

تحلیل و عیب یابی سیستم دیود مانتورینگ تحریریک ژنراتور نیروگاه حرارتی طوس

اسماعیل نیازی، محمدحسن یاسینزاده

امور تعمیرات الکتریک

شرکت مدیریت تولید برق طوس

مشهد، ایران

niazy@tousspowerstation.ir

yasinzadeh@tousspowerstation.ir

مقدمه

در حال حاضر بخش اصلی انرژی الکتریکی مصرفی جهان توسط ژنراتورهای سنکرون سه فاز که با استفاده از توربین های آبی، گازی، بخار یا موتورهای احتراقی به حرکت در می آیند، تولید می شود [۱]. یکی از بخش های اصلی ژنراتور سنکرون، تحریریک یا میدان مغناطیسی دوار می باشد. جریان سیم پیچی های سیستم تحریریک ژنراتورهای سنکرون به یکی از دو روش رینگ های لغزان^۱ یا تحریریک بدون جاروبک^۲ تامین می شود [۲]. در روش اول جریان تحریریک از طریق رینگ های لغزان به سیم پیچ تحریریک تزریق می شود. در روش دوم که تحت عنوان روش بدون جاروبک شهرت دارد، جریان تحریریک توسط یک ژنراتور سنکرون کوچکتر تولید شده و پس از یکسوسازی توسط دیودهای گردان، به طور مستقیم به سیم پیچ تحریریک تزریق می شود [۳].

در سیستم تحریریک بدون جاروبک یک ژنراتور سنکرون کمکی که به صورت مکانیکی به محور ژنراتور اصلی کوپل شده جریان تحریریک را تامین می کند. سیم پیچی آرمیچر این ژنراتور کمکی بر روی روتور و سیم پیچی

چکیده — در این مقاله به تحلیل نقص به وجود آمده در سیستم دیود مانتورینگ تحریریک ژنراتور نیروگاه حرارتی طوس پرداخته شده است. ژنراتور واحد سه در بهمن ۱۳۹۳ به دلیل تشخیص نقص همزمان دو دیود در یک شاخه از مجموعه ۶۰ دیود گردان سیستم تحریریک، توسط سیستم دیود مانتورینگ تریپ داده شد. به دنبال وقوع این تریپ فرآیند عیب یابی آغاز گردید و در فرصت سه ماهه به وجود آمده (به دلیل توقف واحد برای انجام تعمیرات اساسی)، تحلیل و بررسی دقیق تمامی عواملی که مشکوک به نقص بودند صورت گرفت. پس از انجام اندازه گیری ها و تست های متعدد و بررسی تمامی عوامل مشکوک و تحلیل و مقایسه نتایج به دست آمده، دلیل اصلی تریپ که از حد خارج شدن فاصله Proximity Switch های به کار رفته در سیستم دیود مانتورینگ بود، مشخص شد. در نهایت پس از برطرف نمودن نقص، واحد راه اندازی گردید و سیستم دیود مانتورینگ بدون نقص در مدار قرار گرفت.

واژه های کلیدی — سیستم تحریریک بدون جاروبک؛ دیودهای گردان؛

دیود مانتورینگ؛ Proximity Switch

¹ Slip Rings

² Brushless

عیب‌یابی و اهمیت به سزای آن، اشاره‌ای نشده است. این درحالی است که در نیروگاه‌های احداث شده که در حال بهره برداری می‌باشند، عیب‌یابی و فرآیندهایی که بتوان با استفاده از آن‌ها زمان رسیدن به علت اصلی عیب و برطرف نمودن آن را کاهش داد از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. انتشار تجربیاتی از این دست و در دسترس قرار گرفتن آن می‌تواند نقش به‌سزایی در افزایش پایایی سیستم‌ها داشته باشد. همچنین هزینه‌ها و جریمه‌هایی که در اثر تریپ‌های به وجود آمده به دنبال وقوع نقص در سیستم دیود مانتورینگ به نیروگاه‌ها تحمیل می‌شود را به کاهش چشمگیری می‌دهد.

در این مقاله تحلیلی دقیق از تست‌ها، ارزیابی‌ها و فرآیندهای صورت گرفته به منظور پیدا کردن عامل اصلی نقص و برطرف نمودن آن در سیستم دیود مانتورینگ تحریک نیروگاه حرارتی طوس ارائه شده است. همچنین تجربیات ارزنده و نتیجه تست‌های واقعی که بر روی سیستم تحریک ژنراتورهای در حال کار یا در حال توقف نیروگاه انجام شده ارائه گردیده است.

