٤٨٥١٢

دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکده برق و کامپیوتر

بهینه سازی همزمان راندمان و ضریب قدرت موتور القائی در بارهای کمتر از نامی توسط یک روش کنترل هوشمند

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی برق – قدرت

۱۳۸۲ /۷۱ ۲۰

فرهاد خائفی

استاد راهنما
دکتر مهدی معلم

۱۳۸۱

٤٨٥١٤

دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکده برق و کامپیوتر

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته برق (قدرت) آقای فرهاد خائفی تحت عنوان

بهینه سازی همزمان راندمان و ضریب قدرت موتور القائی در بارهای کمتر از نامی توسط یک روش کنترل هوشمند

در تاریخ ۱۳۸۱/۱۲/۲۶ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهائی قرار گرفت.

۱- استاد راهنمای پایان نامه — دکتر مهدی معلم

۲- استاد مشاور پایان نامه — دکتر محمد ابراهیمی

سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده — دکتر علیمحمد دوست حسینی

تشکر و قدردانی

شکر و سپاس ایزد منان را که به من توفیق کسب علم و درک گوشه ای از زیبائیهای عالم هستی را عطا فرمود.

اکنون که این تحقیق به پایان رسیده است جا دارد از زحمات جناب آقای دکتر مهدی معلم استاد راهنمای عزیزم بی نهایت تشکر و قدردانی نمایم. بی گمان راهنمائیهای ایشان گره گشای مشکلات فراوان راهم بود. همچنین از زحمات جناب آقای دکتر محمد ابراهیمی استاد مشاور خود بخاطر قبول مشاورت این پایان نامه خاضعانه متشکرم.

ضمناً از زحمات و راهنمائیهای جناب آقای دکتر کارگر که در طول این دوره تحصیلی همواره از وجودشان بهره برده ام کمال تشکر و قدردانی را دارم.

از آقایان دکترسید مرتضی سقائیان نژاد و دکترحمید رضاکارشناس که بعنوان اساتید داور جلسه ارائه پایان نامه اینجانب را رسمیت بخشیدند بسیار سپاسگزارم.

همچنین از زحمات دکتر علیمحمد دوست حسینی مسئول تحصیلات تکمیلی دانشکده برق و کامپیوتر کمال تشکر را دارم. ضمناً از زحمات خانم دیباجی مسئول دفتر تحصیلات تکمیلی دانشکده برق و کامپیوتر نیز تشکر می نمایم.

از خواهر عزیز و بزرگوارم که در تنظیم نهائی این پایان نامه مرا یاری داده اند نیز، صمیمانه متشکرم.

بی شک گذراندن این دوره بدون همکاری و همراهی خانواده و دوستان ارجمندم امکانپذیر نبود لذا از خداوند متعال موفقیت و بهروزی این عزیزان را نیز خواهانم.

انه ولی التوفیق

فرهاد خائفی

اسفند ماه ۱۳۸۱

تقدیم به

اسطوره های صبرو استقامت

پدر و مادر عزیزم

و تقدیم به

روان پاک و معصوم برادرم

و تقدیم به

خواهران مهربانم

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعـــات، ابتکارات و نوآوریهای ناشی از تحقیق موضوع این پـایـــان نامه متعلق به دانشگـــاه صنعتـــی اصفهان است.

فهرست مطالب

عنوان | صفحه

فهرست ..... هشت
چکیده ۱

فصل اول : مقدمه

۱- ۱- مقدمه ۲
۱-۲-هدف و شرح مسئله ۳
۱-۲-۱ اندازه گیری توان ورودی ۴
۱-۲-۲- روش مدل تلفات ۴
۱-۲-۳- روش کنترل حالت ساده ۴
۱-۲-۴- استفاده از جداول جستجو ۴
۱-۳- تاریخچه ۵
۱-۴- ساختار پایان نامه ۷

