل برداری ماشین القایی با امتداد یابی در راستای شار دور رتور ۲۳
۲ ۷ ۱ معادلات برداری ماشین القایی با امتدادیابی در راستای شار دور رتور ۲۳
۲ ۷ ۲ مدارات مجزاکننده معادلات ولتاژ استاتور ۲۴
۲ ۷ ۳ معادلات ولتاژ رتور در مختصات مرجع راستای شار دور رتور ۲۵
۲ ۷ ۴ طرح کنترل ماشینهای القایی با امتدادیابی در راستای شار رتور ۲۷
۲ ۸ انواع روشهای کنترل برداری از نظر تولید بردار یکه ۲۹
۲ ۸ ۱ کنترل برداری مستقیم ۲۹
۲ ۸ ۲ کنترل برداری غیر مستقیم ۳۲

فصل سوم: شبکه‌های عصبی

۳ ۱ مقدمه ۳۵
۳ ۲ شبکه‌های عصبی مصنوعی ۳۶
۳ ۳ شبکهٔ انتشار به عقب ۳۸
۳ ۴ آموزش شبکه انتشار به عقب ۳۹

فصل چهارم : شبیه‌سازی کنترل برداری غیر مستقیم ماشینهای القایی در راستای شار دور رتور ۴۲

۴ـ۱ـ مقدمه ۴۲

۴ـ۲ـ بکارگیری نرم‌افزار matlab-simulink جهت شبیه‌سازی ۴۳

۴ـ۳ـ بررسی معادلات دینامیکی موتور القایی ۴۳

۴ـ۳ـ۱ـ معادلات ماشین القایی در مختصات مرجع دلخواه ۴۴

۴ـ۳ـ۲ـ محاسبه شارهای استاتور، رتور و فاصله هوایی ۴۵

۴ـ۳ـ۳ـ محاسبهٔ گشتاور الکتریکی ۴۵

۴ـ۳ـ۴ـ معادلات دیفرانسیل موتور القایی تغذیه با ولتاژ ۴۶

۴ـ۳ـ۵ـ معادلات دیفرانسیل موتور القایی تغذیه با جریان ۴۶

۴ـ۳ـ۶ـ شبیه‌سازی موتور القایی تغذیه شده با جریان توسط سیمولینک مطلب ۴۷

۴ـ۴ـ اینورتر منبع جریان سه فاز ۵۱

۴ـ۵ـ شبیه‌سازی کنترل کنندهٔ برداری غیر مستقیم با جهت‌یابی شار رتور ۵۳

فصل پنجم : اثر تغییر پارامتر در کنترل برداری غیر مستقیم و بررسی روشهای جبران آن

۵ـ۱ـ مقدمه ۵۸

۵ـ۲ـ اثر تغییر پارامترها در کنترل برداری غیر مستقیم ۵۹

فصل ششم : جبران اثر تغییر مقاومت رتور در شرایط تغییر گشتاور بار با استفاده از شبکه عصبی ۶۵

۶ـ۱ـ مقدمه ۶۵

۶ـ۲ـ استفاده از شبکه عصبی جهت شناسایی مقاومت موتور ۶۶

۶ـ۳ ساختمان شبکه عصبی به‌کار گرفته شده ۶۶

۶ـ۴ـ نحوهٔ آموزش شبکه عصبی ۶۷

٦ـ ٥ شبیه‌سازی سیستم ٦٧
٦ـ ٦ مقایسه عملکرد تخمین‌گر شبکه عصبی با سایر روشها ٧٥

فصل هفتم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات

٧ـ ١ نتیجه‌گیری ٧٧
٧ـ ٢ـ پیشنهادات ٧٨
مراجع ٧٩

چکیده

موتورهای القایی خصوصاً موتورهای قفس سنجابی دارای مزایای زیادی نسبت به موتورهای dc می‌باشند که می‌توان به مواردی نظیر داشتن راندمان بالاتر، هزینه، وزن، حجم و اینرسی کمتر، نیاز به تعمیر و نگهداری کمتر و قابلیت عملکرد در محیط‌های با گرد وغبار را نام برد. با توجه به مزایای فوق، موتورهای القایی به طور وسیع بر سایر موتورهای الکتریکی ترجیح داده می‌شوند.

