

چکیده :

در این تحقیق به تشخیص بلادرنگ خطای شکستگی میله روتور، در موتور القایی قفس سنجابی سه فاز پرداخته شده است. از آنجاکه شکستن میله به صورت همزمان با عملکرد موتور در شرایط واقعی امکان پذیر نیست، برای این منظور از آنالیز عددی میدان مغناطیسی با هدف تولید داده‌های قابل اطمینانی که توسط روش‌های مدرن پردازش سیگنال و روش‌های نرم‌افزاری آنالیز می‌شوند، استفاده شده است.

در این راستا، یک موتور القایی قفس سنجابی در محیط ماکسول دوبعدی شبیه‌سازی شده و پس از رسیدن موتور به شرایط حالت ماندگار ناگهان یکی از میله‌های روتور شکسته می‌شود. درست در لحظه وقوع خطا به کمک تبدیل موجک گسسته به مشاهده تغییرات مولفه‌های هارمونیک وابسته به خطا در سیگنال جریان استاتور، پرداخته شده است. ایده اصلی در این روش بدست آوردن امیدانس متناسب با خطای شکستگی میله روتور در محیط مطلب به کمک الگوریتم بهینه‌سازی تکامل دیفرانسیلی است.

همچنین در این تحقیق، به بررسی یک روش جدید برای افزایش وضوح در تشخیص خطا، به کمک فیلترهای تطبیقی پرداخته شده است. نشان داده شده است که به کمک فیلتر شکاف‌دار وفقی و با جداسازی سیگنال مولفه اصلی، می‌توان تغییرات مولفه‌های فرکانسی مربوط به خطا را با وضوح بیشتری در ضرایب موجک مشاهده کرد.

شبیه‌سازی‌ها و بررسی‌های انجام گرفته بخوبی تایید کننده روش‌های ارایه شده می‌باشند و نشان می‌دهند که بدرستی می‌توان خطای شکستگی میله روتور را بلافاصله پس از شکستن میله تشخیص داد.

کلمات کلیدی: المان محدود، تبدیل موجک، تشخیص خطا، فیلتر شکاف‌دار وفقی، موتور القایی

فهرست مطالب

صفحه

عنوان

فصل اول : مقدمه

۱-۱- مقدمه ۱

فصل دوم : بررسی فظاهای معمول در ماشین‌های القائی

۱-۲- مقدمه ۴

۲-۲- خطاهای مربوط به یاطاقان‌ها و بخش گریز از مرکز روتور ۵

۱-۲-۲- دلایل بروز خطا ۶

۱-۲-۲-۱- فشارهای مکانیکی ۷

۲-۱-۲-۲- فشارهای گرمایی ۷

۳-۱-۲-۲- فشارهای مغناطیسی ۷

۲-۲-۲- نتایج و آثار خطا ۸

۳-۲- خطا در سیم‌پیچ‌های استاتور ۸

۱-۳-۲- دلایل بروز خطا ۹

۱-۳-۲-۱- فشارهای گرمایی ۹

۲-۱-۳-۲- فشارهای الکتریکی ۱۱

۳-۱-۳-۲- فشارهای مکانیکی ۱۱

- ۱۱ ۴-۱-۳-۲ فشارهای محیطی
- ۱۲ ۲-۳-۲ نتایج و آثار خطا
- ۱۲ ۴-۲ خطاهای مربوط به روتور و حلقه‌های انتهایی
- ۱۲ ۱-۴-۲ دلایل بروز خطا
- ۱۳ ۱-۱-۴-۲ فشارهای گرمایی
- ۱۳ ۲-۱-۴-۲ فشارهای مکانیکی
- ۱۴ ۳-۱-۴-۲ فشارهای مغناطیسی
- ۱۴ ۴-۱-۴-۲ اشکالات بوجود آمده در هنگام ساخت
- ۱۴ ۵-۱-۴-۲ فشارهای محیطی
- ۱۵ ۲-۴-۲ نتایج و آثار خطا

فصل سوم : مروری بر روش‌های مونتورینگ وضعیت و تشفیص فضا در موتورهای

القایی

- ۱۷ ۱-۳-۱ مقدمه
- ۱۸ ۲-۳-۲ روش‌های مکانیکی
- ۱۸ ۱-۲-۳ مونتورینگ ارتعاشات
- ۲۲ ۲-۲-۳ مونتورینگ نوسانات سرعت
- ۲۲ ۳-۳ روش‌های شیمیایی
- ۲۳ ۴-۳ مونتورینگ حرارت
- ۲۳ ۵-۳ مونتورینگ تخلیه‌های جزئی
- ۲۵ ۶-۳ روش‌های الکتریکی و مغناطیسی
- ۲۵ ۱-۶-۳ تشخیص به کمک شار محوری

