

تشخیص خطای روتور در درایو موتور القایی قفس سنجابی با استفاده از نرم افزار MATLAB و مدل ریاضی موتور

رضا نجفی زنگیر

دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه محقق اردبیلی
reza.najafi1369@yahoo.com

عبدالمجید دژم خوی

استادیار گروه برق و کامپیوتر دانشگاه محقق اردبیلی
majiddejam@gmail.com

مصطفی بخشی کیوی

دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه محقق اردبیلی
mostafabakhshikivi@gmail.com

چکیده

موتور القایی این روزها دارای تغییرات زیاد و در بسیاری از فرآیندهای صنعتی مورد استفاده قرار می گیرد. در این مقاله، گام به گام پیاده سازی نرم افزاری یک ماشین القایی با استفاده از تبدیلات محور dq0 با متغیرهای استاتور و روتور در قاب مرجع دلخواه انجام شده است. برای این منظور، معادلات مربوطه استخراج و در ابتدا مشخص شده و سپس یک مدل کلی از یک موتور القایی سه فاز توسعه یافته ارائه خواهد شد. این "تشخیص خطای در درایو موتور القایی قفس سنجابی با استفاده از نرم افزار MATLAB" ارائه یک شبیه سازی از تشخیص خطای روتور مانند روتور میله شکسته یا انتهای حلقه در درایو موتور القایی قفس سنجابی است. توانایی تشخیص تمامی خطاها، که ممکن است در طول عمر موتور بوجود آیند، توجه ویژه ای را به شناسایی روتور میله شکسته در مراحل اولیه انتشار خطا می طلبد. این روش بر تجزیه و تحلیل طیف فرکانسی جریان استاتور و رویکرد سرعت روتور، که می تواند بدون اختلال در عملکرد نرمال موتور اندازه گیری شود متمرکز است، بنابراین آن را کاملا غیر تهاجمی و آسان به پیاده سازی در محیط های صنعتی قادر می سازد. تجزیه و تحلیل FFT جریان استاتور و خروجی حاصل از تجزیه و تحلیل وضعیت موتور القایی در حال کار را به ما می دهد. خروجی احتمالی از تجزیه و تحلیل می تواند وضعیت موتور در حال کار را در حالت سالم، حالت هشدار دهنده و یا حالت خطا را به ما نشان دهد. این حالت های موتور به ایستگاه نظارت از طریق GSM به اپراتور ارسال می گردد تا اقدامات لازم انجام پذیرد.

واژگان کلیدی: خطای روتور، روتور میله شکسته، آنالیز FFT، مدل سازی ریاضی؛ MATLAB.

مقدمه

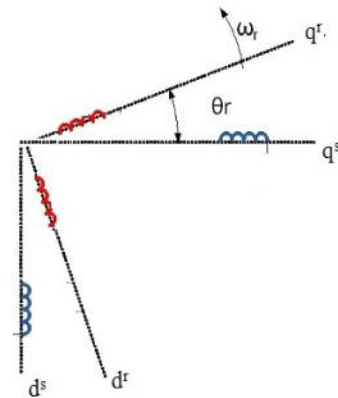
دستگاه های ایمنی کلاسیک مانند فیوز، حفاظت اضافه بار موتور و قطع کننده مدار تنها پس از یک خطای قابل توجهی که رخ می دهد فعال می شود. اگر موتور الکتریکی در درایوهای با عملکرد حیاتی استفاده شود، شکست ناگهانی می تواند باعث خطرات ایمنی غیر قابل پذیرش و هزینه های گسترده اقتصادی شود. یک سیستم تشخیص است که می تواند چنین شکستی را پیش بینی کند. بنابراین از اهمیت زیادی برخوردار است. مزیت اصلی نظارت آنلاین و تشخیص در ماشین های الکتریکی توانایی پیش بینی و تشخیص نوع، موقعیت، احتمال و زمان خطای احتمالی است. روش هایی مانند نظارت به جلوگیری از وقفه ناگهانی در عملکرد و بهبود قابلیت اطمینان سیستم درایو اجازه می دهد. نظارت بر سیستم درایو الکتریکی با استفاده از تکنیکهای نظارت عملکرد غیر تهاجمی برای بهبود قابلیت اطمینان درایوهای الکتریکی در بسیاری از شاخه های صنعت مورد استفاده قرار می گیرد. مزیت اصلی این سیستم تشخیصی، پیش بینی خرابی ممکن با تجزیه و تحلیل آنلاین از پارامترهای مختلف درایو است. با توجه به ساختمان ساده، هزینه کم و قابلیت اطمینان بالا، از موتورهای القایی قفس سنجایی سه فاز به طور گسترده در موتورهای الکتریکی استفاده می شود. به عنوان یک پیامد از خطای الکتریکی یا مکانیکی، که ممکن است در حین کار بوجود آیند، بسیاری از ماشین های القایی در شرایط نامتقارن عملیاتی قرار می گیرند. شایع ترین خطای روتور موتور القایی به طور کلی به دو صورت الکتریکی (عدم تقارن به دلیل روتور میله شکسته و بخش پایانی حلقه) و مکانیکی (خروج از مرکز ایستا و پویا) تقسیم بندی می شود. اگر چه خطای مکانیکی بسیار ایجاد می شود، اما تشخیص عدم تقارن الکتریکی در قفس روتور بسیار دشوار است ان هم به دلیل عدم توانایی اندازه گیری جریان روتور در طول بهره برداری از موتور است. شکست قفس روتور (شکل ۱) بر اساس ترکیبی از تنش های مکانیکی و حرارتی به دلیل ایجاد نیروهای الکترومغناطیسی در میله قفس سنجایی در طول راه اندازی، نیروی جاذبه بین استاتور و روتور به دلیل شکاف هوایی نامتقارن، نیروهای گریز از مرکز، نیروهای ناشی از گشتاور و ارتعاشات ناشی از عدم تعادل جرم دوار ایجاد می شود. برای شناسایی چنین خطای جریان موتور دیدن تجزیه و تحلیل (MCSA) امروزه معمولاً به تصویب رسیده و رویکرد قابل اطمینان برای انجام کار تشخیص در مراحل اولیه است. در طول سالها، بسیاری از ایده ها برای ارتقا طرح اساسی MCSA برای بهبود حساسیت تشخیص مطرح شده است.



