بررسی علل افزایش دمای استاتور واحد ۱ گازی نیروگاه سیکل ترکیبی قم

محمد رضا دولیخانی۱،حمید رضا خلیلی۱

۱- شرکت مدیریت تولید برق قم

چکیده:

گرم شدن بیش از حد و غیر عادی ژنراتور یکی از پدیده هایی است که در ژنراتورهای نیروگاهی ممکن است رخ دهد و در گزارش های مختلف به آن پرداخته شده است.برای پایش وضعیت دمایی ژنراتور ازحسگرهایی موسوم به RTD استفاده می شود.این حسگرها به صورت یک لایه با ضخامت کم هستند و در بین شینه های درون برخی شیارها قرار می گیرند. برای ریشه یابی دلایل افزایش دمای قرائت شده توسط RTD های تعبیه شده در ژنراتور واحد شماره ۱ گازی نیروگاه قم، ابتدا اطلاعات و سوابق ثبت شده موجود در نیروگاه در رابطه با این واحد جمع آوری گردید و مورد بررسی قرار گرفت. سپس بر اساس تخمین اولیه برای دلایل بروز عیب، مجموعه ای از آزمون ها تدوین گردید که با همکاری نیروگاه در طول چند روز انجام شد. با تفسیر نتایج این آزمون ها و اطلاعات تکمیلی که متعاقبا از عملکرد ژنراتور (از نیروگاه) و شرکت برق منطقه ای تهران اخذ گردید، منشا اصلی افزایش دما در ژنراتور تعیین گردید.در پایان مقاله راه حل هایی برای تعیین موقعیت دقیق خطا در ژنراتور ارایه گردیده است.

کلمات کلیدی: دمای ژنراتور ، سیم پیچی استاتور ، هسته استاتور ، سیم پیچی روتور ، دمای RTD

۱ - مقدمه:

در ژنراتورهای نیروگاهی خطاهای مختلفی ممکن است رخ بدهد که میزان تولید انرژی الکتریکی آن را تحت تاثیر قرار دهد. بسیاری از این عیوب به صورت لحظه ای و ناگهانی رخ نمی دهد، بلکه در اثر مرور زمان و با گسترش یک عیب به ظاهر کوچک در یک قسمت از ژنراتور ایجاد می گردد.

این مقاله که به بر رسی دلایل افزایش دما در ژنراتور واحد گازی شماره ۱ نیروگاه قم می پردازد در دو بخش تدوین شده است؛ در بخش اول نتایج مطالعات صورت گرفته در زمینه دلایل افزایش دما در سایر واحدهای نیروگاهی دنیا آورده شده است. مطالب این بخش بر اساس گزارشات منتشر شده موسسه EPRI و همچنین مقالات ارائه شده در کنفرانس ها و یا مجلات مرتبط با صنعت نیروگاهی تنظیم شده است. در بخش دوم به فعالیت های انجام شده برای برر سی دلایل این افزایش دما در ژنراتور واحد گازی شماره ۱ نیروگاه قم پرداخته شده است و

Archive of SID

www.SID.ir

در آن با در کنار هم قراردادن شواهد و مستندات، منشا اصلی افزایش دما در این ژنراتور تعیین شده است.

۲- عیوب متداول در اجزای الکترومغناطیسی ژنراتورهای نیروگاهی:

۲-۱- سیم پیچی استاتور:

در این بخش عیوبی که ممکن است برای سیم پیچی استاتور ژنراتور نیروگاهی رخ دهد بررسی شده است.

۲-۱-۱-انتهای شینه:

به طور خلاصه می توان گفت لرزش در ناحیه انتهایی شینه ها می تواند موجب ایجاد مشکلات زیر گردد [۱]:

- ایجاد سایش و خراشیدگی در عایق groundwall که موجب "خاکی" و یا "روغنی" شدن آن قسمت می گردد.
- ایجاد ترک در عایق groundwall و در نتیجه ایجاد خطای اتصال به زمین
- سایش عایق های دور هادی های درون شیار و در نتیجه ایجاد اتصال بین این هادی ها
- شکستن هادی ها و درنتیجه افزایش محلی دما که سوختن عایق groundwall را در پی خواهد داشت.

در این حالت ها ساییدگی عایق باعث می شود که پودر سفید رنگی بر روی انتهای شینه ها بنشیند. این پودر در اثر PD و به طور کلی در هر قسمت از شینه¬ که عایق دچار تخریب شود می تواند ایجاد گردد [۲].

۲-۱-۲ درون شیار

یکی از مهمترین مسایلی که می تواند موجب خروج اضطراری ژنراتور از شبکه شود، مشکلاتی است که در عایق سیم پیچی استاتور ژنراتور رخ می دهد. عوامل زیادی در ایجاد مشکلات عایقی در شینه ها نقش دارد که در ادامه به برخی از این دلایل پرداخته می شود.

