

## بکار گیری از آنالیز اثرات الکتریکی در عیب یابی الکتروموتورها

### عابص صفری ۱

#### چکیده

امروزه موتورهای القایی درصد قابل توجهی از توان الکتریکی تولیدی کشور را در صنایع مختلف به خود اختصاص داده اند. با توجه به کاربرد فراوان موتورهای القایی، پایش وضعیت این تجهیزات، جهت جلوگیری از توقف ناگهانی و افزایش تولید ضروری می باشد. آنالیز اثرات الکتریکی در الکتروموتورها به عنوان یکی از تکنیک های CM نقش مهمی در پایش وضعیت الکتروموتورهای القایی دارد که علاوه بر تشخیص عیوب الکتریکی بسیاری از عیوب مکانیکی را نیز در مراحل ابتدایی خرابی نمایان می کند. در مقاله حاضر به بررسی برخی از عیوب الکتروموتورهای القایی با استفاده از تحلیل اثرات الکتریکی به همراه چند مطالعه موردی در نیروگاه شازند پرداخته شده است.

#### واژه های کلیدی: آنالیز اثرات الکتریکی ۲، تشخیص عیب ۳

#### مقدمه

مجموعه تستهای آنالیز اثرات الکتریکی به عنوان یک روش نا متداخل گر در روند کاری الکتروموتورها شناخته شده است. این تکنیک با نمونه گیری از جریان و ولتاژ تغذیه الکتروموتورها و به کار گیری ابزارهای پردازش سیگنال در حوزه های زمان و فرکانس متناسب با مشخصات الکتروموتور سلامت الکتروموتور را بررسی می کند. ابزارهای پردازش سیگنال اعم از FFT, Demodulation, Wavelet و ... متناسب با ساختار و بار الکتروموتور برای تشخیص عیب استفاده می شود. از مزایای این روش علاوه بر تشخیص خرابی در مراحل ابتدایی، قابلیت اندازه گیری از راه دور است. در این مقاله برخی از عیوب مکانیکی نظیر بیرینگها، گیربکسها که با این روش آشکار سازی شده بررسی شده است.

#### مطالعه موردی شماره ۱: بیرینگها

بیشترین درصد خرابی اجزای موتورهای القایی که منجر به توقف این تجهیز میشود با توجه به تحقیقات انجام گرفته توسط IEEE و EPRI مربوط به عیوب بیرینگ است. با داده برداری از جریان یک فاز الکتروموتورها و سپس با تحلیل فرکانسهای بدست آمده از تبدیل فوریه سریع این سیگنال میتوان به وجود، نوع و اندازه عیب بیرینگ پی برد.

۱- کارشناس، کارشناس الکتریک اداره CM

۲- Electrical Signature Analysis (ESA)

۳- Fault Detection

در مراحل رشد خرابی در بیرینگ هنگامی در مرحله ای که عمر باقیمانده از بیرینگ به ۱ الی ۵ درصد عمر کارکرد خود باشد در تحلیل اثرات الکتریکی نشانه های آن دیده می شود هرچند در مواردی که خرابی بیرینگ ناشی از عیوب دیگر مثل آنبالانسی و میس الایمنت باشد اثرات آن در مراحل ابتدایی نیز دیده می شود. در این مرحله از وجود عیب معمولا با آنالیز اثرات الکتریکی می توان به وجود خرابی پی برد و تشخیص خرابی در این مرحله امکان پذیر است. در این فاز عیب بیرینگ با چشم غیر مسلح دیده و معمولا سعی در تعویض بیرینگ می شود. در آنالیز اثرات الکتریکی اندازه مولفه های خرابی بیرینگ علاوه بر اندازه خرابی به محل خرابی بیرینگ، شرایط بالانس و الایمنت نیز بستگی دارد.

