دانشکده مهندسی

رساله دکتری مهندسی برق– قدرت

Detection of Inter-Turn Short Circuits in the Stator Windings of Synchronous Generator Based on Linkage Flux

تشخـــیص خطای حلقه به حلقه در سیم پیچی استاتور ژنراتور سنکرون با استفاده از شار پیوندی

دانشجو: حمید یعقوبی

اساتید راهنما

دکترکوروش انصاری دکتر حبیب رجبی مشهدی

تابستان۱۳۹۰

رساله دکتری مهندسی برق- قدرت

دانشکده مهندسی-گروه برق

تابستان۱۳۹۰

Detection of Inter-Turn Short Circuits in the Stator Windings of Synchronous Generator Based on Linkage Flux

تشخـیص خطای حلقه به حلقه در سیم پیچی استاتور ژنراتور سنکرون با ا ستفاده از شار مغناطیسی پیوندی

زمینه تحقیق: ماشین های الکتریکی

تاریخ دفاع: ۱۵ تیر ۱۳۹۰

تعداد صفحات: ۱۴۰

دانشجو: حمید یعقوبی

اساتید راهنما: دکتر کوروش انصاری دکتر حبیب رجبی مشهدی

اساتید دفاع

دکتر ابوالفضل واحدی-دانشگاه علم و صنعت ایران، دکترسعید افشارنیا- دانشگاه تهران

دکتر جواد ساده- دانشگاه فردوسی مشهد، دکتر رضا قاضی- دانشگاه فردوسی مشهد

لغات کلیدی: تشخیص خطا- ژنراتور سنکرون- شار مغناطیسی پیوندی- روش اجزاء محدود- اندازه گیری شار پیوندی- روشهای هوشمند

چکیده

خطاها سرچشمه اصلی و شکل دهنده آشفتگی ها در شار مغناطیسی ماشین های الکتریکی می باشند. از این رو، در چند سال اخیر نظارت بر عملکرد داخلی اینگونه ماشین ها مبتنی بر اندازه گیری شار نشتی مغناطیسی مورد توجه قرارگرفته است. انحراف میدان های مغناطیسی روتور و استاتور و عدم تقارن های ایجاد شده می تواند به عنوان مبنایی جهت تشخیص خطاهای داخلی ماشینهای الکتریکی مورد استفاده قرارگیرد. در هرنوع خطا شکل خاصی از میدان مغناطیسی در داخل ماشین ایجاد می شود که تقارن خود را از دست می دهد. لذا به عنوان گامی در تکمیل تحقیقات، یک قدم پا را فراتر گذاشته و در این رساله مدل سازی و تشخیص خطای اتصال حلقه در سیم پیچی استاتور ژنراتور سنکرون قطب برجسته با استفاده از شار مغناطیسی پیوندی مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است. در عین حال تفکیک این خطا از چند خطای مهم دیگر نیز مطرح و بررسی شده است. در این تحقیق اثرات خطاهای مختلف اتصال حلقه در سیم پیچی استاتور بر توزیع شار مغناطیسی پیوندی ژنراتور بررسی شده است و استفاده از شار مغناطیسی پیوندی جهت تحلیل خطاها، به عنوان رقیبی جدی برای روشهای متداول (مانند اندازه گیری و تحلیل جریان های خروجی) تشخیص خطا مطرح می گردد. قابل ذکر است که شار مغناطیسی پیوندی یک متغیر محلی در تشخیص خطا می‌باشد وحاوی اطلاعات مهمی در مورد نوع و مکان خطاها است.

برای دست یافتن به این مهم یک ژنراتور سنکرون قطب برجسته ۵۰ کیلوولت- آمپری به صورت آزمایشگاهی در حالت پایدار مورد بررسی قرار گرفته است. جهت در نظر گرفتن تمامی عوامل موثر در تحلیل ماشین، شبیه سازی های میدان الکترومغناطیسی با روش اجزاء محدود ۳ بعدی انجام شده است. برای معتبر کردن شبیه سازی ها، خطاها به صورت عملی بر روی ژنراتور ایجاد شده است. برای اندازه گیری شارهای پیوندی، حسگرهایی درماشین نصب شده است و داده های حاصل از این حسگرها به کمک دستگاه خاص الکترونیکی- میکروکنترلی طراحی شده، دریافت می شود. داده های اندازه‌گیری شده و شبیه سازی شده با روشهای مختلف پردازش شده و در نهایت به کمک روش‌های هوشمند، خطا آشکار می شود. در این تحقیق چهار نوع خطای اتصال حلقه مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است. خصوصیت اصلی روش ارایه شده، قابلیت آن در تشخیص کلاف های معیوب می باشد.

بسمه تعالی

دانشگاه فردوسی مشهد

اظهارنامه

اینجانب حمید یعقوبی دانشجوی دوره دکتری رشته مهندسی برق گرایش قدرت دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد نویسنده رساله" **تشخیص خطای حلقه به حلقه در سیم پیچی استاتور ژنراتور سنکرون با استفاده از شار مغناطیسی پیوندی**" تحت راهنمایی اساتید، دکتر کوروش انصاری و دکتر حبیب رجبی مشهدی متعهد می شوم:

۱ – تحقیقات در این رساله/پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.

۲ – در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.

۳ – مطالب مندرج در رساله/پایان نامه توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارایه نشده است.

۴ – کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه فردوسی مشهد می باشد و مقالات مستخرج با نام "دانشگاه فردوسی مشهد" و یا "Ferdowsi University of Mashhad " به چاپ خواهد رسید.

۵ – حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی رساله/پایان نامه تاثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از رساله/پایان نامه رعایت شده است.

۶ – در کلیه مراحل انجام این رساله/پایان نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.

۷ –در کلیه مراحل انجام این رساله/پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است، اصل راز داری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

تاریخ امضاء– دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده) متعلق به دانشگاه فردوسی مشهد می باشد. این مطلب به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در رساله / پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

متن این صفحه نیز باید در ابتدای نسخه های تکثیر شده وجود داشته باشد.

فهرست مطالب

ردیف	عنوان	صفحه
چکیده		الف
فصل اول	**پیشگفتار**	۱
۱-۱	مقدمه	۱
۱-۲	انگیزه تحقیق	۵
۱-۳	اهداف تحقیق	٦
۱-٤	مروری بر فصل های مختلف رساله	۷
فصل دوم	**خطا ها و تشخیص آنها در ماشین های الکتریکی**	۸
۲-۱	مقدمه	۸
۲-۲	خطا ها در ماشین های الکتریکی	۸
۲-۳	روش های مختلف تشخیص خطاها	۱۲
۲-٤	پایش الکترو مغناطیسی	۱۳
۲-۵	مقایسه روشهای مختلف تشخیص خطاها	۲۰
۲-٦	خلاصه	۲٤
فصل سوم	**مدلسازی خطای اتصال حلقه**	۲٦
۳-۱	مقدمه	۲٦
۳-۲	روش مورد استفاده در صنعت جهت تشخیص خطای اتصال حلقه	۲۷
۳-۳	مدلسازی خطای اتصال حلقه	۲۸
۳-٤	معادلات توصیف کننده خطای اتصال حلقه	۳۰
۳-۵	معادلات شار و شار پیوندی در ماشین سنکرون در حین بروز خطای اتصال حلقه	۳٤
۳-٦	تحلیل و محاسبهٔ اندوکتانسهای ژنراتور سنکرون قطب برجسته نمونه در حین بروز خطای داخلی	۳۵
۳-۷	روش اجزا محدود	٤۵
۳-۸	مدلسازی اتصال حلقه با روش اجزا محدود	٤۷
۳-۹	مدلسازی ژنراتور مورد مطالعه با روش اجزاء محدود در حالت عملکردی سالم و اتصال حلقه	۵۱
۳-۹-۱	بررسی حالت بی باری	۵٤
۳-۹-۲	بررسی حالت بارداری	۵٦
۳-۱۰	خلاصه	۵۸