در ژنراتورهای هواخنک که از RTD ها برای اندازه گیری دمای سیم پیچی ها استفاده می شود، به دلیل این که این حسگرها بین عایق دو شینه درون شیار قرار می گیرند، دمای اندازه گیری شده توسط آنها بین ۲۰ تا ۳۰ درجه سانتیگراد کمتر از دمای واقعی هادی های مسی درون شینه ها است. به دلیل تفاوت بین ضریب انبساط عایق و هادی های مسی، در اثر گرما، هادی ها انبساط طولی بیشتری از عایق پیدا می کنند و در نتیجه به عایق شینه ها خسارت می زنند [۳-۲].

در صورتی که گوه ها در شیارها شل شده باشند، لرزش های شینه ها (درون شیار) که در اثر نیرو های الکترومغناطیسی به وجود می آید، موجب سایش عایق به سطح استاتور می شود که خراشیدگی و خرابی در عایق به وجود می آورد. این پدیده بیشتر در نزدیکی انتهای هسته رخ می دهد [۴-۳].

۲-۲ هسته استاتور:

اتصال کوتاه بین عایق ورقه های هسته و یا خرابی های مکانیکی آن در اثر عواملی مانند تغییرات حرارتی، الکتریکی، مکانیکی، طراحی نا صحیح و یا اشکالات ساختی می تواند رخ دهد. در ماشین های الکتریکی هوا خنک، مهمترین عامل گرم شدن بیش از حد هسته، مسدود شدن مسیر تهویه - به دلیل وجود روغن و یا گرد و خاک - است. اگر مدت زمان این اشکال طولانی گردد، روند تخریب عایق سرعت می گیرد [۴].

۲-۳ سیم پیچی روتور:

اتصال کوتاه بین هادی های روتور در اثر تخریب عایق بین این هادی ها بر اثر عواملی مانند گرما، شکست مکانیکی و یا آلودگی هایی که خاصیت هدایت الکتریکی دارند، رخ می دهد. این نوع اتصال کوتاه ممکن است در روتور رخ بدهد، بدون این که در ادامه تولید انرژی در ژنراتور خللی ایجاد کند. اتصال بین هادی ها می تواند منشا مشکلات زیر باشد[۵]:

- نا متعادلی گرمایی روتور: هادی های اتصال کوتاه شده در دمای پایین تری از هادی های اتصال کوتاه نشده قرار می گیرند که این عدم تعادل دمایی می تواند موجب خم شدن روتور گردد. در نتیجه، این عدم تعادل مکانیکی افزایش ارتعاشات روتور را در پی خواهد داشت.
- نا متعادلی چگالی شار در قطب ها؛ این پدیده در ژنراتورهای با بیش از دو قطب به وجود می آید.
- در اثر اتصال در های های روتور، جریان بیشتری به ازای یک توان خروجی یکسان در ژنراتور، نسبت به حالت بدون اتصال کوتاه، نیاز می باشد.
- در اثر عبور جریان بیشتر از هادی های روتور، گرما در آن افزایش می یابد و در نتیجه روتور گرمتر می گردد. بنابر این لازم است که توان خروجی ژنراتور محدود گردد [۴].

۲-۴ بررسی های اولیه:

Archive of SID

www.SID.ir

پس از طرح اولیه مساله از طرف شرکت مدیریت تولید برق قم اطلاعاتی به شرح ذیل در خصوص فعالیت های انجام گرفته بر روی ژنراتور واحد یک گازی جمع آوری گردید:

۱- زمان تعمیرات اساسی واحد مورد نظر و اهم فعالیت های انجام شده بر روی استاتور، سیم پیچ ها و سیستم خنک کننده این واحد

۲- توزیع هندسی حسگرهای دما (RTD۱۰۰PT) و میزان افزایش دما بر روی این حسگرها

۳- نتایج تست های مقاومت عایقی و اندیس پلاریزاسیون بر روی واحد مزبور (شامل تست های قبل و بعد از تعمیرات اساسی مذکور)

۴- آخرین نتایج اندازه گیری تخلیه جزئی بر روی واحد مزبور و واحدهای مشابه.