فصل دوم : موتور القائی، تئوری ، کاربردها و عملکرد

۲- ۱- مقدمه ۸
۲- ۲- عملکرد موتور القائی سه فاز ۸
۲-۲-۱- فاصله هوائی در موتور القائی ۱۰
۲-۳- کنترل سرعت موتور موتور القائی ۱۰
۲-۴- مدار معادل حالت دینامیکی ۱۰
۲-۵- تاثیر اشباع در عملکرد موتور القائی ۱۴
۲-۵-۱- مدل سازی اشباع در مدارمعادل حالت دائمی ۱۴
۲-۵-۲- اعمال اثر اشباع در معادلات دینامیکی ۱۵
۲-۶- تغییر پارامترهای موتور القائی با اثر پوستی ۱۶
۲-۷- تجزیه و تحلیل تلفات موتور القائی با تغذیه سینوسی ۱۸
۲-۷-۱-تلفات مس ۱۹
۲-۷-۲-تلفات آهن ۱۹
۲-۷-۳-تلفات سرگردان ۲۱
۲-۷-۴-تلفات اصطکاک و تهویه ۲۳
۲-۸- بررسی مولفه های تلفات موتور القائی در شرایط مختلف کاری ۲۳

فصل سوم: روشهای بهینه سازی راندمان

۳-۱- مقدمه ۳۰
۳-۲- اصلاح در ساختار ماشین ۳۱
۳-۳- روشهای کنترلی جهت بهینه سازی راندمان ۳۲
۳-۳-۱- بهینه سازی راندمان با فرکانس ثابت و ولتاژ متغیر ۳۵
۳-۴- روش مدل تلفات ۳۸
۳-۵- روش مدل ضریب قدرت ۴۳
۳-۶- روش مدل جستجو گر حداقل تلفات ۴۴
۳-۸- روش جداول جستجو ۴۵
۳-۹- مقایسه بین روشهای مختلف بهینه سازی ۴۵

فصل چهارم: عملکرد موتور القائی با کنترل کننده ولتاژ

۴-۱- مقدمه ۴۷
۴-۲-کنترل کننده ولتاژ متناوب ۴۷
۴-۳-کنترل کننده های تمام موج تکفاز ۴۹
۴-۳-۱- عملکرد موتور القائی با کنترل کننده ولتاژبا استفاده از مدار معادل حالت دائمی ۵۲
۴-۳-۲- بدست آوردن مدار معادل برای کنترل کننده ولتاژ ۵۴
۴-۴- کنترل کننده های ولتاژمتناوب سه فاز ۶۰
۴-۴-۱ تجزیه و تحلیل موتور القایی با کنترل کننده ولتاژAC ۶۱
۴-۵- ضریب قدرت در تغذیه غیر سینوسی ۷۰
۴-۶- مقایسه بین منحنی گشتاور سرعت در تغذیه سینوسی و تغذیه باکنترل کننده ولتاژ ۷۲
۴-۷- هارمونیک های موجود در موتور القائی ۷۴
۴-۷-۱- هارمونیک های زمانی ۷۴
۴-۷-۲- ضربانهای گشتاور ناشی از هارمونیک های زمانی ۷۶
۴-۷-۳- هارمونیک های مکانی ۷۸
۴-۷-۴- تاثیر هارمونیک های زمانی بر اشباع ۷۹
۴-۸- تلفات موتور القائی در تغذیه غیر سینوسی ۸۰
۴-۸-۱-تلفات مسی ۸۰
۴-۸-۲-تلفات آهن ۸۱
۴-۸-۳-تلفات سرگردان ۸۱

فصل پنجم: بهینه سازی همزمان ضریب قدرت و راندمان در موتور القائی

۵-۱- مقدمه ۸۳
۵-۲- راندمان و ضریب قدرت در تغذیه با کنترل کننده ولتاژ ۸۳
۵-۳- بهینه سازی همزمان ضریب قدرت و راندمان در موتور القائی ۸۶
۵-۴- کنترل راندمان و ضریب قدرت با کنترلر جستجوگر ۹۲
۵-۵- کنترل کننده های فازی ۹۶
۵-۵-۱- فازی کردن مقادیر عددی ۹۸
۵-۵-۲- غیر فازی سازی ۹۹
۵-۵-۳- موتور استنتاج فازی ۱۰۰
۵-۶- اعمال کنترل کننده های فازی جهت بهینه سازی ۱۰۰

