به نام خدا

دانشگاه مازندران

مجتمع آموزش عالی فنی و مهندسی نوشیروانی بابل

دانشکده برق و کامپیوتر

موضوع :

ارائه الگوریتم شار بهینه در ماشینهای القایی دور متغیر وات بالا به منظور کمینه سازی تلفات

جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

رشته مهندسی برق – گرایش قدرت

استاد راهنما:

دکتر ابوالفضل رنجبر نوعی

نگارش :

احمدرضا گران

۸٤٥۱۷٥۱۱۰٤

تابستان ۸۷

بسم الله الرحمن الرحيم

به نام خدا

دانشگاه مازندران

مجتمع آموزش عالی فنی و مهندسی نوشیروانی بابل

دانشکده برق و کامپیوتر

موضوع :

ارائه الگوریتم شار بهینه در ماشینهای القایی دور متغیر وات بالا به منظور کمینه سازی تلفات

جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

رشته مهندسی برق – گرایش قدرت

استاد راهنما:

دکتر ابوالفضل رنجبر نوعی

استاد مشاور:

دکتر سعید لسان

نگارش:

احمدرضا گران

۸٤٥۱۷٥۱۱۰٤

تابستان ۸۷

تقدیم به پدر ، مادر و همسرم

بـا سـپاس و قـدردانی از راهنماییهـای ارزشمنداساتید گرامـی ، جنـاب آقـای دکتر ابوالفضل رنجبـر نـوعی و جنـاب آقای دکتر سعید لسان

چکیده :

انرژی امروزه به عنوان یـک کـالای تولیـدی دارای ارزش فـراوان بـوده کـه بهینـه مصرف کردن آن از شاخصه‌های توسعه هر کشور بوده، در این میان انرژی الکتریکی بـه عنوان یک انرژی پاک دارای جایگاه ارزشمندی در بین سایر انـرژی‌هـا دارد. موتورهـای القایی به عنوان تجهیزی که ۵۰٪ انرژی الکتریکی تولیدی را مـصرف مـی‌کنـد. کمینـه کردن تلفات آن با توجه به انقلاب در صـنعت الکترونیـک صـنعتی و ریزپردازنـده‌هـا و تعیین شار متناسب با بار قابلیت اجرایی به خود پیدا کرده.

در این راستا با تعریف یک الگوریتم مناسب، شار مناسب در جهـت کمینـه کـردن تلفات موتورهای القایی کنترل شده مبتنی بر میدان جهت بارگذاری مغناطیسی موتـور تعیین می‌شود.

کلید واژه :

موتور القایی ، کمینه سازی تلفات ، شار بهینه ، کنترلر جستجوگر

فهرست مطالب

عنوان | صفحه

فصل اول: مقدمه ۲

فصل دوم: مطالعه اصول کمینه‌سازی تلفات در درایو موتور القایی کنترل شده به روش FOC ۶

