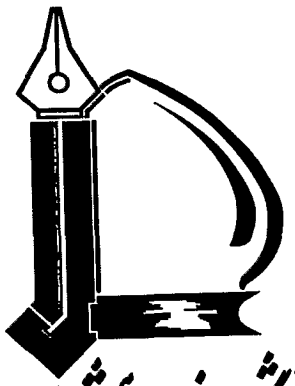
بسم الله الرحمن الرحيم

۱۰۱۹۲۱

برای سپاسگذاری
۸ جلد صفحه
۹۳۵۲۱۶۱۷۴۲
صفحه
۱۰۰۰ ت



دانشگاه فردوسی مشهد
دانشکده مهندسی
گروه برق

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد مهندسی برق- قدرت

عنوان:

تشخیص خطای شکستگی میله‌های روتور موتور القایی قفسی با استفاده از ایده نامتعادلی ولتاژ

مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران

نگارش:
مهدی رجائی

۱۳۸۷/۹/۲۳

استاد راهنما:
دکتر کورش انصاری

تابستان ۱۳۸۷

۱۰۱۹۶۱

تقدیم به:

این اثر را تقدیم می‌کنم به پدر بزرگوار و مادر گرامی‌ام که دعای خیرشان همواره بدرقهٔ راهم بوده و نیز به همسر و فرزندان عزیزم آرمان و نیما که وجودشان مایهٔ دلگرمی من در زندگی است.

تشکر و قدردانی:

از زحمتهای بی‌شائبهٔ استاد بزرگوارم جناب آقای دکتر کورش انصاری که به عنوان استاد راهنما در این پروژه مرا یاری نمودند، تشکر و قدردانی می نمایم. همچنین از اساتید محترم دفاع آقایان دکتر حبیب رجبی مشهدی و دکتر جواد ساده که مسئولیت نقد این پروژه را به عهده گرفتند و نیز از مسئول محترم جلسه جناب آقای دکتر پیروی تشکر می‌نمایم.

تاییدیه گروه برق

پایان‌نامه حاضر تحت عنوان

تشخیص خطای شکستگی میله‌های روتور موتور القایی قفسی، با استفاده از ایده نامتعادلی ولتاژ که توسط آقای مهدی رجائی تهیه و به هیات داوران ارائه شده بعنوان کار پژوهشی دوره کارشناسی ارشد برق-قدرت مورد تایید شورای تحصیلات تکمیلی گروه برق دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد می‌باشد.

تاریخ دفاع: ۱۳۸۷/۶/۹

اعضا هیات داوران:

۱- دکتر کورش انصاری	**استاد راهنما**
۲- دکتر حبیب رجبی مشهدی	**استاد دفاع**
۳- دکتر جواد ساده	**استاد دفاع**
۴-دکتر علی پیروی	**نماینده تحصیلات تکمیلی**

دانشکده مهندسی
دانشگاه فردوسی مشهد

فرم چکیده پایان‌نامه تحصیلی دوره تحصیلات تکمیلی | **دفتر مدیریت تحصیلات تکمیلی**

نام خانوادگی دانشجو: رجائی **نام:** مهدی

استاد یا اساتید راهنما: دکتر کورش انصاری **استاد یا اساتید مشاور:**

دانشکده: مهندسی **رشته:** برق **گرایش:** قدرت **مقطع:** کارشناسی ارشد

تاریخ دفاع: ۱۳۸۷/۶/۹ **تعداد صفحات:** ۷۰

عنوان پایان‌نامه: تشخیص خطای شکستگی میله‌های روتو ر موتور القایی قفسی با استفاده از ایده نامتعادلی ولتاژ

کلید واژه‌ها: ماشین القایی،موتور روتور قفسی، خطای شکستگی میله، نامتعادلی ولتاژ، هارمونیک سوم.

چکیده:

امروزه، به دلیل کاربرد روزافزون موتورهای القایی در صنایع سنگین، شکستگی میله‌های روتور موتورهای قفسی مشکل اساسی است که گریبان‌گیر صنایع بوده، به ویژه آنکه این موتورها در سطح وسیعی در صنایع سنگین مورد استفاده قرار می‌گیرند. در اثر شکستگی میله‌های روتور، لرزش‌های شدیدی به موتور اعمال می‌شود که باعث شکستگی بیشتر میله‌ها شده و تا حد زیادی از گشتاور مفید موتور می‌کاهد و در نتیجه کاهش بازده موتور را موجب می‌شود. جریانهای بالایی در اثر شکستگی میله روتور از سیم پیچهای استاتور در زمان راه اندازی عبور می‌کند که در کوتاه مدت باعث سوختن سیم پیچهای استاتور می‌شود. در زمان راه‌اندازی موتور، در محل شکستگی‌ها جرقه‌هایی ایجاد می‌شود که سبب ایجاد نویز الکترومغناطیسی در فضا می‌شود. همچنین در اثر این جرقه‌ها، گرمای زیادی در محل شکستگی تولید شده که ذوب شدن میله‌های روتور و یا سایر قسمتهای روتور و ریزش آنها بر روی سیم پیچهای استاتور را موجب می‌شود. بنابراین باید موتور معیوب را تعمیر نمود. که علاوه بر هزینهٔ بالا، تعمیر آن زمانبر نیز می‌باشد. با این مقدمه، تشخیص به موقع عیب ضرورت پیدا می‌کند. چرا که موجب کاهش هزینه‌های تعمیر و زمان تعمیر می‌شود. در این پایان نامه برای تشخیص شکستگی میله‌های روتور موتور القایی قفسه سنجابی از ایده نامتعادلی ولتاژ منبع تغذیه موتور استفاده می‌شود. هنگامیکه منابع تغذیه سه فاز موتورها نامتعادل می‌باشند، این نامتعادلی سبب می‌شود تا گشتاور و دور دارای نوسانات دو برابر فرکانس منبع تغذیه شده در نتیجه‌هارمونیک ۳ (3f) در جریان ظاهر گردد. موتوری که دچار شکستگی میله شده چنانچه به صورت چهارسیمه (اتصال سیم‌پیچهای موتور به صورت ستاره بوده و سیم نول به مرکز ستاره موتور وصل باشد) راه‌اندازی گردد پارامتر 3f که در اثر نامتعادلی ولتاژ ایجاد گردیده افزایش قابل ملاحظه‌ای می‌یابد. به عبارتی دیگر، تاثیر تشدیدی نامتعادلی ولتاژ استاتور و نامتقارنی روتور روی مولفه‌هارمونیک ۳ است. نتایج مطلوب به دست آمده از شبیه سازیها و همچنین نتایج به دست آمده به صورت عملی، بیانگر تایید این مطلب می‌باشد.