فصل چهارم	**بررسی اثرات انواع خطای اتصال حلقه درشار پیوندی ژنراتور سنکرون تحت شرایط آزمایشگاهی و تفکیک آن از دیگر خطاها**	٦٠
٤-١	مقدمه	٦٠
٤-٢	تشخیص خطای اتصال حلقه با استفاده از شار مغناطیسی	٦٠
٤-٣	بررسی انواع خطای اتصال حلقه در شرایط آزمایشگاهی	٦١
٤-٤	تشخیص خطا	٧٣
٤-٤-١	تشخیص فاز معیوب بر اساس تحلیل مکانی ولتاژ القاء شده درپیچک های حسگر	٧٤
٤-٤-٢	تشخیص کلاف معیوب بر اساس تحلیل زمانی ولتاژ القاء شده درپیچک های حسگر	٧٧
٤-٥	تفکیک خطای اتصال حلقه از خطاهای دیگر	٨٩
٤-٦	خلاصه	٩٩
فصل پنجم	**طراحی سیستم تشخیص خطا به کمک شبکه های عصبی جهت آشکار سازی نشانه ها**	١٠١
٥-١	مقدمه	١٠١
٥-٢	کاربرد شبکه عصبی در تشخیص خطا	١٠٢
٥-٢-١	تبدیل موجک	١٠٥
٥-٢-٢	شبکه های تابع پایه شعاعی	١٠٧
٥-٢-١-١	شبکه عصبی احتمالاتی	١٠٧
٥-٢-١-٢	شبکه عصبی رگرسیون کلی	١٠٩
٥-٣	تشکیل ساختار و نحوه آموزش شبکه های عصبی	١١١
٥-٣-١	تشخیص فاز معیوب بر اساس تحلیل مکانی ولتاژ القاء شده درپیچک های حسگر	١١٢
٥-٣-٢	تشخیص کلاف معیوب بر اساس تحلیل زمانی ولتاژ القاء شده درپیچک های حسگر	١٢٢
٥-٤	خلاصه	١٢٤
فصل ششم	**نتیجه گیری و پیشنهادات**	١٢٦
٦-١	نتیجه‌گیری	١٢٦
٦-٢	پیشنهادات	١٢٧
ضمائم		١٢٩
مراجع		١٣٤

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل۱-۱- حادثه بر روی ژنراتور سنکرون در یکی از نیروگاههای کشور الف- قبل از حادثه ب- بعد از حادثه ۳

شکل۱-۲- حادثه بر روی ژنراتور سنکرون در یکی از نیروگاههای کشور الف- سرکلافهای استاتور در سمت تحریک ب- ژنراتور از سمت تحریک بعد از حادثه ۳

شکل۱-۳- حادثه بر روی ژنراتور سنکرون در یکی از نیروگاههای کشور الف- عبور یک قطعه از دیوار و برخورد با تابلوهای حفاظتی ب- سرایت آتش سوزی به سایر تجهیزات ۳

شکل۱-٤- حادثه بر روی ترانسفورماتور قدرت در یکی از پستهای فشار قوی کشور الف- از دید بالا ب- محل حادثه در داخل تانک ترانسفورماتور ٤

شکل۲-۱- منابع ایجاد کننده خطاها در ماشین های الکتریکی ۹

شکل۲-۲- خطاهای عمده در ماشین های الکتریکی و علت ایجاد آنها ۱۰

شکل۲-۳- نمونه آماری از توزیع خطاها در ۵۰۰۰ ماشین الکتریکی ۱۰

شکل۲-٤- توزیع خطاها در ماشین های الکتریکی در صنایع پتروشیمی ۱۰

شکل۲-۵- نتایج مطالعات IEEE در مورد توزیع آماری خطاها ۱۰

شکل۲-٦- تخمین حساسیت حسگرهای مختلف مغناطیسی ۱۳

شکل۲-۷- شار نشتی مغناطیسی در نواحی مختلف ماشین های الکتریکی ۱٤

شکل۲-۸- ساختار مجموعه آزمایشگاهی مورد استفاده توسط Henao ۱۵

شکل۲-۹- ساختار مجموعه آزمایشگاهی مورد استفاده توسط Yazidi ۱۵

شکل۲-۱۰- نمایش ساده از شار نشتی محوری ۱٦

شکل۲-۱۱- حسگر شار سرگردان و ماشین القایی مورد استفاده توسط Yazidi و Henao ۱٦

شکل۲-۱۲- مجموعه آزمایشگاهی الف- ساختار آزمایشگاه ب-پیچک های حسگر استفاده شده ۱۷

شکل۲-۱۳-پیچک های حسگر جهت اندازه گیری شار نشتی ۱۷

شکل۲-۱٤- ترانسفورماتور۱۲کیلوولت آمپر ٤۰۰/۲۳۰ ولت الف- نمای داخل ب- نمای خارج ۱۸

شکل۲-۱۵- مجموعه آزمایشگاهی جهت بررسی خطای میله شکسته در یک موتور القایی ۱۱ کیلووات الف- ساختار آزمایشگاه ب- نصب حسگر ۱۸

شکل۲-۱٦- سیگنال شار تحت شرایط بار نامی با یک گشتاور ثابت در دو حالت عملکردی سالم وخطا با دو میله شکسته ۱۹

شکل۲-۱۷- نمایش ساده از محور مغناطیسی قطب ها الف- قبل از خطا ب- پس ازخطا ۱۹

شکل۳-۱- اثر تخریبی خطای اتصال حلقه الف- اثر جریان چرخشی ناشی از خطای اتصال حلقه بر روی یک ترانسفورماتور ب- اثرخطای اتصال حلقه در ناحیه انتهایی سیم پیچ ها، دریک ژنراتور دو قطبی ۲۷

شکل۳-۲- الف- نمایش سیم پیچی های موازی در هر فاز به عنوان سیم پیچی های قطعه شده ب- روش کار حفاظت دیفرانسیل عرضی ۲۸

شکل۳-۳- چهار نوع خطای اتصال حلقه الف- اتصال حلقه به حلقه در یک شاخه ب- اتصال حلقه به حلقه در دو شاخه ازیک فاز ج- اتصال حلقه به حلقه در دو شاخه ازدو فاز د- اتصال حلقه به زمین ۲۹

شکل۳-٤- وقوع خطای اتصال حلقه الف- نمای واقعی ب- نمای شماتیکی ۳۱

شکل ۳-۵- تشکیل فاز مستقل در اثر بروز خطای اتصال حلقه الف- حالت کلی ب- اتصال ستاره ج-اتصال مثلث ۳۲

شکل۳-٦- دونوع سیم پیچی الف- سیم پیچی روی هم ب- سیم پیچی متحدالمرکز ۳٤

شکل۳-۷- اتصال مداری فازA در سیم پیچی ماشین مورد مطالعه ۳٦

شکل۳-۸- ماشین مورد مطالعه الف- موقعیت هادی های سیم پیچی فاز A ب- ساختار سیم پیچی استاتور (فاز A) با رخ دادن اتصال حلقه ۳۷