۲-۱-مقدمه ۷

۲-۲-پیش‌درآمدی بر موتورهای القایی ۷

۲-۳-بررسی روش‌های کنترل سرعت در موتورهای القایی ۹

۲-۳-۱-روش‌های اولیه کنترل موتورهای القایی ۱۰

۲-۳-۲- روش‌های جدید کنترل موتورهای القایی ۱۱

۲-۳-۲-۱-کنترلرهای اسکالر موتور القایی ۱۱

۲-۳-۲-۲-کنترلرهای برداری موتور القایی ۱۲

۲-۴-مطالعه کنترلر مبتنی بر میدان موتور القایی ۱۳

۲-۴-۱-ابداع کنترل مبتنی بر میدان ۱۴

۲-۴-۲-تئوری کنترل مبتنی بر میدان ۱۴

۲-۴-۳-کنترل مبتنی بر میدان به روش مستقیم ۱۸

۲-۴-۴-کنترل مبتنی بر میدان به روش غیرمستقیم ۲۱

۲-۵-تلفات در موتورهای القایی و روش‌های کاهش آن ۲۵

۲-۵-۱-بررسی تلفات در درایو موتور القایی ۲۷

۲-۵-۲-راهکارهای کاهش تلفات در موتورهای القایی ۳۰

۲-۵-۳-روش‌های کمینه‌سازی تلفات در درایو موتور القایی ۳۲

۲-۵-۳-۱-کمینه‌سازی تلفات مبتنی بر مدل موتور القایی ۳۴

۲-۵-۳-۲-کمینه‌سازی تلفات با استفاده از الگوریتم‌های جستجو ۳۷

۲-۵-۳-۳-کمینه‌سازی تلفات به روش ترکیبی ۳۹

۲-۶-بررسی تکنیک‌های جستجوی شار بهینه ۴۱

۲-۶-۱-تکنیک جستجوی پله‌ای ۴۲

۲-۶-۲-تکنیک جستجوی پله‌ای اصلاح شده ۴۴

۲-۶-۳-تکنیک جستجوی شیبی ۴۵

فصل سوم: مدل سیستم کمینه‌ساز تلفات درایو موتور القایی کنترل شده به روش FOC ۴۹

۳-۱-مقدمه ۵۰

۳-۲-معرفی کلی سیستم ۵۰

۳-۳-موتور القایی سه فاز ۵۲

۳-۴-مبدل الکترونیک قدرت ۵۹
۳-۵-سیستم اندازه‌گیری توان ورودی ۶۰
۳-۶-کنترل کننده مبتنی بر میدان ۶۱
۳-۶-۱-کنترلر شار ۶۴
۳-۶-۲-محاسبه‌گر جریان‌های مرجع در دستگاه مرجع روتور ۶۴
۳-۶-۳-محاسبه‌گر شار موتور ۶۴
۳-۶-۴-محاسبه‌گر سرعت و زاویه الکتریکی روتور ۶۵
۳-۶-۵-تخمین‌گر جریان شاخه مولد تلفات هسته ۶۶
۳-۶-۶-مبدل‌های دستگاه‌های مرجع جریان‌های استاتور ۶۶
۳-۶-۷-کنترلر کلیدزنی اینورتر ۶۷
۳-۷-کنترلر سرعت ۶۷
۳-۷-۱-کارکرد کنترلر سرعت در تعیین اولیه شار مرجع ۶۸
۳-۷-۲-کارکرد کنترلر سرعت در شروع پروسه جستجوی شار بهینه ۶۹
۳-۸-کنترلر جستجوگر شار بهینه (کنترلر راندمان بهینه) ۷۱
۳-۸-۱-الگوریتم جستجوی شار بهینه ۷۱
۳-۸-۲-ساختار کنترلر جستجوگر شار بهینه ۷۵

فصل چهارم: نتایج شبیه‌سازی سیستم کمینه‌ساز تلفات درایو موتور القایی کنترل شده به روش FOC ۷۷

۴-۱-مقدمه ۷۸

۴-۲-مدل سیستم کمینه‌ساز تلفات مورد استفاده در شبیه‌سازی ۷۹

۴-۲-۱-زمان‌های نمونه‌برداری سیستم ۸۱

۴-۳-بررسی مشخصه تغییرات توان ورودی بر حسب شار ۸۲

۴-۴-کمینه‌سازی تلفات در بارهای مختلف ۹۵

۴-۵-مشخصه تغییرات محدوده شار بهینه با بارموتور ۱۰۱

۴-۶-تأیید عملکرد سیستم کمینه‌ساز تلفات ۱۰۲

۴-۶-۱-نتایج تجربی ۱۰۳

۴-۶-۲-نتایج شبیه‌سازی سیستم کمینه‌ساز تلفات ارائه شده ۱۰۴

۴-۶-۳-مقایسه و نتیجه‌گیری ۱۰۵

فصل پنجم: نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهاد ۱۰۶

۵-۱-مقدمه ۱۰۷

۵-۲-نتیجه‌گیری ۱۰۷

۵-۳-ارائه پیشنهاد ۱۰۹

مراجع و منابع ۱۱۰

پیوست‌ها ۱۱۲

پیوست «الف»: تبدیلات دستگاه مرجع ۱۱۲

پیوست «ب»: نمادها و اختصارات بکار رفته در متن ۱۱۳

پیوست «ج»: مشخصات موتور مورد استفاده در فصل چهارم ۱۱۵

پیوست «د»: مشخصات موتور مورد استفاده در [۲] ۱۱۶

چکیده لاتین ۱۱۷

فهرست جداول

عنوان صفحه

۴-۱-زمان‌های نمونه‌برداری سیستم ۸۲

۴-۲-تغییرات تلفات هسته و سیم‌پیچی موتور القایی بر حسب شار مرجع در ۱۰٪ بار نامی ۸۶

۴-۳-تغییرات تلفات هسته و سیم‌پیچی موتور القایی بر حسب شار مرجع در ۲۵٪ بار نامی ۸۹