امضاء استاد یا اساتید راهنما

فهرست مطالب

عنوان صفحه

فصل اول: پیشگفتار

۱-۱ مقدمه ۱

۱-۲ مروری بر مقالات ۲

۱-۲-۱ روش "شاخص زاویه چرخش" ۳

۱-۲-۲ روش تشخیص الگو ۴

۱-۲-۳ روش VMM ۵

۱-۲-۴ روش آنالیز طیف فرکانسی ۶

۱-۲-۵ روش استفاده از سیگنال ZCT ۸

۱-۲-۶ روشهای دیگر ۸

فصل دوم: عملکرد نامتعادل ماشینهای القایی متقارن

۲-۱ مقدمه ۱۱

۲-۲ نظریه مولفه‌های متقارن ۱۱

۲-۳ تحلیل مولفه‌های متقارن ولتاژهای نامتعادل استاتور ۱۳

۲-۴ اعمال نظریه دستگاه مرجع برای تحلیل شرایط نامتعادل ۱۴

۲-۴-۱ شرایط نامتعادل استاتور ۱۴

۲-۴-۲ شرایط نامتعادل روتور ۱۹

۲-۴-۳ شرایط نامتعادل همزمان روتور و استاتور ۲۴

فصل سوم: تشخیص خطای شکستگی میله‌های روتور موتور القایی قفسی، با استفاده از ایده نامتعادلی ولتاژ

۳-۱ مقدمه ۳۰

۳-۲ شبیه سازی موتور القایی روتور قفسی ۳۰

۳-۳ عملکرد موتور القایی روتور قفسی در حالت شکستگی میله‌های روتور ۳۱

۳-۴ تشخیص شکستگی میله‌های روتور با استفاده از هارمونیک سوم ۳۵

۳-۵ نتایج عملی ۴۱

۳-۵ نتایج عملی ۴۱

فصل چهارم: نتیجه گیری و پیشنهادات

۴-۱ نتیجه گیری ۴۸

۴-۲ پیشنهادات ۴۹

مراجع ۵۰

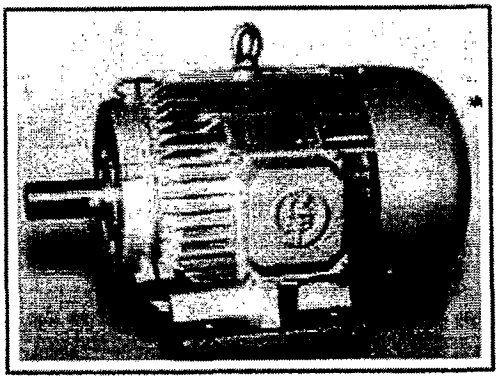
پیوست الف: استخراج معادلات حالت ماشینهای القایی، برای شبیه‌سازی رایانه‌ای ۵۴

فصل اول: پیشگفتار

۱-۱مقدمه

موتورهای القایی بدلیل اینکه از دوام و استحکام بیشتری برخوردار بوده و همچنین دارای حجم کوچکتر و توانایی انجام کار در محیط غبارآلود و قابل انفجار را دارا می‌باشند و تعمیر و نگهداری آسانی دارند، بطور گسترده در صنعت استفاده می‌شوند.

این موتورها، حاوی یک قسمت ساکن بنام استاتور و یک قسمت دوار بنام روتور می‌باشند. در موتورهای القایی استاتور به شبکه AC وصل شده و در روتور جریان AC به علت عمل القاء بر قرار می‌گردد و به همین دلیل به آنها موتورهای القایی گفته می‌شود.



با کاربرد زیاد این موتورها در صنعت، عیوبی که در روتور و استاتور ایجاد می‌شود بیشتر مکانیکی بوده و در موتورهای با قدرت بالا به شکل شکستن میله‌های روتور بروز می‌کند. این خطاها متاثر از عوامل زیر می‌باشند.

- قالب ریزی نادرست موتور در زمان ساخت و غیر یکنواختی سطح میله‌ها.
- خستگی و فرسودگی روتور در اثر کار زیاد.
- وجود مقاومت زیاد در نقاط اتصال میله‌ها بدلیل نوع عمل اتصال(جوشکاری)

زمانیکه موتور دچار شکستگی میله‌ها می‌شود، بازده موتور کمتر شده و در نتیجه گشتاور مفید نیز کاهش می‌یابد. و در حالیکه موتور در زیر بار است جریان زیادی از سیم پیچ های استاتور عبور می‌کند.

