دانشکده فنی

گروه برق
گرایش قدرت

پیاده‌سازی کنترل برداری یک موتور آسنکرون با سرعت متغیر

تغذیه شده با اینورتر جریان

از
عباس محمدی

استاد راهنما

دکتر سید حمید شاه عالمی

استاد مشاور

دکتر حامد مجللی

شهریور ۱۳۹۰

بسم الله الرحمن الرحيم

به پاس تعبیر عظیم و انسانی شان از کلمه ایثار و فداکاری به پاس عاطفه سرشار و گرمای امید بخش وجودشان که در این سردترین روزگاران

بهترین پشتیبان است و سرگردانی و ترس در پناهشان به شجاعت می گراید و به پاس محبت های بی دریغشان که هرگز فروکش نمی کند

این مجموعه را به پدر و مادر بزرگوار و خواهران دلسوزم تقدیم می کنم.

در ابتدا از استاد راهنما دکتر سید حمید شاه عالمی و استاد مشاور دکتر حامد مجللی و همچنین از آقایان دکتر اسماعیل فلاح ، آلفر باغرامیان و زکی بیاگویی که در انجام این پایان نامه اینجانب را یاری نمودند کمال تشکر را داشته.

و با تشکر ویژه از جناب آقای دکتر داود عرب خوابوری که در هنگام ساخت این پایان نامه از کمک به اینجانب دریغ ننمودند

با تشکر از مسئولین آزمایشگاه گروه برق آقایان میراسدی، عبداللهی و صیاد که در مدت ساخت پایان نامه همواره با کمک های بی دریغشان راه بر اینجانب هموار نمودند. و با تشکر از دوست بزرگوارم احمد اقبالی که همواره یار و همراه بنده بودند

آرزومند زندگی خوش برای همه این عزیزان می باشم.