کنترل این موتورها به دو روش کلی اسکالر و برداری انجام‌پذیر است. ساختمان کنترل کننده اسکالر نسبت به نوع برداری آن ساده‌تر می‌باشد ولی دارای پاسخ دینامیکی مطلوب نمی‌باشد و سیستم کنترلی دارای نوسان است. در روش کنترل برداری سعی می‌شود که موتور القایی شبیه موتور dc کنترل شود. در کنترل برداری حساسیت به تغییر پارامترها زیاد بوده که باعث عدم اجرای موفقیت آمیز کنترل برداری می‌شود.

در این پایان‌نامه سیستم کنترل برداری غیرمستقیم موتور القایی در راستای شار دور رتور با استفاده از نرم‌افزار سیمولینک مطلب شبیه‌سازی شده است که بااستفاده از امکانات قدرتمند گرافیکی این نرم‌افزار می‌توان بسادگی انواع تحلیلهای متفاوت را بر روی این سیستم انجام داد. نتایج نشان می‌دهد که سیستم کنترل برداری غیر مستقیم در راستای شار دور رتور دارای پاسخ دینامیکی بسیار خوبی بوده و تغییرات ورودیهای مرجع را با سرعت و دقت خوبی دنبال می‌کنند و رفتار بدست آمده نزدیک به رفتار محرکه‌های جریان مستقیم است.

در مرحلهٔ آخر برای جبران اثر تغییر مقاومت رتور در شرایط تغییر گشتاور بار یک شبکهٔ عصبی سه لایه با چهار ورودی و یک خروجی استفاده شده است که قادر می‌باشد در هر لحظه مقاومت واقعی رتور را شناسایی کند. در شرایط تغییر مقاومت رتور حتی به مقدار دو برابر مقدار نامی با تغییر گشتاور بار عملکرد کنترل برداری بسیار خوب می‌باشد. دقت بالا، سرعت تخمین و سادگی ساختمان شبکهٔ عصبی از مزایای مسلم این تخمین‌گر در مقایسه با سایر روشها می‌باشد.

فصل اول

مقدمه

۱-۱- کلیات :

در گذشته استفاده از موتورهای dc درکاربردهای سرعت متغیر بسیار مرسوم بود زیرا در این نوع ماشینها بدلیل مجزا بودن[1] میدان مغناطیسی تحریک و جریان آرمیچر می‌توان شار یا گشتاور را بطور مستقل کنترل نمود و پاسخ سیستم نیز سریع می‌باشد. اما موتورهای dc دارای معایب زیادی در مقایسه با موتورهای القایی می‌باشند که می‌توان به داشتن هزینه، وزن و حجم بالا، راندمان پائین، اینرسی زیاد، محدودیت حداکثر سرعت و نیاز به تعمیر و نگهداری زیاد بدلایل مشکلات کموتاسیون[2] اشاره کرد[۱].

موتورهای القایی دارای ساختار غیر خطی و چندمتغیره می‌باشند که کنترل ساده آنها را مشکل می‌سازد. با تحولات اخیر در زمینهٔ الکترونیک قدرت و پیدایش کلیدهای نیمه هادی، امکان کنترل سرعت متغیر موتورهای القایی فراهم شده است. کنترل موتورهای القایی به دو روش کلی اسکالر و برداری انجام می‌شود. در کنترل اسکالر[3] اندازهٔ متغیرها کنترل می‌شود و به صورتهای گوناگون مانند: کنترل ولتاژ، کنترل شار، کنترل لغزش[4]، کنترل $\frac{V}{f}$ ثابت و... انجام می‌شود[۱].

1 - Decoupled

2 - Commutation

3 - Scholor Control

4 - Slip Control

در روش کنترل اسکالر بدلیل غیر خطی بودن ماشین و عدم مجزا بودن متغیرها روی محورهای d و q مشکلاتی بوجود می آید که باعث پاسخ دینامیکی نوسانی و کند سیستم می‌شود و تغییر نقطه کار باعث تغییر قطبها و صفرهای تابع تبدیل ماشین می‌شود و این باعث می‌شود که شرایط بهینه در یک نقطهٔ کار، در نقاط دیگر بهم خورد و به واسطهٔ کوپله بودن متغیرها زمان پاسخ دینامیکی سیستم طولانی شود[۱].