شکل۳-۹- ساختار سیم پیچی سه فاز ژنراتور در حین خطای اتصال حلقه - حلقه در یک شاخه ۳۷

شکل ۳-۱۰- ساختار سیم پیچی ژنراتور در حین خطای اتصال حلقه- حلقه در دو شاخه از یک فاز ٤٢
شکل۳-۱۱- توزیع کلاف ها مربوط به فاز A ژنراتور ۱۲ کیلووات مرجع ٤٨
شکل۳-۱۲- نمای شماتیکی از یک کلاف با اتصال بدنه ٥٠
شکل۳-۱۳- آرایش سیم پیچی های استاتور ماشین سنکرون با اتصال ستاره در خلال خطای داخلی تک فاز ٥٠
شکل۳-۱٤- موقعیت هادی های سیم پیچی فاز A وسیم پیچی تحریک ژنراتور مورد مطالعه ٥٢
شکل۳-۱٥- منحنیB-H الف- استاتور ب- روتور ٥٢
شکل ۳-۱٦- یک نمونه مش بندی در ژنراتور نمونه در نرم افزار ANSYS ٥٣
شکل ۳-۱۷- تحلیل ژنراتور سنکرون نمونه در حالت سالم در شرایط بی باری الف- مدل شده در نرم افزار ANSYS Workbench-3D ب- مدل شده در نرم افزارMAXWELL-2D ٥٣
شکل۳-۱۸- مدل سازی اتصال حلقه توسط روش اجزاء محدود ٥٤
شکل ۳-۱۹- توزیع میدان مغناطیسی در ژنراتور قطب برجسته مورد مطالعه در بی باری الف- تحت شرایط سالم ب- تحت خطای اتصال حلقه در سیم پیچی استاتور ٥٥
شکل۳-۲۰- توزیع میدان مغناطیسی در ژنراتور قطب برجسته مورد مطالعه تحت خطای اتصال حلقه در سیم پیچی استاتور در بی باری الف- نمودار گرافیکی ب- نمودار برداری ٥٥
شکل ۳-۲۱- دیاگرامهای برداری ژنراتور سنکرون روتور استوانه ای در بارهای مختلف الف - بار مقاومتی ب- بار سلفی-مقاومتی ج- بار خازنی-مقاومتی ٥٦
شکل۳-۲۲- دیاگرام برداری ژنراتور سنکرون روتوراستوانه ای ٥٧
شکل ۳-۲۳- مقایسه شارمنتجه فاصله هوایی ژنراتور سنکرون روتور استوانه ای در بارهای مختلف الف- بار مقاومتی ب- بار سلفی ج- بار خازنی ٥٧
شکل ۳-۲٤- توزیع میدان مغناطیسی در ژنراتور قطب برجسته مورد مطالعه تحت شرایط سالم در بار اهمی الف- بی باری ب- بارداری ٥٨
شکل٤-۱- آزمایشگاه تجهیز شده ٦١
شکل ٤-۲- یک نمونه اندازه گیری دقیق از ابعاد ماشین مورد بررسی ٦٢
شکل٤-۳- ایجاد عملی خطاهای اتصال حلقه ٦٢
شکل ٤-٤- برد الکترونیک - میکرو کنترلی طراحی شده جهت اندازه گیری شارهای پیوندی ٦٣
شکل ٤-٥- نمای مداری برد الکترونیک - میکرو کنترلی طراحی شده ٦٤
شکل ٤-٦- انتقال داده های نمونه برداری شده به کامپیوتر ٦٤
شکل ٤-۷- نوع اول پیچک های حسگر استفاده شده در این تحقیق بدون سر وسط الف- نمای شماتیک ب- نمای عملی ٦٤
شکل ٤-۸- نوع دوم پیچک های حسگر استفاده شده در این تحقیق با سر وسط الف- نمای شماتیک ب- نمای عملی ٦٥
شکل ٤-۹- ولتاژ اندازه‌گیری شده با پیچک حسگر نوع اول (بدون سر وسط) تحت شرایط عملکردی سالم ٦٥
شکل ٤-۱۰- ولتاژ اندازه‌گیری شده با پیچک حسگر نوع دوم (با سروسط) تحت شرایط عملکردی سالم ٦٥
شکل ٤-۱۱- نمای عملی یک نمونه پیچک حسگر نصب شده در ماشین نمونه ٦٦
شکل٤-۱۲- حسگر موقعیت سنج ٦٧
شکل٤-۱۳- ولتاژ اندازه‌گیری شده تحت شرایط عملکردی سالم در بی باری ٦٨
شکل٤-۱٤- ولتاژ اندازه‌گیری شده تحت شرایط عملکردی خطا در بی باری ٦٨
شکل٤-۱٥- ولتاژ شبیه سازی شده الف- تحت شرایط عملکردی سالم ب- تحت شرایط عملکردی خطا ٦٩
شکل٤-۱٦- شکل موج ولتاژهای القاء شده در پیچک حسگر شماره ۳۱، تحت شرایط عملکردی سالم و خطا در حالت بارداری با مقدار بار متفاوت ۷۰
شکل٤-۱۷- شکل موج ولتاژهای القاء شده در پیچک های حسگر مختلف، پس از رخ دادن خطا بر روی کلاف بین شیار ۲۱و ۳۱ ۷۱