سیستم تحریک و دیود مانتورینگ تحریک ژنراتورهای نیروگاه طوس

در شکل ۱ نمایی از سیستم تحریک ژنراتورهای ۱۵۰ مگاواتی نیروگاه حرارتی طوس مشاهده می‌شود. چنانکه در این شکل ملاحظه می‌شود اولین بخش سیستم تحریک شامل یک ژنراتور سه‌فاز مغناطیس دائم (PMG)^۴ با مشخصات 10 kVA, 420 V و چهار قطب می‌باشد که به انتهای محور توربین-ژنراتور کوپل شده است. آهن‌رباهای دائم این ژنراتور بر روی روتور و آرمیچر بر روی استاتور قرار دارد و با توجه به اینکه سرعت چرخش و میدان مغناطیسی روتور این ژنراتور ثابت است لذا ولتاژ خروجی ثابت تولید می‌کند. خروجی ژنراتور مذکور توسط تریستور یکسو شده و میدان مغناطیسی یک ژنراتور سه‌فاز 890 kVA, 252 V و ۸ قطب به نام تحریک اصلی (ME)^۵ را تامین می‌کند. زاویه آتش تریستورهای مذکور توسط سیستم تنظیم ولتاژ اتومات (AVR) کنترل می‌شود و در نتیجه ولتاژ خروجی ژنراتور اصلی نیز کنترل می‌شود. سیم‌پیچی میدان ME بر روی استاتور قرار داشته و با توجه به اینکه هشت قطب دارد، جریان سه‌فاز 200 Hz را در آرمیچر که بر روی روتور قرار دارد القا می‌کند. جریان سه‌فاز خروجی توسط ۳۰ میله هادی به ۶۰ دیود گردان، Rotating Rectifier (که

تحریک بر روی استاتور قرار دارد. یک پل دیودی که متصل به روتور می‌باشد، جریان آرمیچر را DC کرده و به سیم‌پیچی تحریک ژنراتور اصلی می‌دهد. جریان DC تحریک ژنراتور کمکی از طریق جریانی که توسط حلقه AVR کنترل می‌گردد، تامین می‌شود و به این ترتیب ولتاژ خروجی ژنراتور سنکرون اصلی نیز کنترل می‌گردد.

در مقالات متعددی به بحث و شبیه‌سازی سیستم تحریک بدون جاروبک برای ماشین‌های الکتریکی سنکرون و خصوصاً ژنراتور سنکرون پرداخته شده است. از جمله در [۴] که با استفاده از ماشین حالت^۳ برای مدار روتور به شبیه‌سازی سیستم تحریک بدون جاروبک ماشین سنکرون پرداخته و در آن نشان داده شده که تنها با این روش می‌توان با دقت کافی شبیه‌سازی را انجام داد. همچنین در [۵] داده‌های حاصل از تحلیل میدانی با شبیه‌سازی داده‌های حاصل از شبیه‌سازی سیستم تحریک بدون جاروبک با پاسخ اولیه سریع پرداخته شده است.

یکی از خرابی‌هایی که در سیستم‌های تحریک بدون جاروبک به وجود می‌آید، وقوع نقص در دیودها می‌باشد. نقص در دیودها می‌تواند به دو شکل قطع دیود یا اتصال کوتاه دیود ظاهر شود. قطع دیود باعث کاهش ظرفیت سیستم تحریک و ژنراتور می‌شود. در حالیکه اتصالی دیود باعث ایجاد اضافه‌بار بر سیستم تحریک گردیده و در صورت تداوم به AVR و سیم پیچی تحریک آسیب وارد می‌کند [۶].

دو روش مستقیم و غیر مستقیم برای تشخیص وقوع نقص در دیودها وجود دارد. در روش ارائه شده در [۶] با استفاده از تحلیل هارمونیک جریان تحریک و بهره بردن از پردازشگر میکروپروسسوری وقوع نقص در دیودها به صورت غیر مستقیم تشخیص داده می‌شود. در [۷] نیز روشی برای تشخیص وقوع نقص در دیودهای گردان با استفاده از تحلیل طیفی شارهای نشتی معرفی شده که توسط تست‌های آزمایشگاهی نیز مورد تایید قرار گرفته است. به طور مشابه در [۸] روشی برای تشخیص نقص در دیودهای گردان ارائه شده است که در آن با استفاده از آنالیز هارمونیک ولتاژ خروجی ژنراتور وقوع نقص آشکارسازی می‌شود.

در مقالات فوق روش‌های آکادمیک جهت تشخیص نقص در دیودهای گردان سیستم‌های تحریک بدون جاروبک ارائه شده است که از ضروریات طراحی سیستم‌ها و نرم‌افزارهای آشکارساز نقص دیودها می‌باشد. با این حال در هیچ یک از آن‌ها به فرآیند عیب‌یابی و روش پیدا کردن نقص در مجموعه تجهیزات سیستم دیود مانتورینگ، با وجود پیچیدگی فرآیند

⁴ Permanent Magnet Generator

⁵ Main Exciter

³ State Machine

بروز نقص و فرآیند عیب‌یابی

بر روی محور و بین روتور ME و روتور ژنراتور اصلی قرار دارند) متصل شده و پس از یکسو شدن، میدان مغناطیسی ژنراتور را تامین می‌کند.

بروز نقص

در تاریخ ۱۳۹۳/۱۱/۲۲ سیستم دیود مانتورینگ تحریک ژنراتور واحد سه، با تشخیص وقوع نقص در دیودهای شماره ۷ و ۸ مثبت فاز S (S8+) و (S7+) دستور تریپ صادر کرد و به دنبال آن فرآیند عیب‌یابی آغاز شد. بر اساس شواهد، آلامها و تجربیات حاصل از اتفاقات گذشته، احتمال نقص در بخش‌های زیر وجود داشت که می‌بایست مورد بررسی قرار می‌گرفت:

- نقص دیودهای S7+ و S8+ (هرچند بر اساس سوابق و تجربیات، این احتمال بسیار کم بود ولی در عین حال بدترین حالت ممکن می‌توانست باشد).