- ۲۶-۳-۲ تشخیص به کمک شار فاصله هوایی ۲۶
- ۲۷-۳-۳ مونیتورینگ محتوای طیفی جریان استاتور ۲۷
- ۳۳-۳-۴ روش بردار پارک ۳۳
- ۳۵-۳-۷ جمع‌بندی ۳۵

فصل چهارم: طراحی و شبیه‌سازی موتور القایی سه‌فاز در محیط المان محدود

- ۳۶-۴-۱- مقدمه ۳۶
- ۳۷-۴-۲- شبیه‌سازی موتور القایی قفس سنجابی سه‌فاز در ماکسول دوبعدی ۳۷
- ۳۸-۴-۲-۱- پیاده‌سازی شکل هندسی موتور ۳۸
- ۴۶-۴-۲-۲- مشخص نمودن مواد سازنده اجزا ماشین ۴۶
- ۴۷-۴-۲-۳- اتصالات الکتریکی و اعمال تحریک به موتور ۴۷
- ۴۹-۴-۲-۳-۱- اعمال تحریک داخلی در محیط ماکسول دوبعدی ۴۹
- ۵۰-۴-۲-۳-۲- اعمال تحریک خارجی در محیط ویرایش مداری ۵۰
- ۵۲-۴-۲-۴- خصوصیات مکانیکی و اعمال بار ۵۲
- ۵۲-۴-۳- بررسی موتور در حالت سالم ۵۲

فصل پنجم: تشخیص فضای شکستگی میله روتور در موتور القایی بلافاصله پس از

خطا

- ۵۴-۵-۱- مقدمه ۵۴
- ۵۷-۵-۲- مطالعه موتور با میله شکسته ۵۷
- ۶۲-۵-۳- تاثیر میله شکسته بر روی رفتار ماشین ۶۲
- ۶۴-۵-۴- تاثیر میله شکسته بر روی دامنه جریان استاتور ۶۴

- ۵-۵ تشخیص خطای شکستگی میله ۶۶
- ۱-۵-۵ تبدیل فوریه زمان کوتاه ۶۷
- ۲-۵-۵ تبدیل موجک گسسته ۷۰
- ۶-۵ مطالعه خطای شکستگی میله روتور بلافاصله پس از خطا ۷۸
- ۱-۶-۵ مدلسازی موتور مورد مطالعه در مطلب ۸۰
- ۲-۶-۵ ساخت یک مدل در مطلب با امیدانس خارجی جهت مدل کردن خطا ۸۸
- ۱-۲-۶-۵ الگوریتم تکامل دیفرانسیلی ۹۰
- ۱-۱-۲-۶-۵ تعریف مسئله و مقدار دهی اولیه ۹۲
- ۲-۱-۲-۶-۵ جهش ۹۲
- ۳-۱-۲-۶-۵ بازآمیزی یا ترکیب مجدد ۹۳
- ۴-۱-۲-۶-۵ انتخاب ۹۵
- ۵-۱-۲-۶-۵ تنظیم پارامترهای الگوریتم تکامل دیفرانسیل ۹۷
- ۳-۶-۵ تشخیص خطای شکستگی میله روتور بلافاصله پس از وقوع خطا ۱۰۰

فصل ششم: بهبود کیفیت تشخیص خطای شکستگی میله (روتور به کمک فیلتر

شکافدار و فقی

- ۱-۶-۱- مقدمه ۱۰۹
- ۲-۶-۲- فیلتر شکافدار و فقی ۱۱۰
- ۳-۶-۳- بهبود وضوح در تشخیص خطای شکستگی میله به کمک فیلتر شکافدار و فقی ۱۱۳
- ۴-۶-۴- جمع‌بندی ۱۳۱