شکل٤-١٨- شکل موج ولتاژهای القاء شده در پیچک حسگر شماره ۳۱ در دو جریان تحریک مختلف، تحت شرایط عملکردی سالم و خطا بر روی کلاف بین شیار ۲۱و ۳۱ ۷۲
شکل٤-١٩- شکل موج ولتاژهای القاء شده در پیچک حسگر شماره ۳۱ در چهار جریان تحریک مختلف تحت شرایط عملکردی سالم جهت بررسی پدیده اشباع الف- if=2 A ب- if=4 A ج- if=8 A د- if=9.8 A ۷۳
شکل٤-٢٠- ساختار و آرایش مکانی سیم پیچ های ماشین مورد تحقیق ۷٤
شکل٤-٢١- تفاوت ولتاژ القاء شده در پیچک های حسگر بین مقادیر سالم و خطا در حالت وقوع اتصال حلقه به حلقه در دو شاخه ازیک فاز(نتایج عملی). الف- فاز B ب- فاز A ۷٦
شکل٤-٢٢- تفاوت ولتاژ القاء شده در پیچک های حسگر بین مقادیر سالم و خطا در حالت وقوع اتصال حلقه در یک شاخه از فاز C (نتایج عملی) الف- محور مغناطیسی کلاف معیوب در زیر محور d واقع شده است. ب- محور مغناطیسی کلاف معیوب در زیر محور q واقع شده است. ۷٦
شکل٤-٢٣- ٤٨ شکل موج ولتاژ اندازه‌گیری شده تحت شرایط عملکردی سالم در بی باری ۷۷
شکل٤-٢٤- نمای بزرگ شده ولتاژ القاء شده در پیچک حسگر شماره ۱ در حالت بی باری ۷۸
شکل ٤-٢٥- پیچ های قرار گرفته بر روی قطب برجسته ۷۸
شکل٤-٢٦- ٤٨ شکل موج ولتاژ اندازه‌گیری شده تحت خطای اتصال حلقه به حلقه در یک شاخه از یک فاز در بی باری ۷۹
شکل٤-٢٧- نمای بزرگ شده ولتاژ القاء شده در پیچک های حسگر تحت خطای اتصال حلقه به حلقه در یک شاخه از یک فاز در بی باری الف- شماره ۲۱ ب- شماره ۳۱. ج- شماره ۲۷ ۸۰
شکل ٤-٢٨ - مقایسه ولتاژ القاء شده درپیچک حسگر شماره ۲۱، در دوحالت سالم وخطادار در شرایط بی باری ۸۰
شکل٤-٢٩- ٤٨ شکل موج ولتاژ اندازه‌گیری شده تحت شرایط عملکردی سالم در بارداری ۸۱
شکل٤-٣٠- نمای بزرگ شده ولتاژ القاء شده در پیچک حسگر شماره ۱ در حالت بارداری ۸۱
شکل ٤-٣١- مقایسه ولتاژ القاء شده درپیچک حسگر۱، در دوحالت سالم در شرایط بی باری و بارداری ۸۲
شکل٤-٣٢- ٤٨ شکل موج ولتاژ اندازه‌گیری شده تحت خطای اتصال حلقه به حلقه در یک شاخه از یک فاز در بارداری ۸۳
شکل٤-٣٣- نمای بزرگ شده ولتاژ القاء شده درپیچک های حسگر تحت خطای اتصال حلقه به حلقه در یک شاخه از یک فاز در بارداری الف- شماره ۲۰ ب- شماره ۳۱ ج- شماره ۳۹ ۸٤
شکل٤-٣٤- ٤٨ شکل موج ولتاژ اندازه‌گیری شده تحت شرایط خطای اتصال حلقه به حلقه در دو شاخه از یک فاز در بی باری ۸٤
شکل٤-٣٥- نمای بزرگ شده ولتاژ القاء شده در پیچک های حسگر تحت شرایط خطای اتصال حلقه به حلقه در دو شاخه از یک فاز در بی باری الف- شماره٤ ب- شماره ١٤ ج- شماره ۸ ۸٥
شکل٤-٣٦- ٤٨ شکل موج ولتاژ اندازه‌گیری شده تحت شرایط خطای اتصال حلقه به حلقه در دو شاخه از یک فاز در بارداری ۸٦
شکل٤-٣٧- نمای بزرگ شده ولتاژ القاء شده در پیچک های حسگر تحت شرایط خطای اتصال حلقه به حلقه در دو شاخه از یک فاز در بارداری الف- شماره ٥ ب- شماره ١٤. ج- شماره ٢٥ ۸٦
شکل٤-٣٨- ٤٨ شکل موج ولتاژ اندازه‌گیری شده تحت شرایط خطای اتصال حلقه به زمین در فاز B الف- بی باری ب- بارداری ۸۷
شکل٤-٣٩- ٤٨ شکل موج ولتاژ اندازه‌گیری شده تحت شرایط خطای اتصال حلقه به زمین درفازC در بی باری ۸۸
شکل٤-٤٠- ٤٨ شکل موج ولتاژ اندازه‌گیری شده تحت شرایط خطای اتصال حلقه به حلقه در دو شاخه ازدو فاز الف- بی باری ب- بارداری ۸۸
شکل٤-٤١- ٤٨ شکل موج ولتاژ اندازه‌گیری شده تحت شرایط خطای قطع فازA در بارداری ۹۰
شکل٤-٤٢- نمای بزرگ شده ولتاژ القاء شده درپیچک های حسگر تحت شرایط خطای قطع فازA در بارداری الف- شماره ۳۵ (فازA) ب- شماره ٤٨ (فاز A) ج- شماره ۱۸(فازC) د- شماره ٤٠ (فازB) ۹۰
شکل٤-٤٣- ٤٨ شکل موج ولتاژ اندازه‌گیری شده تحت شرایط خطای قطع فازB در بارداری ۹۱

شکل٤-٤٤- نمای بزرگ شده ولتاژ القاء شده درپیچک های حسگر تحت شرایط خطای قطع فازB در بارداری الف- شماره ١٥ (فازB) ب- شماره٤٠ (فاز B) ج- شماره ١٣ (فاز A) د- شماره ٣١ (فاز C) ٩١
شکل٤-٤٥- ولتاژ القاء شده برروی یکی از پیچک های حسگر تحت شرایط عملکردی خطای قطع تحریک در ژنراتور مستقل از شبکه ٩٢
شکل٤-٤٦- عملکرد ژنراتور سنکرون مستقل مورد مطالعه تحت شرایط عملکردی خطای قطع تحریک الف- ٤٨ شکل موج ولتاژ اندازه‌گیری شده درپیچک های حسگر ب- توزیع چگالی شار مغناطیسی در ماشین ٩٣
شکل٤-٤٧- بروز خطای قطع تحریک در ثانیه سوم الف- تغییرات توان اکتیو، توان راکتیو، ولتاژ ترمینال و شار پیوندی ژنراتور ٣٩٠ مگاولت آمپر در اتصال به بار S=0.3+j 0.5 پریونیت ب- تغییرات شار پیوندی سه ژنراتور با ظرفیت های٨٠، ٣٩٠ و ٥٠٠ مگاولت آمپر در اتصال به بار S=0.3+j 0.5 پریونیت ٩٤
شکل٤-٤٨- شبکه قدرت مطالعه شده جهت بررسی خطای قطع تحریک ژنراتور ٩٤
شکل ٤-٤٩- مقایسه نتایج عملکرد روشهای مختلف با روش پیشنهادی LOE-FBM. الف- ژنراتور ٨٠ مگاولت- آمپر با بار S=(0.7+j0.2) پریونیت ب- ژنراتور ٣٩٠ مگاولت- آمپر با بار S=(0.5-j0.4) پریونیت ٩٥
شکل٤-٥٠- حالت های مختلف از وضعیت روتور الف- سالم ب- خروج از مرکز ایستا ج- خروج از مرکز پویا ٩٦
شکل٤-٥١- سطح مقطع ماشین الف- تحت شرایط عملکردی سالم ب- تحت شرایط عملکرد خطای خروج از مرکز ٩٧
شکل ٤-٥٢- ولتاژ القاء شده در پیچک های حسگر الف- تحت شرایط عملکردی سالم ب- تحت شرایط عملکردی خطای اتصال حلقه ٩٨
شکل ٤-٥٣- ولتاژ القاء شده در پیچک های حسگر الف- تحت شرایط عملکردی سالم ب- تحت شرایط عملکردی خطای خروج از مرکز(تقویت شده - مربوط به سمت راست شکل ٤-٥١-ب) ج- تحت شرایط عملکردی خطای خروج از مرکز (تضعیف شده - مربوط به سمت چپ شکل٤-٥١-ب) ٩٨
شکل٥-١- سطوح مختلف تجزیه توسط تبدیل موجک (چهار سطح) ١٠٦
شکل٥-٢- بازه های فرکانسی تبدیل موجک در ٢ سطح ١٠٦
شکل٥-٣- تقریب تابع چگالی احتمال با استفاده از توابع گوسی ١٠٨
شکل٥-٤- ساختار کلی معماری شبکه های عصبی احتمالاتی ١٠٩
شکل٥-٥- ساختار کلی معماری شبکه های عصبی رگرسیون کلی ١١٠
شکل٥-٦- الگوریتم روش پیشنهاد شده الف- قسمت نرم افزاری جهت آموزش با داده های شبیه سازی شده ب- قسمت سخت افزاری جهت تست با داده های حاصل از اندازه‌گیری ١١٢
شکل٥-٧- مقطع ماشین نمونه که در آن فازهای مختلف دسته بندی شده است. ١١٣
شکل٥-٨- فرسودگی وعدم طراحی بهینه در ماشین مورد تحقیق الف- روتور باز شده ب- نمای برش خورده شده ١١٤
شکل٥-٩- دسته بندی مرحله به مرحله در تشخیص خطا ١١٥
شکل٥-١٠- موجک مادرMeyer (از خانواده تبدیل فوریه گسسته) استفاده شده در این تحقیق ١١٦
شکل٥-١١- الف- سیگنال جزئیات و سیگنال تقریب ناشی از اعمال تبدیل موجک برسیگنال اصلی چگالی شار پیوندی دندانه‌های استاتور در حالت کارکرد سالم ب- نمایش ٣ بعدی از سیگنال تقریب در سطح چهار ١١٦
شکل٥-١٢- نمایش عدم پیوستگی شکل موج اصلی در سیگنال جزییات سطح١ ١١٧
شکل٥-١٣- نمایش عدم پیوستگی شکل موج اصلی حاصل از خطای اتصال حلقه در سیگنال جزییات سطح١ ١١٧
شکل٥-١٤- شارهای پیوندی محاسبه شده با روش اجزاء محدود تحت خطای اتصال حلقه با جریان های تحریک مختلف ١١٨
شکل ٥-١٥- شار پیوندی دندانه های استاتور (ولتاژ القاء شده) تحت خطای اتصال حلقه با جریان های تحریک مختلف الف- جریان تحریک 2.1 آمپر ب- جریان تحریک 2.4 آمپر ١١٩
شکل٥-١٦- ارتباط غیر خطی بین جریان بار، ولتاژ القاءشده در حلقه های اتصال کوتاه شده و جریان خطا به عنوان تابعی از جریان تحریک (اندازه گیری شده در فاز B) ١٢١
شکل ٥-١٧- روند تشخیص کلاف معیوب به کمک شبکه عصبی احتمالاتی ١٢٣