در روش کنترل برداری[1] اندازه و فاز متغیرها کنترل شده و ماشین القایی شبیه ماشین dc کنترل می‌شود. کنترل برداری ابتدا در سال ۱۹۶۹ مطرح شد [۲]که بدلیل نیاز به محاسبات زیاد چندان در صنایع مورد استقبال واقع نگردید ولی با پیشرفت تکنولوژی کامپیوتر، امروزه کنترل برداری بطور وسیع مورد استفاده قرار می‌گیرد. اساس کنترل برداری بر روی مجزاسازی متغیرها بر روی محورهای d و q است. در کنترل برداری سعی می‌شود همانند ماشین dc با تحریک جداگانه، جریان استاتور به دو مولفهٔ مجزای تولید کنندهٔ گشتاور و تولید کنندهٔ شار تحریک تفکیک گردد. در حالت کار عادی مؤلفه تولید شار را در مقدار نامی تنظیم و برای کنترل گشتاور مؤلفهٔ تولید کنندهٔ گشتاور را تغییر می‌دهیم.

کنترل برداری به دو روش مستقیم و غیر مستقیم انجام می‌شود. در کنترل برداری مستقیم بردارهای یکه با استفاده از سنسورهای اثر هال[2]، سیم‌پیچهای شار سنج یا اندازه‌گیری ولتاژ و جریان و انجام محاسبات تخمین تولید می‌شوند [۳]که دارای مشکلات راه‌اندازی از سکون، نمونه‌برداری از شار یا ولتاژ یا جریان و کنترل سرعت در سرعتهای پایین می‌باشد. [۴ و ۵]

روش دوم کنترل برداری غیر مستقیم می‌باشد که در آن مقادیر بردارهای یکه بصورت غیرمستقیم با استفاده از سرعت رتور و میزان لغزش محاسبه می‌شوند. سیستم از سرعت صفر راه اندازی شده و گشتاور به صورت آنی قابل تغییر است. امروزه استفاده از این روش در صنایع بسیار مرسوم شده است [۵]. اجرای موفقیت آمیز این روش بستگی به دقت مدل ریاضی ماشین دارد لذا وجود هر نوع خطا در پارامترهای ماشین سبب می‌شود که عمل مجزاسازی مؤلفه‌های شار و گشتاور بصورت کامل انجام نشده و پاسخ سیستم در حالت گذرا دارای اختلال و در حالت پایدار دارای خطاشود [۶ و ۷]. جهت حصول عملکرد مطلوب سیستم، باید پارامترهای متغیر در کلیه شرایط کار بخوبی تخمین زده شده و مقادیر جدید بصورت آنی و پیوسته تعیین گردند.

برای جهت‌یابی شار مغناطیسی درکنترل برداری می‌توان از جهت‌یابی شارهای رتور، استاتور و فاصلهٔ هوایی استفاده کرد. از جهت‌یابی شار فاصله هوایی استفاده چندانی نمی‌شود، زیرا در آن از اندوکتانس پراکندگی صرفنظر شده است و همچنین تعیین مقدار دقیق شار فاصلهٔ هوایی در سرعتهای کم دارای خطای زیاد می‌باشد [۳]. در جهت‌یابی شار استاتور، حساسیت به تغییر پارامترها کمتر است ولی چون برای جداسازی اثر متغیرها روی

---

1 - Vector Control

2 - Hall Effect

محورهای d و q نیاز به یک مدار حلقه بسته برای تولید سیگنالهای مجزاسازی می‌باشد لذا سیستم کنترلی پیچیده می‌شود و همچنین امکان محاسبهٔ دقیق شار در سرعتهای کم موجود نمی‌باشد [۴ و ۵]. در جهت‌یابی شار رتور مشکلات فوق وجود ندارد ولی وابستگی به مقادیر پارامترهای ماشین بیشتر است [۳]. امروزه بیشتر از کنترل برداری با جهت‌یابی شار رتور استفاده می‌شود و سعی می‌شود که به‌گونه‌ای اثر تغییر پارامترها در آن جبران شود. در این پایان‌نامه نیز از کنترل برداری غیر مستقیم در راستای شار دور رتور استفاده شده است که برای تخمین مقاومت رتور در شرایط تغییر گشتاور بار، از یک سیستم شبکهٔ عصبی[1] استفاده شده است. شبکه‌های عصبی قادر به مدل‌سازی سیستمهای غیر خطی دارای چند ورودی چند خروجی می‌باشند. لذا می‌توان با بکارگیری شبکه عصبی مقدار مقاومت رتور را در هر لحظه بصورت آنی و پیوسته تخمین زد تا اجرای کنترل برداری دچار اختلال نشود.