نشانه های خرابی بیرینگ در تحلیل اثرات الکتریکی عبارتند از:

نوسان در گشتاور الکترومغناطیسی (گشتاور فاصله هوایی)، افزایش حرکت شعاعی، افزایش مولفه منفی جریان، تاثیر در توان و جریان.

برای مثال در صورتی که یک خرابی در لایه خارجی و یا داخلی بیرینگ ایجاد کنیم در هر بار گذر توپی بیرینگ از این قسمت ها تغییری در فاصله هوایی بین روتور و استاتور تولید می شود که این سبب تغییر در رلوکتانس فاصله هوایی سپس اندوکانسهای خودی و متقابل استاتور و روتور و در نهایت در هارمونیک های شیار روتور و استاتور و هارمونیک های مدوله شده ناشی از فرکانس ارتعاشات متناسب با نوع خرابی بیرینگ بر روی جریان الکتروموتور می شود و تا عبور کامل توپی از آن ادامه دارد. نوسان در گشتاور الکترومغناطیسی می تواند به دلایلی چون نامتعادلی بار، غیر هم محور بودن شافت، عیوب گیربکس مثل شکستگی دندانه ها و خرابی بیرینگ باشد که سبب تغییر خارج از مرکزیت، ناشی از حرکت شعاعی در فاصله هوایی بین روتور و استاتور می شود.

برای نمونه در زیر به بررسی وضعیت بیرینگ الکتروموتور ۴۰۰ ولتی با استفاده از آنالیز جریان یکی از فازها استاتور پرداخته شده است.

فرکانسهای خرابی بیرینگ در طیف جریان استاتور بدین صورت تعریف می شود. [۲]

$$f_{bf} = |f_s + / - kf_c|$$

$f_{bf}$  فرکانس ناشی از خرابی بیرینگ در جریان استاتور،  $k$  عدد صحیح،  $f_s$  فرکانس جریان تغذیه موتور و  $f_c$  نیز یکی از فرکانسهای اجزای بیرینگ (حلقه داخلی، حلقه خارجی، توپی ها و قفسه نگهدارنده Cage) می باشد.

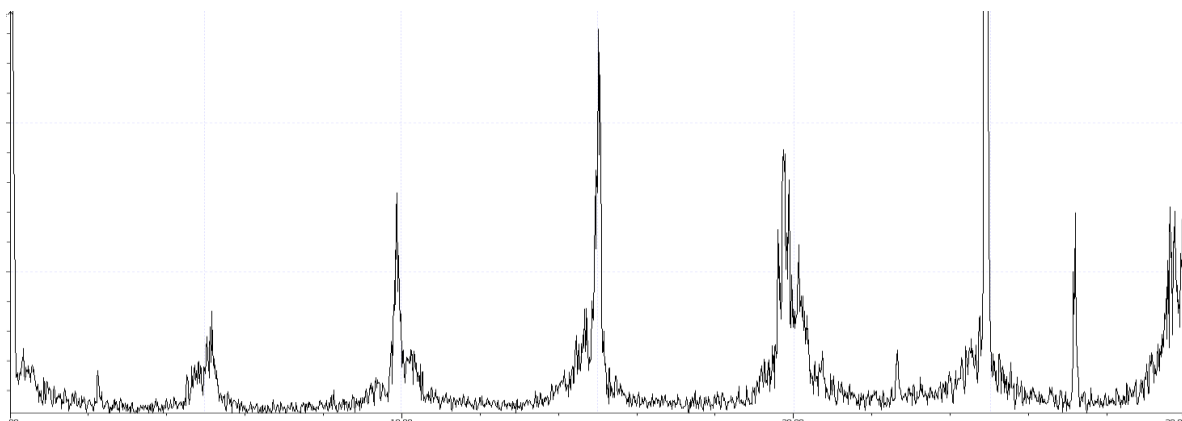
با توجه به مطالب تئوریک ارائه شده بالا در خصوص محاسبه فرکانسهای خرابی در بیرینگ در این مطالعه موردی به محاسبه فرکانسهای خرابی و بررسی روند رشد عیب در ناحیه Cage بیرینگ به شماره ۶۲۰۶ از موتور مذکور پرداخته شده است.