فصل هفتم : نتایج و پیشنهادات

۱-۷ نتایج ۱۳۲

۲-۷ پیشنهادات و کارهای آینده ۱۳۳

منابع و مراجع ۱۳۵

پیوست ۱ : اطلاعات موتور القایی ۵.۵ کیلووات شبیه‌سازی شده در محیط المان

محدود ۱۴۴

پیوست ۲ : چگونگی مناسبه مقاومت میله روتور ۱۵۳

فهرست جدول‌ها

| صفحه | عنوان |
|------|---|
| ۳۸ | جدول ۴-۱ مشخصات موتور القایی طراحی شده |
| ۴۱ | جدول ۴-۲ مقادیر مش‌بندی انجام گرفته در بخش‌های مختلف موتور (حالت اول) |
| ۴۱ | جدول ۴-۳ مقادیر مش‌بندی انجام گرفته در بخش‌های مختلف موتور (حالت دوم) |
| ۴۶ | جدول ۴-۴ مشخصات مربوط به مواد سازنده موتور |
| ۸۱ | جدول ۵-۱ پارامترهای مدار معادل موتور مورد مطالعه در شرایط نامی و بی‌باری |
| ۹۰ | جدول ۵-۲ مقادیر مقاومت هر میله روتور و حلقه انتهایی |
| | جدول ۵-۳ محدوده جستجوی الگوریتم تکامل دیفرانسیلی جهت پیدا کردن مقدار مقاومت و |
| ۹۹ | سلف متناسب با خطا |
| ۱۰۰ | جدول ۵-۴ مقدار امپدانس متناسب با خطا-بدست آمده توسط DE |
| ۱۰۴ | جدول ۵-۵ محدوده فرکانسی سیگنال‌های موجک |

فهرست شکل‌ها

| صفحه | عنوان |
|------|--|
| ۵ | شکل ۱-۲ نحوه توزیع خطا در موتورهای القایی |
| ۶ | شکل ۲-۲ شمای دو بعدی یاطاقان |
| ۱۰ | شکل ۳-۲ درجه حرارت سیم پیچ‌ها ($^{\circ}\text{C}$) بر حسب طول عمر (h) |
| ۱۵ | شکل ۴-۲ چگونگی توزیع جریان در میله شکسته و میله‌های اطراف آن |
| ۲۴ | شکل ۱-۳ اندازه‌گیری مادون قرمز برای مونیتور کردن یاطاقان‌ها |
| ۲۵ | شکل ۲-۳ کویل‌های جستجوگر شار محوری |
| | شکل ۳-۳ محتوای طیفی جریان استاتور الف: حالت کارکرد سالم ب: با یک میله شکسته در بار کامل |
| ۳۰ | شکل ۴-۳ جریان راه‌اندازی بدست آمده توسط آنالیز المان محدود و سیگنال تقریب سطح هفتم (a7) برای الف- ماشین سالم ب- ماشین با یک میله شکسته در شرایط بار کامل |
| | شکل ۵-۳ استفاده از بردار پارک برای تشخیص خطا. موتور با یک میله شکسته (سمت چپ) و موتور با خطای اتصال کوتاه در استاتور (سمت راست) |
| ۳۴ | شکل ۱-۴ دیاگرام کلی مدل المان محدود |
| ۳۷ | شکل ۲-۴ نمایی از مش‌بندی صورت گرفته در میله‌ها، کویل‌ها، استاتور و روتور (حالت اول) |
| ۴۲ | |

- شکل ۳-۴ نمایی از مشبندی صورت گرفته در میله‌ها، کویل‌ها، استاتور و روتور (حالت دوم) ۴۳
- شکل ۴-۴ تاثیر مشبندی و اندازه گام زمانی بر منحنی جریان استاتور ۴۴
- شکل ۵-۴ کوچک‌ترین بخش متقارن موتور ۵.۵ کیلووات مورد مطالعه ۴۵
- شکل ۶-۴ شمای کلی موتور مورد مطالعه در محیط المان محدود ۴۵
- شکل ۷-۴ چگونگی تقسیم سیم‌پیچ‌های استاتور در هر فاز در حالت سیم‌پیچی با گام کامل ۴۸
- شکل ۸-۴ اعمال تحریک داخلی به یکی از فازهای استاتور در محیط المان محدود ۴۹
- شکل ۹-۴ اعمال تحریک خارجی به فازهای استاتور در محیط ویرایش مداری ۵۱
- شکل ۱۰-۴ نمودار جریان فاز آ استاتور در شرایط نامی (موتور سالم) ۵۳
- شکل ۱۱-۴ نمودار سرعت روتور در شرایط نامی (موتور سالم) ۵۳
- شکل ۱-۵ نمایش تلفات اهمی در میله‌های روتور در موتور با دو میله شکسته ۵۹
- شکل ۲-۵ میزان چگالی جریان در بخش‌های مختلف موتور دارای دو میله شکسته ۵۹
- شکل ۳-۵ نمایش خطوط شار در موتور. الف: موتور سالم ب: موتور دارای دو میله شکسته ۶۰
- شکل ۴-۵ نمایش میدان مغناطیسی در موتور. الف: موتور سالم ب: موتور دارای دو میله شکسته ۶۱
- شکل ۵-۵ مقایسه نمودار سرعت روتور در موتور القایی با عملکرد سالم، دارای یک و دو میله شکسته ۶۳
- شکل ۶-۵ شکل موج نیروی محرکه مغناطیسی روتور در زمان $t=0$ با هفت میله سالم و یک میله شکسته ۶۵