فعالیت های انجام شده بر روی واحد شماره ۱ به شرح زیر می باشد:

در تاریخ ۸۵/۸/۲۵ واحد شماره ۱ جهت تعمیرات اساسی از مدار خارج گردیده و به جز تمیزکاری، کار خاصی بر روی شینه های ژنراتور صورت نگرفته است. همچنین در تاریخ ۸۹/۹/۴ واحد شماره ۱ جهت تعمیرات اساسی از مدار خارج گردید و فعالیت هایی به شرح زیر بر روی شینه های استاتور انجام شد:

- تمیزکاری کلاف ها و سرکلاف ها
- مرمت سطحی شینه های ۳۶ الی ۴۳ (تمیز کاری و اعمال رنگ هادی)
- رنگ آمیزی سطوح داخلی استاتور و سرکلاف ها با coting varnish قرمز

از بررسی اطلاعات جمع آوری شده این جمع بندی به دست آمد که بر مبنای نتایج ثبت شده مربوط به سطح PD در چهار واحد نیروگاه در تاریخ ۹۰/۷/۱۰ و در گین ۲، مقادیر NQN و QMواحد ۱ از مقادیر میانگین پارامترهای متناظر در ۳ واحد دیگر به ترتیب ۳۴و ۲۲ در صد بیشتر است. همچنین بررسی ها نشان می دهد که مقدار میانگین QM فازهای واحد ۱ از تاریخ ۸۹/۳/۱۶ تا تاریخ ۹۰/۷/۱۰ روندی کاهشی داشته است که به نحوی موید بالا رفتن متوسط دمای سیم پیچی ها و کوچک شدن سایز حفره های موجود در سیستم عایقی در اثر انبساط حرارتی می باشد. لازم به ذکر است که فاز B در کلیه اندازه گیری ها، از سطح تخلیه جزیی بالاتری نسبت به دو فاز دیگر برخوردار است.

همچنین به دلیل نقصان اطلاعات فنی در دسترس، بررسی بیشتر در این ارتباط منوط به جمع آوری اطلاعات ذیل بود:

- با توجه به نقشه مشخص گردد که هر کدام از حسگرهای دما (RTD و یا ۱۰۰PT) چه میزان افزایش دما را نسبت به زمان قبل از ایجاد اشکال در ژنراتور نشان می دهد. ضمنا کلیه log sheet های مربوط به حسگرهای دما جمع آوری گردند.

Data sheet - های مربوط به ژنراتور واحد ۱ که شامل مشخصات عملکردی مانند ولتاژ، جریان، توان و تلفات تفکیک شده آن باشد.

- نقشه سیم بندی استاتور
- اطلاعات اورهال شامل آزمایش های مگر، اندیس پلاریزاسیون، تانژانت دلتا و آزمایش گوه¬ها مربوط به قبل از سال ۱۳۸۵

۳ - تحلیل اطلاعات و انجام آزمون:

اطلاعات جمع آوری شده توسط تیم پروژه از نیروگاه، مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت و به دلایلی که در ادامه این بند آورده شده است، پیش بینی گردید که ریشه اصلی افزایش دمای ژنراتور ایجاد عیب در سیم پیچی استاتور آن می باشد.

حسگرهای RTD بین شینه های استاتور قرار می گیرد و دمای اندازه گیری شده با این حسگرها مقداری متوسط از کل طول شینه است. بنابراین اولین چیزی که به نظر می آید که می تواند موجب افزایش دمای خوانده شده توسط RTD ها گردد، مشکلات ایجاد شده در سیم پیچی های استاتور می باشد.

مقدار مقاومت عایقی سیم پیچی استاتور واحد ۱ که در سال های ۱۳۸۵ و ۱۳۸۹ اندازه گیری شده است با گذشت زمان افزایش یافته است؛ به نحوی که اندیس پلوریزاسیون (1p) افزایشی مطابق با جدول شماره ۱ داشته است.

اگر اندیس پلوریزاسیون با گذشت زمان، بدون آنکه تغییری در شرایط عایق از نظر رفع آلودگی یا رطوبت ایجاد شود، به میزان ۲۰ ٪ رشد داشته باشد، عایق بندی شینه ها دارای اشکال گردیده است و لازم است مورد بررسی قرار بگیرد.

از طرف دیگر بررسی اطلاعات نشان می دهد که مقاومت اهمی سیم پیچی فازهای استاتور واحد شماره ۱ با گذشت زمان

Archive of SID

www.SID.ir

افزایش یافته اســت، درحالی که این مقدار در واحدهای دیگر کاهش نشان می دهد.

بررسی نتایج ثبت شده PD در واحد شماره ۱ نیز نشان می دهد که به دلیل کاهش اندازه حفره ها (که در اثر افزایش گرما صورت پذیرفته ا ست) دامنه تخلیه جزیی کاهش یافته ا ست. همچنین دامنه تخلیه جزیی در فاز S از بقیه فازها بالاتر ا ست. با بررسـی نقشـه های سـیم پیچی ژنراتور مشـاهده گردید که تمرکز فاز S در یک م سیر موازی در بالای ژنراتور و در اطراف RTD شماره ۱ که بالاترین دما را نشان می دهد قرار دارد.