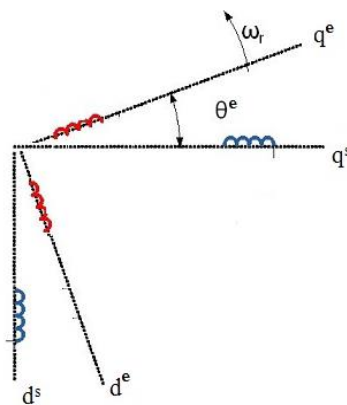
شکل ۱- شکست میله رتور موتور القایی

مدلسازی دینامیکی DQ موتور القایی سه فاز

ماشین AC سه فاز را می توان بصورت یک ماشین دو فاز معادل مانند شکل ۲ نشان داد.



شکل ۲- موتور القایی ۳ فاز دو سیم پیچ



شکل ۳- محورهای ثابت و دوار

که در آن d^s - q^s مربوط به محور مستقیم استاتور و d^r - q^r مربوط به محور مستقیم روتور است. اجازه دهید فرض کنیم که d^s - q^s در زاویه جهت دار " θ " نشان داده شده در شکل بالا باشد. ولتاژ $V_{d^s}^s$ و $V_{q^s}^s$ را می توان در مولفه های as - bs - cs حل کرد که می تواند به صورت ماتریسی زیر بیان شود:

$$\begin{bmatrix} v_{as}^s \\ v_{bs}^s \\ v_{cs}^s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta & 1 \\ \cos(\theta-120) & \sin(\theta-120) & 1 \\ \cos(\theta+120) & \sin(\theta+120) & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{qs}^s \\ v_{ds}^s \\ v_{0s}^s \end{bmatrix} \quad (1)$$

رابطه معکوس مربوطه را می توان بصورت زیر بیان کرد:

$$\begin{bmatrix} v_{qs}^s \\ v_{ds}^s \\ v_{0s}^s \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} \cos \theta & \cos(\theta-120) & \cos(\theta+120) \\ \sin \theta & \sin(\theta-120) & \sin(\theta+120) \\ 0.5 & 0.5 & 0.5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{as}^s \\ v_{bs}^s \\ v_{cs}^s \end{bmatrix} \quad (2)$$

در اینجا، v_{0s}^s جزء توالی صفر را نشان می دهد که ممکن است وجود داشته یا نداشته باشد. جریان و شار را می توان با معادله مشابه [park] تبدیل کرد. تا کنون، ما سه محور متغیر را به دو محور متغیر تبدیل کردیم حال برای تبدیل دو محور متغیر

ثابت به دو محور چرخشی
متغیر برای آن مانند شکل ۳ در نظر میگیریم [Brereton, Lewis and Young]. در شکل ۳، de-qe به عنوان مرجع گردان است که با

سرعت " ω_e " با توجه به محور ds-qs می چرخد، ما می توانیم رابطه بین θ_e و ω_e را بصورت زیر بیان کنیم:

$$\theta_e = \omega_e \cdot t \quad (3)$$

دو فاز سیم پیچ ds-qs به سیم پیچ نصب شده در محور فرضی de-qe تبدیل شده است. معادلات ولتاژ در محور ds-qs را می توان در مرجع de-qe بصورت زیر بیان کرد:

$$v_{qs}^e = v_{qs}^s \cos \theta_e - v_{ds}^s \sin \theta_e \quad (4)$$

$$v_{ds}^e = v_{qs}^s \sin \theta_e + v_{ds}^s \cos \theta_e \quad (5)$$

ما می توانیم دوباره با استفاده از معادلات زیر تبدیل دوباره از قاب گردان به قاب ثابت را داشته باشیم:

$$v_{qs}^s = v_{qs}^e \cos \theta_e + v_{ds}^e \sin \theta_e \quad (6)$$

$$v_{ds}^s = v_{qs}^e \sin \theta_e + v_{ds}^e \cos \theta_e \quad (7)$$

از آنجا که ما در نظر گرفته ایم که:

$$v_{as} = v_m \cos(\omega t) \quad , \quad v_{bs} = v_m \cos(\omega t - 120) \quad , \quad v_{cs} = v_m \cos(\omega t + 120)$$

بنابراین متغیر در قاب مرجع ثابت و در قاب مرجع متغیر می تواند بصورت زیر نوشته شود:

$$v_{qs}^s = v_m \cos(\omega_e t + \varphi) \quad (8)$$

$$v_{ds}^s = -v_m \sin(\omega_e t + \varphi) \quad (9)$$

$$v_{qs}^e = v_m \cos \varphi \quad (10)$$

$$v_{ds}^e = -v_m \sin \varphi \quad (11)$$

از معادلات (۸) و (۹) آن دیده می شود که v_{ds}^s و v_{qs}^s ولتاژ دو فاز متعادل در مقادیر پیک برابر و دومی با زاویه فاز $\pi/2$ با توجه به مولفه های دیگر پیش فاز می باشد. معادله (۱۰) و (۱۱) نشان می دهد که، متغیر سینوسی در قاب ثابت یک مقدار DC در یک قاب مرجع چرخشی همزمان به نظر می رسد. این یک نتیجه مهم است. به یک چیز مهم توجه داشته باشید که متغیرهای استاتور لزوما متعادل کننده موج سینوسی نیست. در واقع، آنها ممکن است هر تابع در زمان دلخواه باشد. ما می توانیم معادله مدار استاتور در قاب ثابت را بصورت زیر بیان کنیم [Wade, Dunnigan and Wil]:

$$v_{qs}^s = R_s i_{qs}^s + \frac{d}{dt} \psi_{qs}^s \quad (12)$$

$$v_{ds}^s = R_s i_{ds}^s + \frac{d}{dt} \psi_{ds}^s \quad (13)$$

که در آن ψ_{qs}^s و ψ_{ds}^s شلر پیوندی استاتور می باشد. هنگامی که این معادلات به قاب مرجع de-qe برده شود، معادلات زیر بدست می آید:

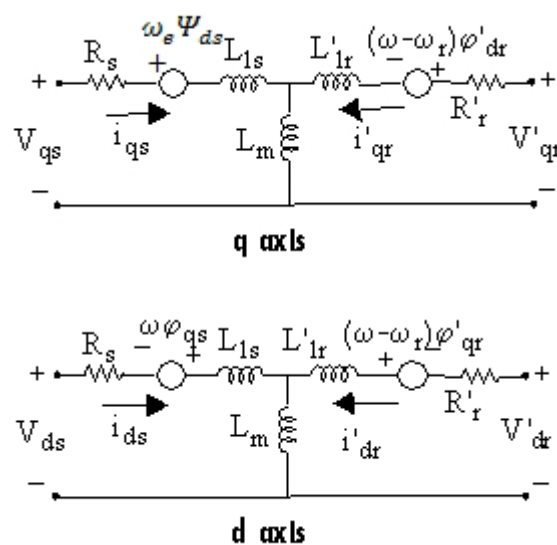
$$v_{qs} = R_s i_{qs} + \frac{d}{dt} \psi_{qs} + \omega_e \psi_{ds} \quad (14)$$

$$v_{ds} = R_s i_{ds} + \frac{d}{dt} \psi_{ds} - \omega_e \psi_{qs} \quad (15)$$

آخرین جمله در معادله (۱۴) و (۱۵) می تواند به عنوان سرعت EMF ناشی از چرخش محور تعریف شود، به همین دلیل است که وقتی $\omega_e = 0$ است معادله تبدیل به فرم ثابت می شود. این مهم است که توجه داشته باشید که در اینجا شار پیوندی در محور de وqe باعث ایجاد EMF به ترتیب در محور qe وde با $\pi / 2$ زاویه (پیش فاز) می شود. وقتی که تمامی متغیرها و پارامترها به قاب استاتوربرده شد، از آنجا که روتور در واقع با سرعت ω_r می چرخد، محور d-q در چرخش روتور با سرعت نسبی " $\omega_e - \omega_r$ " در قاب مرجع سنکرون می چرخد. بنابراین، در قاب de-qe، معادلات روتور می تواند بصورت زیر بیان شود:

$$v_{qr} = R_r i_{qr} + \frac{d}{dt} \psi_{qr} + (\omega_e - \omega_r) \psi_{dr} \quad (16)$$

$$v_{dr} = R_r i_{dr} + \frac{d}{dt} \psi_{dr} - (\omega_e - \omega_r) \psi_{qr} \quad (17)$$



شکل ۴- مدار معادل دینامیکی محور $de - qe$

در شکل ۴ شارهای پیوندی ناشی از جریان را می توان بصورت زیر بیان کرد:

$$\psi_{qs} = L_{1s} i_{qs} + L_m (i_{qs} + i_{qr}) \quad (18)$$

$$\psi_{qr} = L_{1r} i_{qr} + L_m (i_{qs} + i_{qr}) \quad (19)$$

$$\psi_{qm} = L_m (i_{qs} + i_{qr}) \quad (20)$$

$$\psi_{ds} = L_{1s} i_{ds} + L_m (i_{ds} + i_{dr}) \quad (21)$$

$$\psi_{dr} = L_{1r} i_{dr} + L_m (i_{ds} + i_{dr}) \quad (22)$$

$$\psi_{dm} = L_m (i_{ds} + i_{dr}) \quad (23)$$

با قرار دادن معادلات (۱۸) و (۲۱) در معادلات (۱۴) و (۱۵) داریم:

$$V_{qs} = (R_s + sL_s)i_{qs} + sL_m i_{qr} + \omega_e L_s i_{ds} + \omega_e L_m i_{dr} \quad (24)$$

$$V_{ds} = (R_s + sL_s)i_{ds} + sL_m i_{dr} + \omega_e L_s i_{qs} - \omega_e L_m i_{qr} \quad (25)$$

بطور مشابه با قرار دادن معادلات (۱۹) و (۲۲) در معادلات (۱۶) و (۱۷) داریم:

$$V_{qr} = (R_r + sL_r)i_{qr} + sL_m i_{qs} + (\omega_e - \omega_r)L_r i_{dr} + (\omega_e - \omega_r)L_m i_{ds} \quad (26)$$

$$V_{dr} = (R_r + sL_r)i_{dr} + sL_m i_{ds} - (\omega_e - \omega_r)L_r i_{qr} - (\omega_e - \omega_r)L_m i_{qs} \quad (27)$$

ایجاد گشتاور بوسیله تداخل شار شکاف هوایی و MMF روتور قبلا بحث شده است. در اینجا، شکل کلی تر مربوط به مولفه d-q متغیر بیان می شود.

$$T_e = \frac{3}{2} \left(\frac{P}{2} \right) (\psi_{dm} i_{qr} - \psi_{qm} i_{dr}) \quad (28)$$

معادلات (۲۴)، (۲۵)، (۲۶)، (۲۷) و (۲۸) مدل کامل دینامیکی الکترو مکانیکی ماشین القایی در قاب سنکرون را نتیجه می دهد.

روشهای قبلی تشخیص خطا

تاریخ تشخیص خطا و نظارت به عنوان دستگاه خود تولید کنندگان و استفاده کنندگان ماشین های الکتریکی در ابتدا در حمایت ساده مانند اضافه جریان، اضافه ولتاژ، خطای زمین، و غیره برای اطمینان از عملیات ایمن و قابل اعتماد است. خطای داخلی مشترک را می توان به طور عمده به دو گروه طبقه بندی کرد:

- خطای الکتریکی
- خطای مکانیکی

خطای الکتریکی شامل خطای ناشی از مشکلات عایقی سیم پیچ و برخی از خطاهای روتور است. خطای مکانیکی شامل خطای بلبرینگ، خروج از مرکز فاصله هوایی، خطای بار و انحراف شفت است. خطاهای الکتریکی زیر در موتور القایی سه فاز عملیاتی و صنعتی بسیار معمول است.