فصل ششم: نتیجه گیری و پیشنهادات

۶-۱- بحث و نتیجه گیری ۱۰۸
۶-۲- پیشنهادات ۱۰۹
پیوست الف ۱۱۱
منابع و مراجع ۱۱۳

چکیده

افزایش قیمت انرژی انگیزه اصلی برای یافتن روشهای بهینه سازی راندمان می باشد، راندمان و ضریب قدرت موتورهای القایی در بارهای کمتر از بار نامی کاهش می یابند، علت این امر ثابت ماندن تلفات هسته و کاهش لغزش به ازاء کاهش بار می باشد. یکی از روشهای بهبود راندمان در موتورهای القایی کاهش ولتاژ تغذیه می باشد، چرا که تلفات هسته که با شار موتور رابطه مستقیمی دارد، کاهش می یابد و در نهایت با متعادل شدن تلفات مسی و تلفات هسته، راندمان بهینه بدست خواهد آمد. کاهش ولتاژ تغذیه باعث افزایش ضریب قدرت موتور نیز می گردد. ولی کمترین تلفات (بیشترین راندمان) در ولتاژی بزرگتر از ولتاژمربوط به بیشترین ضریب قدرت رخ میدهد. از آنجا که بهای انرژی به ضریب قدرت موتور نیز بستگی دارد، لذا بهینه سازی همزمان ضریب قدرت و راندمان صرفه جویی بیشتری را در انرژی نسبت به بهینه نمودن راندمان و یا بهینه نمودن ضریب قدرت، به تنهایی به همراه خواهد داشت. در این پایان نامه روشی برای بهبود همزمان ضریب قدرت و راندمان معرفی گردیده است.برای کاهش ولتاژ موتورالقائی، توسط یک کنترل کننده ولتاژ تایریستوری تغذیه شده و تلفات ناشی از هارمونیک ها در جریان و ولتاژ موتور دقیقاً محاسبه شده است و در نهایت توسط کنترل‌کننده جستجوگرولتاژ بهینه برای موتور بدست آمده است. در ادامه برای کاهش نوسانات و کاهش زمان پاسخ گویی کنترل‌کننده ، از یک کنترل‌کننده فازی برای نیل به هدف فوق استفاده گردیده است.

مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران
تهیه مدارک

فصل اول

مقدمه

۱-۱ مقدمه

انگیزه اصلی برای افزایش راندمان در موتور های القائی کاهش هزینه انرژی مصرفی است.با کاهش تلفات (افزایش راندمان) هزینه کل سیستم کاهش می یابد. آمار نشان میدهد که موتورهای الکتریکی در حدود ۵۶٪ کل انرژی الکتریکی جهان را مصرف میکنند. از این بین ۹۶٪ مصرف انرژی توسط موتورهای القایی صورت می پذیرد. بدین ترتیب حدود ۵۴٪ کل انرژی الکتریکی در جهان توسط موتورهای القایی مصرف می گردد. [۱]

امروزه به طور عمده از سه روش متفاوت جهت کاهش تلفات در موتورهای الکتریکی استفاده می شود که عبارتند از : [۲و۱]

۱) انتخاب و طراحی موتور(برای مثال استفاده از موتورهای راندمان بالا و موتورهای بزرگ)

۲) بهبود در شکل موج منبع تغذیه موتور (برای مثال استفاده از راکتور برای کاهش ریپل در جریان آرمیچر در درایوهای dc ، و استفاده از تکنیک های تغییر شکل موج[1] برای کاهش دادن هارمونیکهای موجود در جریان و ولتاژ اینورترها و یا برشگرهای ولتاژ تغذیه کننده موتور)

1-Wave Shaping

۳) استفاده و بکارگیری روشهای کنترلی مناسب

موتورهای القایی در شرایط نامی دارای راندمان بالایی می باشند. در بسیاری از کاربردها ممکن است موتور از نقطه کار نامی فاصله بگیرد و در این شرایط امکان کاهش تلفات یا بهبود راندمان توسط دو روش اولیه فوق امکان پذیر نمی باشد. بنابر این تنها الگوریتم مناسب جهت بهبودی راندمان استفاده از روش سوم و انتخاب یک کنترل مناسب بر روی موتور می باشد.