شکل الف-۱- نحوه آرایش کلاف ها درفازهای مختلف الف- فازA ب- فازB ج- فاز C ۱۲۹
شکل الف-۲- دیاگرام گسترده فاز A سیم پیچی ژنراتور نمونه ۱۳۰
شکل الف-۳- دیاگرام گسترده فازB سیم پیچی ژنراتور نمونه ۱۳۰
شکل الف-٤- دیاگرام گسترده فاز C سیم پیچی ژنراتور نمونه ۱۳۰
شکل الف-٥- اطلاعات طراحی ماشین مورد مطالعه (بر حسب میلی متر) الف- ابعاد قسمتهای مختلف ماشین ب- مشخصات شیار و دندانه ماشین ۱۳۱
شکل ج-۱- بررسی ژنراتور های مختلف جهت نصب سیستم تشخیص خطا الف- ژنراتورBBC ب- ژنراتورELIN ۱۳۲
شکل ج-۲- بررسی ژنراتور نیروگاهی جهت نصب سیستم تشخیص خطا الف- ژنراتورBBC ب- انجام تست مقاومت عایقی بر روی پیچک حسگر جهت نصب در ژنراتور نیروگاهی ۱۳۳
شکل ج-۳- صورت جلسه و گواهی تایید انجام طرح الف- صورت جلسه کارگاهی ب- گواهی تایید انجام طرح ۱۳۳

علائم و نشانه ها

توضیحات	نشانه
جریان چرخشی	I_{cir}
فاز جدید ناشی از مدار اتصال حلقه	D
نیرومحرکه فاصله هوائی	M
نیرومحرکه مغناطیسی سیم پیچ میدان	M_f
نیرومحرکه مغناطیسی سیم پیچی های آرمیچر	M_{ABC}
تعداد دور سیم پیچ میدان در هر قطب	N_f
جریان سیم پیچ میدان	I_f
تابع ذوزنقه ای یکتا	M_{fn}
زاویه مکانیکی نسبت به مرجع استاتور	θ_m
زمان	t
تعداد قطب ماشین	p
زاویه بین ارتفاع و ضلع جانبی تابع ذوزنقه ای M_{fn}	γ_f
تعداد دور سیم پیچ در هر فاز	N_{ph}
تعداد حلقه های اتصال کوتاه شده	N_D
نیرومحرکه مغناطیسی ناشی از حلقه های اتصال کوتاه شده	M_{ND}
نیرومحرکه مغناطیسی سیم پیچی فاز معیوب آرمیچر	$M_{(Nph-ND),A}$
مقاومت خطا	R_D
دامنه جریان خطا	i_D
ولتاژ القاء شده در حلقه های اتصال کوتاه شده	v_{sc}
زاویه الکتریکی بین محور مغناطیسی کلاف معیوب و محور مغناطیسی فاز	β
زاویه بین محور مستقیم روتور ومحور فاز A استاتور	θ
اندوکتانس نشتی	$L_{a\ell}$
اندوکتانس مربوط به آثار برجستگی	L_g
اندوکتانس پیوندی	L_{aa0}
ضریب سیم پیچی	K_w
طول محوری	l
شعاع متوسط فاصله هوایی	r
طول فاصله هوایی	g
زاویه بین محورهای مغناطیسی دو سیم‌پیچ	δ
اندوکتانس مغناطیس کنندگی	L_{ma}
فوران قطب ها ناشی از جریان تحریک	φ_{f}
فوران عکس العمل آرمیچر	φ_{ar}
فوران برآیند در فاصلهٔ هوایی	φ_{ag}
نسبت اتصال کوتاه	α
چگالی شار	B
تبدیل موجک	$w_x(b,a)$

موجک مادر	$\psi(t)$
تعداد داده ها	p_k
تعداد ورودی ها	n
مرکزتابع گوسی	x_{kj}
شعاع منحنی گوسی	σ
تابع چگالی احتمال	$pdf(x)$
تابع چگالی احتمال توام	$pdf(x,y)$

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۲-۱- مقایسه روش های مختلف تشخیص خطا ۲۱

جدول۳-۱- نتایج بدست آمده در حالت اتصال حلقه به حلقه در یک شاخه ٤٨

جدول۳-۲- نتایج بدست آمده در حالت اتصال حلقه به حلقه در دو شاخه ازیک فاز ٤٩

جدول۳-۳- نتایج بدست آمده در حالت اتصال حلقه به حلقه در دو شاخه از دو فاز ٤٩

جدول ۳-٤- نتایج بدست آمده در حالت اتصال حلقه به زمین ٥٠

جدول٤-۱- ولتاژهای نمونه برداری شده از ٤٨ پیچک حسگر نصب شده در ماشین به صورت همزمان در یک لحظه در طی خطای اتصال حلقه به حلقه در دو شاخه درفازB و خطای اتصال حلقه به حلقه در یک شاخه در فازC ۷٥

جدول٤-۲- خطاهای مطالعه شده در شرایط شبیه سازی و آزمایشگاهی ۸۹

جدول ٤-۳- مقایسه زمان عملکرد روش پیشنهاد شده جهت تشخیص خطای قطع تحریک با استفاده از شار پیوندی در سه ژنراتور مختلف ۹٥

جدول ٥-۱- جمع مقادیر نمونه برداری شده در چهار ناحیه ۱۱٤

جدول٥-۲- مقایسه داده های محاسبه شده توسط روش اجزاء محدود وتخمین زده شده توسط شبکه عصبی رگرسیون کلی ۱۲۰

جدول ٥-۳- رنج خطا بین داده های محاسبه شده با روش اجزاء محدود و تخمین زده شده با شبکه عصبی رگرسیون کلی و روشهای مختلف درون یابی ۱۲۰

جدول٥-٤- پارامترهای شبکه عصبی احتمالاتی استفاده شده در تحلیل مکانی ۱۲۱

جدول٥-٥- مقایسه نتایج بدست آمده از شبکه های عصبی مختلف ۱۲۲

جدول ٥-٦- نتایج اعمال الگوهای تست برای شبکه عصبی آموزش دیده به کمک شاخص های استخراج شده توسط موجک dmey ۱۲۳