- خطای روتور:

معمولا، ماشین آلات درجه پایین تر توسط تکنیک های ریخته گری در حالی که درجه های بالاتر ماشین با میله روتور مسی تولید می شود. مشکلات فنی می تواند با توجه به تولید روتور با استفاده از روش ریخته گری افزایش یابد. مشخص شده است که عدم تقارن موتور القایی قفس سنجابی در روتور به دلیل مشکلات فنی و یا ذوب میله و حلقه پایانی ایجاد شده است. با این حال، شکست در روتور نیز ممکن است به دلیل بسیاری از عوامل دیگر ایجاد شود. چندین دلایل اصلی برای خطای روتور وجود دارد. در طی فرایند لحیم کاری در ساخت، تنشهای متالورژی غیر یکنواخت ممکن است در مونتاژ قفس ساخته شده ایجاد شده و این نیز می تواند به شکست در طول کار منجر شود. میله روتور ممکن است قادر به حرکت طولی در شکاف اشغال شده نباشد، هنگامی که تنش حرارتی در طول راه اندازی بر آن از دستگاه تحمیل شده باشد. حلقه پایان سنگین می تواند نیروهای گریز از مرکز بزرگ ایجاد کند، که می تواند تنش های خطرناک بر روی میله رتور بوجود آورد. با توجه به دلایل بالا، میله روتور ممکن است آسیب دیده و به طور همزمان وضعیت عدم تعادل روتور رخ دهد. عدم تقارن قفس روتور منجر به توزیع نامتقارن جریان روتور می شود. با توجه به این، آسیب یک میله روتور می تواند باعث ایجاد آسیب هایی در میله های اطراف خود و در نتیجه گسترش این آسیب ها منجر به شکستگی های متعدد میله ها شود. در صورت ترک، که در یک میله رخ می دهد، نوار ترک خورده بیش از حد گرم شده و این می تواند باعث شکستن میله شود. بنابراین، میله های اطراف آن جریان های بالاتر را تحمل خواهد کرد و در نتیجه آنها در تنش حرارتی و مکانیکی حتی بزرگتر قرار گرفته که ممکن است شروع به ترک

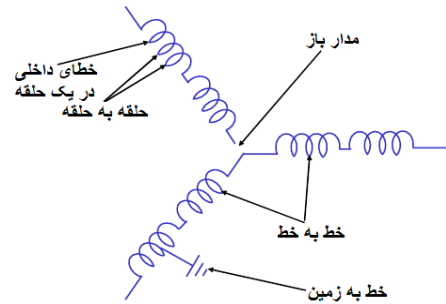


خوردن
جریان ها که می توانست در میله شکسته جریان پیدا کند در حال حاضر در دو میله مجاور آن جریان پیدا خواهند کرد.
بنابراین، تنش های حرارتی بزرگ نیز ممکن است به ورقه روتور آسیب برساند. توزیع دما در سراسر ورقه

روتور نیز به دلیل عدم تقارن روتور تغییر کرده است. ترک خوردگی نوار را می توان در مکان های مختلف، از جمله بخش های شکاف در میله های تحت نظر و حلقه پایانی مفاصل میله پیدا کرد. امکان ترک خوردگی در ناحیه ای از حلقه پایانی مفاصل میله بزرگتر است به دلیل اینکه زمان راه اندازی ماشین طولانی و برای راه اندازیهای مکرر مورد نیاز است.
- خطای اتصال کوتاه:

با توجه به بررسیها، ۳۵-۴۰٪ از شکست موتور القایی به عایق سیم پیچ استاتور مربوط است. علاوه بر این، انهایی که به طور کلی معتقد بودند که بخش بزرگی از خطاهای مربوط به سیم پیچی استاتور توسط شکست عایقی در چند نوبت از یک سیم پیچ استاتور در یک فاز آغاز می شود. این نوع از خطا به عنوان "خطای استاتور" نامیده می شود. خطای استاتور در ماشین سه فاز AC متقارن باعث ایجاد یک جریان گردشی بزرگ و پس از آن تولید حرارت بیش از حد در حلقه اتصال کوتاه می شود. اگر گرما به نسبت مجذور جریان گردشی بیش از حد افزایش یابد شکست موتور کامل ممکن است رخ دهد. با این حال، بدترین نتیجه از یک خطای اتصال کوتاه استاتور ممکن است یک اتفاق جدی شامل از دست دادن زندگی انسان باشد. مواد آلی مورد استفاده برای عایق در ماشین های الکتریکی در شرایط اضافه بار حرارتی، تنش ولتاژ گذرا در مواد عایق، تنش های مکانیکی و آلودگی در معرض خراب شدن قرار می گیرد. از جمله عوامل نام برده شده ممکن است تنش های حرارتی دلیل اصلی برای تخریب عایق سیم پیچ استاتور باشد. تنش های حرارتی عایق سیم پیچ استاتور به سه نوع طبقه بندی میشود: فرسودگی، اضافه باری و دور گرفتن زیاد. حتی بهترین عایق ممکن است به سرعت آسیب ببیند اگر حد درجه حرارت موتور بیش از حد افزایش یابد. به عنوان یک قاعده کلی، عمر عایق برای هر ۱۰ درجه سانتی گراد افزایش از حد درجه حرارت سیم پیچ استاتور ۵۰ درصد کاهش می یابد. بنابراین نظارت بر درجه حرارت سیم پیچ استاتور لازم است به طوری که ماشین الکتریکی در ظرفیت حرارتی آن به کار گرفته شود. برای این منظور، تکنیک های بسیاری ارائه شده است. با این حال، محدودیت های ذاتی این تکنیکها عدم توانایی در شناسایی یک نقطه داغ موضعی در مرحله اولیه آن است.