۱-۲ هدف و شرح مسئله

با کاهش بار ماشین و دور شدن از نقطه کار نامی ،راندمان موتور القائی به شدت افت می نماید. علت این امر ثابت ماندن تلفات هسته و یا به عبارتی عدم تعادل بین تلفات مس و تلفات هسته موتور می باشد. ایده اصلی بهینه سازی راندمان در موتورهای القائی تحت بارهای کمتر از بار نامی ایجاد تعادل مابین تلفات مس و تلفات هسته موتور می باشد.

همانگونه که میدانیم با کاهش گشتاور بار بر روی موتور القائی جریان موتور افت نموده و این امر باعث کاهش تلفات مسی می گردد.در صورتی که تلفات هسته در این شرایط ثابت باقی می ماند.بنابراین اگر توسط روشی بتوانیم تلفات هسته را تحت این شرایط کاهش دهیم،راندمان موتور افزایش می یابد.

تلفات هسته در موتورهای القائی رابطه مستقیمی با شار فاصله هوائی دارد؛که شار فاصله هوائی نیز متناسب باولتاژ و فرکانس منبع تغذیه موتور می باشد.بنابراین تنها روش موجود برای کاهش تلفات هسته، کاهش شار فاصله هوائی موتور است.

شار فاصله هوائی را میتوان به دو روش زیر کاهش داد:

الف) کاهش ولتاژ تغذیه موتور در فرکانس ثابت.

ب) کاهش ولتاژ تغذیه موتور در فرکانس متغیر.

روشهای فوق مبنای دست یابی به راندمان بهینه تحت بار کاهش یافته در موتور القائی می باشند.

علاوه بر کاهش راندمان موتور های القائی در بارهای سبک، ضریب قدرت موتور نیز دچار افت شدیدی می گردد.که این امر به دلیل کاهش لغزش موتور نسبت به لغزش نامی بوجود می آید.

مناسبترین و مرسوم ترین روش کنترل موتور القائی در رنج وسیعی از سرعت و گشتاور،روش V/f ثابت می باشد. ولی در این روش به علت ثابت ماندن شار ماشین در هر گشتاور باری، امکان افزایش راندمان در بار کاهش یافته مهیا نمی گردد.برای نیل به این هدف بطور کلی چهار روش متفاوت وجود دارد که در ادامه آورده شده اند. [۲،۳،۴]

۱-۲-۱ اندازه گیری توان ورودی

این روش به روش جستجو گر حداقل تلفات[1] (SC) نیز مشهور است.در این روش کنترل ،توان ورودی (و یا متغیر معادل با آن) در گشتاور و سرعت معین ،تا زمانی که به یک نقطه مینیمم برسد، کاهش می یابد. وجود یک حلقه کنترل سرعت نیز الزامی است ،تا زمانی که توان ورودی کاهش می یابد، سرعت موتور و در نتیجه توان خروجی آن ثابت بماند. در این روش نیازی به دانستن هیچ یک از پارامترهای ماشین نیست .مشکل عمده این روش کند بودن عملیات جستجوونیز همگرائی حول نقطه بهینه میباشد،زیرا بدلیل صاف و هموار بودن منحنی توان ورودی حول نقطه بهینه این کنترلر قادر نیست به طور موفق نقطه کار بهینه را پیدا نماید . در یک سیستم واقعی این کنترلر به یک حالت دائمی نرسیده و باعث می گردد شار حول نقطه بهینه مرتباً در نوسان باشد که این امر سبب بوجود آمدن اختلال در گشتاور ماشین می گردد.