این مطلب نشـان می دهد که اگر منشـا افزایش دما در ژنراتور واحد شماره ۱ افزایش مقاومت سیم پیچی فازها با شد، باید این افزایش مقاومت در فاز s رخ داده باشد. به دلیل این که یک مسیر از سیم پیچی فاز s در محدوده RTD شماره ۱ تمرکز دارد.

تمامی این اطلاعات و تحلیل ها موجب گردید که حدس اولیه درباره منشا ا صلی افزایش دما در ژنراتور واحد شماره ۱، افزایش مقاومت سیم پیچی و به تبع آن افزایش تلفات اهمی و در نتیجه افزایش دما با شد. لذا مجموعه ای از آزمون ها تدوین گردید که به کمک آن ها، این مساله با دقت بیشتر و به¬صورت عملی بررسی گردد. این آزمون ها به شرح زیر می باشد:

۱- اندازه گیری دقیق مقاومت سه فاز با استفاده از دستگاه میکرواهم متر.

مقاومت اهمی سـیم پیچی فازهای اسـتاتور ژنراتور واحد شـماره ۱ با اسـتفاده از دسـتگاه میکرو اهم متر اندازه گیری شد.برای اطمینان از صحت اندازه گیری ها، مقاومت یک بار با استفاده از دستگاه میکرواهم متر متعلق به پژوهشگاه نیرو و بار دیگر با اسـتفاده از دسـتگاه متعلق به نیروگاه قم انجام گرفت.همچنین لازم به ذکر است که در اندازه گیری با دستگاه متعلق به پژوهشـگاه نیرو از پروب های سـوسـماری بزرگ (متنا سب با ابعاد سر شینه ها) و در اندازه گیری با د ستگاه متعلق به نیروگاه از پروب های تماسـی اسـتفاده شـده اسـت. مقادیر اندازه گیری شده نشان می دهد که مقاومت اهمی فاز S در واحد شماره ۱ که با دو دستگاه مختلف اندازه گیری شده از بقیه فازها بیشتر است؛ به عبارتی، تحلیل های قبلی در خصوص بیشتر بودن مقاومت سیم پیچی فاز S را تایید می کند.

۲- اندازه گیری راکتانس سـه فاز با اسـتفاده از دسـتگاه RLC متر در جریان پائین (در زاویه های مختلف روتور).راکتانس سه فاز با ا ستفاده از د ستگاه RTC متر در فرکانس ۵۰ و ۱۵۰ هرتز، برای سـیم پیچی سـه فاز اسـتاتور و در زوایای مختلف روتور اندازه گیری شد. این آزمایش تغییر پارامترهای الکتریکی سیم پیچی ها با تغییر فرکانس را ن شان می دهد. نتایج اندازه گیری ن شان می دهد که پارامترهای الکتریکی فازهای ژنراتور، در هر دو فرکانس، در یک محدوده نوسـان می کند. بنابر این می توان این گونه نتیجه گرفت که سیم پیچی فازها در شرایط مشابهی قرار دارند و تفاوتی بین آن ها وجود ندارد.

۳- اندازه گیری مقاومت اهمی و راکتانس هر فاز با استفاده از تزریق جریان متناوب در فازهای اسـتاتور (در زاویه های مختلف روتور).این آزمون با اسـتفاده از یک دسـتگاه اتوترانس انجام شده ا ست؛ به این صورت که ابتدا با تغییر ولتاژ، جریان فاز به میزان ۲۰ آمپر تنظیم شد. سپس با تغییر زاویه روتور در پله های ۲۲ درجه ای، جریان آن قرائت گردید. در مرحله آخر، با تغییر ولتاژ توسـط اتوترانس، جریان فاز به ۴۰ آمپر افزایش داده شـد. این آزمون برای هر فاز به صـورت جداگانه انجام گردیده است.در هر مرحله امپدانس سیم پیچی های فاز استاتور محاسبه گردیده است.نتایج نشان می دهد که هر چند با تغییر موقعیت روتور به دلیل تغییر مدار مغناطیسی جریان تغییر می نماید، ولی محدوده ی تغییرات ثابت اسـت و در هر سـه فاز یکسان می اشد؛ به عبارتی سیم پیچی هر سه فاز ژنراتور دارای شرایط یکسان می باشند.