در جدول شماره ۱ اندازه خرابی بیرینگ بر حسب دسی بل در ۳ مرحله زمانی با محاسبه دقیق دور موتور و فرکانسهای خرابی Cage به تفصیل آمده است.

جدول شماره ۱: اندازه مولفه های خرابی بیرینگ در زمانهای مختلف

تاریخ	دور موتور (rpm)	اندازه عیب (db)
29/01/2011	1492.5	3
23/02/2011	1495.314	25
24/02/2011	1491.558	45

با توجه به نتایج ارائه شده در جدول ۱ که اندازه خرابی فرکانسهای Cage بیرینگ ۶۲۰۶ (۹.۷ هرتز) را بر حسب دسی بل نشان داده است دیده میشود که عیب بوجود آمده در بیرینگ در مدت ۲۵ روز تقریباً ۲۲ دسیبل رشد داشته است که این مقدار یعنی اندازه فرکانس خرابی تقریباً ۷ برابر شده است. با توجه به رشد سریع عیب، این تجهیز تحت مراقبت ویژه قرار گرفت که این تصمیم منجر به کوتاه کردن زمان نمونه برداری به منظور حفظ سلامتی و جلوگیری از وقوع خرابی با شدت بیشتر تجهیز شد. بعد از گذشت یک روز مجدداً نمونه جریان از تجهیز مد نظر گرفته شد که مقدار اندازه خرابی متناسب با عیب بوجود آمده تا ۴۵ دسیبل افزایش داشت. همانطور که در شکل شماره یک دیده میشود و با استناد به محاسبات تئوری فرکانس عیب بیرینگ مذکور در طیف Demode به خوبی و با اندازه بالا دیده می شود همچنین مولفه های فرکانسی نصف فرکانس محاسبه شده نیز اندازه ای قابل توجه دارد.



شکل ۱: طیف Demode جریان موتور در مورخه ۲۴/۰۲/۲۰۱۱

پس از باز کردن بیرینگ سر آزاد این موتور همانطور که در شکل شماره ۲ دیده میشود Cage بیرینگ کاملا شکسته شده بود.