مشکلات مکانیکی که به تخریب عایق سرعت می بخشند عبارتند از: حرکت یک سیم پیچ، ارتعاش حاصل از عدم تعادل روتور، یاطاقان های شل و یا فرسوده، خروج از مرکز فاصله هوایی و میله روتور شکسته. جریان در سیم پیچ استاتور نیرویی متناسب با مربع جریان در هسته ایجاد می کند. این نیرو در حداکثر مقدار خود تحت اضافه بار گذرا، باعث ارتعاش در هسته در دو برابر فرکانس سنکرون با حرکت در هر دو حالت شعاعی و مماس با مسیر می شود. این جنبش یکپارچگی سیستم عایق را ضعیف میکند. خطای مکانیکی مانند روتور میله شکسته، یاطاقان های فرسوده و خروج از مرکز شکاف هوایی ممکن است به همین دلیل روتور به سیم پیچ های استاتور برخورد کند. بنابراین، چنین شکست های مکانیکی باید قبل از آسیب به عایق سیم پیچ استاتور شناسایی شده باشد. آلودگی با توجه به مواد خارجی می تواند به اثرات سوء بر عایق سیم پیچ استاتور منجر شود. وجود مواد خارجی می تواند به کاهش اتلاف حرارت منجر شود. بنابراین حفظ موتور تمیز و خشک بسیار مهم است، به ویژه هنگامی که موتور در یک محیط جنگی به کار گرفته می شود.



شکل ۲- خطا در سیم پیچ داخلی

صرف نظر از علل، شکست مربوط به سیم پیچ استاتور را می توان به پنج گروه تقسیم کرد: خطای داخلی در یک حلقه از یک سیم پیچ، حلقه به حلقه، خط به خط، خط به زمین و خطای مدار باز. در میان پنج حالت، خطای داخلی در یک حلقه یکی از چالش برانگیزترین خطاها در سیم پیچ استاتور محسوب می شود. علاوه بر این، تشخیص خطای داخلی در یک حلقه در مراحل اولیه بسیار دشوار است. برای حل این دشواری در تشخیص این خطا، از روش های مختلف توسعه یافته استفاده شده است.

علل شکستگی میله روتور

دلایل شکستگی میله روتور و حلقه پایانی عوامل زیر می باشند:

الف) تنش حرارتی ناشی از اضافه بار حرارتی و عدم تعادل، نقاط داغ یا تلفات بیش از اندازه، جرقه (به طور عمده در رتور ایجاد می شود).

ب) تنش مغناطیسی ناشی از نیروهای الکترومغناطیسی، کشش مغناطیسی نامتعادل، تداخل الکترومغناطیسی و ارتعاش.

ج) تنش پسماند با توجه به مشکلات ساخت.

د) تنش دینامیکی ناشی از گشتاور شفت، نیروهای گریز از مرکز و تنش ناشی از چرخش.

ه) تنش های محیطی ایجاد شده، به عنوان مثال، آلودگی و سایش مواد روتور به دلیل مواد شیمیایی و یا رطوبت.

ج) تنش های مکانیکی ناشی از ورقه شل شده، قطعات فرسوده، نارسایی بلبرینگ و غیره

تکنیک های موجود نظارت بر وضعیت:

این تحقیق به نظارت بر وضعیت و تشخیص خطای ماشین های الکتریکی متمرکز شده است. تشخیص خطا تعیین خطای خاص است که در سیستم رخ داده است. روند نظارت بر وضعیت و تشخیص خطا معمولاً از چهار مرحله تشکیل شده که در شکل ۲ نشان داده شده که اهمیت زیادی در محیط کسب و کار به دلایل زیر دارد [۱،۲].

- برای کاهش هزینه تعمیر و نگهداری
- برای پیش بینی شکست تجهیزات
- برای افزایش تجهیزات و قابلیت های مؤلفه
- برای بهینه سازی عملکرد تجهیزات
- به منظور بهبود دقت در پیش بینی شکست.

تجزیه و تحلیل اثر جریان

برنامه های متعدد استفاده از MCSA در نظارت بر سلامتی تجهیزات داشته که در میان ژنراتور های هسته ای، صنعتی، دفاع منتشر شده است. در اکثر برنامه های کاربردی، جریان استاتور برای تشخیص خطای مختلف موتور القایی تحت نظارت است. رندی شوئن از تجزیه و تحلیل اثر جریان موتور برای تشخیص خسارت عناصر فلزی یاتاقان ها در ماشین های القایی استفاده



کرده است. این مطالعه با هدف بررسی اثربخشی نظارت جریان برای تحمل و تشخیص خرابی های مرتبط بین ارتعاش و فرکانس جریان ناشی از شکست یاتاقان ها انجام شده است. در این مطالعه، بررسی حالات شکست و ویژگی های فرکانس یاتاقان ها مرتبط با ساخت و ساز فیزیکی از یاتاقان ها تعریف شده است. اثرات در طیف جریان استاتور شرح داده شده و فرکانس مربوط تعیین می شود. نتایج تجربی نشان می دهد که ارتعاش و طیف جریان از یک ماشین القایی با خطاهای مختلف یاتاقان ها به منظور بررسی رابطه بین فرکانس های ارتعاشی و جریان استفاده می شود. نتایج آزمون به وضوح نشان می دهد که اثر جریان استاتور را می توان برای شناسایی حضور یک خطا در یاتاقان ها مورد استفاده قرار داد. زندی شوئن [۳۰] یک روش برای تشخیص آنلاین شکست اولیه موتور القایی که نیاز به هیچ تفسیر از اثر جریان موتور، حتی در حضور بار ناشناخته و وضعیت خط ارائه داده است. انتخاب یک فیلتر فرکانس از مشخصه فرکانس ماشین القایی تحت شرایط بار نرمال آگاهی می یابد. جدول فرکانس تولید شده به تعداد قابل کنترل از طریق استفاده از مجموعه ای از قوانین سیستم خبره مبتنی بر ساخت و ساز