برای اطمینان از صحت تحلیل های فوق و همچنین دقت اندازه گیری های انجام شـده، مقاومت اهمی سـیم پیچی های اسـتاتور واحد ۴ نیز با اسـتفاده از دسـتگاه میکرو اهم متر پژوهشـگاه نیرو اندازه گیری گردید که نتایج آن نیز در جدول شماره ۲ آورده شده ا ست. برای مقای سه اندازه مقاومت های اهمی واحدهای ۱و ۴، لازم اسـت که این مقاومت ها در یک دمای برابر با ا ستفاده از رابطه(۱) محا سبه شوند که نتیجه این محاسبات در جدول شماره ۳ آورده شده است.

$$R_2/R_1=(t_2+K)/(t_1+K) \quad (1)$$

که R_2و R_1 به ترتیب مقاومت سـیم پیچی در دمای t_2 (۱۰۰ درجه سانتیگراد) و t_1 (دمای محیط که اندازه گیری در

Archive of SID

www.SID.ir

آن صـورت گرفته) می باشـد.مقدار k برای مس برابر ۲۳۴,۵ است.

در جدول شماره ۳ دیده می شود که مقاومت سیم پیچی های واحد ۴ اندکی بیشتر از واحد ۱ می باشد، به عبارت دیگر اگر منشاء افزایش دما در واحد شماره ۱، افزایش مقاومت سیم پیچی آن باشـد، می بایسـت افزایش دما در واحد ۴ بیشـتر از واحد ۱ می بود. بنابر این فرضیه مطرح شده در خصوص افزایش مقاومت سیم پیچی های ژنراتور واحد شماره ۱ با گذشت زمان در اثر عواملی مانند شکست استرندها و غیره نمی تواند صحیح باشـد و به عبارتی، افزایش مقاومت سـیم پیچی دلیل اصـلی افزایش دما در ژنراتور واحد ۱ نیست.

۳-۲- سیم پیچی روتور:

همان طور که در بخش قبل اشاره شد اتصال کوتاه بین هادی های سیم پیچی روتور و یا اتصال به بدنه روتور در (بیش از یک نقطه) می تواند منشـا افزایش تولید گرما و در نتیجه افزایش دما در ژنراتور باشد. در صورتی که افزایش دما ناشی از سیم پیچی های روتور باشد، دمای همه RTD ها به یک نسبت افزایش پیدا خواهند کرد که این افزایش یکنواخت دما در RTDهای واحد۱ دیده نمی شود.

اطلاعات جمع آوری شـده در مورد اندازه گیری مقاومت عایقی بین سیم پیچی روتور و بدنه نشان می دهد که اتصال بین سـیم پیچی روتور و بدنه روتور وجود ندارد. از طرف دیگر اگر اتصـال کوتاه (به مقدار قابل توجه) بین هادی های روتور وجود داشته باشد، باعث ایجاد هارمونیک در چگالی شار فاصله هوایی و در نتیجه در ولتاژ خروجی ژنراتور (در حالت بی باری) می گردد. همچنین این هارمونیک ها باعث افزایش ارتعاشـات در ژنراتور می شود. برای بررسی امکان اتصال کوتاه بین هادی های روتور (در اثر عوامل مختلف)، آزمون بی باری بر روی ژنراتور واحد ۱ انجام گردید. این آزمون به این شکل انجام شد که ژنراتور در حالتی که به شـبکه متصـل نگردیده و روتور با سرعت سنکرون توسط توربین در حال دوران بود (ژنراتور به ترانسـفورمر ۲۳۰kV خروجی وصـل بود)، با کنترل جریان تحریک، ولتاژ فازهای اسـتاتور در مقدارهای ۲۵٪، ۵۰٪، ۷۵٪، ۱۰۰٪ مقدار نامی تنظیم گردید. در هر پله ولتاژ با استفاده از دسـتگاه Power Quality meter، هارمونیک های ولتاژ هر فاز اندازه گیری شد.

نتایج اندازه گیری نشان می دهد که دامنه ولتاژ هارمونیک ها نسبت به دامنه ولتاژ فرکانس اصلی بسیار پایین است؛ یعنی می توان نتیجه گرفت که اتصـال کوتاه قابل توجهی در هادی های روتور وجود ندارد. پایین بودن دامنه ارتعاشات قسمت های مختلف توربین و ژنراتور (که در بازدید حضوری مشاهده گردید) نیز موید این مطلب می باشد که دامنه هارمونیک ها در چگالی شار فاصله هوایی مقدار قابل توجهی نیست. بنابر این می توان گفت که دلیل اصلی افزایش دمای ژنراتور واحد شماره ۱ نمی تواند ناشی از بروز اشکال در سیم پیچی روتور باشد.