جدول ٥-۷- نتایج اعمال الگوهای تست برای شبکه عصبی آموزش دیده به کمک شاخص های استخراج شده توسط موجک haar. ۱۲٤

جدول ٥-۸- نتایج اعمال الگوهای تست برای شبکه عصبی آموزش دیده به کمک شاخص های استخراج شده توسط موجک coif5 ۱۲٤

جدول ٥-۹- نتایج اعمال الگوهای تست برای شبکه عصبی آموزش دیده به کمک شاخص های استخراج شده توسط موجک db4 ۱۲٤

جدول ٥-۱۰- نتایج اعمال الگوهای تست برای شبکه عصبی آموزش دیده به کمک شاخص های استخراج شده توسط موجک sym8 ۱۲٤

جدول الف-۱- اطلاعات طراحی ژنراتور نمونه ۱۳۱

جدول ب-۱- مشخصات سه ژنراتور استفاده شده در شبیه سازی خطای قطع تحریک ۱۳۲

فصل اول– پیشگفتار

۱-۱- مقدمه

عملکرد صحیح ژنراتورهای سنکرون و موتورهای بزرگ در سیستم های قدرت امری حیاتی است و همواره مد نظرمتخصصین وطراحان ماشین های الکتریکی بوده است، لذا جهت جلوگیری از ایجاد هرگونه مشکل در حین بهره برداری و یا خروج ماشین ها از سرویس، می بایست نگهداری و بازرسی های لازم بر روی عملکرد هر یک از اجزای آنها صورت پذیرد. از این رو حفاظت و تشخیص وضعیت ماشین ها قدمت چندین ساله دارد. در اکثر موارد تولید کنندگان و بهره برداران از ماشین های الکتریکی به حفاظت های ساده مثل حفاظت جریان زیاد، حفاظت ولتاژ زیاد، حفاظت اتصال زمین و... برای عملکرد مطمئن ماشین اکتفا کرده اند. ولی از طرفی دیگر با به بازار آمدن ماشینهای جدید با ساختار پیچیده تر کار بر روی روشهای دقیق‌ترتشخیص عیوب ضروری تر به نظر می رسد[۱].

امروزه با توجه به نقش کلیدی ماشین های الکتریکی در صنعت و زندگی روزمره، استفاده از روشهای ساده، کم هزینه و در عین حال توانمند جهت تشخیص محدوده وسیعی از خطاهای داخلی ماشینهای الکتریکی و مدیریت بر روند تعمیرات آنها بسیارحایز اهمیت می باشد. مساله تشخیص خطاهای داخلی و مدیریت تعمیرات ژنراتورهای الکتریکی بزرگ به دلیل نقش آنها در امنیت شبکه و خسارت های ناشی از عدم تامین انرژی الکتریکی از اهمیت ویژه برخودار است. از این رو تحقیق و بررسی در مورد روشهایی که قادرند به صورت برخط[1]، وضعیت داخلی ماشینها را آنالیز و ارزیابی کنند، مورد توجه فراوان صنعت و سیستم های نظارت می باشد.

در طراحی سیم پیچ های استاتور مصالحه ای بین جریان و ولتاژ صورت می گیرد. برای تامین یک ظرفیت (مگا ولت- آمپر) مشخص، هرچه ولتاژ افزایش یابد جریان کاهش می یابد. همچنین هرچه جریان افزایش یابد ولتاژ کاهش می یابد تا همان مگا ولت- آمپر تامین شود. در اتصالات سری ولتاژ ترمینال بیشتر و جریان کمتر است. برای ظرفیت مشابه در اتصالات موازی ولتاژ ترمینال کمتر و جریان بیشتر است[۲]. دراتصالات موازی از آن جا که تعداد مسیرهای جریانی بیشتر است، یافتن نشانه های روشنی از خطاهای داخلی در ماشین هایی که مجهز به چندین مسیر موازی در سیم پیچی استاتور هستند، کار بسیار سختی است[۳]. از طرفی دیگر هرچه شبکه قدرت بیشتر رشد می‌کند حفاظت و مراقبت از ماشین های الکتریکی و ژنراتورهایی با چندین مسیر موازی در برابر خطاهای داخلی اهمیت بیشتری پیدا می‌کند زیرا دامنه جریان خطا ناشی از خطاهای داخلی در مواردی حتی از اتصال کوتاه های خارجی نیز بیشتر می شود[۲]. از این رو به منظور کاهش عواقب حاصل از شرایط غیرعادی همچون آسیب دیدن تجهیزات مهم و گران قیمت باید از روش های موثر وکارا در تشخیص عیوب مختلف ماشینهای الکتریکی استفاده کرد. لذا استفاده از روشهای ساده ،کم هزینه و با قابلیت عمومی در اولویت قرار دارند و استفاده از سیستم های پایش وضعیت[2] و عیب یاب برای مدیریت موثر عملکرد ماشین ها لازم می باشد[٤].

---

[1] -On-Line

[2] - Condition Monitoring

در صنایعی نظیر پتروشیمی، ذوب آهن و نیروگاهها، بـه ویـژه نیروگاههـای هسـته ای، توقـف یـک ماشـین اصـلی می‌تواند توقف فرآیند و در نتیجه زیان مالی فراوانی را سبب شود. در مواردی توقف فرآینـد ممکـن اسـت خطـرات جانی را در پی داشته باشد. در صنعت برای جلوگیری از بروز این مشـکلات، نگهـداری پیشـگیرانه بـا هزینـه هـای گزاف انجام می‌گیرد تا قبل از بروز حادثه عیب تجهیزات مشخص شـود. اسـتفاده از یـک سیسـتم پیشـگوکه بتوانـد همواره ماشین را زیر نظر داشته باشد و بطور مطمئن بروز هرگونه خطا در ماشین را تشخیص دهد، علاوه بر کـاهش هزینه های فراوان، امکان برنامه ریزی و زمان بندی برای تعمیرات را فراهم می آورد. سیستم هـای عیـب یـابی بایـد دخالت اپراتور را درکسب داده و تفسیر نتایج به حداقل مقدار ممکن برسانند. به خصوص در ماشین هایی کـه بـرای یک فرایند بحرانی کاربرد دارند باید توسط یک سیستم عیب یابی به صورت دائمی و پیوسته بـدون دخالـت اپراتـور مدیریت شوند. اکثر سیستم عیب یابی داده های حالت ماندگار را پردازش می‌کنند و سیستم های عیب یابی پیوسـته، گران قیمت بوده و باید ضرورت آن توجیه پذیر باشد[۵]. در حال حاضر بـالا بـردن قابلیـت اطمینـان ماشـین هـای الکتریکی بسیار مهم است و از زمانهای گذشته بسیار با اهمیت تر می باشد. این اهمیت روز به روز بیشتر مـی شـود زیرا تامین پیوسته بار، نیاز به نیروگاه و انتقال مطمـئن دارد. در پاسـخ بـه ایـن نیـاز بایـد ماشـین هـا در دوره هـای طولانی تری به کار خویش ادامه دهند. از این رو تشخیص خطا، محل آن و همچنین تحلیل و بررسی آنهـا یـک امـر واجب وحیاتی برای عملکرد بهتر ماشین های الکتریکی است. این مفـاهیم در ارتبـاط تنگاتنـگ بـا امنیـت سیسـتم، قابلیت اطمینان، ضریب بهره و بهبود عملکرد ماشین های الکتریکی می باشند[۳].