- شکل ۷-۵ جهت‌گیری میدان مغناطیسی روتور در زمان $t=0$ با هفت میله سالم و یک میله شکسته ۶۶
- شکل ۸-۵ محتوای طیفی جریان استاتور. الف: حالت کارکرد سالم ب: موتور با یک میله شکسته در بار کامل ۷۰
- شکل ۹-۵ رنج فرکانسی سیگنال تقریب در سطح n و سیگنال های جزئی ۷۳
- شکل ۱۰-۵ نمایی از تابع موجک مادر دابشیز ۴۴ و جزییات وابسته به آن ۷۴
- شکل ۱۱-۵ نمایش نحوه محاسبه تبدیل ویولت گسسته ۳ مرحله‌ای با استفاده از ایده بانک فیلتر برای یک سیگنال دلخواه ۷۶
- شکل ۱۲-۵ جریان راه‌اندازی بدست آمده توسط آنالیز المان محدود و سیگنال تقریب سطح هفتم (a7) برای الف- ماشین سالم ب- ماشین با یک میله شکسته در شرایط بار کامل ۷۷
- شکل ۱۳-۵ فلوجارت تشخیص خطای شکستگی میله روتور به کمک مدل المان محدود، الگوریتم بهینه‌سازی تکامل تدریجی و نرم‌افزار مطلب ۷۹
- شکل ۱۴-۵ بلوک دیاگرام موتور شبیه‌سازی شده در محیط مطلب ۸۱
- شکل ۱۵-۵ مقایسه تغییرات منحنی‌های سرعت روتور و جریان استاتور در محیط المان محدود و مطلب در شرایط بی‌باری (حالت کارکرد سالم) ۸۲
- شکل ۱۶-۵ مقایسه تغییرات منحنی‌های سرعت روتور و جریان استاتور در محیط المان محدود و مطلب در شرایط بی‌باری (موتور با یک میله شکسته) ۸۳
- شکل ۱۷-۵ مقایسه تغییرات منحنی‌های سرعت روتور و جریان استاتور در محیط المان محدود و مطلب در شرایط بی‌باری (موتور با دو میله شکسته) ۸۴
- شکل ۱۸-۵ مقایسه تغییرات منحنی‌های سرعت روتور و جریان استاتور در محیط المان محدود و مطلب در شرایط بار نامی (حالت کارکرد سالم) ۸۵

- شکل ۱۹-۵ مقایسه تغییرات منحنی‌های سرعت روتور و جریان استاتور در محیط المان محدود و مطلب در شرایط بار نامی (موتور با یک میله شکسته) ۸۶
- شکل ۲۰-۵ مقایسه تغییرات منحنی‌های سرعت روتور و جریان استاتور در محیط المان محدود و مطلب در شرایط بار نامی (موتور با دو میله شکسته) ۸۷
- شکل ۲۱-۵ نمایش چگونگی اضافه کردن امپدانس خطا در مدار روتور ۸۹
- شکل ۲۲-۵ دیاگرام کلی مراحل انجام الگوریتم تکامل دیفرانسیل ۹۱
- شکل ۲۳-۵ مثال دوبعدی از فرآیند تولید بردار $V_{i,G+1}$ (استراتژی اول) ۹۳
- شکل ۲۴-۵ نمایشی از فرآیند *crossover* در الگوریتم تکامل تدریجی ۹۴
- شکل ۲۵-۵ مثال دوبعدی از فرآیند تولید بردار $V_{i,G+1}$ (استراتژی دوم) ۹۶
- شکل ۲۶-۵ فلوجارت انجام مراحل الگوریتم تکامل دیفرانسیل در پیدا کردن امپدانس متناسب با خطای شکستگی میله روتور ۹۸
- شکل ۲۷-۵ بلوک دیاگرام کلی سیستم تشخیص ارائه شده در محیط نرم‌افزار مطلب ۱۰۳
- شکل ۲۸-۵ نمودار جریان عبوری از کلید ایده‌آل قرار گرفته در مدار روتور ۱۰۴
- شکل ۲۹-۵ تجزیه موجک سیگنال جریان استاتور در شرایط بار نامی و با یک میله شکسته ۱۰۵
- شکل ۳۰-۵ تجزیه موجک سیگنال جریان استاتور در شرایط بار نامی و با دو میله شکسته ۱۰۶
- شکل ۳۱-۵ تجزیه موجک سیگنال جریان استاتور در شرایط بی‌باری و با یک میله شکسته ۱۰۷
- شکل ۳۲-۵ تجزیه موجک سیگنال جریان استاتور در شرایط بی‌باری و با دو میله شکسته ۱۰۸