۴-۴-مشخصه سیستم کمینه‌ساز تلفات در سرعت ۱۲۰۰ دور در دقیقه ۹۷

۴-۵-محدوده شار بهینه برای بارهای مختلف ۱۰۱

۵-۱-نمادهای موتور القایی ۱۱۳

۵-۲-مشخصات موتور مورد استفاده در شبیه‌سازی‌های فصل ۴ ..... ۱۱۵

۵-۳-مشخصات موتور مورد استفاده در [۲] ۱۱۶

فهرست اشکال

عنوان | صفحه

۲-۱-مدل موتور القایی در دستگاه گردان ۱۵

۲-۲-سیستم کنترل مبتنی بر میدان به روش مستقیم ۱۹

۲-۳-بلوک دیاگرام سیستم کنترل موتور القایی به روش DFOC ۲۱

۲-۴-سیستم کنترل مبتنی بر میدان به صورت غیرمستقیم ۲۲

۲-۵-شمای روش کنترل مبتنی بر شار غیرمستقیم ۲۳

۲-۶-تقسیم‌بندی تلفات موتور ۲۹

۲-۷-بلوک دیاگرام سیستم کمینه‌ساز تلفات مبتنی بر مدل موتور القایی ۳۴

۲-۸-بلوک دیاگرام سیستم کمینه‌ساز تلفات با استفاده از کنترلر جستجوگر شار بهینه ۳۸

۲-۹-مدار معادل موتور القایی جهت تخمین مقدار بهینه اولیه در روش هیبرید ۴۰

۲-۱۰-بلوک دیاگرام تخمین اولیه روش کمینه‌سازی تلفات به روش هیبرید ۴۱

۲-۱۱-اصول عملکرد کنترلر جستجوگر شار در روش پله‌ای ۴۲

۲-۱۲-فلوچارت تکنیک جستجوی شار به روش پله‌ای ۴۴

۲-۱۳-شیب‌های مختلف تکنیک جستجوی شیبی مؤلفه جریان مولد شار بهینه ۴۶

۲-۱۴-فلوچارت تکنیک جستجوی شار به روش شیبی ۴۸

۳-۱-بلوک دیاگرام کلی سیستم ۵۰

۳-۲-مدار معادل dq ماشین القایی در دستگاه مرجع گردان با سرعت ω ۵۲

۳-۳-مدار معادل تک‌فاز موتور القایی سه فاز قفس سنجابی ۵۶

۳-۴-مدل موتور القایی در محیط نرم‌افزار سیمولینک ۵۷

۳-۵-ساختار بلوک شبیه‌ساز الکتریکی ولتاژ و جریان مدل موتور القایی ۵۷

۳-۶-ساختار مکانیکی مدل موتور القایی ۵۸

۳-۷-ساختار الکتریکی مدل موتور القایی ۵۸

۳-۸-شمای سیستم محاسبه‌گر توان ورودی ۶۰

۳-۹-بلوک دیاگرام کلی کنترل مبتنی بر میدان ۶۱

۳-۱۰-بلوک دیاگرام کنترل مبتنی بر میدان اصلاح شده با در نظر گرفتن اثر تلفات هسته ۶۳

۳-۱۱-نمودار مورد استفاده برای پیش تعیین شار توسط کنترلر سرعت..... ۶۹

۳-۱۲-مدل سیستم راه‌انداز کنترلر جستجوگر (SCS) ۷۰

۳-۱۳-فلوچارت الگوریتم کمینه‌سازی تلفات در سیستم ۷۴

۳-۱۴-بلوک دیاگرام کنترلر جستجوگر شار بهینه ۷۵

۴-۱-بلوک دیاگرام سیستم شبیه‌سازی شده ۸۰

۴-۲-مشخصه تغییرات سرعت و گشتاور خروجی موتور القایی کنترل شده با FOC متداول ۸۳

۴-۳-منحنی تغییرات توان ورودی – شار در بی‌باری و سرعت ۱۲۰۰ دور در دقیقه ۸۵

۴-۴-منحنی تغییرات توان ورودی – شار در ۵٪ بار نامی و سرعت ۱۲۰۰ دور در دقیقه..... ۸۵

۴-۵-منحنی تغییرات توان ورودی – شار در ۱۰٪ بار نامی و سرعت ۱۲۰۰ دور در دقیقه ۸۵

۴-۶- تغییرات تلفات موتور بر حسب شار در ۱۰٪ بار نامی و سرعت ۱۲۰۰ دور در دقیقه ۸۷

۴-۷- منحنی تغییرات توان ورودی – شار در ۱۵٪ بار نامی و سرعت ۱۲۰۰ دور در دقیقه ۸۸

۴-۸- منحنی تغییرات توان ورودی – شار در ۲۰٪ بار نامی و سرعت ۱۲۰۰ دور در دقیقه ۸۸

۴-۹- منحنی تغییرات توان ورودی – شار در ۲۵٪ بار نامی و سرعت ۱۲۰۰ دور در دقیقه ۸۹

۴-۱۰-تغییرات تلفات موتور بر حسب شـار در ۲۵٪ بار نامـی و سـرعت ۱۲۰۰ دور در دقیقه ۹۰

۴-۱۱- منحنی تغییرات توان ورودی – شـار در ۳۰٪ بار نامـی و سـرعت ۱۲۰۰ دور دردقیقه ۹۱