اگرچه طراحی و ساخت ماشین های الکتریکی نسبت به زمانهای گذشته بهبود پیدا کرده است ولـی خطاهـا همچنـان رخ می دهند و باعث آسیب و ضرر و زیان های هنگفت می شوند. عکسهای۱-۱،۱-۲ و۱-۳ مربـوط بـه حادثـه بـر روی ژنراتور سنکرون است که در یکی از نیروگاههای کشور رخ داده اسـت. ایـن حادثـه در سـال ۱۳۸۷ رخ داده و منجر به خسارت بسیار بالایی به ژنراتور، تاسیسات و ساختمان مربوطه شده است. ۵ سال از نصـب ایـن ژنراتـور٦٤ مگاواتی گذشته بود که در سال ۱۳۸۷ دچار حادثه شـد. شـکل۱-٤ نیـز تصـویرحادثه ای را بـر روی ترانسـفورماتور قدرت در یکی از پستهای فشار قوی کشور نشان می دهد. به موارد بسیاری از ایـن نـوع حـوادث در ایـران و دیگـر کشورهای جهان می توان اشاره کرد. به عنوان مثال از سال ۱۹۷۵ براثر بروزخطـا در برخـی از تـرانس هـای قـدرت قدیمی موجود در شرکت تامین انـرژی الکتریکـیHydro-Quebec کانـادا، ایـن شـرکت تصـمیم گرفـت اقـدام بـه اندازه گیری گاز های محلول در روغن ترانسفورماتور های قدرت بخصوص در مراحل اولیه گسترش خطـا نمایـد و بدین ترتیب سیستمهای پایش گازهای محلول درروغن متولد شدند.

اولین سیستم پایش از این نوع، در شرایط واقعی در سال ۱۹۸۹ طراحی و از سال ۱۹۹۱ نصب آنها آغاز شد. با توجـه به عواقب ناشی ازخروج ترانس ها از مدار نظیر از دست رفتن بار، ایجاد ناپایداری در شبکه، کاهش قابلیـت اطمینـان شبکه و همچنین خسارتی که در اثر وقوع خطا در ترانس ها به تجهیزات شبکه بخصوص بـه خـود تـرانس هـا وارد

می گردد این برنامه با جدیت دنبال شد و برآورد اولیه نشان داد که هزینه این پروژه حتی کمتر از میزان خسارتی است که به دو ترانس قدرت در صورت عدم استفاده از این سیستم وارد می شود.

با توجه به خسارت وارد آمده به خود تجهیز و تاسیسات جانبی اهمیت سیستم های پایش وضعیت بیش از بیش آشکار می شود. همچنین باید توجه داشت، از آنجا که طراحی و آنالیز ماشین های الکتریکی یک پروسه سخت، طولانی و پرهزینه می باشد. بنابراین توجه و تحقیق فراوان در مورد خطا یابی ماشینهای الکتریکی منطقی و ضروری به نظر می رسد [۳]. بطورکلی سیستمهای پایش وضعیت سه هدف عمده ایمنی، اقتصاد و فنی را دنبال می‌کنند. هر کدام از این هدفها شامل چند نکته کلیدی می باشند که در ادامه آمده است[٦].

۱ – اهداف ایمنی

- ✓ افزایش ایمنی، کاهش اضطراب و نگرانی کارکنان سیستم
- ✓ کاهش خطرات و صدمات در محیط زیست با شناخت به موقع عیوب

۲– اهداف اقتصادی

- ✓ کاهش هزینه های کارکرد توسط مراقبت منظم ودقیق
- ✓ کاهش تعداد کارکنان مراقبت
- ✓ کاهش هزینه های خروج از مدار با برنامه ریزی بهتر قطع مدار برای مراقبت
- ✓ برنامه ریزی صحیح برای جایگزینی عنصر نو با توجه به شناخت وضعیت عنصر موجود در شبکه

۳– اهداف فنی

- ✓ افزایش قابلیت اطمینان عنصر و شبکه
- ✓ بدست آوردن اطلاعات فنی با انجام عملیات آگاهانه برای پیشگیری از افزایش عیب
- ✓ بهینه سازی عملکرد عنصر و سیستم با توجه به شناخت بارگذاریهای موجود روی عنصر و شبکه
- ✓ بدست آوردن اطلاعات کمی در مورد نحوه تغییر و رفتارکمیتهای قابل اندازه‌گیری مشخص
- ✓ مشخص‌کردن وابستگی های بین‌کمیات قابل اندازه‌گیری وفواصل زمانی مناسب برای اندازه‌گیری ها

در حقیقت وظیفه اصلی سیستم های پایش وضعیت آشکارسازی علائم اولیه یک عیب جدید به وجود آمده در سیستم مورد نظر است قبل از این که عیب گسترش یابد. درطی بیست سال گذشته تعداد قابل توجهی از تحقیقات و مطالعات برای خلق روشهای موثر پایش در ماشین های الکتریکی انجام شده است[۱] و[۷]. این پیوستگی تحقیقات و توسعه روشهای عیب یابی از این واقعیت ناشی می شود که هیچ روشی نمی تواند به صورت عمومی برای همه کاربردها مناسب باشد. زیرا شرایط بسیار زیاد و متنوعی دریک سیستم وجود دارد که باید آنها را هنگام طراحی سیستم های پایش در نظرگرفت[۸].

از طرفی دیگر با ظهور وتولد سیستم ها وتجهیزات جدید، سیستمهای پایش نیز باید متناسب با آنها طراحی شوند. از این رو چالش ها و فرصت های فراوانی برای مهندسین و محققین برای مطالعه و بررسی پدیده ها دراین زمینه وجود دارد. توصیه ها و رهنمودهای گوناگونی، مربوط به تکنولوژی تشخیص خطا درمورد نوع وسایز ماشین، شرایط بهره برداری (بارداری)، در دسترس بودن وسایل اندازه‌گیری و قیود قیمت وجود دارد که محقق باید آنها را در طراحی سیستم های پایش در نظر بگیرد [۳] و[۹]. به عنوان نمونه پایش های مغناطیسی در یافتن خطاهایی مناسب هستند که بر توزیع شار مغناطیسی در ماشین اثر می‌گذارند. مثلا این نوع پایش ها برای یافتن خطاهایی مثل تخلیه جزیی در عایق سیم پیچی ها ویا نوسانات کوچک مکانیکی، ایجاد شده به علت خطا در یاتاقان ها مناسب نیستند ویا سیستم های پایش گاز برای یافتن خطا در سیستم هایی مانند ترانسفورماتورها مناسب هستند که تولید گاز ناشی از روغن (بر اثر تنش های وارده به روغن) در آنها وجود دارد.

۱- ۲- انگیزه تحقیق

تشخیص درست و دقیق خطای اتصال حلقه، یک موضوع چالش برانگیز و مورد رقابت در خطایابی ماشینهای الکتریکی است. هدف این رقابت ارایه راه حل های موثرتر و مطمئن تر با حسگرهای ارزان قیمت تر و الگوریتم های ساده تر می باشد که نه تنها خطا، بلکه مکان خطا در داخل سیم پیچ ها را نیز تشخیص دهد. تشخیص سریع این خطا از آسیب های زنجیره ای وجدی جلوگیری می‌کند وباعث کاهش زمان خروج ماشین از سرویس می‌گردد. تشخیص مکان خطا نیز از اهمیت خاصی برخوردار است و نه تنها باعث افزایش سرعت تعمیرات می‌گردد بلکه باعث برنامه ریزی بهینه برای تعمیرات می شود. در صورت وقوع اتصال حلقه، یک جریان گردشی بین حلقه های اتصال کوتاه شده عبورکرده و اتصال حلقه به سادگی قابل تشخیص نمی باشد[۳]، [۱۰] و[۱۱]. همچنین قابل ذکر است که، تاکنون رفتار ماشین سنکرون تحت خطاهای داخلی هنوز به صورت کامل مطالعه نشده است[۱۲] و وکار بیشتری را در این زمینه می طلبد[۱۳].