- شکل ۱-۶ بلوک دیاگرام فیلتر شکاف دار وفقی اصلاح شده ۱۱۲
- شکل ۲-۶ تجزیه موجک سیگنال هارمونیک کلی در شرایط بار نامی و یک میله شکسته ۱۱۵
- شکل ۳-۶ بهبود وضوح در تشخیص به کمک فیلتر شکاف دار وفقی. الف: تجزیه موجک سیگنال جریان استاتور ب: سیگنال هارمونیک کلی در شرایط بار نامی و با یک میله شکسته ۱۱۶
- شکل ۴-۶ تجزیه موجک سیگنال هارمونیک کلی در شرایط بار نامی و با دو میله شکسته ۱۱۷
- شکل ۵-۶ بهبود وضوح در تشخیص به کمک فیلتر شکاف دار وفقی. الف: تجزیه موجک سیگنال جریان استاتور ب: سیگنال هارمونیک کلی در شرایط بار نامی و با دو میله شکسته ۱۱۸
- شکل ۶-۶ تجزیه موجک سیگنال هارمونیک کلی در شرایط بی‌باری و با یک میله شکسته ۱۱۹
- شکل ۷-۶ بهبود وضوح در تشخیص به کمک فیلتر شکاف دار وفقی. الف: تجزیه موجک سیگنال جریان استاتور ب: سیگنال هارمونیک کلی در شرایط بی‌باری و با یک میله شکسته ۱۲۰
- شکل ۸-۶ تجزیه موجک سیگنال هارمونیک کلی در شرایط بی‌باری و با دو میله شکسته ۱۲۱
- شکل ۹-۶ بهبود وضوح در تشخیص به کمک فیلتر شکاف دار وفقی. الف: تجزیه موجک سیگنال جریان استاتور ب: سیگنال هارمونیک کلی در شرایط بی‌باری و با دو میله شکسته ۱۲۲

- شکل ۶-۱۰ بهبود وضوح در تشخیص به کمک فیلتر شکافدار و فقی. الف: ضرایب جزئی سطح هفتم سیگنال جریان استاتور ب: سیگنال هارمونیک کلی در شرایط بار نامی و با یک میله شکسته..... ۱۲۳
- شکل ۶-۱۱ بهبود وضوح در تشخیص به کمک فیلتر شکافدار و فقی. الف: ضرایب جزئی سطح ششم سیگنال جریان استاتور ب: سیگنال هارمونیک کلی در شرایط بار نامی و با یک میله شکسته..... ۱۲۴
- شکل ۶-۱۲ بهبود وضوح در تشخیص به کمک فیلتر شکافدار و فقی. الف: ضرایب جزئی سطح هفتم سیگنال جریان استاتور ب: سیگنال هارمونیک کلی در شرایط بار نامی و با دو میله شکسته..... ۱۲۵
- شکل ۶-۱۳ بهبود وضوح در تشخیص به کمک فیلتر شکافدار و فقی. الف: ضرایب جزئی سطح ششم سیگنال جریان استاتور ب: سیگنال هارمونیک کلی در شرایط بار نامی و با دو میله شکسته..... ۱۲۶
- شکل ۶-۱۴ بهبود وضوح در تشخیص به کمک فیلتر شکافدار و فقی. الف: ضرایب جزئی سطح هفتم سیگنال جریان استاتور ب: سیگنال هارمونیک کلی در شرایط بی‌باری و با یک میله شکسته..... ۱۲۷
- شکل ۶-۱۵ بهبود وضوح در تشخیص به کمک فیلتر شکافدار و فقی. الف: ضرایب جزئی سطح ششم سیگنال جریان استاتور ب: سیگنال هارمونیک کلی در شرایط بی‌باری و با یک میله شکسته..... ۱۲۸
- شکل ۶-۱۶ بهبود وضوح در تشخیص به کمک فیلتر شکافدار و فقی. الف: ضرایب جزئی سطح هفتم سیگنال جریان استاتور ب: سیگنال هارمونیک کلی در شرایط بی‌باری و با دو میله شکسته..... ۱۲۹