۱-۲- روند ارائه مطالب

در فصل دوم به بررسی کنترل برداری پرداخته شده است و شباهت کنترل برداری ماشین القایی با محرکهٔ ماشینهای dc، مدل فازورهای فضایی، انواع روشهای کنترل برداری از نظر نوع جهت‌یابی شار و کنترل برداری مستقیم و غیر مستقیم موردبحث قرار گرفته است.

در فصل سوم اصول شبکه‌های عصبی مورد بررسی قرار می‌گیرد و شبکهٔ عصبی انتشار به عقب و نحوهٔ آموزش آن بیان می‌گردد. در فصل چهارم نحوهٔ شبیه‌سازی کنترل برداری غیر مستقیم در راستای شار دور رتور توسط نرم‌افزار سیمولینک مطلب[2] ارائه شده است که در آن نحوهٔ شبیه‌سازی بلوکهای ماشین القایی، اینورتر و ... بررسی می‌شود. فصل پنجم به بررسی اثر تغییر پارامتر ثابت زمانی رتور در سیستم کنترل برداری غیر مستقیم اختصاص یافته است و چگونگی ایجاد خطا دراثر تغییر پارامترها در این سیستم بیان می‌گردد. در فصل ششم ساختمان و نحوهٔ آموزش یک شبکه عصبی سه لایه برای تخمین مقاومت رتور در هر لحظه بیان شده و نتایج سیستم کنترل برداری همراه با شبکه عصبی جهت شناسایی مقاومت رتور در شرایط تغییر گشتاور بار ارائه شده که نشان می‌دهد با استفاده از شبکهٔ عصبی اجرای کنترل برداری دچار اختلال نمی‌شود. در فصل هفتم نیز به نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادات برای ادامه کار پرداخته می‌شود.

---

1 - Neural Network

2 - Simulink Matlab

فصل دوم

کنترل برداری ماشینهای القایی

۲-۱- مقدمه :

موتورهای القایی بخصوص موتورهای قفس سنجابی مزایای زیادی نسبت به موتورهای dc دارند. این ماشینها بدلیل نیاز به نگهداری کمتر، قابلیت اطمینان بالاتر، هزینه، وزن، حجم و اینرسی کمتر، راندمان بیشتر، قابلیت عملکرد در محیط‌های باگرد و غبار و قابل انفجار بطور وسیعی مورد استفاده قرارگرفته‌اند. مشکل اصلی موتورهای dc وجود کموتاتور و جاروبک است که تعمیرات و نگهداری زیاد، پرهزینه بودن و عملکرد نامناسب در محیطهای باگرد و غبار و قابل انفجار را بدنبال دارد. با این وجود بدلیل ساختار دینامیکی به شدت غیر خطی ماشینهای القایی از آنها تا چندی پیش فقط در کاربردهای سرعت ثابت استفاده می‌شد و در کاربردهای سرعت متغیر از موتورهای dc استفاده می‌گردید. این امر ناشی از آن بود که روشهای مرسوم در کنترل سرعت موتور القایی هم غیر اقتصادی و هم دارای راندمان کم بود.

امروزه با بهبود و افزایش در قابلیتها و توسعهٔ سریع در زمینهٔ الکترونیک ـ قدرت و ادوات نیمه هادی باعث شده است که درایوهای ac قابل رقابت با درایوهای dc بوده و حتی در مواردی از آنها پیش‌بینی گیرند لذا در کاربردهای سرعت متغیر نیز مورد استفاده قرار گرفته‌اند[۱].

برای کنترل موتورهای القایی روشهای متعددی مطرح می‌باشد که اولین روش کنترل اسکالر است که در آن