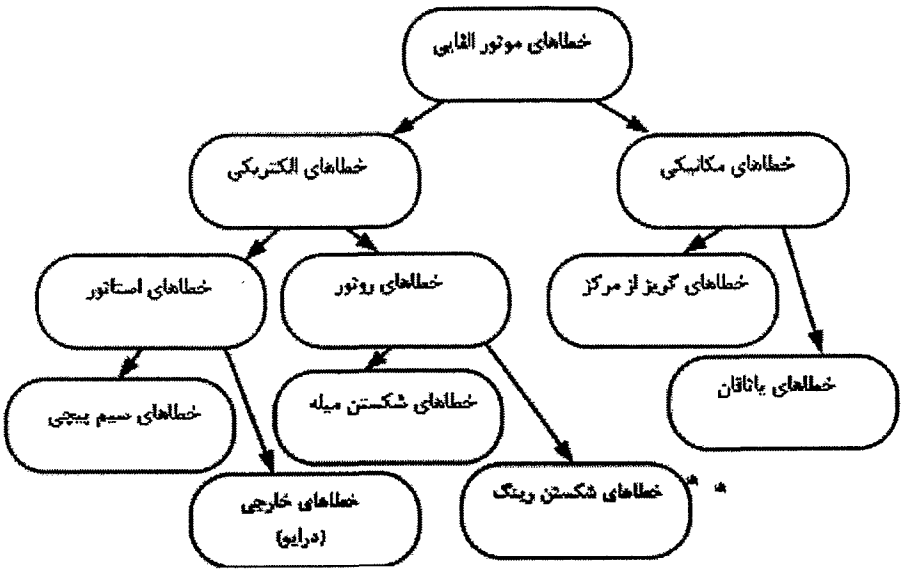
موتوری که میله‌های آن شکسته است در زمانیکه راه اندازی می‌شود در محل شکستگی جرقه‌های زیادی ایجاد می‌شود، گرمای حاصل از این جرقه‌ها سبب ذوب شدن میله‌های روتور شده، که این قسمت های ذوب شده روی سیم پیچ‌های استاتور می‌ریزد.

بنابراین تشخیص این خطاها قبل از آسیب‌های شدید در موتورهایی که نقش بسزایی در صنعت دارند اهمیت ویژه‌ای دارد. اکثر مقالات مربوط به آشکارسازی خطای[1] ماشینها، به تشخیص این نوع خطاها (شکستن میله‌ها) اختصاص دارد.

در شکل زیر بلوک دیاگرام مربوط به خطاهای موتور القایی را مشاهده می‌کنید[1].

---

[1] -Fault detection



شکل۱-۱ بلوک دیاگرام مربوط به طبقه‌بندی خطای موتور القایی

در جدول۱-۱، گزارش آماری مربوط به انجمن کاربردهای صنعتی IEEE (IAS[1]) که از اطلاعات مربوط به 1141 موتور به دست آمده و همچنین گزارش آماری مربوط به 6312 موتور که توسط موسسه تحقیقات انرژی برق (EPRI[2]) انجام گردیده را مشاهده می‌کنید[1]. با توجه به نتایج گزارش، مشاهده می‌شود که خطاهای مربوط به یاتاقان(مکانیکی) و سیم‌پیچی(استاتور) موتور بیشترین درصد خطا را دارا می‌باشند.

جدول۱-۱ درصد خطاهای مربوط به مؤلفه‌های اصلی موتور

مؤلفه‌های اصلی	IEEE-IAC درصد خطاها	EPRI درصد خطاها
خطاهای مربوط به یاتاقان (مکانیکی)	44	41
خطاهای مربوط به سیم‌پیچی (استاتور)	26	36
خطاهای مربوط به روتور	8	9
دیگر خطاها	22	14

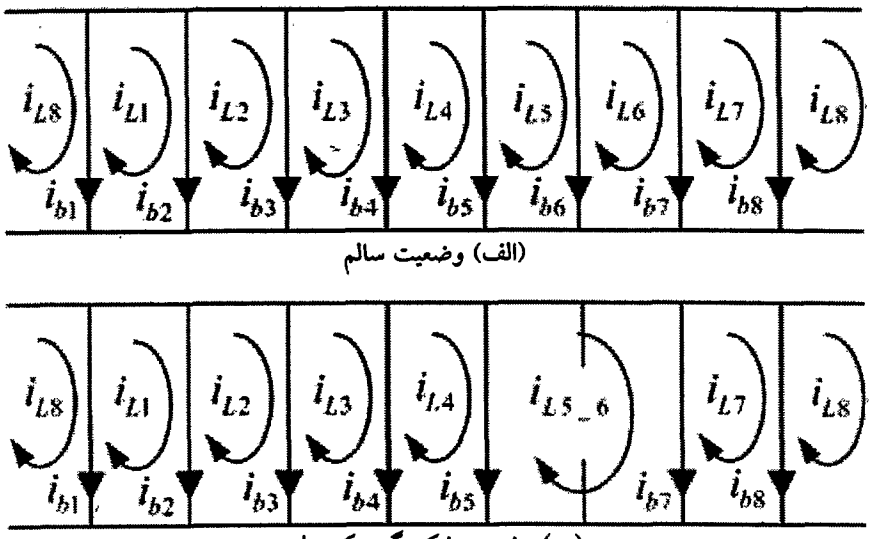
۱-۲مروری بر مقالات

در این قسمت انواع روشهایی که در مقالات اخیر برای شناسایی شکستگی میله روتور موتور القایی بکار رفته است را بررسی می‌کنیم.