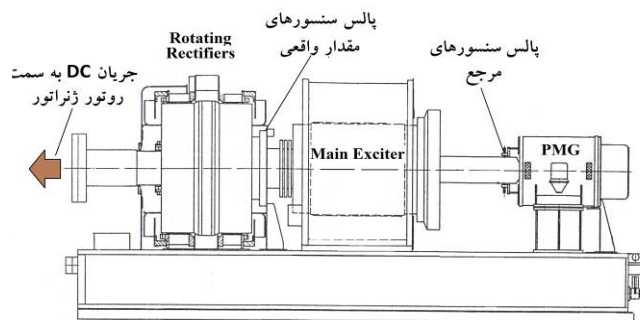
- نقص پالس سنسور مقدار واقعی مربوط به دیودهای S7+ و S8+
- نقص پالس سنسور مرجع S+
- نقص یا کثیفی سوکت‌های ارتباطی پالس سنسور مقدار واقعی
- نقص یا کثیفی سوکت‌های ارتباطی پالس سنسور
- وجود اتصالی در مسیر ارتباطی بین سنسورها و کارت‌های سیستم دیود مانتورینگ
- وجود امواج و القاهای الکترومغناطیسی بر روی کابل‌های رابط
- نقص کارت دیود مانتورینگ XT 4518 و کارت اسکرن XR 4519

برای بررسی موارد فوق اندازه‌گیری و تست‌های گوناگون بر سیستم دیود مانتورینگ و تجهیزات مربوطه صورت گرفت. با توجه به توقف نود روزه واحد سه جهت تعمیرات اساسی فرصت مناسبی برای انجام تست‌های مختلف به وجود آمده بود که در ادامه به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود.

تست‌ها و فرآیند عیب‌یابی

بازدیدهای بصری از محل سیستم تحریک

در روز وقوع حادثه، ابتدا مجموعه تحریک در سالن توربین مورد بررسی قرار گرفت. بخشی از دیودهای گردان که در حالت چرخش قابل مشاهده هستند، پالس سنسورهای مرجع (شکل ۲) و همچنین سوکت ارتباطی بین پالس سنسورهای مرجع با بقیه سیستم (شکل ۳)، چک شد و شرایط غیر عادی، اثری از جرقه، سوختگی و بوی غیر عادی ملاحظه نشد.



شکل ۱: نمایی از سیستم تحریک ژنراتورهای ۱۵۰ مگاواتی نیروگاه حرارتی طوس [۹]

چنانچه پیشتر توضیح داده شد، تشخیص وقوع نقص در دیودهای مذکور (که می‌تواند به صورت قطع دیود یا اتصال کوتاه باشد که در این حالت نیز بر اثر سوختن فیوز، جریان دیود قطع می‌شود) از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. به منظور نظارت بر صحت عملکرد دیودها در نیروگاه طوس، از سیستم خاصی استفاده گردیده که از آن تحت عنوان سیستم دیود مانتورینگ یاد می‌شود. در این سیستم که تقریباً به صورت نیمه مستقیم به مانتور کردن وضعیت دیودها می‌پردازد از روش خاصی استفاده شده که متفاوت از روش‌های ارائه شده در مراجع [۶-۸] می‌باشد. در روش مذکور از دو مجموعه سنسور با عناوین سنسورهای مرجع و سنسورهای مقدار واقعی استفاده گردیده است. در شکل ۱ موقعیت سنسورهای مرجع و مقدار واقعی در کنار PMG، Main Exciter و دیودهای گردان مشاهده می‌شود. بر روی محور و در مقابل سنسورهای مرجع یک شکاف هوایی وجود دارد که با چرخش محور و عبور این شکاف از مقابل سنسورها، یک پالس در خروجی آن‌ها ظاهر می‌گردد. به طور همزمان، با عبور هر یک از ۳۰ میله (هر میله به دو دیود گردان متصل شده است) از مقابل سنسورهای مقدار واقعی، یک پالس نیز در خروجی این سنسورها ظاهر می‌گردد. پالس‌های خروجی سنسورهای مرجع و سنسورهای مقدار واقعی به کارت الکترونیکی اسکرن XR-4519 می‌رود. طبق زمان‌بندی خاصی که توسط تایمر داخلی کارت صورت می‌گیرد، در هر لحظه پالس خروجی یک سنسور مرجع و پالس خروجی یک سنسور مقدار واقعی انتخاب شده و به کارت تطابق سنج XT-4518 داده می‌شود. در این کارت دو پالس مذکور از نظر همزمانی و همچنین از نظر بزرگی بررسی شده و نقص یا صحت دیود تعیین می‌گردد. این سیستم در صورت تشخیص وقوع نقص یک دیود، آلام و در صورت تشخیص نقص دو دیود در یک شاخه، فرمان تریپ صادر می‌کند.