از طرفی دیگر در چند سال اخیر، نظارت بر عملکرد داخلی ماشین های الکتریکی مبتنی بر اندازه گیری شار نشتی مغناطیسی مورد توجه قرار گرفته و به عنوان یک روش موثر جهت خطا یابی معرفی شده است[۱۳]. خطایابی ماشینهای الکتریکی با استفاده از اندازه‌گیری شار نشتی مغناطیسی به عنوان بحث روز جهت تحقیقات در این زمینه مطرح است و شیوه قدرتمندی در تحلیل و بررسی خطاها می باشد[۱٤]. این روش دارای دقت بسیار بالایی نسبت به دیگر روشها است. اما عیب این روش، آن است که هنوز به صورت کامل مورد آنالیز و بررسی قرار نگرفته است و در مرحله تحقیقات می باشد[۱۵]. از این رو به عنوان گامی در تکمیل تحقیقات و توسعه خطایابی ماشینهای الکتریکی با استفاده از روش اندازه‌گیری شارهای مغناطیسی، یک قدم پا را فراتر گذاشته و در این تحقیق اثرات انواع خطای اتصال حلقه در شار پیوندی ژنراتور سنکرون تحت شرایط آزمایشگاهی مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است. در عین حال تفکیک این خطا از چند خطای مهم دیگر نیز مطرح و بررسی شده است.

۱-۳- اهداف تحقیق

در این رساله مدل سازی و تشخیص خطای اتصال حلقه در سیم پیچی استاتور ژنراتور سنکرون با استفاده از شار مغناطیسی پیوندی و تفکیک آن از خطاهای دیگر مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است. سوالات اساسی که این رساله در جهت پاسخگویی به آنها طرح شده بدین شرح است:

- آیا برآورده کردن تمامی شرایط مناسب، جهت تشخیص خطای اتصال حلقه امکان پذیر است؟
- آیا امکان تشخیص بروز انواع خطای اتصال حلقه و مکان وقوع آنها در داخل سیم پیچ ماشین های الکتریکی و تفکیک آنها از همدیگر واز دیگرخطاها، وجود دارد؟
- آیا روش دقیق و ارزان قیمت که محدوده بیشتری از خطاها را تشخیص و از همدیگر تفکیک نماید و درعین حال استفاده از آن برای تمامی ظرفیت ماشین های الکتریکی توجیه اقتصادی داشته باشد وجود دارد؟
- آیا امکان یافتن نشانه های روشنی از انواع خطای اتصال حلقه در ماشین هایی که مجهز به چندین مسیر موازی در سیم پیچی استاتور هستند، وجود دارد؟
- آیا امکان یافتن فاز و کلاف معیوب تحت انواع خطای اتصال حلقه، درماشین هایی با سیم پیچی روی هم[1]، وجود دارد؟
- زمانی که تقارن در سیم پیچی های ماشین به علت وجود خطای اتصال حلقه از بین می رود چه مدلی جهت بررسی این خطا در ماشین الکتریکی مناسب است؟

۱-٤- مروری بر فصل های مختلف رساله

فصل های بعدی رساله به شرح زیر تنظیم گردیده است:

در فصل دوم عمده ترین خطا های ماشین های الکتریکی معرفی شده و دسته بندی از انواع کلی خطاها انجام شده است. سپس کمیاتی که ملاک مناسبی برای تشخیص خطا می باشند مطرح شده است. با توجه به این که روش ارائه شده در این رساله در زیر مجموعه روشهای مغناطیسی دسته بندی می شود، لذا تنها روشهای مغناطیسی به صورت کامل و با جزییات مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته است. در ادامه مزایا و معایب روشهای مختلف تشخیص خطا معرفی شده و این روش ها از نقطه نظرهای مختلف با هم مقایسه شده اند.

در فصل سوم، به مدل سازی خطای اتصال حلقه و استخراج معادلات حاکم بر شار پیوندی ماشین سنکرون پرداخته و اندوکتانس های کلاف های معیوب محاسبه شده است. شبیه سازی ها و محاسبات به روش اجزاء محدود انجام گرفته و بدین منظور ژنراتور سنکرون نمونه درحالتهای مختلف بی باری و بارداری در شرایط سالم وخطای اتصال حلقه مورد مطالعه و بررسی قرارگرفته است.

در فصل چهارم، نتایج آزمایشگاهی تشخیص انواع خطای اتصال حلقه مبتنی بر نظریه شار پیوندی منعکس شده و مشاهده شده است که تفکیک خطاهای مختلف به روش مذکور به خوبی صورت می گیرد.

[1] - Lap Winding

در فصل پنجم، چگونگی استفاده از شبکه عصبی جهت آشکارسازی نشانه هـای خطـا و تشـخیص آن مطـرح شـده است. در فصل ششم، جمع بندی، نتیجه گیری از مطالعات انجام شده و پیشنهادات برای ادامه تحقیقات در این زمینه ارائه شده است.

در بخش ضمائم، پیوست های مرتبط با اطلاعات طراحی و سیم پیچی ماشین نمونه، صورت جلسه نهایی و گـواهی تایید آزمایشات از سوی حامی مالی پروژه آمده است.

فصل دوم- خطا ها و تشخیص آنها در ماشین های الکتریکی

۲-۱- مقدمه

فرسودگی ناشی از کارکرد زیاد، طراحی های نامناسب و ضعیف، مونتاژ نادرست، استفاده نامناسب، نوسانات زیاد، اضافه بار، اضافه سرعت، دمای نامناسب محیط و یا ترکیبی از عوامل یاد شده می تواند باعث وقوع خطا در یک قطعه یا یک سیستم شود. حال اگر این خطا در مراحل اولیه تشخیص داده نشود وگسترش یابد باعث خرابی وخروج از مدار تجهیز و یا سیستم می‌گردد[۱۶].

۲-۲- خطا ها در ماشین های الکتریکی

عمده ترین خطا های ماشین های الکتریکی را می توان به صورت زیر دسته بندی کرد[۱] و[۱۱].

۱ - خطای حلقه- حلقه واتصال بدنه در سیم پیچی استاتور

۲ - خطاهای استاتور ناشی از باز شدن یا اتصال کوتاه شدن فازهای مختلف (تک فاز، دو فاز و سه فاز)

۳ - اتصال غیر عادی سیم پیچ های استاتور مثلا عدم رعایت جابجایی هادیها

٤ - خروج از مرکز استاتیک و دینامیک

۵ - شکستن میله های روتور و شکاف برداشتن حلقه های انتهایی

٦ - خمیدگی شفت ناشی از خروج از مرکز دینامیک که باعث ساییدگی بین روتور و استاتور و آسیب دیدن جدی هسته استاتور و سیم پیچ ها می گردد.

۷ - بروز عیب در سیم پیچی روتور شامل اتصال کوتاه، اتصالی های حلقه به حلقه و قطع سیم پیچ روتور

۸ - خطاهای یاتاقان ها و جعبه دنده ها

۹ - جرقه و تخلیه جزیی