فهرست مطالب

چکیده فارسی.....ص

چکیده انگلیسی.....ض

فصل ۱- مقدمه.....۱

فصل ۲- اصول عملکرد موتور القایی.....۵

۲-۱- مقدمه ۶

۲-۲- مدل سازی ماشین القایی در سیستم abc ۷

۲-۲-۱- معادلات ولتاژ و جریان استاتور و روتور ۷

۲-۲-۲- ماتریس‌های اندوکتانس ۸

۲-۲-۲-۱- ماتریس اندوکتانس استاتور ۸

۲-۲-۲-۲- ماتریس اندوکتانس روتور.....۹

۲-۲-۲-۳- ماتریس اندوکتانس متقابل استاتور و روتور.....۹

۲-۳- مدل سازی ماشین القایی در سیستم qdo.....۱۰

۲-۳-۱- ماتریس تبدیل (qdo) برای مولفه‌های استاتور ۱۱

۲-۳-۲- ماتریس تبدیل (qdo) برای مولفه‌های روتور.....۱۲

۲-۳-۳- معادلات شار جریان استاتور و روتور ۱۳

۲-۴- معادلات جریان و ولتاژ روتور و استاتور در سیستم qdo ۱۳

۲-۴-۱- معادلات جریان و ولتاژ استاتور در سیستم qdo ۱۳

۲-۴-۲- معادلات جریان و ولتاژ روتور در سیستم qdo ۱۴

۲-۵- مدل مداری ماشین القایی در سیستم qdo ۱۴

۲-۵-۱- مدل مداری محور q ۱۴

۲-۵-۲- مدل مداری محور d ۱۴

۲-۶- سیستم‌های مرجع در ماشین القایی.....۱۵

فصل ۳- تخمین پارامترهای موتور القایی با کمک الگوریتم PSO ۱۶

۳-۱- مقدمه..... ۱۷
۳-۲- روش‌های بدست آوردن پارامترهای موتور القایی ۱۸
۳-۲-۱- آزمایش‌های رتور قفل شده، بی‌باری و dc..... ۱۸
۳-۲-۲- استفاده از الگوریتم‌های ابتکاری..... ۱۸
۳-۳- الگوریتم PSO ۱۸
۳-۴- روند محاسبات در روش PSO..... ۱۹
۳-۴-۱- شبیه سازی موتور القایی..... ۱۹
۳-۴-۲- اندازه گیری جریان و سرعت موتور..... ۲۰
۳-۴-۳- تخمین پارامترها با توجه به مجموع مربعات خطا ۲۰
۳-۵- مطالعه موردی..... ۲۱
۳-۵-۱- مقایسه منحنی‌های جریان و سرعت موتور با منحنی‌های جریان و سرعت شبیه‌سازی شده ۲۱
۳-۶- معایب و مزایای دو روش بیان شده..... ۲۷
۳-۶-۱- معایب روش آزمایش رتور قفل شده، بی‌باری وDC ۲۷
۳-۶-۲- مزایای روش آزمایش رتور قفل شده و بی‌باری و DC..... ۲۷
۳-۶-۳- عیب روش الگوریتم PSO ۲۸
۳-۶-۴- مزایای روش الگوریتم PSO ۲۸
۳-۷- نتیجه گیری..... ۲۸
فصل ۴- سوئیچ‌های نیمه هادی قدرت..... ۲۹
۴-۱- مقدمه ۳۰
۴-۲- دیود قدرت ۳۰
۴-۳- تریستور ۳۰
۴-۴- GTO ۳۱
۴-۵- ترانزیستور قدرت(BJT)..... ۳۱
۴-۶-MOSFET..... ۳۱
۴-۷- IGBT ۳۱

۴-۸- نتیجه‌گیری ۳۲

فصل ۵- اصول کنترل دور ماشین القایی ۳۳

۵-۱- مقدمه ۳۴

۵-۲- عملکرد موتور در حالت‌های مختلف ۳۴

۵-۲-۱- عملکرد موتور در ولتاژ متغیر ۳۴

۵-۲-۲- عملکرد موتور در جریان متغیر ۳۵

۵-۲-۳- عملکرد موتور در فرکانس متغیر ۳۵

۵-۲-۴- عملکرد موتور در ولتاژ و فرکانس متغیر ۳۶

۵-۲-۵- عملکرد موتور در جریان و فرکانس متغیر ۳۷

۵-۳- روش‌های کنترل سرعت موتور القایی ۳۸

۵-۳-۱- روش‌های سنتی ۳۸

۵-۳-۲- روش‌های اینورتری ۳۹

۵-۴- اینورتر ولتاژ ۳۹

۵-۵- اینورتر جریان(CSI) ۴۱

۵-۵-۱- مدار قدرت اینورتر با تغذیه جریان ۴۱

۵-۵-۲- منبع جریان dc متغیر ۴۲

۵-۵-۳- نحوه اتصال افزارهای قدرت در اینورتر جریان ۴۲

۵-۵-۴- عملکرد خازن در خروجی اینورتر جریان ۴۳

۵-۵-۴-۱- محاسبه ظرفیت خازن ۴۴

۵-۵-۵- مدار ضربه‌گیر ۴۶

۵-۶- روش‌های مدولاسیون ۴۸

۵-۶-۱- مدولاسیون پهنای پالس سینوسی PWM ۴۹

۵-۶-۲- PWM با کنترل تطبیقی جریان (هیسترزیس) ۵۰

۵-۷- انواع روش‌های کنترل سرعت اینورتری ۵۱

۵-۷-۱- کنترل اسکالر ۵۱
۵-۷-۲- کنترل برداری ۵۲
۵-۷-۲-۱- شباهت ماشین ac به ماشین dc ۵۲
۵-۷-۲-۲- روش مستقیم کنترل برداری ۵۴
۵-۷-۲-۳- روش غیر مستقیم کنترل برداری ۵۴
۵-۷-۲-۴- بلوک کنترلی در کنترل برداری غیر مستقیم ۵۵
۵-۸- اینورترهای با تغذیه جریان در مقایسه با اینورترهای ولتاژ ۶۰
۵-۹- نتایج شبیه‌سازی ۶۱
فصل ۶- پیاده‌سازی اینورتر جریان ۶۶
۶-۱- مقدمه ۶۷
۶-۲- معرفی تراشه جهت ارتقاء سطح ولتاژ ۶۷
۶-۲-۱- خصوصیات تراشه HCPL316J ۶۸
۶-۲-۲- شرح پایه‌های تراشه HCPL316J ۶۸
۶-۳- مدار پیشنهادی اولیه با استفاده از تراشه HCPL316J ۶۹
۶-۴- تخلیه تدریجی گیت IGBT در شرایط بروز خطا ۷۰
۶-۵- تغییرات ناگهانی ولتاژ $\frac{dv}{dt}$ و کنترل جریان میلر ۷۰
۶-۶- افزایش جریان خروجی تراشه با استفاده از بافر خارجی ۷۲
۶-۷- انواع خطای ایجاد شده و نحوه حفاظت در مقابل آنها ۷۳
۶-۷-۱- خطای اتصال کوتاه ۷۴
۶-۷-۲- کنترل توان تلف شده در IGBT ۷۵
۶-۷-۳- خطای کمبود ولتاژ (UVLO) ۷۵
۶-۸- شرایط رفع خطا ۷۶
۶-۹- حالت های ریست ۷۸
۶-۹-۱- ریست مستقل ۷۸
۶-۹-۲- ریست سراسری ۷۹