چنانچه در تصویر نیز ملاحظه می‌شود سیگنال خروجی مربوط به دیودهای S7+ و S8+ که مشکوک به خرابی بودند دقیقاً مشابه سایر دیودها می‌باشد به این ترتیب فرض نقص در دیودها به کلی منتفی گردید. همچنین با توجه به اینکه سیگنال دیودها از طریق پالس سنسورهای مقدار واقعی ثبت و با واسطه سوکت‌ها و کابل‌های رابط به کارت دیود مانتورینگ ارسال می‌گردد، لذا فرض خرابی پالس سنسورهای مقدار واقعی، سوکت و کابل‌های رابط نیز منتفی گردید.



شکل ۲: پالس سنسور مرجع S+ و R+ در کنار محور، ۱۳۹۳/۱۱/۲۲

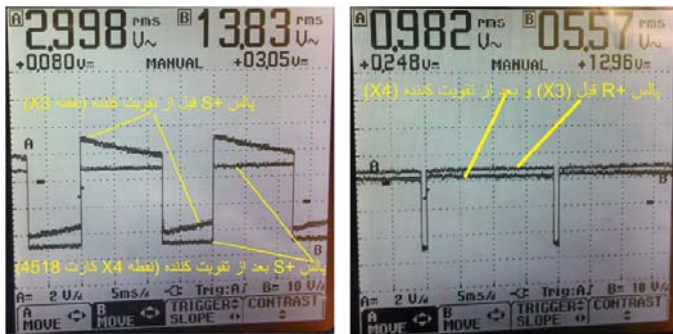
تست سنسورهای مرجع، سوکت‌ها و کابل‌های مربوطه

پس از کسب اطمینان از صحت دیودها و پالس سنسورهای مقدار واقعی، باید دلیل نقص در سایر قسمت‌های سیستم جستجو می‌گردید. لذا در مرحله بعد پالس سنسورهای مرجع مورد بررسی قرار گرفتند. سیگنال خروجی پالس سنسورهای مرجع که شش عدد می‌باشند، ثبت و با یکدیگر مقایسه گردید و مشاهده شد که سیگنال خروجی پالس سنسور مرجع S+ نسبت به سایر پالس سنسورها دارای رفتار متفاوت می‌باشد که این مساله در شکل ۵ ملاحظه می‌شود. به این ترتیب دایره جستجو به پالس سنسور S+ و تجهیزات مربوطه محدود گردید.



شکل ۳: نری و مادگی سوکت ارتباطی پالس سنسورهای مرجع، ۱۳۹۳/۱۱/۲۲

تست دیودها، سنسورهای مقدار واقعی، سوکت‌ها و کابل‌های مربوطه



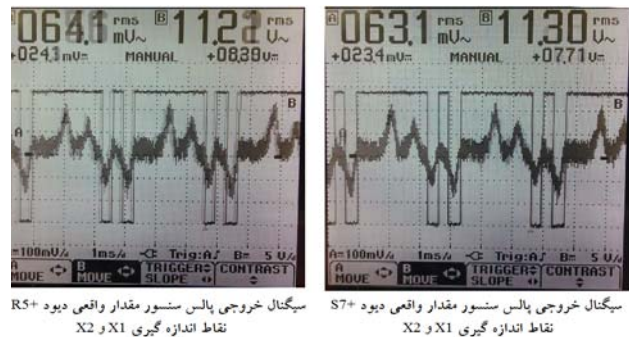
شکل ۵: سیگنال خروجی پالس سنسورهای مرجع S+ و R+، ۱۳۹۳/۱۱/۲۲

ماهیت سنسورهای مرجع (پالس سنسورهای مرجع)

با توجه به تشخیص وجود نقص در پالس سنسور مرجع S+، لازم بود این تجهیز با دقت بیشتری مورد بررسی قرار گیرد. از طرفی اطلاعات خاصی در مورد ماهیت و ساختمان داخلی این سنسور در دسترس نبود ولی از سوی دیگر وجود این اطلاعات به منظور تست ضروری بود. همچنین با توجه به احتمال خرابی پالس سنسور و عدم موجود بودن سنسور یدکی در نیروگاه، باید جایگزین کردن آن نیز دنبال می‌گردید. لذا به این منظور مکاتباتی با شرکت سازنده سنسور صورت پذیرفت که در نتیجه آن، مشخصات و اطلاعات مناسبی در این زمینه حاصل گردید (همچنین یک

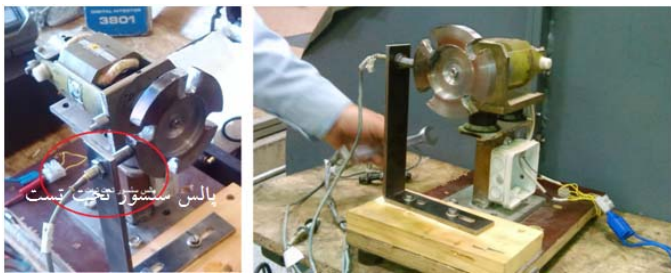
تست دیودها، سنسورهای مقدار واقعی، سوکت‌ها و کابل‌های مربوطه

پس از اطمینان از عادی بودن شرایط ظاهری مجموعه تحریک در محل سالن توربین، می‌بایست اندازه‌گیری و تست‌هایی از طریق تابلو تحریک انجام می‌گردید. با توجه به اینکه تریپ با اعلام نقص دیودهای S7+ و S8+ ایجاد شده بود بدترین حالت ممکن که می‌توانست اتفاق بیفتد سوختن این دیودها بود. لذا در اولین گام سیگنال دیودهای مذکور و همچنین سایر دیودها توسط اسیلوسکوپ ثبت گردید. سیگنال دیودها توسط پالس سنسورهای مقدار واقعی دریافت گردیده و بر روی کارت دیود مانتورینگ XT-4518 قابل اندازه‌گیری می‌باشد. در شکل ۴ سیگنال دیود S7+ که مشکوک به خرابی بود و دیود سالم R5+ ارائه شده است.