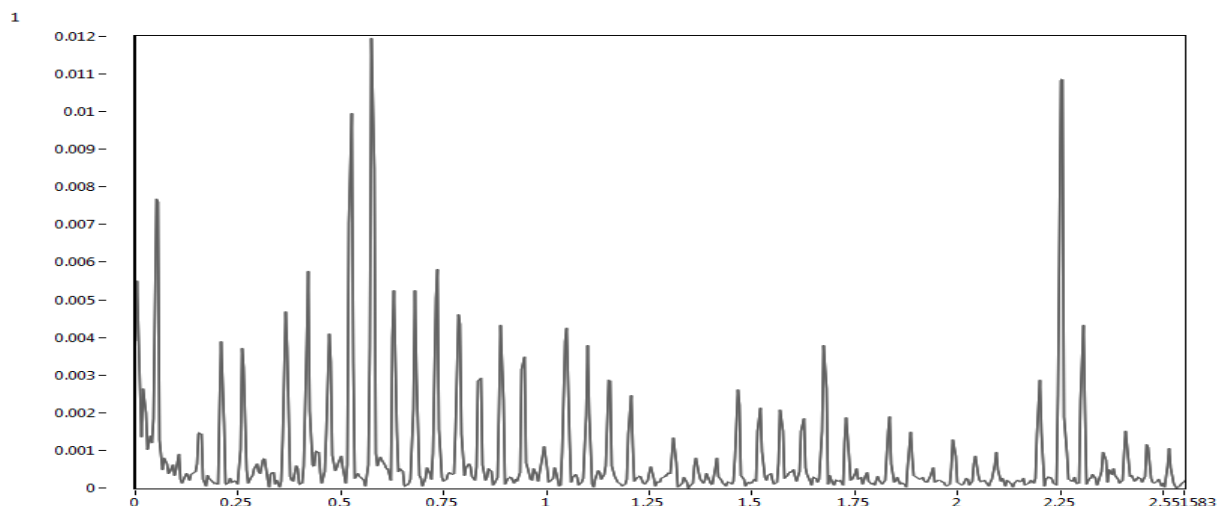


شکل شماره ۲

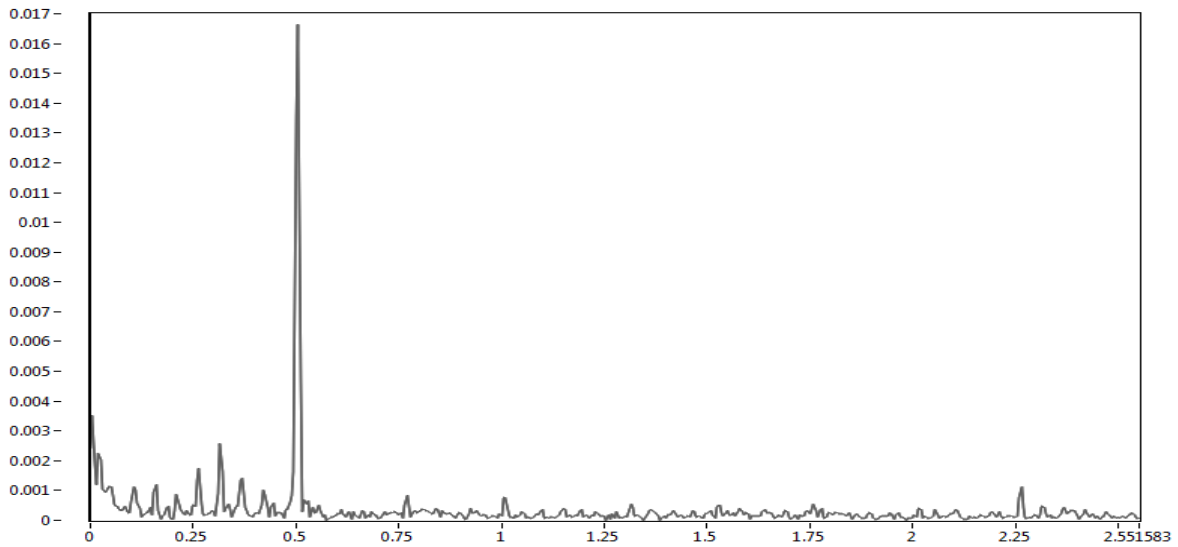
### مطالعه موردی شماره ۲: گیربکسها

بررسی وضعیت دندانه های گیربکسها و بیرینگ مربوط به آنها و تعیین منبع تولید صدا و ارتعاش، یکی دیگر از کاربردهای تحلیل آثار الکتریکی است. [4] در این مورد وضعیت گیربکس دو مرحله ای یکی از ترنینگیهای GRF نیروگاه سازند بررسی می شود.

این گیربکس دورالکتروموتور ۴ قطبی را در دو مرحله با چرخ دنده هایی کاهنده با نسبت های ۱۱ و ۴۳ برای چرخاندن شافت اصلی الکتروموتور GRF آماده می کند. دور چرخ دنده ها به ترتیب ۱۳۵ و ۳ دور در دقیقه معادل ۲.۲۵ و ۰.۰۵۵ هرتز می باشند. شکل ۳ طیف فرکانسی جریان الکتروموتور در حالتی که بیرینگ چرخ دنده با نسبت کاهنده ۴۳ دچار خرابی شده است و شکل ۴ بعد از تعویض بیرینگ معیوب را نشان می دهد. ساید باندهای ۰.۰۵۵ هرتز ناشی از وجود عیب در اجزای چرخ دنده دومی حول فرکانس گذر قطب (Pole Passed Frequency) و فرکانس ۲.۲۵ هرتز (ناشی از چرخ دنده اولی) در شکل ۳ به خوبی نشان داده شده است.