۶-۹-۳- ریست خودکار..... ۷۹
۶-۹-۴- مدار نهایی پیشنهادی ریست و درایور..... ۸۰
۶-۱۰- ملاحظات مربوط به مدار چاپی HCPL316J. ۸۱
۶-۱۱- رگولاتور ۵ ولت با قابلیت جریان دهی بالا..... ۸۱
۶-۱۲- تولید ولتاژ تغذیه برای درایورها ۸۲
۶-۱۳- انکودر نوری برای تعیین سرعت ۸۵
۶-۱۴- سنسور جریان ۸۶
۶-۱۴-۱- اندازه گیری مقادیر جریان موتور..... ۸۷
۶-۱۴-۲- تولید مقدار متغیر ولتاژ DC برای جمع با خروجی سنسور جریان..... ۸۷
۶-۱۵- بافر جریان ۸۸
۶-۱۶- پردازنده ATMEGA32 ..... ۸۹
۶-۱۷- فلوچارت برنامه..... ۹۰
۶-۱۸- نتایج عملی در آزمایشگاه ۹۱
۶-۱۸-۱- خروجی تک فاز..... ۹۱
۶-۱۸-۲- آزمایش کنترل سرعت موتور..... ۹۳
۶-۱۹- جمع بندی و پیشنهادات..... ۹۷
مراجع..... ۹۹
ضمیمه ۱..... ۱۰۱
ضمیمه ۲..... ۱۰۴
ضمیمه ۳..... ۱۰۸
ضمیمه ۴..... ۱۲۲

فهرست شکل‌ها

شکل ۲-۱- رابطه متغیرها در مرجع abc و qdo..... ۱۰

شکل ۲-۲- مدل مداری محور q. ۱۴

شکل ۲-۳- مدل مداری محور d..... ۱۴

شکل ۳-۱- مدار معادل یک فاز موتور القایی ۱۷

شکل۳-۲- روند بدست آوردن پارامترهای موتور القایی با الگوریتم PSO..... ۲۰

شکل ۳-۳- منحنی سرعت واقعی و سرعت شبیه‌سازی شده با پارامترهای تخمینی الگوریتم PSO در تکرار ۵۰..... ۲۲

شکل ۳-۴- منحنی جریان واقعی و جریان شبیه‌سازی شده با پارامترهای تخمینی الگوریتم PSO، در تکرار ۵۰ ..... ۲۲

شکل ۳-۵- منحنی سرعت واقعی و سرعت شبیه‌سازی شده با پارامترهای تخمینی الگوریتم PSO، در تکرار ۱۰۰..... ۲۳

شکل ۳-۶- جریان واقعی و جریان شبیه‌سازی شده با پارامترهای تخمینی الگوریتم PSO، در تکرار ۱۰۰..... ۲۳

شکل ۳-۷- منحنی سرعت واقعی و سرعت شبیه‌سازی شده با پارامترهای تخمینی الگوریتم PSO، در تکرار ۱۵۰..... ۲۴

شکل ۳-۸- جریان واقعی و جریان شبیه‌سازی شده با پارامترهای تخمینی الگوریتم PSO، در تکرار ۵۰ ..... ۲۴

شکل ۳-۹- منحنی سرعت واقعی و سرعت شبیه‌سازی شده با پارامترهای تخمینی الگوریتم PSO، در تکرار۲۰۰..... ۲۵

شکل ۳-۱۰- جریان واقعی و جریان شبیه‌سازی شده با پارامترهای تخمینی الگوریتم PSO، در تکرار ۲۰۰..... ۲۵

شکل ۳-۱۱- منحنی سرعت واقعی و شبیه‌سازی شده با استفاده از پارامترهای بدست آمده از روش سنتی ۲۶

شکل ۳-۱۲- منحنی جریان واقعی و شبیه‌سازی شده با استفاده از پارامترهای بدست آمده از روش سنتی..... ۲۶