شکل ۴: سیگنال خروجی دیودهای S7+ و R5+، ۱۳۹۳/۱۱/۲۲

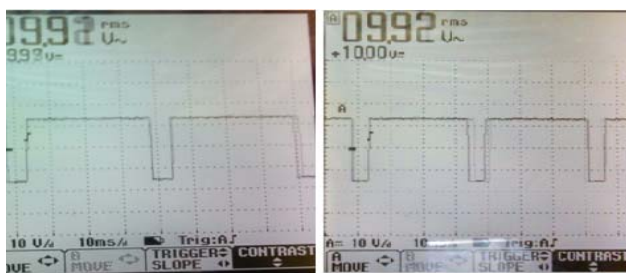
شناخته شد می‌بایست مورد تست قرار می‌گرفتند. به منظور انجام تست لازم بود پالس سنسورها در محل نصب بوده و با چرخش محور در مقابل آن‌ها، سیگنال خروجی از طریق کارت دیود مانتورینگ ثبت و مورد بررسی قرار گیرد. با توجه به اینکه واحد سه به منظور تعمیرات اساسی به مدت نود روز متوقف بود لذا در این واحد امکان تست واقعی وجود نداشت. واحدهای دیگر نیز در حال کار بودند و اجازه تست بر روی آن‌ها داده نمی‌شد. بنابراین پس از بحث‌ها و بررسی‌های متعدد که در امور تعمیرات الکتریک صورت گرفت، تصمیم به شبیه‌سازی مجموعه سنسور و محور گرفته شد. به این منظور باید سنسورها از محل باز شده و حرکت محور در مقابل آن به طریقی دیگر شبیه‌سازی می‌شد. به منظور شبیه‌سازی حرکت محور در مقابل سنسور از یک دیسک فولادی استفاده شد که بر روی آن شکاف هوایی قرار داشت (به منظور معادل‌سازی شکاف هوایی محور که از مقابل پالس سنسور عبور می‌کرد) و توسط یک الکتروموتور یونیورسال در مقابل پایه‌ای که سنسور بر روی آن نصب می‌گردید، چرخانده می‌شد. در شکل ۸ نمای از تجهیزاتی که جهت تست طراحی شده بودند ملاحظه می‌شود.



شکل ۸: نمای از تجهیزاتی که جهت تست طراحی شده بودند

تست پالس سنسور مرجع با استفاده از تجهیزات شبیه‌ساز

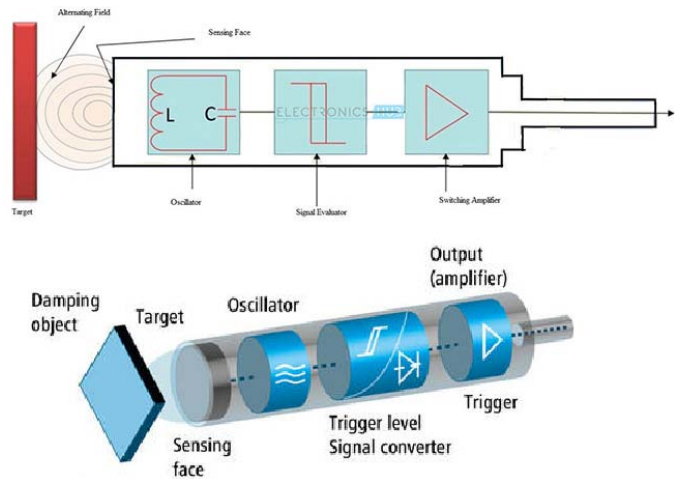
در اولین تست سنسورها از محل باز گردیده و به کارگاه امور تعمیرات الکتریک منتقل شده و پس از نصب بر روی دستگاه شبیه‌ساز و برقراری تغذیه سنسور و سایر شرایط لازم، سیگنال‌های خروجی تمامی پالس سنسورها توسط اسیلوسکوپ ثبت گردید. در **Error! Reference source not found.** سیگنال خروجی پالس سنسورهای مرجع S+ و S- مشاهده می‌شود.



میگنال خروجی پالس سنسور S+ میگنال خروجی پالس سنسور S-

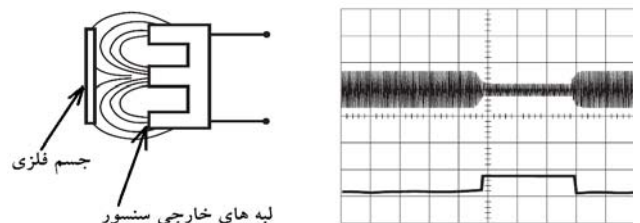
شکل ۹: سیگنال خروجی پالس سنسور مرجع S+ و S-، ۱۳۹۴/۰۱/۱۲

نوع سنسور که در بازار موجود بود و امکان جایگزینی با سنسور موجود را داشت توسط شرکت مذکور معرفی شد). سنسور مذکور یک Proximity Switch القایی PNP می‌باشد و در حقیقت یک سوئیچ بوده که با عبور اجسام فلزی از مقابل آن، تغییر وضعیت می‌دهد، در شکل ۶ نمای از ساختمان این سنسور ملاحظه می‌شود.