شکل ۶-۱۷ بهبود وضوح در تشخیص به کمک فیلتر شکافدار افقی. الف: ضرایب جزیی سطح

ششم سیگنال جریان استاتور ب: سیگنال هارمونیک کلی در شرایط بی‌باری و با دو میله

شکسته..... ۱۳۰

فصل اول

مقدمه

۱-۱- مقدمه

ماشین‌های القایی بدلیل قابلیت اطمینان بالا و سادگی در استفاده از آنها، نقش مهم و اساسی در صنعت دارند و کارکرد صحیح و مطمئن آنها در صنعت بسیار مهم است. بطور کلی این ماشین‌ها قابل اطمینان هستند اما بالاخره مستهلک نیز می‌شوند. به خاطر جلوگیری از تولید ضایعات و رسیدن به حداقل زمان توقف ناشی از خرابی فنی تجهیزات، باید ماشین‌ها بطور پیوسته مونیتور شوند و خطاهای بالقوه آنها شناسایی شوند. علت این خرابی‌ها ممکن است خطاهای الکتریکی مانند اتصال کوتاه سیم‌پیچی‌های استاتور و عدم تعادل منبع تغذیه یا خطاهای مکانیکی مانند شکستگی میله‌های روتور، ترک خوردن یاطاقان‌ها و انحراف از مرکز فاصله هوایی باشد. مونیتورینگ وضعیت ماشین‌های الکتریکی می‌تواند با تشخیص سریع خطاهای فاجعه‌آمیز بالقوه، بصورت قابل توجهی هزینه‌های تعمیر و نگهداری و نیز ریسک خرابی‌های غیرمنتظره را کاهش دهد [۱]. کلید موفقیت، داشتن ارزیابی دقیق از وضعیت ماشین و تشخیص بموقع و صحیح خطاست. مونیتورینگ وضعیت بلادرنگ از داده‌هایی استفاده می‌کند

که در شرایطی که ماشین در حال کارکردن است، گرفته شده‌اند، تا اگر خطایی وجود دارد تشخیص داده شود.

وسایل و تجهیزات بسیاری برای مونیتورینگ عملکرد موتورهای القایی ساخته شده است. با وجود دردسترس بودن همه این ابزارها، همچنان کارخانه‌های بسیاری با مشکل خطاهای پیش‌بینی نشده در سیستم و در نتیجه کاهش طول عمر موتورها، مواجهند. بسیاری از تجهیزات تجاری که به منظور مونیتورینگ عملکرد موتورهای القایی طراحی شده‌اند، معمولاً زمانی که برای موتورهای القایی توان پایین یا توان متوسط استفاده می‌گردند، از کارآیی خوب و قابل قبولی برخوردار نیستند. در این زمینه، ارتقای عملکرد سنسورها، الگوریتم‌ها و تکنیک‌هاست که برای دستیابی به تکنولوژی‌های پیش‌بینی موثر خطاها، سودمند می‌باشد. خطاهای ماشین‌های القایی باید در همان مراحل اولیه قبل از اینکه گسترش یافته و منجر به شرایط فاجعه‌آمیز از جمله ایجاد وقفه در کار واحد مربوطه شوند، شناسایی و تشخیص داده شوند.

تشخیص خطا در ماشین‌های القایی قفس سنجابی سه‌فاز به دو دسته عمده تقسیم‌بندی می‌شوند. روش‌های قدیمی شامل مونیتورینگ وضعیت ماشین در شرایط حالت ماندگار است. حال آنکه در سال‌های اخیر، با پیشرفت‌های صورت گرفته در حوزه پردازش سیگنال، مونیتورینگ وضعیت بر پایه مطالعه سیگنال جریان استاتور در شرایط راه‌اندازی استوار بوده است. روش‌های قدیمی برای مونیتورینگ وضعیت موتور بر پایه آنالیز طیف فرکانسی جریان استاتور [۱۴-۲]، ارتعاشات [۱] و [۱۵-۱۸]، شار کوپل‌های جستجو [۲۱-۱۹] و سرعت روتور [۲۲] استوار بوده‌اند. اخیراً با پیشرفت در زمینه هوش مصنوعی و روش‌های پردازش سیگنال، روش‌های مبتنی بر منطق فازی [۲۸-۲۳]، الگوریتم ژنتیک [۳۲-۲۹]، و شبکه‌های عصبی [۱]، [۳۳] و [۳۵] ارائه شده‌اند.