[1] -IEEE-Industry Applications Society
[2] -Electrical Power Research Institute

۱-۲-۱ روش " شاخص زاویه چرخش[1] "

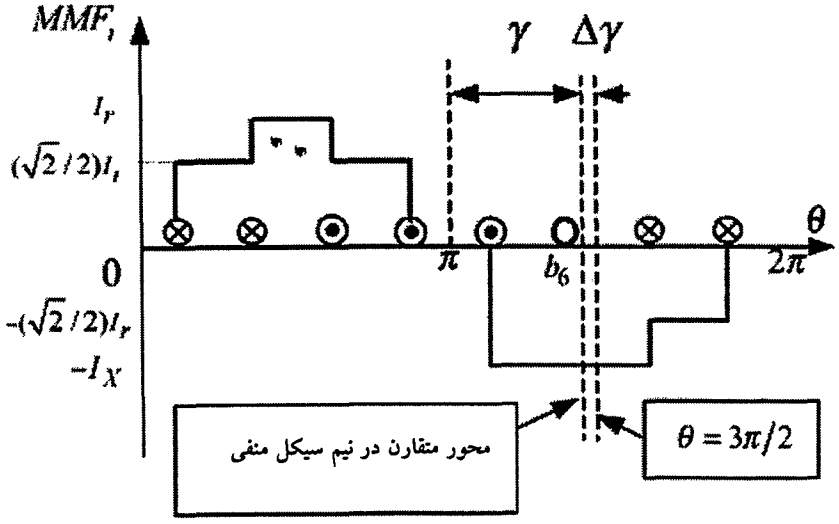
روش شاخص زاویه چرخش، روش نوینی است که توسط آقایان بهروز میرافضل و دمرداش در مراجع [3]-[1] ارائه گردیده است که مبتنی است بر نیروی محرکه مغناطیسی (MMF) روتور. برای تشریح این موضوع، اگر یک موتور سه فاز، 2 قطب که دارای هشت میله روتور است را در نظر بگیریم. جریان حلقه‌های روتور با توجه به وضعیت سالم قفسه روتور و حالت شکستگی یک میله، به صورت شکل ۱-۲ می‌باشد[3].



(الف) وضعیت سالم

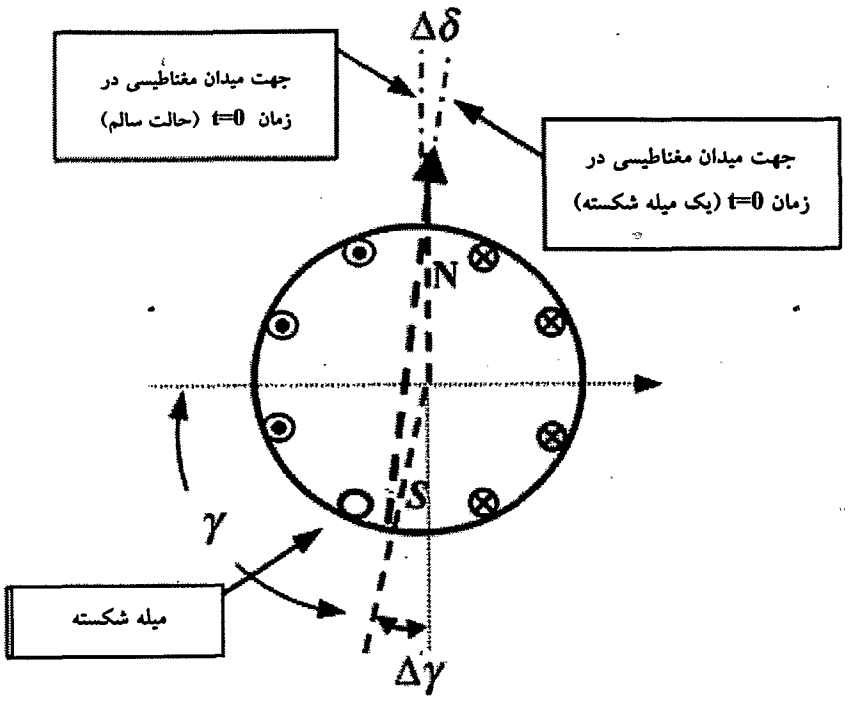
(ب) وضعیت شکستگی یک میله

شکل ۱-۲ نمایش مدارهای قفسه روتور برای دو حالت سالم و حالت شکستگی یک میله، برای حالت ساده شدهٔ هشت میله‌ای



شکل ۱-۳ شکل موج MMF روتور برای هشت میله در نظر گرفته شده در لحظه t=0 و با یک میله شکسته

[1] -swing-angle indicator



شکل۱-۴ جهت میدان مغناطیسی برای نمونه در نظر گرفته شده در زمان t=0 و یک میله شکسته

چنانچه موتور دچار شکستگی یک میله گردد، توزیع نیروی محرکه مغناطیسی روتور به صورت شکل۱-۳ خواهد بود. که با توجه به این شکل، مشاهده می‌شود که محور مغناطیسی نیم سیکل منفی روتور به سمت چپ محور اصلی با یک مقدار زاویه‌ای غیر صفر شیفت پیدا کرده است ($\Delta\gamma$) . شکل۱-۴ میزان جابجایی $\Delta\gamma$ را با توجه به جهت میدان مغناطیسی روتور (قطب شمال و جنوب) نشان می‌دهد. در سمت مقابل برای t=0 زاویه $\Delta\delta=\Delta\gamma/2$ وجود دارد که برای زمانهای $t>0$ دارای جهت پیشرونده است. با ایجاد انحراف در پروفایل MMF روتور نوسانات پیوسته با زمان در شاخص $\Delta\delta$ به وجود خواهد آمد. این تغییرات پیوسته در پروفایل MMF روتور معادل است با جابجایی مکان میدان مغناطیسی روتور با توجه به وضعیتهای پیش‌فاز و پس‌فاز چرخش محور مغناطیسی اصلی در وضعیت سالم روتور می‌باشد. استفاده از تغییرات $\Delta\delta$ در تشخیص شکستگی به روش "شاخص چرخش زاویه" تعریف می‌شود.