شکل ۵-۱- منحنی گشتاور- سرعت برای ولتاژهای متفاوت استاتور ۳۴

شکل ۵-۲- منحنی تغییرات گشتاور- سرعت موتور به ازای تغییرات جریان ۳۵

شکل ۵-۳- منحنی گشتاور- سرعت در فرکانس‌های متفاوت..... ۳۶

شکل ۵-۴- منحنی گشتاور لغزش در نسبت ثابت ولت بر هرتز ۳۷

شکل ۵-۵- منحنی گشتاور سرعت به ازای تغییرات جریان و فرکانس ۳۷

شکل ۵-۶ ..... ۳۸

شکل ۵-۷- اینورتر ولتاژ، IGBT || Diode ۴۰

شکل ۵-۸- نحوه عملکرد دیود هرزگرد ۴۰

شکل ۵-۹- مدار کلی قدرت اینورتر با تغذیه جریان..... ۴۲
شکل ۵-۱۰- منبع جریان متغییر با استفاده از چاپر ۴۲
شکل ۵-۱۱- نحوه اتصال افزارهای قدرت در اینورتر جریان..... ۴۳
شکل ۵-۱۲- الف) غیلتر خازنی مناسب در خروجی اینورتر جریان، ب) فیلتر خازنی نامناسب در خروجی اینورتر جریان..... ۴۴
شکل ۵-۱۳- مدار معادل تکفاز موتور القایی به همراه خازن موازی..... ۴۴
شکل ۵-۱۴- نمودار پاسخ فرکانسی مدار معادل تکفاز موتور القایی با خازن موازی..... ۴۵
شکل ۵-۱۵- مدار ضربه‌گیر..... ۴۶
شکل ۵-۱۶- مقایسه ولتاژ معکوس دیود سری وIGBT در دو حالت الف) بدون دیود معکوس وحالت ب) با دیود معکوس... ۴۷
شکل ۵-۱۷- مدار حفاظت اینورتر جریان در برابر قطعی مسیر جریان لینک dc..... ۴۷
شکل ۵-۱۸- مدار نهایی سخت افزار قدرت در اینورتر جریان ۴۸
شکل ۵-۱۹- مدولاسیون پهنای پالس سینوسی ۴۹
شکل ۵-۲۰- تولید PWM با تغییر فرکانس موج سینوسی ۵۰
شکل ۵-۲۱- تغییر پهنای پالس PWM با تغییر دامنه موج سینوسی ۵۰
شکل ۵-۲۲- تولید پالس‌های فرمان اینورتر با روش کنترل تطبیقی جریان(هیسترزیس) ۵۱
شکل۵-۲۳- شباهت موتور القایی و ماشین dc در کنترل برداری ۵۳
۵-۲۴- دیاگرام فازوری در روش کنترل برداری الف) افزایش مؤلفه میدان ب) افزایش مؤلفه گشتاور ۵۳
شکل ۵-۲۵- عملکرد کلی کنترل برداری مستقیم ۵۴
شکل ۵-۲۶- اصول روش غیر مستقیم کنترل برداری به کمک دیاگرام فازوری ۵۵
شکل ۵-۲۷- ۵۶
شکل ۵-۲۸- ۵۷
شکل ۵-۲۹- ۵۷
شکل ۵-۳۰- ۵۸
شکل ۵-۳۱- ۵۸
شکل ۵-۳۲- شمای کلی بلوک کنترلی..... ۵۹

شکل ۵-۳۳- ۵۹

شکل ۵-۳۴- شمای کلی مدار قدرت و کنترل اینورتر جریان ۶۰

شکل ۵-۳۵- ۶۲

شکل ۵-۳۶- ۶۳

شکل ۵-۳۷- ۶۴

شکل ۵-۳۸- ۶۵

شکل ۶-۱- تراشه HCPL316J و شماره پایه‌ها ۶۸

شکل ۶-۲- مدار پیشنهادی اولیه درایو IGBT با استفاده از HCPL-316J ۶۹

شکل ۶-۳- محل قرارگرفتن مقاومت ۴۷ کیلو اهم و ترانزیستور 50x(گیره میلر یا Miller clamp) ۷۱

شکل ۶-۴- کاهش اسپایک ولتاژ گیت در اثر افزایش سرعت تخلیه جریان میلر الف) تخلیه جریان میلر در مقاومت درایور
ب) تخلیه سریع جریان میلر با ترانزیستور50x داخلی درایور ۷۱