شکل ۳: وجود فرکانسهای چرخ دنده با دور کمتر به سبب خرابی بیرینگ



شکل ۴: بعد از تعویض بیرینگ

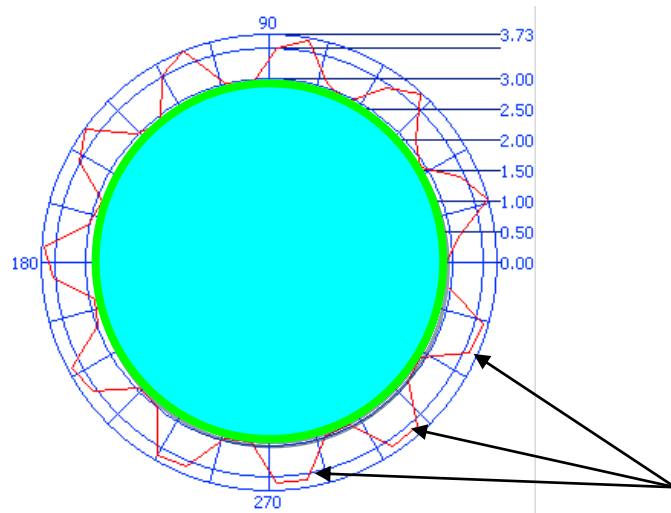
در شکل ۴ تنها فرکانس PPF ناشی از لغزش الکتروموتور دیده می شود و فرکانسهای دور گیربکسها اثر ناچیزی دارند.

### مطالعه موردی شماره 3: بررسی وضعیت تغییرات فاصله هوایی ناشی از پروفایل دندانه گیربکسها

با این روش می توان تقریبی از تغییر فاصله هوایی بین روتور و استاتور را نشان داد. با استفاده از سیگنال جریان و در حوزه زمان به منظور اطمینان از وضعیت دندانه ها ، لقی هاو سایر موارد تاثیر گذار بر روی گیربکسها، می توان تقریبی از پروفایل دندانه های گیربکس آن را استخراج کرد. در این تکنیک به منظور تخمین پروفایل دندانه های می بایست با توجه به تعداد دندانه ها، نسبت دور محورهای گیربکس را محاسبه کرد و با قرار دادن فیلترهای متناسب بر روی نمونه جریان به پروفایل مربوطه دست پیدا کرد.

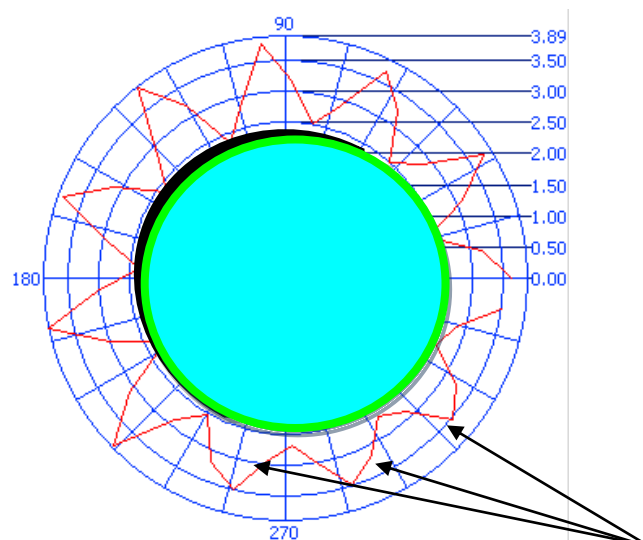
در زیر نمونه ای از اجرای موفق این تکنیک آورده شده است.