۱-۲-۲ روش تشخیص الگو (Pattern Recognition)

روشها و تکنیکهای مختلفی برای تعیین خطاهای ماشین القایی وجود دارد. در میان این روشها، تحلیل شاخص جریان موتور[1](MCSA) یک دیدگاه شناخته شده و مشهور برای تعیین و مشخص کردن خطاهای ماشین القایی با توجه به سیگنالهای جریان می‌باشد. این روشها برای زمانیکه موتور به برق شبکه متصل است کارایی بیشتری دارند در واقع online می باشند. هر چند که این روزها بیش از بیش در کاربردهای صنعتی موتورهای آسنکرون با درایوهایی که مبتنی بر PWM[2] برای تغییر سرعت می‌باشند، بکار می‌روند. این نوع منابع تغذیه باعث می‌شوند که‌هارمونیکهای متعددی ناشی

[1] -motor current signature analysis
[2] -pulsewidth modulation

از فرکانس کموتاسیون، جریان را تحت تاثیر قرار دهد. در این شرایط تعیین خطا با روش تحلیل جریان تقریبا غیر ممکن خواهد بود. به این دلیل نیاز است تا مشخصات دیگری ،از تحلیل های مختلف تعیین گردند(تحلیل های آماری).

در پایان، رنج وسیعی از مشخصات لازم است تا ماکزیمم عیب و نقص‌ها(مکانیکی و الکتریکی) مشخص گردند. این تکنیکها نسبت به تکنیک هوش مصنوعی[1](AI) که در سالهای اخیر رواج پیدا کرده سنتی می‌باشند. مسیر پژوهش ها نشان می‌دهد که تکنیکهای AI دارای قابلیت کاربردی ، حساسیت، قابلیت اطمینان و اتوماسیون در سطح پیشرفته می‌باشد. توسعه‌های اخیر که در زمینه سخت افزار و نرم افزار صورت گرفته این امکان را فراهم می‌آورد تا یک سیستم برای نمایش وضعیت اتوماسیون ماشین های القایی با بکاربردن پردازش سیگنالی و طبقه بندی تکنیکها مربوط به تعیین خطا، ساخته شود.

در این زمینه در مرجع [4] یک روش تشخیص، مبتنی بر اندازه گیری جریان و تحلیل تشخیص الگو ارائه گردیده است. هدف تعیین وضعیتهای عملکرد(خطا یا بدون خطا) موتورهای القایی، تحت هر میزان بار می‌باشد.

تشخیص الگو همچنین در مرجع [5] برای تشخیص شکستن میله‌های روتور ماشینهای القایی بکار رفته است. این روش بر مبنای توسعه خطاهای مینیمم دسته بندی شده که برای تشخیص میله‌های شکسته روتور موتور القایی در حالت ماندگار بکار می‌رود. الگوریتم پیشنهاد شده در مرجع [5] فقط از جریانهای استاتور استفاده کرده بدون اینکه به متغیرهای دیگر نیازی باشد. ابتدا سرعت روتور از جریان استاتور تخمین زده می‌شود سپس مشخصات مورد نیاز استخراج می‌شود. بردار مشخصات بدست آمده نرمالیزه شده و بصورت طبقه بندی شده برای مشخص کردن سالم بودن موتور یا شکسته بودن میله‌های روتور اعمال می‌شود، فقط تعداد قطبها و شیارهای روتور برای اطلاعات زیر مجموعه نیاز است.

۱-۲-۳ روش VMM[2]

Vienna Monitoring Method روش دیگری است که در مرجع [6] برای تشخیص خطای میله‌های روتور ماشین القایی بکار می‌رود. نامتقارنی قفسه روتور ماشین القایی سبب اختلال و انحراف در شار فاصله هوایی می‌شود. این انحرافات و خطاها بر روی سرعت و گشتاور و همچنین ولتاژها و جریانهای ترمینال استاتور اثر می‌گذارد.

در مرجع [7] نیز از این روش استفاده گردیده است. این مقاله به دنبال تعیین خطاهای روتور ماشین های القایی روتور قفسی با استفاده از یک سری آزمایشات و در شرائط بدون حرکت بودن ماشین می‌باشد. معمولاً گشتاور بار در آزمایشگاه در دسترس نمی‌باشد و به آسانی نمی‌توان بار را به موتور متصل نمود، هرچند که در وضعیت ثابت گشتاور شفت و جریانهای روتور برای Monitoring روتور، بقدر کافی بزرگ هستند. بنابراین آزمایشات اتصال کوتاه برای هدفهای تشخیص خطا، کاربردی می‌باشند، این کاربرد به Vinna Monitoring معروف بوده که مدلی بر مبنای ارزیابی گشتاور می‌باشد.