شکل ۶-۵- شکل موج اسپایک ولتاژ ایجاد شده در اثر تخلیه جریان میلر
الف) تخلیه جریان میلر در مقاومت درایور(اسپایک ولتاژ گیت- امیتر ۳ ولت)
ب) تخلیه سریع جریان میلر با ترانزیستور50x داخلی درایور(اسپایک ولتاژ گیت- امیتر ۱ ولت) ۷۲

شکل ۶-۶- مدار بافر جریان خروجی تراشه راه‌انداز ۷۳

شکل ۶-۷- مدار داخلی تراشه برای تشخیص خطای عدم اشباع و اتصال کوتاه ۷۵

شکل ۶-۸- مدار داخلی تراشه برای تشخیص خطای کمبود ولتاژ گیت..... ۷۶

شکل ۶-۹- عملکرد مدار درایور در شرایط مختلف ۷۷

شکل ۶-۱۰- رفع خطا با استفاده از سخت افزار ۷۸

شکل ۶-۱۱- ریست مستقل..... ۷۸

شکل ۶-۱۲- ریست سراسری ۷۹

شکل ۶-۱۳- ریست خودکار..... ۷۹

شکل ۶-۱۴- ریست سراسری پیشنهادی ۸۰

شکل ۶-۱۵- مدار نهایی و پیشنهادی درایورIGBT ۸۰

شکل ۶-۱۶- نمونه ساخته شده مدار HCPL316 ..... ۸۱
شکل ۶-۱۷- مدار جانبی رگولاتور LM2675 ..... ۸۱
شکل ۶-۱۸- نحوه‌ی اتصال پایه‌های منابع خروجی درایور، در اینورتر ۸۲
شکل ۶-۱۹- تولید ولتاژ متناوب با ترانسفور ماتور دارای سر وسط ۸۳
شکل ۶-۲۰- مدار یکسوساز و تثبیت ولتاژ تغذیه درایورها ۸۴
شکل ۶-۲۱- مدار تغذیه درایورها ۸۴
شکل ۶-۲۲- پالس‌های خروجی انکودر ۸۵
شکل ۶-۲۳- نحوه اتصال پایه‌ها و تغذیه سنسور جریان ۸۶
شکل ۶-۲۴- جمع ولتاژ dc با خروجی سنسور جریان ۸۷
شکل ۶-۲۵- پایه‌های رگولاتور LM317 ..... ۸۷
شکل ۶-۲۶- پایه‌های بافر جریان 74HC245 ..... ۸۸
شکل ۶-۲۷- ترکیب پایه‌های ATMEGA32 ..... ۸۹
شکل ۶-۲۸- روند کلی برنامه میکروکنترلر ۹۱
شکل ۶-۲۹- مدار خروجی تکفاز ۹۲
شکل ۶-۳۰- ولتاژ دو سر بار مقاومتی تک فاز ۹۲
شکل ۶-۳۱- ولتاژ گذرای IGBT در هنگام قطع ۹۳
شکل ۶-۳۲- موتور DC اعمال شده به عنوان بار ۹۳
شکل ۶-۳۳- منحنی‌های جریان موتور(I_{LMOTOR})، جریان خازن(I_C)، جریان خروجی اینورتر یا جریان قبل از خازن(I_1) و ولتاژ خط(V_{LL}) ۹۴
شکل ۶-۳۴- سرعت مرجع ۱۴۰۰ دور در دقیقه به ازای اعمال دو گشتاور ۰/۱۵ و ۰/۳ نیوتن در متر ۹۵
شکل ۶-۳۵- منحنی‌های سرعت، ولتاژ و جریان موتور، به ازای گشتاورثابت بار، در سرعت مرجع ۷۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۴۰۰ دور در دقیقه ۹۶

فهرست جدول‌ها

جدول ۳-۱- مشخصات موتور القایی..... **۲۱**

جدول ۳-۲-..... **۲۲**

جدول ۳-۳- **۲۳**

جدول ۳-۴- **۲۴**

جدول ۳-۵- **۲۵**

جدول ۳-۶- **۲۶**

جدول ۳-۷- نتایج مطالعه موردی..... **۲۷**

جدول ۴-۱- مقایسه المان‌های نیمه‌هادی قدرت..... **۳۲**

جدول ۶-۱- نحوه‌ی عملکرد رفع خطای اتصال کوتاه را نشان داده شده است **۷۴**

جدول ۶-۲- مشخصات سنسور جریان و نحوه اتصال پایه‌ها..... **۸۶**

جدول ۶-۳- نحوه عملکرد بافر جریان..... **۸۹**

چکیده

پیاده‌سازی کنترل برداری یک موتور آسنکرون با سرعت متغیر تغذیه شده با اینورتر جریان

عباس محمدی

کنترل برداری در ماشین های القایی استفاده از این ماشین ها را در کاربردهای سرعت متغیر قابل رقابت با ماشینهای جریان مستقیم کرده است.