فیزیکی شناخته شده از دستگاه کاهش می یابد. این لیست از فرکانس به شکل ورودی الگوریتم خوشه بندی شبکه های عصبی با ویژگی های عملیاتی حاصل از عملکرد موتور اولیه مقایسه شده است. این تنها نیاز به ماشین در شرایط عملیاتی "خوب" می باشد. از آنجا که یک نقص همچنان به کاهش اثر جریان در طول زمان پیش می رود، در سیستم این تغییرات در طیف اصلی آموخته شده بصورت شرایط خطا و آلام زمانی که آنها توسط یک مقدار کافی منحرف هستند به نظر می رسد. ترکیبی از قانون مبتنی بر (سیستم خبره) فیلتر فرکانس و شبکه های عصبی حداکثر توانایی سیستم برای تشخیص تغییرات طیفی کوچک تولید شده توسط شرایط خطا محسوب می گردد. الگوریتم تشخیص خطا اجرا و تست شده است. شکست قریب الوقوع موتور با معرفی یک خروج از مرکز مکانیکی چرخش به دستگاه تست شبیه سازی شد. پس از آموزش شبکه عصبی، سیستم قادر به تشخیص اسان تغییرات طیفی جریان تولید شده توسط شرایط خطا بود.

حمید تولیات یک مدل جدید ماشین القایی برای مطالعه خروج از مرکز روتور ارائه داده است. که به طور مستقیم بر روی هندسه ماشین القایی و طرح های فیزیکی از تمام سیم پیچ متمرکز است. این مدل می تواند عملکرد ماشین های القایی در حالت گذرا و همچنین در حالت ماندگار را شبیه سازی کند، از جمله اثرات استاتیکی خروج از مرکز روتور. از آنجا که مدل دینامیکی از موتور شامل معادله مکانیکی است، هر زمان دلخواه تابع متناسب با گشتاور بار را می توان مشخص کرد که از آن جریان استاتور محاسبه شده نتیجه می شود. برای نشان دادن سودمندی این روش، یک موتور القایی سه فاز معمولی با ۵۰٪ خروج از مرکز روتور شبیه سازی شد. شبیه سازی های کامپیوتری دیجیتال نشان داده شده دارای عملکرد رضایت بخش است که نتایج نزدیک به نتایج تجربی مطالعات قبلی می باشد.

بنبوزید و نجاییت اظهار داشت که پیشگیری از سیستم درایو الکتریکی با موتورهای القایی شامل نظارت بر عملیات خود برای تشخیص شرایط الکتریکی و مکانیکی غیر طبیعی نشان داده شده ، ممکن است به یک شکست در سیستم منجر شود. تلاش های تحقیقاتی فشرده شده برای مدتی در تجزیه و تحلیل اثر جریان موتور متمرکز شده است. این تکنیک از نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل طیفی جریان استاتور بهره می گیرد. تجزیه و تحلیل مطمئن از طیف دشوار است، از آنجا که اعوجاج شکل موج جریان ناشی از اختلال در سیستم درایو معمولاً چند دقیقه است. تحقیقات آنها نشان می دهد که اثر فرکانس برخی از خطای نامتقارن موتور می تواند به خوبی با استفاده از تبدیل فوریه سریع (FFT) مشخص شده و منجر به تفسیر بهتر از طیف جریان موتور شود. آزمایش های آزمایشگاهی نشان می دهد که بر اساس تجزیه و تحلیل FFT اثر جریان موتور یک ابزار قابل اعتماد برای تشخیص خطای نامتقارن موتور القایی است.

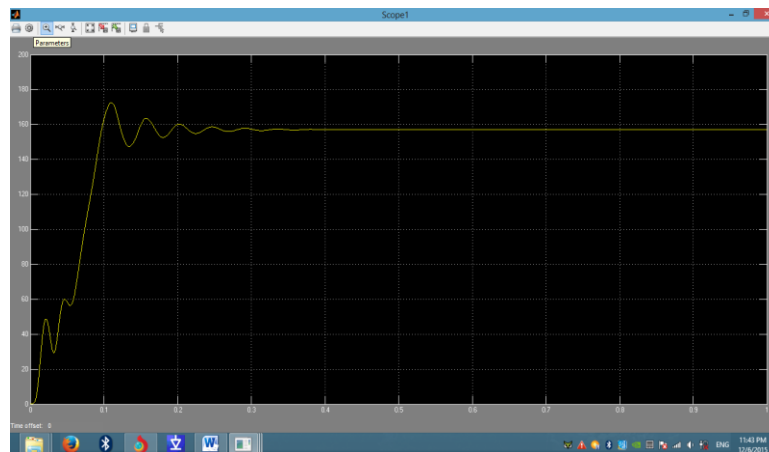
بنبوزید و همکاران اثر تجزیه و تحلیل طیفی جریان بر القاء و تشخیص خرابی موتور را بررسی کرده است. اثر فرکانس برخی از خطای نامتقارن موتور، از جمله خروج از مرکز فاصله هوایی، شکستگی میله ها، سرعت نوسان شفت، عدم تقارن روتور و شکست یاتاقان ها مشخص شد. این کار تایید امکان تجزیه و تحلیل طیفی جریان است. تجزیه و تحلیل طیفی جریان در انواع

دیگر ماشین از حد استفاده شد. به عنوان مثال، تامسون تایید کرد که استفاده از طیف جریان در تشخیص مشکلات خروج از مرکز فاصله هوایی بزرگ در ولتاژ بالا موتور القایی سه فاز موفق بود. لی روکس نظارت بر اجزای هارمونیکهای جریان در فرکانس چرخشی (۵، ۰ هارمونیک) برای تشخیص خطای روتور یک آهنربای ماشین سنکرون دائمی است.