شکل ۶: نمای از ساختمان داخلی یک Proximity Switch القایی PNP

عملکرد سنسور به این شکل است که در صورت عبور جسم فلزی خارجی از مقابل سنسور، مسیر میدان‌های مغناطیسی فرکانس بالا (که از طریق اسیلاتور LC داخلی تولید می‌شود) از داخل جسم فلزی بسته شده و جریان‌های گردابی در فلز خارجی القا می‌شود. القای جریان همراه با مصرف انرژی می‌باشد که این انرژی از اسیلاتور LC داخلی سنسور گرفته شده و باعث می‌شود نوسانات اسیلاتور تضعیف شود (چون بخشی از انرژی آن به جسم فلزی خارجی منتقل می‌شود، شکل ۷). Signal Evaluator تغییر دامنه نوسانات را حس کرده و وجود جسم فلزی را تشخیص می‌دهد و نهایتاً تقویت‌کننده خروجی (ترانزیستور) را فعال می‌کند.



شکل ۷: حساسیت سنسور نسبت به نزدیک شدن جسم فلزی

انتخاب استراتژی تست پالس سنسور مرجع

پس از اینکه ماهیت پالس سنسورهای مرجع (که بر اساس شواهد و شکل موج‌های ثبت شده عامل اصلی بروز حادثه به نظر می‌رسیدند)،

کسب اطمینان بیشتر، کابل‌های رابط، و تمامی پین‌های سوکت‌ها به صورت تک تک مورد تست قرار گرفتند و خوشبختانه نقصی مشاهده نشد. در این تست‌ها تک تک پین‌های سوکت‌ها نسبت به یکدیگر و نسبت به بدنه سوکت تست مقاومت اهمی و همچنین مقاومت عایقی شدند. همچنین مقاومت اهمی تک تک کابل‌ها نیز اندازه‌گیری و ثبت گردید. به عنوان مثال در جدول ۱ مقاومت اهمی کابل‌های رابط بین سوکت مادگی پالس سنسور مقدار واقعی SAI تا سوکت مادگی انتهای اکسایتر ارائه شده است.

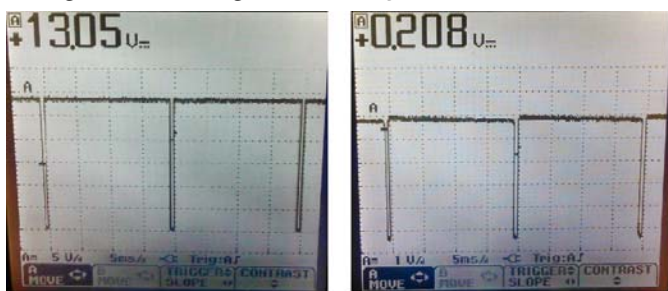
جدول ۱: مقاومت الکتریکی مسیر بین سوکت مادگی پالس سنسور مقدار واقعی SAI تا سوکت

مادگی انتهای اکسایتر، ۱۳۹۴/۰۲/۰۴

3-K	2-J	1-H	6-G	4-F	5-E	9-D	12-C	11-B	10-A
0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1

تست واقعی پالس سنسورها در واحد یک

با توجه به نتایجی که طی تست‌های قبل به دست آمده بود، چنین نتیجه‌گیری شد که پالس سنسور و مسیر نقصی ندارد. البته تست‌های فوق در شرایط توقف واحد و با استفاده از تجهیزات شبیه‌ساز انجام شده بود و لازم بود به منظور رسیدن به قطعیت، تست در شرایط واقعی نیز انجام شود. با توجه به اینکه واحد یک به منظور تعمیرات میان‌دوره‌ای به مدت پانزده روز متوقف شده بود، لذا پس از جلسات و بررسی‌هایی که در امور تعمیرات الکتریکی صورت گرفت، تصمیم بر تعویض سنسورهای واحد سه و واحد یک و تست واقعی سنسورها در واحد یک گرفته شد. لذا سنسورهای واحد یک و سه با یکدیگر تعویض و تست در شرایط واقعی انجام شد. چنانچه در شکل ۱۱ ملاحظه می‌شود سیگنال خروجی سنسور S+ مشابه سنسور R+ و همچنین سیگنال خروجی سایر سنسورها می‌باشد.