۳-۳ هسته استاتور:

یکی از مسایلی که می تواند موجب افزایش دمای هسته استاتور گردد، وجود آلودگی های مختلف بر روی سطح هسته است که مانع از خنک شدن آن توسط سیستم تهویه می گردد. برای بررسی این مساله و تحقیق وضعیت هسته استاتور، آزمون بی باری انجام گرفت. در این آزمون جریان تحریک روتور به گونه ای تنظیم گردید که ولتاژ خروجی اسـتاتور، در حالت بی¬باری و سـرعت نامی روتور، به ترتیب مقادیر ٪ ۲۵، ۵۰٪، ۷۵٪ و ۱۰۰٪ مقدار ولتاژ نامی ژنراتور گردد. ژنراتور در هرکدام از این پله های ولتاژی مدتی نگه داشته شد و دمایRTD ها ثبت گردید. در پایان آزمون، برای بررسـی اثر سـیسـتم خنک کنندگی بر دما، یک فن جدید (که در موقعیتی قرار دارد که بیشترین تاثیر را بر خنک شدن ژنراتور دارد) وارد سیستم گردید و تغییرات دما با گذشت زمان ثبت گردید. مقادیر ثبت شده نشان می دهد که بعد از ورود فن جدید، به دلیل افزایش قدرت تهویه، از شیب افزایش دماها (در حالتی که تلفات مقدار ثابتی یافته است) کاسته می شود. این اطلاعات نشان می دهد سیستم خنک کننده گرمای ناشی از هسته را می تواند تهویه نماید؛ به عبارتی اشکالاتی مانند نشستن گرد و غبار و یا سایر منابع آلودگی بر روی هسـته، مانع از خنک شـدن آن توسـط سیستم تهویه نمی گردد.

همانطور که در بخش اول اشـاره شـد عوامل مختلفی می تواند موجب تخریب عایق بین ورقه های هسته استاتور و تولید گرما و در نتیجه افزایش دمای استاتور کردند. در ژنراتور واحد ۱ نیروگاه قم، برخی پیچ های مربوط به میله های نگهدارنده هسته استاتور در محل جوش خوردگی دچار شکستگی می شوند. این مساله به معنی وجود لرزش های قابل توجه در هسته

Archive of SID

www.SID.ir

استاتور می باشد. این لرزش های مکانیکی باعث ساییده شده ورقه های استاتور به هم گردیده و با نازک تر شدن و تخریب تدریجی عایق بین ورقه ها، جریان گردابی بیشتری بین آن ها جاری می شود که می تواند تولید گرمای اضافی در ژنراتور نماید و در نتیجه دمای آن افزایش می یابد. همچنین در اثر همین لرزش ها، عایق بین میله نگهدارنده و هسته استاتور تخریب می گردد و امکان جاری شدن گردابی بین ورقه های استاتور فراهم می شود که در نتیجه آن گرمای بیشتری تولید می شود. روند تدریجی افزایش دمای ژنراتور موید وجود این اشکال در هسته استاتور می باشد.

سوال مهمی که در اینجا مطرح می شود این است که چه عاملی می تواند موجب ایجاد این لرزش ها گردد. یکی از عواملی که می تواند موجب تشدید لرزش در هسته شود، بروز اشکال در ضربه گیرهایی است که مابین پوسته دور استاتور و هسته استاتور قرار دارند. هدف از تعبیه این ضربه گیرها، کاهش دامنه نوسانات استاتور می باشد و با تخریب آن ها دامنه نوسانات هسته افزایش می یابد و در نتیجه روند تخریب عایق بین ورقه های هسته تشدید می گردد.

عامل دیگری که می تواند موجب ایجاد لرزش در ورقه های استاتور شود، وجود لرزش در انتهای شینه ها می باشد. این لرزش می تواند به صورت دائمی و با دامنه کم و یا به صورت کوتاه مدت و با دامنه زیاد (مانند آنچه در اتصال کوتاه رخ می دهد) باشد. برای تحقیق این فرضیه، اطلاعات زیر اخذ و بررسی گردید:

۱- دیاگرام تک خطی نیروگاه به همراه خطوط انتقال متصل به نیروگاه (شامل واحدهای گازی و بخار)

۲- خطاهای اتصال کوتاه که در خطوط انتقال اطراف نیروگاه از سال ۱۳۸۰ به بعد رخ داده، به همراه تاثیرات احتمالی آنها بر روی واحدها (بخاری و گازی)