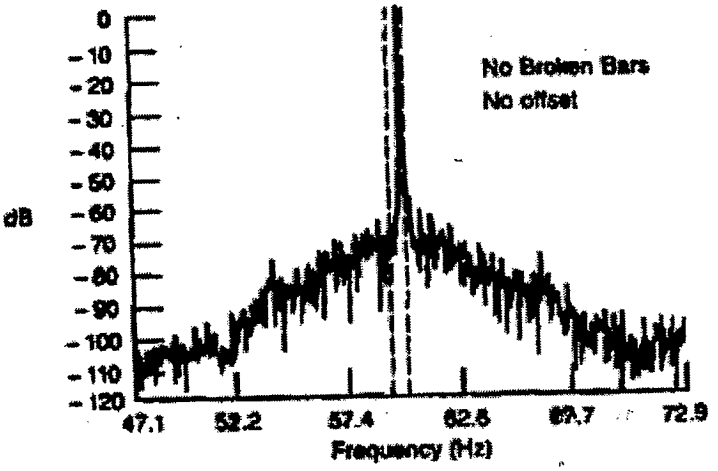
مرجع [8] یک روش جدید مربوط به VMM ارائه کرده است که در این روش نیاز به سنسور تعیین موقعیت روتور نمی‌باشد با نام Sensorless Vienna Monitoring . این روش همانطور که گفته شد مبتنی است بر تعیین خطاهای

[1] -artificial intelligence
[2] - Vinna Monitoring Method

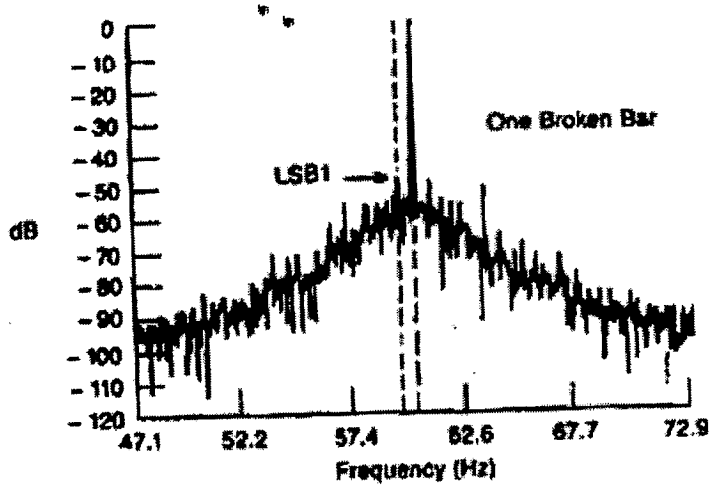
روتور بدون استفاده از سنسور تعیین موقعیت روتور می‌باشد. خصوصاً برای درایوهای با اینرسی کم تخمین دقیق موقعیت روتور لازم است.

۱-۲-۴ روش آنالیز طیف فرکانسی

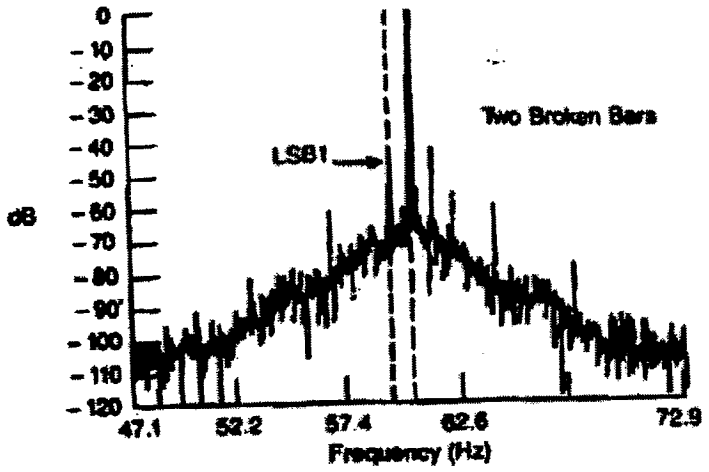
در مرجع [9] آقایان استین ، اندیکات و کلیمان با استفاده از تحلیل فرکانسی به تشخیص شکستگی میله‌های روتور موتور القایی پرداختند. برای این کار آنها ابتدا سیگنال جریان را اندازه گیری کرده سپس آنرا تبدیل به دیجیتال نموده و توسط رایانه دو عمل بر روی داده‌ها انجام دادند. طیف فرکانسی سیگنال توسط الگوریتم FFT محاسبه گردید و سپس این طیف بدست آمده با طیف مرجع مقایسه شد. و در مرحله بعد تصمیم گیری صورت گرفت.



شکل۱-۵ طیف جریان در حالت سالم بودن موتور



شکل۱-۶ طیف جریان در حالت شکستن ۱ میله



شکل ۱-۷ طیف جریان در حالت شکسته بودن دو میله

همانطور که در شکل‌های بالا(شکل‌های مرجع [9]) مشاهده می‌شود. هنگامیکه موتور دچار شکستگی یک یا دو میله می‌گردد. پارامتر $LSB^1=(1 \pm 2s)f$ افزایش می‌یابد. که s لغزش موتور و f فرکانس منبع تغذیه می‌باشد. در اینجا از پارامتر$LSB1=(1-2s)f$ برای تصمیم گیری استفاده می‌شود(تشریح کامل مساله پیدایش نوسانات 2sf، در فصل دوم پایان نامه، بخش مربوط به شرایط نامتعادلی روتور و استاتور، وجود دارد).

الگوریتم تصمیم گیری که در اینجا مورد استفاده قرار می گیرد دو نوع می‌باشد. نوع اول بر پایه مقایسه با سیگنال مرجع بوده به این صورت که اگر اندازهٔ LSB1 در موتور کمتر از $20\ dB^2$ نسبت به مرجع تغییر کرده باشد آنگاه موتور همان وضعیت موتور مرجع را خواهد داشت. در غیر این صورت آزمون فرکانس بالا صورت می‌گیرد. اگر در فرکانسهای بالا تفاوت با حالت مرجع زیاد باشد رأی به شکستگی میله صادر می‌شود. و در غیر این صورت احتمالا نامتقارنی یا نامتعادلی در موتور وجود دارد.

در نوع دوم بدون مقایسه با حالت مرجع تصمیم گیری می‌شود. در یک سری آزمایش ۲۳ موتور با وضعیتهای مختلف مورد بررسی قرار گرفته شد و نتایج زیر بدست آمد.