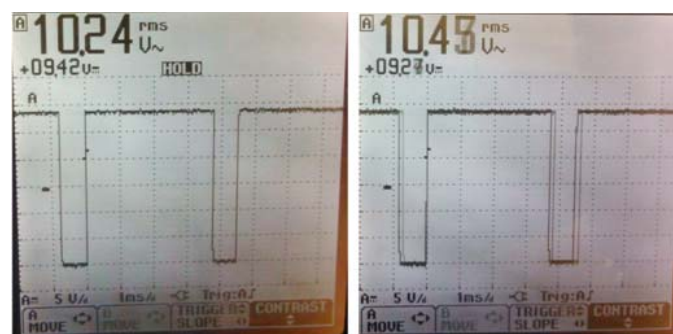
شکل ۱۱: سیگنال سنسورهای R+ و S+ (گرفته شده از نقطه X3 کارت XT 4518 پس از نصب سنسورهای مرجع واحد سه در واحد یک)، ۱۳۹۴/۰۲/۱۴

همچنین در تست فوق، کارت‌های دیود مانتیورینگ و اسکرینر واحد سه بر روی واحد یک قرار داده شد و در این شرایط نیز سیستم دیود مانتیورینگ واحد یک بدون نقص به عملکرد خود ادامه داد و به این ترتیب از صحت تمامی قطعات و تجهیزات سیستم دیود مانتیورینگ واحد سه (که مشکوک

سیگنال خروجی سایر پالس سنسورها (R+, R-, T+, T- و T) نیز دقیقاً مشابه بودند و از نمایش آن‌ها اجتناب شده است. پس از انجام این تست با توجه به تشابه سیگنال خروجی پالس سنسور S+ با سایر سنسورها که در شکل فوق قابل ملاحظه است، تا حد زیادی وجود نقص در پالس سنسور مذکور منتفی گردید. ضمناً همزمان با انجام تست فوق، مقاومت الکتریکی بین ترمینال‌های سنسورها اندازه‌گیری و با یکدیگر مقایسه شد و تفاوتی ملاحظه نشد.

تست پالس سنسور در سالن توربین با استفاده از شبیه‌ساز

با توجه به اینکه در تست قبل نقصی در پالس سنسور مرجع ملاحظه نشد، لازم بود تست در شرایطی شبیه‌تر به حالت واقعی یعنی در سالن توربین (ولی با استفاده از شبیه‌ساز) تکرار شود. همچنین با توجه به اینکه در این تست سوکت‌ها، کابل‌های رابط و کارت دیود مانتیورینگ در مدار قرار می‌گرفتند، لذا صحت آن‌ها نیز مورد بررسی قرار می‌گرفت. این تست در دو مرحله تکرار شد. در مرحله اول، تست در شرایطی انجام شد که هنوز مجموعه سیستم تحریک در کنار سالن توربین قرار داشت. تست دوم زمانی انجام شد که سیستم تحریک در محل خود در امتداد ژنراتور قرار داده شده بود و تمامی سوکت‌ها و کابل‌ها نیز در مسیر تست قرار داشتند. نتیجه هر دو تست مشابه و حاکی از صحت پالس سنسورهای مرجع بود. در شکل ۱۰ سیگنال خروجی سنسورهای مرجع S+ و S- ارائه شده است.



شکل ۱۰: سیگنال خروجی سنسورهای مرجع S+ و S-، ۱۳۹۴/۰۲/۰۴

تست سوکت‌ها و کابل‌های رابط

با توجه به اینکه در تست‌های قبل هیچ تفاوتی بین پالس سنسورها ملاحظه نشد، لذا تقریباً فرض خرابی پالس سنسورها منتفی شده بود. همچنین با توجه به اینکه سوکت‌ها و کابل‌های رابط نیز در مدار بودند، لذا تا حدی از صحت آن‌ها نیز اطمینان حاصل شده بود. با این حال جهت

نتیجه گیری

در این مقاله برخلاف سایر مقالات موجود که صرفاً به تحلیل و شبیه‌سازی سیستم‌های تحریک دوار و یا ارائه الگوریتم جهت تشخیص نقص در دیودهای گردان می‌پردازند، به تحلیل فرآیند عیب‌یابی و ارائه گزارش از یک حادثه واقعی در سیستم دیود مانتورینگ پرداخته شده است. فعالیت‌های صورت گرفته در راستای پیدا کردن و برطرف نمودن نقص در سیستم دیود مانتورینگ ژنراتور واحد سه نیروگاه طوس در این مقاله ارائه شده است. در ابتدای تحلیل تصور بر این بود که پالس سنسور مرجع S+ خراب بوده و باعث بروز نقص گردیده است. در صورتیکه پس از انجام تست‌های متعدد بر روی تجهیزاتی که در سیستم دیود مانتورینگ مشکوک به نقص بودند، مشخص گردید سنسور مذکور که یک Proximity Switch می‌باشد سالم بوده و نقص به دلیل تنظیم نبودن فاصله سنسور تا محور به وجود آمده است. استفاده از تجربیات ارائه شده در این مقاله می‌تواند کمک شایانی جهت کاهش زمان عیب‌یابی و هزینه‌های سنگین مربوط به تریپ و توقف واحد در اثر نقص‌های مشابه نماید.