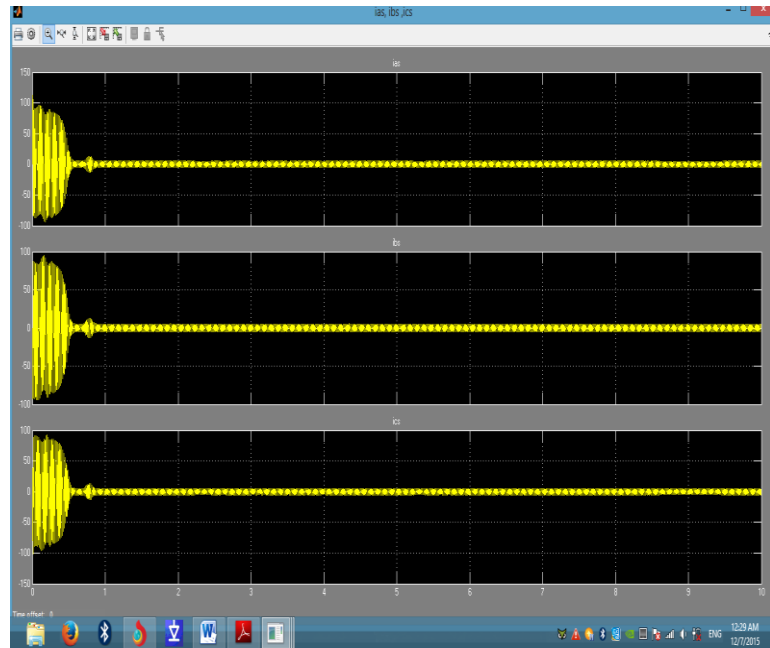
بنبوزید و جرالدهی کلیمین به طور خلاصه سیگنالی (عمدتا جریان موتور) برای تکنیک های پردازش برای تشخیص خرابی روتور موتور القایی (عمدتا میله شکسته و فرسودگی بلبرینگ) ارائه داده اند. مزایای اصلی و اشکالاتی از روش ارائه نیز به طور خلاصه بحث شده است. در بسیاری از موارد، تکنیک های حالت پایدار معمولی ممکن است کافی باشد. از بحث ها، به نظر می رسد که برای سخت ترین موارد، زمان-فرکانس و زمان در مقیاس تحولات، مانند موج، ارائه یک ابزار بهینه تر برای تشخیص عیب روتور موتور القایی مهم است. از یک طرف، از اشکالات اصلی موتور روش های پردازش سیگنال جریان برای تشخیص خطا است.

نتیجه و بحث

یکی از ساده ترین راه برای تشخیص شکستگی میله روتور و یا حلقه پایانی در موتور القایی قفس سنجابی تجزیه و تحلیل جریان استاتور است. در اینجا، جریان استاتور توسط سنسور جریان استاتور اندازه گیری و برای تشخیص خرابی مورد استفاده قرار می گیرد.



شکل ۳- خروجی برای یک موتور القایی بدون خطا (ویژگیهای سرعت و جریان)

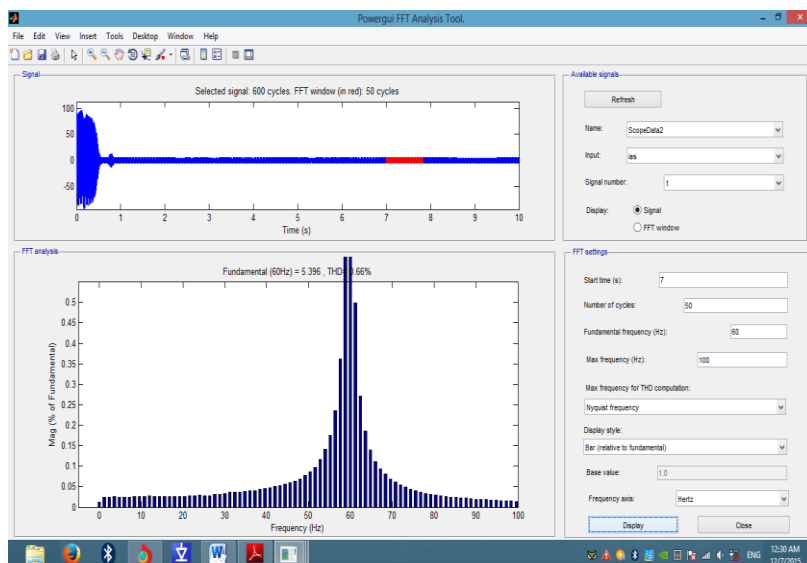


شکل ۴- جریان استاتور در سلامتی موتور

تجزیه و تحلیل بر اساس FFT :

دانش و تجارب از مدل سازی و تست موتورهای القایی چند کیلو وات برای طراحی و توسعه یک مدل موتور القایی با استفاده از نرم افزار MATLAB ایجاد می شود. جریان استاتور اندازه گیری شده و FFT بر روی آن اعمال می شود. FFT طیف جریان را به طیف فرکانسی تبدیل می کند. به عنوان یک نتیجه از تجزیه و تحلیل FFT، وضعیت موتور را می توان یافت. نظارت برای یک دوره زمانی و پس از آن جمع اوری داده از وضعیت موتور در طول دوره نگهداری و بعد گزارش به ایستگاه نظارت از طریق GSM (به اپراتور در ایستگاه).