در کنترل برداری، کنترل مستقل متغیرهای ids و iqs باعث جداسازی شار و گشتاور الکترومغناطیسی شده و همانند یک ماشین جریان مستقیم می توان سرعت و گشتاور را بطور مستقل تحت کنترل قرار داد . با اعمال روش غیر مستقیم کنترل برداری علاوه بر حذف حسگرهای شار رتور موتور آسنکرون، می‌توان سرعت موتور را کنترل کرد.

بطور کلاسیک تغذیه موتور آسنکرون می تواند توسط اینورتر منبع ولتاژ و یا اینورتر منبع جریان تغذیه شود . در قدرت‌های بالا تغذیه موتور آسنکرون با کموتاتورهای جریان و اینورترهای جریان نسبت به اینورترهای ولتاژ ارجهیت دارد.

در ورودی اینورتر جریان، منبع جریان dc قرار دارد. دامنه و فرکانس جریان خروجی اینورتر جریان با روش کلیدزنی PWM کنترل می‌شود. در اینورتر جریان، از بانک خازن برای فیلتر کردن جریان خروجی اینورتر ، حذف پالس‌های سوزنی ولتاژ (ی اسپایک ولتاژ) و همچنین مسیری برای پیوستگی جریان موتور استفاده می‌شود.

در این پایان نامه یک درایو آسنکرون با استفاده از یک اینورتر جریان شبیه‌سازی و بطور عملی پیاده‌سازی شده است.

برای پیاده‌سازی اینورتر جریان از کلید قدرت IGBT و تراشه HCPL316J برای روشن کردن کلیدهای قدرت اینورتر استفاده شده است. برای حفاظت کلید قدرت در برابر ولتاژهای گذرای کلیدزنی از دیود سری و از یک مدار ضربه گیر استفاده شده است.

روش کلیدزنی و همچنین ساختمان قسمت های مختلف عملی در فصل انتهایی تشریح شده اند. نتایج عملی بدست آمده در مقایسه با نتایج شبیه‌سازی تحلیل و نتیجه‌گیری شده است.

کلمات کلیدی : موتور القایی، کنترل برداری، اینورتر جریان، کلید قدرت

ABSTRACT

Implementation of Vector Controlled Induction Motor Drives fed by Current Source Inverter (CSI)

Abbas Mohammadi

Using of vector control in induction machines, in the variable speed condition, improved these machines to be rival able with dc current machines.

In the vector control, direct controlling of Ids and Iqs separates flux and electromagnetic torque and similar to DC current machine, it will be possible to direct controlling of speed and torque.

By using of indirect method of vector controlling not also rotor flux sensor of Asynchron motor omits, but also the speed control of motor will be possible.

Classically Asynchron machine fills with voltage source inverter or current source inverter. In high powers, filling of Asynchron machine with current comotators and current inverters is prioritized to filling with voltage inverters.

In current inverter input, dc current source is placed. Output current's amplitude and frequency of current inverter is controlled with PWM switching method. In the current inverter, the bank of capacitor uses to filtering of output current of inverter, omission of spike pules of voltage and also a way to unity of motor/engine current is used.

In this thesis an Asynchron drive by using of a current inverter is simulated and practically drived. The power switches (IGBT) for driving the current inverter and HCPL316J chip for turning on the power switches of inverter is used. For safekeeping of power switch against the switching conditions the series diode and snubber circuit are used. Switching method and structure of different practical parts is described in last chapter. Results conducted from simulation and practical work is discussed and analyzed.

Key words : Induction Motor Drives, Vector Control, Current Source Inverter (CSI)

فصل اول

مقدمه

مقدمه

تکنولوژی الکترونیک قدرت [1] بهره‌وری و کیفیت فرآیند های صنعتی مدرن را بی وقفه بهبود می بخشد. امروزه با کمک همین تکنولوژی علاوه بر استفاده‌های کنترلی، امکان استفاده از منابع انرژی غیر آلاینده بازیافتی نظیر باد فراهم آمده است. با استفاده از الکترونیک قدرت حدود ۱۵ تا ۲۰ درصد امکان صرفه‌جویی در انرژی الکتریکی وجود دارد. در واقع با کاهش بی‌وقفه قیمت‌ها در عرصه الکترونیک قدرت، زمینه برای حضور آنها در کاربردهای صنعتی، حمل و نقل و حتی خانگی فراهم گردیده است.