منابع

- [1] P.C. Krause, O. Wasynkzuk and S.D. Sudhoff, Analysis of Electric Machinery and Drive Systems, 2th ed., John Wiley and Sons, 2002, pp. 191.
- [2] J.C. Whitaker, AC Power Systems Handbook, 3rd ed., Taylor & Francis, 2007, pp. 44.
- [3] J. Pyrhönen, V. Hrabovcová and H. Niemelä, Design of Rotating Electrical Machines, John Wiley and Sons, 2008, pp. 394-395.
- [4] V. Ruuskanen, M. Niemela, J. Pyrhonen, S. Kanerva and J. Kaukonen, "Modelling the Brushless Excitation System for a Synchronous Machine", IET Electric Power Applications, 2009, Vol.: 3, Issue: 3, pp. 231 - 239.
- [5] C.A. Stigers, J.D. Hurley, D.I. Gorden and D.M. Callanan, "Field Tests and Simulation of a High Initial Response Brushless Excitation System", IEEE Transactions on Energy Conversion, 1986, Vol.: EC-1, Issue: 1, pp.: 2 - 10.
- [6] M. G. McArdle and D. J. Morrow, "Noninvasive Detection of Brushless Exciter Rotating Diode Failure", IEEE Trans. Energy Convers., Jun. 2004, vol. 19, No. 2, pp. 378-383.
- [7] M. Salah, K.. Bacha, A. Chaari and M.E.H. Benbouzid, "Brushless Three-Phase Synchronous Generator Under Rotating Diode Failure Conditions", IEEE Trans. Energy Convers., 2014, Vol.:29, Issue: 3, pp.: 594 - 601.
- [8] M. Salah, K.. Bacha, A. Chaari and M.E.H. Benbouzid, "Detection of Brushless Exciter Rotating Diodes Failures by Spectral Analysis of Main Output Voltage", International Conference on Electrical Engineering and Software Applications (ICEESA), 21-23 March 2013.
- [9] اسناد سیستم تحریک واحدهای ۱۵۰ مگاواتی نیروگاه حرارتی طوس، اسناد ارائه شده توسط شرکت BBC آلمان، ۱۹۸۴
- [10] Balluff Inc. Technical Data, BES 516-325-DO-Y PNP Logic Inductive Sensore, 1985

به نقص بودند) اطمینان حاصل گردید. سپس کارت‌های مربوط به هر واحد به محل خود باز گردانده شد.

دلیل اصلی بروز نقص

تست‌های فوق، (خصوصاً تست اخیر) اثبات کردند که مجموعه سیستم دیود مانتورینگ از جمله سنسورهای مرجع (علی‌الخصوص مزنون اصلی که سنسور S+ بود)، سوکت‌ها، کابل‌ها، کارت‌ها و ... سالم می‌باشند که باعث خوشحالی نیز بود. با اینحال دلیل اصلی نقص همچنان مشخص نشده بود و نگرانی در این زمینه وجود داشت که پس از راه‌اندازی واحد سه نقص وجود داشته باشد، بنابراین می‌بایست نقص در جای دیگر جستجو می‌شد.

با توجه به اینکه تمامی قطعات و تجهیزات مشکوک سیستم دیود مانتورینگ بارها به طور کامل مورد بررسی قرار گرفته و از صحت آن‌ها اطمینان حاصل شده بود لذا بحث و بررسی‌های متعددی در مورد دلیل نقص در امور تعمیرات الکتریک انجام شد. از طرفی مشخص بود که نقص مربوط به پالس سنسور مرجع S+ است و از طرف دیگر پالس سنسور و تمامی تجهیزات مربوطه به کرات مورد تست قرار گرفته و صحت آن‌ها مورد تایید قرار گرفته بود. این مساله باعث شد وضعیت سنسور مذکور نسبت به سایر سنسورها با دقت بیشتری مورد بررسی قرار گیرد که در نتیجه این بررسی‌ها علت اصلی بروز نقص مشخص گردید. در برگه مشخصات فنی سنسور مذکور فاصله مؤثر عملکرد 1.6 mm ذکر شده بود [۱۰]. این در حالیست که فاصله بین محور و پالس سنسورها که در تعمیرات اساسی اندازه‌گیری شده بود به شرح مندرج در جدول ۲ بود.

جدول ۲: فاصله هوایی اندازه‌گیری شده بین سنسورهای مرجع و محور واحد سه در ابتدای

تعمیرات اساسی سال ۱۳۹۳

نام سنسور	T-	T+	S-	S+	R-	R+
فاصله تا محور (mm)	1.60	1.50	1.55	1.9	1.85	.16

مقایسه مقادیر جدول فوق با فاصله مؤثر، عامل اصلی و قطعی بروز نقص را نشان می‌دهد که فاصله بیش از حد مجاز سنسور S+ تا محور (نسبت به سایر سنسورها) می‌باشد. تست سنسور در کارگاه با فاصله بیش از 1.6 mm نیز این مساله را تایید نمود. در فاصله‌های کمتر از 1.6 mm عملکرد سنسور صحیح و کاملاً پیش‌بینی شده بود. در صورتیکه در فواصل بین 1.6 تا 2 mm عملکرد سنسور قابل پیش‌بینی نبود (در برخی موارد عملکرد درست و در برخی موارد نادرست داشت) و در فواصل بیشتر از 2 mm نیز سنسور هیچگونه عملکردی نداشت. به این ترتیب عامل اصلی نقص شناسایی و پس از تنظیم فاصله سنسورها، واحد پس از توقف نود روزه، راه‌اندازی و سیستم دیود مانتورینگ بدون نقص در مدار قرار گرفت.