۴-۱۲- منحنی تغییرات توان ورودی – شـار در ۳۵٪ بار نامـی و سـرعت ۱۲۰۰ دور دردقیقه ۹۱

۴-۱۳- منحنی تغییرات توان ورودی – شـار در ۴۰٪ بار نامـی و سـرعت ۱۲۰۰ دور دردقیقه ۹۱

۴-۱۴- منحنی تغییرات توان ورودی – شـار در ۴۵٪ بار نامـی و سـرعت ۱۲۰۰ دور در دقیقه ۹۲

۴-۱۵- منحنی تغیـیرات توان ورودی – شـار در ۱۰٪ بار نامـی و سـرعت ۳۰۰ دور در دقیقه ۹۲

۴-۱۶- منحنی تغییرات تـوان ورودی – شـار در ۱۰٪ بار نامـی و سـرعت ۷۵۰ دور در دقیقه ۹۳

۴-۱۷- منحنی تغییرات توان ورودی – شـار در ۱۰٪ بار نامـی و سـرعت نامی ۹۳

۴-۱۸-مشخصه عملکرد کنترلر کمیـنه‌ساز تلفـات در بی‌باری و سرعت ۱۲۰۰ دور در دقیقه ۹۶

۴-۱۹-منحنی شار بهینه بر حسب گشتاور، در سرعت ۱۲۰۰ دور در دقیقه ۹۸
۴-۲۰-تغییرات دینامیکی سیستم، در سرعت ثابت rpm ۱۲۰۰ و تغییر گشتاور بار از ٪۴۰ به ٪۲۰ مقدار نامی ۹۹
۴-۲۱-تغییرات دینامیکی سیستم، در بار ثابت ٪۴۰ نامی و تغییر سرعت از ۱۲۰۰ به ۷۵۰ دور در دقیقه ۱۰۰
۴-۲۲-منحنی محدوده شار بهینه بر حسب گشتاور، جهت به حداقل رساندن تلفات سیستم ۱۰۲
۴-۲۳-نتایج تجربی کمینه‌سازی تلفات [۲] ۱۰۳
۴-۲۴-نتایج شبیه‌سازی سیستم کمینه‌ساز تلفات ارائه شده ۱۰۴

فصل اول

مقدمه

مقدمه

با توجه به مزایایی همچون مقاومت بالا[1]، قیمت نسبتاً کم، سایز کوچک و حداقل نیاز بـه نگهـداری، موتورهای القایی به وفور در صنعت مورد استفاده قرار می‌گیرند. مشکل کنترل این دسته از موتورها، به ویژه در کاربردهای سرعت متغیر، که بزرگترین نقطه ضعف موتورهای القایی به حساب مـی‌آیـد، نیز با معرفی تکنیک‌های کنترل کارآمد، برطرف شده است؛ به گونه‌ای که بـا اسـتفاده از روش‌هـای کنترل‌برداری، به سادگی می‌توان موتورهای القایی را در دستگاه مرجع گردان بـا سـرعت سـنکرون، دقیقاً مشابه موتورهای جریان مستقیم تحریک جداگانه[2] کنترل نمود.

در حال حاضر، درایوهای جریان متناوب که از موتورهای القایی استفاده می‌کنند، با اقبال روزافزونی در کاربردهای صنعتی دور متغیر مواجهند، گسترش استراتژی‌های کنترلی کارآمـد بـرای درایوهـای جریان متناوب در دو دهه اخیر انقلابی را در کاربرد موتورهای القایی در صنعت ایجاد نمـوده اسـت. یکی از پرکاربردترین این استراتژی‌ها، تکنیک کنترل مبتنی بر میدان[3] موتور القـایی مـی‌باشـد، کـه امروزه در تولید درایوهای موتور القایی، فراوان مورد استفاده قرار می‌گیرد، بـا اسـتفاده از ایـن روش امکان کنترل ساده و مستقل موتور القایی، مشابه موتور جریان مستقیم تحریک جدا فراهم می‌شود؛ این مشخصه جالب، مهمترین مزیت کنترل مبتنی بر میدان بر سایر تکنیک‌های کنترل موتور القایی به حساب می‌آید، و حتی سبب می‌شود، بعضاً از کنترل مبتنی بـر میـدان بـه عنـوان بهتـرین روش کنترل موتور القایی یاد کنند [۱].

با این اوصاف موتورهای القایی کماکان عیب نسبتاً بزرگی دارند، و آن نیز به بازده کم ایـن موتورهـا، به خصوص در بارهای سبک، باز می‌گردد. این یکی از دلایل مهمی است که سبب افزایش محبوبیت

[1]. Robustness
[2]. Separately excited DC motor
[3]. Field Oriented Control (FOC)