یک روش موثر تشخیص، نیازمند یک مدل بادقت و قابل اطمینان از ماشین مورد مطالعه است که بتواند رفتار ماشین را در حالت سالم و در شرایط خطا بدرستی مدل کند. در این تحقیق از روش المان محدود (FEM) برای ارزیابی تاثیر شکستگی میله‌های روتور بر روی عملکرد موتور و شناسایی رفتار پیچیده موتور در هنگام بروز خطا استفاده شده است.

روش المان محدود یک ابزار قدرتمند برای مطالعه رفتار ماشین هنگام خطا است و می‌توان با اعمال خطاهای گوناگون به ماشین بصورت دقیق و با کمترین هزینه به مقایسه روش‌های مونیتورینگ و روش‌های متنوع پردازش سیگنال با یکدیگر پرداخت. با وجود دقت بالای روش المان محدود در مدل کردن ماشین‌های القایی بر اساس معادلات ماکسول، این روش بدلیل پیچیدگی هندسی ماشین، نیازمند زمان زیادی برای انجام محاسبات است.

ساختار این تحقیق بدین گونه سازمان‌دهی شده است که در فصل دوم به بررسی انواع خطاهای معمول ماشین‌های القایی پرداخته خواهد شد. در فصل سوم، خلاصه‌ای از روش‌های مونیتورینگ وضعیت ارائه شده است و در فصل چهارم به مدل کردن یک موتور القایی قفس سنجابی سه‌فاز در محیط المان محدود و بررسی تاثیرات اعمال خطای شکستگی میله روتور بر روی عملکرد ماشین پرداخته می‌شود. تشخیص خطای شکستگی میله بلافاصله پس از وقوع خطا در فصل پنجم ارائه می‌شود و در فصل ششم به ارائه شیوه‌ای نوین با استفاده از فیلتر شکافدار و فقی برای افزایش وضوح در تشخیص خطای شکستگی میله پرداخته می‌شود. در این بخش نشان داده شده است که به کمک فیلتر شکافدار و فقی و با جداسازی سیگنال مولفه اصلی، می‌توان تغییرات مولفه‌های فرکانسی مربوط به خطا را با وضوح بیشتری در ضرایب موجک مشاهده کرد.

فصل دوم

بررسی خطاهای معمول در ماشین‌های القائی

۲-۱- مقدمه

به طور کلی خطاهای معمول در ماشین‌های القائی را می‌توان به چهار دسته کلی تقسیم‌بندی کرد که عبارتند از:

الف: خطاهای مربوط به یاطاقان‌ها و بخش گریز از مرکز روتور^۱

ب: خطاهای مربوط به سیم‌پیچ‌های استاتور^۲

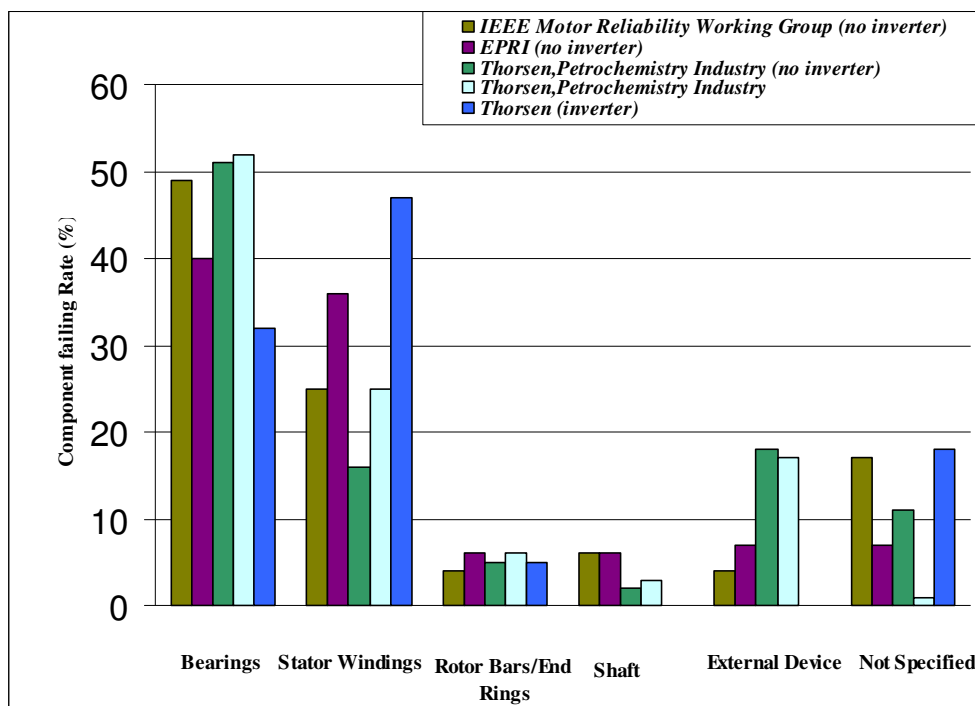
ج: خطاهای مربوط به روتور و حلقه‌های انتهایی^۳

د: خطاهای مربوط به ادوات خارجی از جمله سیستم‌های راه‌انداز^۴

در مراجع [۳۵-۳۹]، درصد توزیع این خطاها برای کاربردهای مختلف آورده شده است.

در شکل (۱-۲) چگونگی توزیع این خطاها در ماشین مقایسه شده است.

-
- 1-Bearing and Rotor Eccentricity
 - 2-Stator Windings Fault
 - 3-Rotor Bars/End Rings
 - 4-External Device

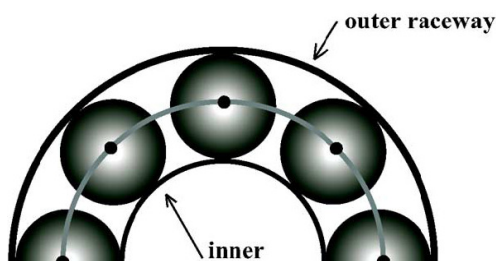


شکل ۱-۲ نحوه توزیع خطا در موتورهای القایی

می‌توان مشاهده کرد که احتمال وقوع خطای یاطاقان‌ها، در ماشین‌های الکتریکی از بقیه خطاها بیشتر است. پس از آن احتمال وقوع خطا در سیم‌پیچ‌های استاتور بخصوص زمانیکه از یکسو کننده‌ها به عنوان منبع تغذیه استفاده می‌شود، از بقیه خطاها بیشتر است. بمنظور درک بهتری از خطاها در این فصل به بررسی انواع خطاها، دلایل وقوع آنها و تاثیر آنها بر روی رفتار ماشین پرداخته می‌شود.

۲-۲- خطاهای مربوط به یاطاقان‌ها و بخش گریز از مرکز روتور

خطاهای مربوط به یاطاقان‌ها و بخش گریز از مرکز روتور از معمول‌ترین خطاهای موتورهای القایی هستند. همانطور که در شکل (۲-۲) مشاهده می‌شود، یاطاقان‌ها از حلقه‌های



شکل ۲-۲ شمای دو بعدی یاطاقان

داخلی و خارجی با یک مجموعه از ساچمه‌ها یا عناصر چرخان که درون این حلقه‌ها می‌چرخند، تشکیل شده‌اند. خطا در مسیر داخلی، مسیر خارجی یا عناصر چرخان، باعث تولید مولفه‌های فرکانسی می‌شود که در سیگنال ارتعاشی موتور یا دیگر سیگنال‌های گرفته شده دیده می‌شوند. این فرکانس‌ها که از خطای یاطاقان‌ها ناشی می‌شوند، تابعی از شکل هندسی یاطاقان‌ها و سرعت حرکت هستند [۴۰]. خطاهای یاطاقان‌ها می‌توانند همچنین باعث انحراف از مرکز روتور شوند.

۲-۲-۱ دلایل بروز خطا

دلایل عمده بروز خطا در یاطاقان‌ها و همچنین انحراف از مرکز در روتور را می‌توان به

صورت زیر تقسیم‌بندی کرد:

الف: فشارهای مکانیکی

ب: فشارهای گرمایی

ج: فشارهای مغناطیسی

۲-۲-۱-۱ فشارهای مکانیکی