احتمالا هیچ گونه خطایی وجود ندارد.	$LSB1 < -60\ dB$
یک میله خم شده وجود دارد.	$-54 < LSB1 < -50\ dB$
احتمالا میله شکسته وجود دارد.	$-50 < LSB1$

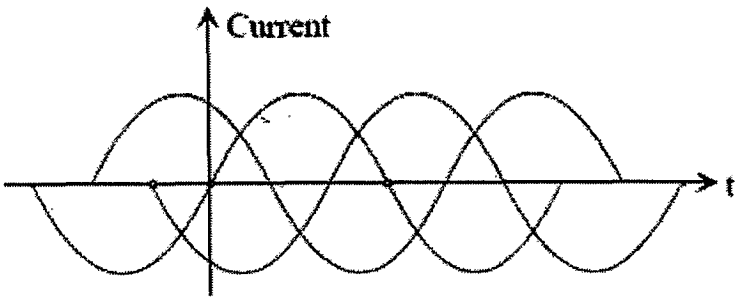
با اندازه گیری دامنهٔ LSB1 در موتور، در هر محدوده که قرار گیرد وضعیت موتور مشخص خواهد شد.

---

[1] Low Side Band
[2] دسی بل =20Log(I)

۱-۲-۵ روش استفاده از سیگنال ZCT[1]

از روش ZCT یا روش زمانهای تقاطع صفر، جهت آشکارسازی عیب در موتورهای القایی استفاده می‌شود[10]. سیگنال ZCT شامل اطلاعاتی است که از هر زمان تقاطع صفر در جریان سه‌فاز استاتور حاصل می‌شود. ارزش این اطلاعات از اختلاف زمانی بین دو زمان تقاطع صفر نزدیک به هم (Tn-Tn-1) منهای مدت زمان مربوط به شصت درجه به دست می‌آید(شکل ۱-۸، مرجع[10]).



$$ZCT_{n+1} = T_{n-1} - T_n - T60$$

$$T_{n+3} - T_n = T180$$

شکل ۱-۸ تعریف سیگنال ZCT

در شرایط ایده‌آل (منبع تغذیه کاملاً متعادل و موتور کاملاً متقارن باشد) مقدار سیگنال ZCT صفر می‌باشد. امّا در شرایط نامتعادل بودن منبع تغذیه و همچنین نامتقارن بودن موتور، در زمانهای تقاطع صفر جریان سه‌فاز موتور تغییراتی حاصل می‌شود. بنابراین از سیگنال ZCT می‌توان اطلاعاتی درباره عیب داخلی موتور و همچنین عیب خارجی موتور مانند نامتعادل بودن منبع تغذیه، کسب نمود. در مرجع [10] از آن برای تشخیص شکستگی میله‌های روتور موتور القایی روتور قفسی استفاده شده است. برای این منظور با استفاده از SIMULINK نرم‌افزار MATLAB ، یک ماشین سه اسب بخار و چهار قطب مدل گردیده و شکستگی در میله‌های روتور با قراردادن سه مقاومت در مدار روتور در نظر گرفته شده است.

۱-۲-۶ روشهای دیگر

برای تعیین خطاهای مربوط به روتور موتورها، خصوصاً موتورهای القایی، روشهای دیگری از جمله استفاده از فیلتر کلمن[2] ، روش آمار انطباقی فرکانسی-زمانی[3] نیز وجود دارد که در اینجا بطور خلاصه چند روش دیگر اشاره می‌شود.

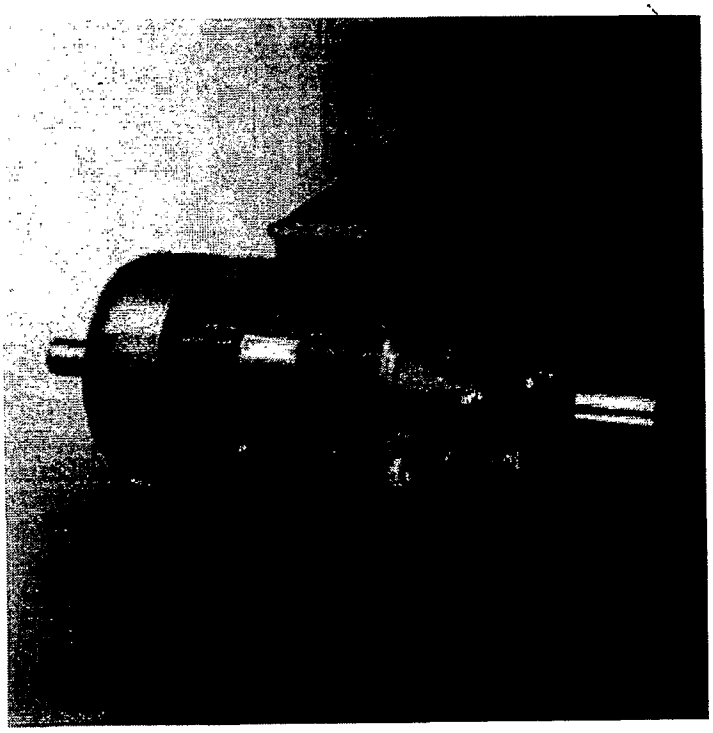
---

[1] -Zero Crossing Times
[2] -Kalman Filter
[3] -Adaptive Statistical Time–Frequency Method