تجهیز مورد مطالعه گیربکس الکتروموتور یکی از ترینگیرهای GRF نیروگاه حرارتی سازنداست که صدای غیر عادی داشته است و پس از داده بردای از جریان الکتروموتور و انجام پردازش های مربوطه بر روی سیگنال جریان همانطور که در شکل ۶ دیده می شود تقریباً در ۳/۱۱ کل دندانه ها توزیع نیرو متفاوت از مابقی دندانه ها و مقدار نیرو کم می باشد. افزایش جریان که ناشی از افزایش نیروی چرخ دنده ها بر روی یکدیگر است در مابقی دندانه ها مقدار بیشتری دارد. این افزایش نیرو سبب کاهش دور الکتروموتور و تغییر در فاصله هوایی می شود. عوامل مختلفی چون برخورد، کم بودن ناحیه تماس ، لقی و ... می تواند سبب بوجود آمدن چنین پدیده ای باشد.



شکل ۵: گیریبکس ترینگیرهای GRF هنگامی که صدای غیر عادی نداشت.

شکل ۵ مربوط به زمانی است که صدای غیر عادی در تجهیز مورد بررسی زیاد نبوده است. در پروفایل بدست آمده در این شکل نیز به خوبی دیده می شود که تقریباً در ۳ دندان ضربه ناشی از گیریبکس به الکتروموتور کمتر است و متعاقب آن فاصله هوایی کمتر تغییر دارد. این می تواند سرچشمه بروز خرابی که منجر به صدای غیر عادی شده است باشد.



شکل ۶: گیریبکس ترینگیرهای GRF در زمان وجود عیب

در شکل ۶ همانگونه که دیده می شود شکل خارج از مرکزیت وجود دارد و اخیلاف بین شروع ضربه تا پایان آن (۲.۵-۱.۳۹) واحد می باشد که نسبت به قبل (۳-۳.۷۳) واحد بیشتر شده است.

بعد از باز کردن گیربکس مذکور وجود لقی در بیرینگهای گیربکس مشهود بود.

#### نتیجه گیری:

تکنیک ESA علاوه بر تشخیص عیوب الکتریکی موتورها قادر به تشخیص عیوب مکانیکی آنها نیز می باشد. این روش برای تقویت تکنیک های پایش وضعیت تجهیزات دوار در محلی کردن عیوب می تواند به کار گرفته شود. همچنین در مواردی که موتور در مکانی صعب العبور و یا در زیر آب قرار دارد از این تکنیک می توان به عنوان یک روش کارا و مفید جهت پایش وضعیت هر چه بهتر استفاده کرد.

#### مراجع:

- [1] L. Eren & J. Devany, " Motor bearing damage detection via wavelet analysis of the starting current transient" IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference, Budapest, 21-23 May, 2001.
- [2] I. Rodríguez, R. Alves, "Bearing Damage Detection of the Induction Motors using Current Analysis ", 2006 IEEE PES Transmission and Distribution , Latin America Venezuela. 2006.
- [3] M. Bl'odt, P. Granjon, B. Raison, G. Rostaing, "Models for Bearing Damage Detection in Induction Motors Using Stator Current Monitoring", IEEE International Symposium on Industrial Electronics (ISIE 2004), Ajaccio, France, 2004.
- [4] C. Kar, A.R. Mohanty, "Multistage gearbox condition monitoring using motor current signature analysis and Kolmogorov-Smirnov test", Mechanical Engineering Department, Indian Institute of Technology, Kharagpur, India, April 2005
- [5] W. T. Thomson, R. J. Gilmore, "Motor Current Signature Analysis to Detect Faults in Induction Motor Drives-fundamentals", Data Interpretation, and Industrial Case Histories, Proceeding of the Thirty-Second Turbomachinery Symposium, 2-3,7, 2003 (Journal paper).