نیروی محرکه بیشتر پمپ ها و فن ها، موتورهای القایی هستند که در دور ثابت کار می کنند. لیکن در سا ل‌های اخیر با پیشرفت‌های انجام گرفته در زمینه الکترونیک قدرت، استفاده از موتورهای القایی قفس سنجابی همراه با کنترل کننده های دور موتور [2]، رو به گسترش است.

اینورترها دستگاه‌هایی هستند که توان ورودی با ولتاژ و فرکانس ثابت را به توان خروجی با ولتاژ و فرکانس م تغیر تبدیل می - کنند. با استفاده از اینورتر می‌توان سرعت موتور القایی را تحت کنترل قرار داد.

در ادامه به مزایای استفاده از کنترل دور موتور اشاره می‌شود:

۱) کنترل کننده های دور قادرند موتور را نرم راه اندازی کنند که علاوه بر کاهش تنش های الکتریکی روی شبکه از شوک‌های مکانیکی به بار نیز جلوگیری می شود. این شوک‌های مکانیکی می تواند باعث استهلاک سریع قسمت های مکانیکی و قسمت‌هایی از بار شوند. راه‌اندازی نرم، هزینه‌های نگه‌داری را کاهش داده و به افزایش عمر مفید محرکه‌ها و قسمت‌های دوار منجر خواهد شد.

۲) افزایش جریان دریافتی از شبکه در هنگام راه اندازی موتور با استفاده از اینورتر، کمتر از ۱۰٪ جریان اسمی موتور است.

۳) کنترل کننده‌های دور موتور مجهز به فیلترهای ورودی، نیاز به تابلوهای اصلاح ضریب قدرت ندارند.

۴) در صورتی که نیاز بار ایجاب کند، با استفاده از کنترل کننده های دور، موتور می‌تواند در سرعت‌های پایین کار کند. کار در سرعت‌های کمتر منجر به کاهش هزینه‌های موتور و تعمیر و نگهداری می‌شود.

۵) یک کنترل دور مناسب قادر است رنج تغییرات دور را نسبت به سایر روش های مکانیکی تغییر دور ، به میزان قابل توجهی افزایش دهد.

---

[1] Power electronics
[2] Ac drives

در طراحی مدارهای قدرت اینورتر همواره باید چند نکته را در نظر داشت :

۱) طراحی اینورتر قدرت با در نظر داشتن نوع و مشخصات بار

۲) انتخاب نوع ماشین و کنترل مربوط با توجه به مشخصات بار

۳) انتخاب سوئیچ مناسب

۴) طراحی مدارهای حفاظتی کلیدها و ماشین

طراحی اینورتر قدرت با در نظر داشتن نوع و مشخصات بار

نوع بار الکتریکی، می تواند در انتخاب ساختار اینورتر موثر باشد. به طور کلی دو نوع اینورتر وجود دارد:

۱- اینورتر ولتاژ

۲- اینورتر جریان

اینورتر ولتاژ نیاز به منبع ولتاژ در ورودی دارد. اما اینورتر جریان به منبع جریانی ثابت و یا قابل کنترل نیاز دارد.

از کاربردهای اینورتر ولتاژ می توان محرکه های ac با تنظیم سرعت و منابع تغذیه با ولتاژ و فرکانس تنظیم شده را نام برد .

اینورتر جریان در کوره‌های القایی و کنترل سرعت ماشین‌های القایی قدرت بالا کاربرد وسیعی دارد.

کاربرد اینورتر جریان بدون فیدبک جریان برای محدود کردن جریان منبع جریان امکان پذیر نیست . اینورتر با تغذیه جریان دارای قابلیت اطمینان بیشتری بوده مشائلی نظیرخطای اتصال کوتاه در آن وجود ندارد . اتصال کوتاه لخظه‌ای در بار و آتش شدن اشتباهی کلیدهای قدرت قابل قبول هستند و رفع خطا توسط مدار گیت، ساده است.

مزایا و معایب اینورترهای ولتاژ و جریان نسبت به هم و نوع بار در خروجی اینورتر، در انتخاب نوع اینورتر موثر می‌باشد.