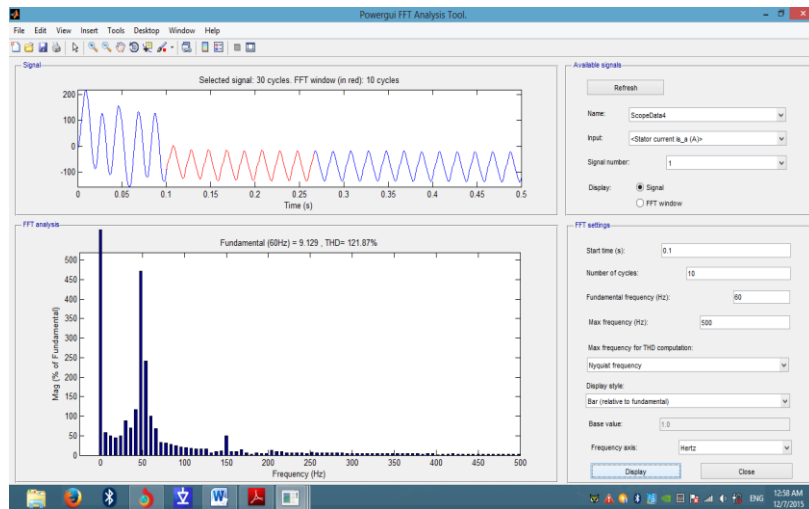
خروجی FFT مقادیر قبلی از جریان استاتور و چگالی طیفی جریان استاتور را نشان می دهد. یک موتور القایی سالم از طیف جریان آن آغاز شده است. که در آن اعوجاج بالای فرکانس اساسی وجود ندارد.



خروجی FFT در

شکل ۵-

شرایط سالم موتور



شکل ۶- خروجی FFT در شرایط معیوب موتور

جریان استاتور	مقدار THD	
	در شرایط سالم	در شرایط خطا
	0.66%	۱۲۱٫۴۷%

جدول ۱ مقدار آستانه جریان استاتور در شرایط سالم و معیوب را نشان می دهد

نتیجه

سیستم پیشنهادی مرهون تشخیص خطای روتور در موتورهای القایی قفس سنجابی در مراحل بسیار اولیه و بی هیچ زحمتی در بهره برداری از موتور است. روتور میله شکسته در موتور القایی قفس سنجابی تنها با استفاده از تجزیه و تحلیل جریان استاتور پیدا شد. ضرورت سنسورهای مختلف مانند سنسور گشتاور، سنسور دما، سنسور لرزش حذف شده است. نتیجه تجزیه و تحلیل در جدول ۱ به وضوح مقادیر THD را در هر دو حالت سالم و معیوب موتور را نشان می دهد. با استفاده از این روش، قابلیت اطمینان بهبود یافته است. کاملاً یک استراتژی غیر تهاجمی و به هیچ کتابچه راهنمایی برای کاربر نیاز ندارد. همه چیز را می توان تحت نظارت و ذخیره سازی از ایستگاه نظارت کنترل کرد. ضرورت تشخیص زود هنگام میله های روتور شکسته در موتورهای القایی اهمیت ویژه ای دارد که در آن اندازه گیری جریان روتور بسیار دشوار است. بنابراین این روش پیشنهادی میله روتور شکسته با استفاده از اندازه گیری جریان استاتور انجام شده است در حالی که از آزمایش های قبلی لرزش، سر و صدا، دما و غیره گرفته شده است.

مراجع

R. H. Park, "Two-Reaction Theory of Synchronous Machines-Generalized Method of Analysis ",Part I, AIEE Transactions, Vol. 48, pp. 716-727, July 1929.

- D. S. Brereton, D. and C. G. Young, “Representation of Induction Motor Loads During Power System Stability Studies”, AIEE Transactions, Vol. 76, pp.451-461, August 1957.
- S. Wade, M. W. Dunnigan, B. W. Wil “induction machine vector control with rotor resistance identification”, IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 12, No. 3, pp. 495–506, May 1997.
- F. Filippetti, G. Francheschini, and C. Tassoni, “Neural networks aided on-line diagnostics of induction machines,” IEEE Trans. Industrial Applications, vol. 31, no. 4, pp. 892-899, July/August 1995.
- S. Nandi, H. A. Toliyat, and L. Xiaodong, “Condition monitoring and fault diagnosis of electrical motors - a review,” IEEE Trans. Energy Conversion, vol. 20, no. 4, pp. 719-729, Dec. 2005.
- O.V. Thorsen and M. Dalva, “A survey of faults on induction motors in offshore oil industry, petrochemical industry, gas terminals, and oil refineries,” IEEE Trans. Industry Applications, vol. 31, no. 5, pp.1186-1196, Sep./Oct. 1995.
- M. Benbouzid, “A review of induction motors signature analysis as a medium for faults detection,” IEEE Trans. Industrial Electronics, vol.47, no. 5, pp. 984-993, Oct. 2000.
- P. Zhang, Y. Du, T. G. Habetler and B. Lu, “A survey of condition monitoring and protection methods for medium-voltage induction motors,” IEEE Trans. Industrial Applications, vol. 47, no. 1, pp. 34-46, Jan./Feb. 2011.
- M. Benbouzid, M. Vieira, and C. Theys, “Induction motors' faults detection and localization using stator current advanced signal processing techniques,” IEEE Trans. Power Electronics, vol. 14, no.1, pp. 14-22, Jan. 1999.
- S. H. Kia, H. Henaou, and G. A. Capolino, “A high-resolution frequency estimation method for three-phase induction machine fault detection,” IEEE Trans. Industrial Electronics, vol. 54, no. 4, pp.2305-2314, Aug. 2007.
- A. Bellini, A. Yazidi, F. Filippetti, C. Rossi, and G.A. Capolino, “High frequency resolution techniques for rotor fault detection of induction machines,” IEEE Trans. Industrial Electronics, vol. 55, no.12, pp. 4200- 4209, Dec. 2008.
- M. Eltabach, A. Charara, and I. Zein, “A comparison of external and internal methods of signal spectral analysis for broken rotor bars detection in induction motors,” IEEE Trans. Industrial Electronics, vol. 51, no. 1, pp. 107-121, Feb. 2004.
- R. Puche-Panadero, M. Pineda-Sanchez, M. Riera-Guasp, J. Roger- Folch, E. Hurtado-Perez, and J. Perez-Cruz, “Improved resolution of the MCSA method via Hilbert transform, enabling the diagnosis of rotor asymmetries very low slip,” IEEE Trans. Energy Conversion, vol. 24, no. 1, pp. 52-59, March 2009.