۲-۲-۲ روش مدل تلفات

این روش به کنترلر مدل تلفاتLMC[2] نیزمشهور می باشد، در این روش تلفات بر حسب شار فاصله هوائی وتوسط پارامترهای موتور محاسبه گردیده و از آن نقطه کاربهینه بدست می آید و کنترل کننده موتور را در آن نقطه کار قرار می دهد. مطالعات نشان می دهد محاسبات ریاضی حجیم و اندازه گیری پارامترها عملاً این روش را با مشکل مواجه می سازد.

۱-۲-۳ روش کنترل حالت ساده

در این روش ضریب قدرت موتور را ثابت فرض می نمایند و با استفاده از این ایده نقطه کار بهینه موتور را بدست می آورند.از آنجا که اندازه گیری ضریب قدرت ساده است این روش به عنوان یک روش ارزان و ساده کنترل راندمان بهینه مطرح است.

۱-۲-۴ استفاده از جداول جستجو

در این روش ابتدا بایستی موتور را در کلیه شرایط کاری ممکنه آزمایش نمود و با توجه به نتایج آزمایشات جدولی تهیه کرد که برای هر نقطه کار اطلاعات لازم برای کار در نقطه بهینه را در بر داشته باشد. این جدول در حافظه میکروپروسسور ذخیره گشته و در زمان کار موتور نقطه بهینه از آن استخراج شده وکنترل کننده موتور را در آن نقطه قرار می دهد. در این روش اندازه گیری های مربوط به تهیه جدول مراجعه بسیار زمان بر و هزینه بر است.[۱،۴]

1-Search Controller 2- Loss Model Controller
3-Simple State Model 4-Look Up Table

هدف بهینه سازی راندمان ،کاهش بهای انرژی و صرفه جوئی در انرژی مصرفی می باشد.در موتور های القائی پارامتر دیگری که در هزینه و بهای انرژی مصرفی موثر می باشد، ضریب قدرت موتور است .به گونه ای که هر چه ضریب قدرت به واحد نزدیکتر باشد، بهای توان راکتیو موتورکمتر خواهد بود.

هدف این پروژه بهبود راندمان و ضریب قدرت موتور با استفاده از کاهش ولتاژ تغذیه در فرکانس ثابت می باشد.تغییرات در ولتاژ موتور فقط با قرار گرفتن یک کنترل کننده ولتاژAC بین منبع و موتور امکان پذیر است.تلفات کنترل کننده ولتاژ و تلفات اضافی موتور ناشی از هارمونیک ها ی ولتاژ باعث کاهش صرفه جوئی در انرژی می گردد. در تحقیق صورت گرفته با استفاده از یکی از روشهای کنترلی فوق علاوه برراندمان موتور، ضریب قدرت را نیز در بارهای کم بهبود خواهیم داد.در حقیقت کنترلر ولتاژی را به ماشین اعمال می نماید ،که تحت آن ولتاژ هزینه بهای مصرفی انرژی در موتور مینیمم گردد.قابل ذکر است که در این حالت نه راندمان و نه ضریب قدرت در مقادیر ماکزیمم خود نیستند.

در این راستا موتور القائی در حالت دائمی، هم با تغذیه سینوسی و هم با تغذیه غیر سینوسی با استفاده از کنترل کننده ولتاژ شبیه سازی شده است .اثر اشباع و تغییر پارامترهای موتور با تغییرات شار فاصله هوائی و نیز تغییر مقاومتها در تغذیه غیر سینوسی، به دلیل پدیده پوستی مدل سازی شده اند.و در پایان ایده بهینه سازی و کاهش بهای انرژی مصرفی بر روی موتور های با توان نامی مختلف بررسی و مقایسه می گردد.

۱-۳ تاریخچه

ایده اولیه افزایش راندمان در موتور القائی اولین بار در سال ۱۹۷۷ توسط فرانک نولا در قالب کنترل کننده ضریب قدرت ارائه گردید. وی بیان نمود که اگر بتوان تعادل مناسبی مابین تلفات بی باری و تلفات بار کامل موتور هنگامی که موتور تحت باری کمتر از بار نامی کار می کند ، برقرار گردد میزان قابل توجهی انرژی ذخیره می شود. وی با تغییر ولتاژ ورودی و ثابت نگه داشتن ضریب قدرت به راندمان بهینه مورد نظر دست یافت[۵] .