در کنترل سرعت موتور القایی، ولتاژ، جریان و فرکانس خروجی اینورتر باید طوری تنظیم شوند که بتوان سرعت موتور را در سرعت دلخواه ، تحت اعمال گشتاور بار، ثابت نگه داشت . برای محقق شدن این امر سیستم های کنترلی مختلفی وجود دارد . کنترل اسکالر و کنترل برداری از روش های رایج کنترل گشتاور و فلوی موتور می‌باشند. کنترل اسکالر دارای عملکرد حالت دائم خوبی بوده ولی پاسخ دینامیکی آن کند است. در کنترل برداری می توان دینامیک سیستم کنترلی را بهبود بخشید[۱].

ساختار اینورتر جریان و روش کنترل برداری غیرمستقیم در این پایان‌نامه مورد استفاده قرار گرفته است.

انتخاب سوئیچ مناسب

در سال‌های اخیر تکنولوژی ساخت قطعات الکترونیک قدرت پیشرفت چشم گیری داشته است. قطعات الکترونیک قدرت اخیر نظیر GTO[۳]، BJT[۴]، MOSFET[۵]، MCT[۶]، IGBT[۷] معرفی شده‌اند تا بتوان مبدل‌هایی با عملکرد خوب طراحی نمود.

انتخاب کلیدهای قدرت برای محرکه موتور های القایی مبتنی بر مشخصات الکتریکی جریان و ولتاژ خروجی اینورتر، میزان ولتاژ، جریان، فرکانس کلیدزنی، تلفات و مشخصه دینامیکی بار مورد نیاز می‌باشد[۲].

با توجه به نوع اینورتر و مشخصه ولتاژ و جریان خروجی اینورتر، نوع کلید و اتصالات آن نیز مشخص می شود. در اینورتر جریان مسئله ضربه ولتاژ و در اینورتر ولتاژ مسئله ضربه جریان در انتخاب کلید قدرت موثر است. در بین کلیدهای قدرت، IGBT به دلیل کارایی در فرکانس کلیدزنی متوسط،کاربرد در ولتاژ و جریان متوسط (قدرت متوسط)، همچنین دارا بودن قابلیت قطع و وصل با فرمان، در ساخت اینورتر جریان این پایان‌نامه مورد استفاده قرار گرفته است.

حفاظت و درایور کلید قدرت

هر کلید قدرت نیاز به فرمان آتش برای کلیدزنی دارد. میکروکنترلر یا هر پردازنده‌ای که فرمان اعمالی به اینورتر را تولید می-کند نیاز به مدار واسطی دارد تا با ایزوله کردن سیستم کنترلی و مدار قدرت، از آسیب رسیدن به سیستم کنترل جلوگیری کند.

مدار واسط علاوه بر حفاظت از سیستم کنترلی می بایست با افزایش قدرت و دامنه(ولتاژ و جریان) پالس کنترلی، شرایط مناسب برای عملکرد صحیح کلید قدرت را فراهم کند. مدار واسط بین ریزپردازنده و گیت کلید قدرت را درایور می‌نامند.

از معایب IGBT، می‌توان مدار درایور نسبتا پیچیده آن را نام برد. در این پایان‌نامه از تراشه‌ای به نام HCPL316J با مدارهای جانبی به عنوان درایور استفاده شده است. درایور پیشنهادی قابلیت آن را دارد که در صورت ایجاد خطا در مدار قدرت و فرمان ، به اپراتور اعلام خطا کرده، سیستم را خاموش و حفاظت کند[۳].

برای حفاظت کلید قدرت در برابر $\frac{dv}{dt}$ و $\frac{di}{dt}$ از مدارهای ضربه‌گیر موازی وسری استفاده می‌شود. البته با توجه به ساختار اینورتر جریان به دلیل وجود اندوکتانس سری استفاده از مدار ضربه گیر سری الزامی نمی‌باشد[۲].

استفاده از فیلتر خازنی در خروجی اینورتر جریان، برای فیلتر کردن جریان الزامی می‌باشد. این بانک خازن در محدود کردن ولتاژهای سوزنی در اثر کلیدزنی موثر بوده و خود می‌تواند وظیفه ضربه‌گیر در کلید قدرت را برعهده گیرد. انتخاب صحیح این خازن در عملکرد صحیح کلیدهای قدرت و اینورتر موثر است[۲].

---

[3] Gate turn off
[4] Bipolar junction transistor
[5] Metal oxide semiconductor field effect transistor
[6] Mos controlled thyristor
[7] Insulated gate bipolar transistor