در بررسی های این اطلاعات مشخص گردید که خطای اتصال کوتاه در داخل نیروگاه و در نزدیکی ژنراتورها رخ نداده است ولی پردازش اطلاعات ارسالی از طرف شرکت برق منطقه ای تهران نشان می دهد که در سال ۱۳۸۵ ، یعنی سالی که آغاز فرایند افزایش دما در استاتور رخ داده است، تعداد ۸ بار اتصال کوتاه در خط انتقال بین پست های سیکل قم و پرند رخ داده که بیشتر این خطاها در زون یک خط انتقال منتهی به پست سیکل قم رخ داده است.این جریان زیاد، باعث وارد شدن نیروی ناگهانی زیادی به انتهای شینه ها در ژنراتور می گردد و نوسانات با دامنه بالا در آن ها ایجاد می کند. شینه ها در محل خروج از درون شیارها مانند اهرم عمل می کنند و در نتیجه باعث می شوند که ورقه های هسته استاتور نسبت به هم حرکت و سایش داشته باشند. ساییده شدن عایق بین ورقه ها در برخی نقاط باعث جاری شدن جریان گردابی در بین ورقه ها می گردد که این مساله موجب گرمتر شدن هسته استاتور می شود. بنابراین می توان گفت که بررسی خطاهای اتصال کوتاه رخ داده در خطوط انتقال اطراف نیروگاه، این فرضیه را که منشا اصلی افزایش دما در ژنراتور واحد ۱ وجود اشکال در هسته استاتور می باشد را تایید می کند.

از طرف دیگر پیچ هایی که در محل جوش خوردگی دچار شکست می گردند همگی در سمت توربین ژنراتور قرار دارند؛ به عبارت دیگر در این سمت نوسانات هسته استاتور به صورتی است که باعث صدمه دیدن اتصالات نگهدارنده ورقه های هسته استاتور می گردد. مطلب دیگری که می تواند به تایید کردن این فرضیه کمک کند این است که روند افزایش دما در استاتور ژنراتور تدریجی بوده است؛ به این معنی که در اثر ضربه اولیه ناشی از اتصال کوتاه، هسته در برخی نقاط دچار آسیب شده و به دلیل کاهش استحکام سیستم نگهدارنده، لرزش های هسته استاتور افزایش یافته و عایق بین ورقه ها دچار سایش شده است. این امر به نوبه خود باعث جاری شدن جریان گردابی در بین ورقه ها در این ناحیه می گردد که خود این کار زمینه را برای گسترش عیب و از بین رفتن بیشتر عایق بین ورقه ها فراهم می آورد. هر چه عایق بین ورقه ها بیشتر تخریب گردد، افزایش دما در استاتور بیشتر خواهد بود.

همچنین با بررسی دمای قسمت های مختلف ژنراتور واحد ۱ و ژنراتور یک واحد مشابه دیگر، در حالتی که هر دو ژنراتور وضعیت خنک کنندگی یکسان داشته باشند و به پایداری دمایی رسیده باشند می توان نتیجه گیری کرد که منشا اصلی افزایش دما در استاتور ژنراتور واحد شماره ۱ در سمت توربین آن قرار دارد.

Archive of SID

www.SID.ir

نتایج بررسی که مربوط به تاریخ ۱۳۹۱/۲/۲۶ پس از یکسان سازی شرایط بین واحدهای ۱و۲ بوده است در جدول های شماره ۴ و ۵ آورده شده است.

جداول ۴ و ۵ نشان می دهد که در شرایط یکسان، دمای هوای خروجی سمت توربین در ژنراتور واحد ۱ بیشتر از دمای هوا در سمت تحریک است، در حالی که این قضیه در ژنراتور واحد ۲ برعکس می باشد که تحلیل فوق را تایید می کند. همچنین با توجه به این که دمای RTD شماره ۲ در ژنراتور واحد ۱، نسبت به همان RTD در ژنراتور واحد ۲ به صورت غیر طبیعی بیشتر است، می توان تخمین زد که اشکال در هسته استاتور و در نزدیکی این RTD رخ داده است.

۴- نتیجه گیری و پیشنهاد:

برای ریشه یابی دلایل افزایش دمای قرائت شده توسط RTD های تعبیه شده در ژنراتور واحد شماره ۱ گازی نیروگاه قم، سوابق فنی ثبت شده موجود در نیروگاه در رابطه با هر چهار واحد گازی جمع آوری گردید و مورد بررسی قرار گرفت. سپس بر اساس تخمین اولیه برای دلایل بروز عیب، مجموعه ای از آزمون ها تدوین گردید. با تفسیر نتایج آزمون ها و اطلاعات تکمیلی دریافت شده از نیروگاه، این جمع بندی به دست آمد که منشا اصلی افزایش دما در استاتور واحد گازی شماره ۱،ایجاد آسیب اولیه به هسته در سمت توربین و در حوالی موقعیت RTD شماره ۱ و ۲ در اثر حادثه ای مانند اتصال کوتاه می باشد که به مرور زمان در حال گسترش می باشد.