در مرجع [11] از تحلیل های گذرایی جریانهای ماشین در تعیین شکستن میله‌های روتور استفاده گردیده است. کار صورت گرفته بر روی ماشین های القایی بر روی حالت عملکرد ماشین درسرعت ماندگار متمرکز شده است. مرجع [12] برای تعیین میله‌های شکسته روتور موتور القایی، موتور را از منبع تغذیه قطع نموده و ولتاژ القاء شده در استاتور موتور را که توسط شار مغناطیسی روتور بوجود آمده بررسی می‌کند. اگر میله‌ای شکسته باشد تاثیر مستقیمی بر روی این ولتاژ القاء شده خواهد گذاشت. مرجع [13] تحت عنوان ،"تعیین شکستن میله‌های روتور موتورهای القایی با بکاربردن فیلتر کلمن توسعه یافته در تخمین مقاومت روتور بدون سنسور " به موضوع تعیین خطای شکستگی پرداخته است. فرضیه در نظر گرفته شده در این مقاله بر این مبنا است که مقاومت ظاهری روتور یک موتور القایی، زمانیکه میله روتور می‌شکند، افزایش می‌یابد. در این شرایط، برای تعیین میله شکسته، جریانها و ولتاژهای استاتور اندازه گیری شده و بوسیله یک فیلتر کلمن پیشرفته برای تخمین سرعت روتور و تخمین مقاومت لحظه‌ای روتور پردازش می‌شود. مقاومت تخمین زده شده با مقدار نرمال برای تعیین خطا مقایسه می‌شود. در مرجع [14] از تبدیل هیلبرت[1] در کنار تبدیل فوریه برای تشخیص شکستگی میله استفاده شده است. از آنجا که تبدیل فوریه بر روی جریان استاتور در شرایط بار کم موتور انجام می‌شود در حالت شکستگی 50% یک میله، تشخیص به خوبی صورت نمی‌گیرد بنابراین از تبدیل هیلبرت برای رفع این مشکل استفاده شده است. مرجع [15] از تبدیل DWT[2] برای تحلیل فرکانسی جریان موتور استفاده نموده است. در این مقاله با استفاده از استخراج طیف هارمونیکی جریان راه‌اندازی موتور عمل تشخیص شکستگی انجام گرفته است. در مرجع [16] برای تشخیص خطای شکستگی میله روتور ماشین القایی ،از تحلیل complex vector wavelets استفاده گردیده است. در شرایطی که ماشین به منبع تغذیه متصل است جریان راه‌اندازی ماشین با استفاده از این روش مورد تحلیل قرار می‌گیرد. در این مقاله نشان داده می‌شود که اطلاعات به دست آمده از جریان گذرایی راه‌اندازی موتور و تحلیل آن توسط complex vecto wavelets موثرتر از دیگر روشها خواهد بود.

[1] Hilbert Transform
[2] -Discrete Wavelet Transform

فصل دوم:
عملکرد نامتعادل ماشینهای القایی متقارن



۲-۱ مقدمه

فورتسکیو در سال ۱۹۰۰ میلادی تحلیل عملکرد نامتعادل ماشینهای القایی متقارن را بر مبنای مؤلفه‌های متقارن ارائه کرد[17]. با تعمیم روش مؤلفه‌های متقارن، تحلیل ماشینی که دچار قطع یک فاز استاتور گردیده است با استفاده از نظریه میدان گردان امکان پذیر شد. در اینجا از نظریه دستگاه مرجع برای ایجاد روش مؤلفه‌های متقارن در شرایط نامتعادل استفاده می‌شود. به طور خاص، اگر متغیرهای فاز را به صورت یک سری توابع سینوسی با ضرایب ثابت یا متغیر با زمان تعریف کرده، می‌توان نشان داد که متغیرهای متعادل فاز به صورت یک سری از مجموعه‌های متعادل در دستگاه مرجع اختیاری می‌باشند. ویژگی تبدیل به دستگاه مرجع اختیاری، نظریه مؤلفه‌های متقارن را به صورت تحلیلی مجاز کرده و اولین روش مستقیم اعمال مفهوم مؤلفه‌های متقارن به شرایط نامتعادل می‌باشد.

۲-۲ نظریه مولفه‌های متقارن

روش مؤلفه‌های متقارن، در سال ۱۹۱۸ میلادی توسط فورتسکیو برای تحلیل رفتار حالت دائمی اجزای سیستم قدرت در شرایط نامتعادل پیشنهاد گردید. فورتسکیو نشان داد که فازورهای یک مجموعهٔ نامتعادل از متغیرهای چند فاز در حالت دائمی را می‌توان برحسب مجموعه‌های فازورهای متعادل بیان کرد. به عنوان مثال، فازورهای نمایشگر یک مجموعهٔ سه فاز نامتعادل را می‌توان برحسب (۱) یک مجموعهٔ فازوری متعادل با ترتیب فاز abc (توالی مثبت)، (۲) یک مجموعهٔ فازوری متعادل با ترتیب فاز acb (توالی منفی) و (۳) یک مجموعه از سه فازور مساوی (توالی صفر) نشان داد. از آنجا که این روش به صورت گسترده برای تحلیل شبکه‌های استاتیک بکار می‌رود امّا شاید مناسبترین روش برای تحلیل ماشینهای متقارن در شرائط نامتعادل باشد.

برای مدارهای ساکن تبدیل مختلط فورتسکیو به صورت زیر نوشته می‌شود

$$\tilde{F}_{+-os} = S\tilde{F}_{abcs} \qquad (۱-۲-۲)$$

که مؤلفه‌های متقارن به صورت

$$\left[\tilde{F}_{+-os}\right]^T = \left[\tilde{F}_{+s}\tilde{F}_{-s}\tilde{F}_{os}\right] \qquad (۲-۲-۲)$$

و فیزورهای نامتعادل به صورت

$$\left[\tilde{F}_{abcs}\right]^T = \left[\tilde{F}_{as}\tilde{F}_{bs}\tilde{F}_{cs}\right] \qquad (۳-۲-۲)$$