از آن به بعد رفتار موتور القائی در شار تقلیل یافته در درایوهای اسکالر و برداری موتور القائی بررسی گردیدو همانگونه که بیان شد در هر یک از مطالعات از یکی از روشهای کنترلی مدل تلفات و یا مدل کنترل جستجوگر استفاده گردید.

در سال۱۹۸۴، با استفاده از مدل حالت دائمی موتور القائی تحلیل مفصلی از تغییر مؤلفه های تلفات موتور القائی در سرعت ها و بارهای مختلف ارائه گردید. نتیجه این تحلیل ها نشان داد که بهترین بهبودی درگشتاور نامی زمانی رخ میدهد که موتور در سرعتی کمتر از سرعت نامی کار کند.دراین روش توسط

ترکیبی از ولتاژ وفرکانس ، شار بهینه محاسبه و به موتور اعمال می گشت .[۵، ۶]

در سال ۱۹۸۵، روشی برای مینیمم نمودن توان ورودی توسط کاهش شار در گامهایی در حدود ۰/۰۴ پریونیت ارائه شدکه اساس کنترل جستجوگر بود.با اینحال که این روش بسیار ساده بود ولی مسئله گشتاور ضربانی به علت نوسان کنترلر حول نقطه بهینه ، غیر قابل اجتناب بود .[۱، ۵]

در سال ۱۹۸۸، با استفاده از لغزش بهینه که به روش سعی و خطا بدست می آمد و در یک میکروپروسسور ذخیره می گشت ، راندمان بهینه محاسبه شد. دراین روش که یک روش غیر مستقیم برای مینیمم نمودن توان ورودی است لغزش از یک جدول جستجو بدست می آمد.

در سال ۱۹۹۱، با استفاده از مؤلفه هارمونیک سوم شار فاصله هوایی و روش کنترل برداری، ازجریان شار i_{ds} برای مینیمم نمودن توان ورودی استفاده شد. [۷]

در سال ۱۹۹۶ با استفاده از درایو اسکالردر حالت دائمی و به روش کنترل جستجوگر مسئله بهینه سازی مورد بررسی قرار گرفت.در این روش به جای مینیمم کردن توان ورودی از مینیمم نمودن جریان استاتور استفاده شد .[۸]

در سال ۲۰۰۱، روشی ارائه گردید که بر اساس الگوریتمی به نام "Golden Section" استوار بود.با استفاده از این روش زمان رسیدن به نقطه بهینه در کنترلر جستجو گر کاهش داده شد، الگوریتم مطرح شده بسیار سریع و احتیاج به محاسبات وسیع نداشت. مزیت دیگر این روش این بود که در طول عملیات جستجو ، به داشتن گشتاور و سرعت احتیاجی نبود.[۱]

تمامی مطالعات فوق بر اساس کنترل جستجوگر استوار بود.با استفاده از روش مدل تلفات نیز مطالعاتی صورت گرفته است .بوسیله این روش در سال ۱۹۹۲، و با استفاده از تابع هدفی که معرف تلفات مس و آهن موتور بود و قیدهای لازم جهت بهینه سازی و توسط روش کنترل برداری شار بهینه ، بصورت On-Line محاسبه شده و به موتور اعمال می گردید.[۹]

درسال ۱۹۹۴، یک روش ساده با استفاده از مدل d-q ماشین بیان گردید. که در آن تلفات آهن و مس به صورت تابعی از جریان استاتور، i_{qs} و i_{ds} بیان شد و در یک سرعت و گشتاور معین، جریان i_{ds} که معرف شار ماشین می باشد ، مینیمم می گردید.[۱۰]

در سال ۱۹۹۶ ، با استفاده از کنترل اسکالر، تلفات کلی موتور بر حسب شار محاسبه شد و شار بهینه ای که تلفات را حداقل می کرد ، بدست آمد. دراین مدل تاثیرات اشباع و تغییر پارامترها با اشباع در نظر گرفته شده بود.[۱۱]