برای تعیین موقعیت دقیق خطا در هسته استاتور، جهت برآورد حجم اشکالات ایجاد گردیده و انجام امور اصلاحی(مانندجایگزینی ورقه ها، تزریق عایق و ...)پیشنهاد می شود از آزمون EL-CID استفاده گردد. در این آزمون لازم است که روتور از مجموعه خارج باشد.

۵- مراجع:

[۱] Plant of Support Engineering: Main Generator End-of-life and Planning considration,EPRI Report,June ۲۰۰۷

[۲]Advance Condition monitoring of Hydrogenerators;Knowledge Base,EPRI Report,December ۱۹۹۹

[۳]WWW.National-Electric-coil.com

[۴]G.C Stone, M Sasic, D.Dunn, I. Culbert, RECENT PROBLEM EXPERIENCED WITH MOTOR AND GENERATOR WINDINGS.

[۵]Clyde V. Maughan P.E , MONITORING GENERATOR CONDITION AND SOME LIMITATIONS THEREOF, IEEE, ۲۰۰۵

۶- جداول:

	فازها		
سال	R	S	T
۱۳۸۵	۶,۴۱	۶,۵۵	۶,۳۷
۱۳۸۹	۷,۵۹	۷,۳۶	۷,۴۸

جدول شماره ۱: تغییرات اندیس پلوریزاسیون با گذشت زمان

فازها	واحد شماره ۱		واحد شماره ۴
	اندازه گیری مقاومت با دستگاه پژوهشگاه نیرو	اندازه گیری مقاومت با دستگاه نیروگاه	اندازه گیری مقاومت با دستگاه پژوهشگاه نیرو
R	۲,۲۲۶	۲,۲۳۸	۲,۲۶۶
	۲,۲۲۷	۲,۲۲۵	۲,۲۶۲

Archive of SID

www.SID.ir

	۲,۲۲۶	۲,۲۳۸	۲,۲۶۶
	۲,۲۲۶	-	۲,۲۵۸
متوسط	۲,۲۲۶	۲,۲۳۴	۲,۲۶۳
S	۲,۳۴۸	۲,۳۶۰	۲,۰۸۴
	۲,۳۴۵	۲,۳۵۳	۲,۰۸۱
	۲,۳۴۶	۲,۳۵۷	۲,۰۸۲
	۲,۳۴۶	-	۲,۰۸۱
متوسط	۲,۳۴۶	۲,۳۵۷	۲,۰۸۲
T	۲,۱۸۳	۲,۱۹۷	۲,۱۸۰
	۲,۱۸۱	۲,۱۸۶	۲,۱۶۶
	۲,۱۸۰	۲,۱۸۵	۲,۱۶۴
	۲,۱۸۰	-	۲,۱۶۴
متوسط	۲,۱۸۱	۲,۱۸۹	۲,۱۶۹

جدول شماره ۲: نتایج اندازه گیری مقاومت اهمی سیم پیچی فازهای استاتور واحد شماره ۱ و ۴

فازها	واحد شماره ۱	واحد شماره ۴
	اندازه گیری مقاومت با دستگاه پژوهشگاه نیرو	اندازه گیری مقاومت با دستگاه پژوهشگاه نیرو
R	۲,۳۵۹	۲,۶۳۳
S	۲,۴۸۶	۲,۴۲۳
T	۲,۳۱۱	۲,۵۲۳

جدول شماره ۳: محاسبه مقاومت اهمی سیم پیچی استاتور واحد شماره ۱ و ۴ در ۵۰ درجه سانتیگراد

	دمای هوای ورودی	دمای هوای خروجی	دمای هوای خروجی	دمای هوای خروجی	دمای هوای ورودی
ژنراتور واحد ۱	۴۰/۲	۷۸/۷	۷۲/۲	۷۵/۷	۳۹/۵
ژنراتور واحد ۲	۴۴/۸	۶۸/۲	۶۸/۲	۷۲	۴۳

جدول شماره ۴: دمای هوای ورودی و خورجی ژنراتور واحد ۱و۲ در شرایط خنک کنندگی یکسان

	شماره ۱	**شماره ۲**	**شماره ۳**	**شماره ۴**	**شماره ۵**	**شماره ۶**	**دمای روتور**
ژنراتور واحد ۱	۷۸/۸	۸۴/۹	۷۷/۳	۸۲/۵	۸۳	۸۱/۵	۷۰/۸
ژنراتور واحد ۲	۷۷/۶	۷۷/۷	۷۶/۱	۸۰/۲	۷۹/۷	۷۹	۷۶/۶

جدول شماره ۵: دمای RTD های ژنراتور واحد ۱و۲ در شرایط خنک کنندگی یکسان

Archive of SID

www.SID.ir