

نیازسنجی واحدهای نیروگاه مشهد به حفاظت اضافه شار

احمد شریعتی^۱، جواد ساده^۱، یاسر دامچی^۱، مصطفی یعقوبی^۲ و یحیی خانعلی زاده^۳

^۱ گروه مهندسی برق، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
ahmad@shariati.ir, sadeh@um.ac.ir, damchi@ieee.org

^۲ شرکت مدیریت تولید برق مشهد، مدیر امور تعمیرات برق و الکترونیک، مشهد، ایران
mostafayaghoobi@yahoo.com

^۳ شرکت مدیریت تولید برق مشهد، کارشناس تعمیرات الکتریک، مشهد، ایران

چکیده - حفاظت اضافه شار نوعی از حفاظت است که در ژنراتورها و ترانسفورماتورها مورد استفاده قرار می‌گیرد و از اضافه شار و داغ شدن بیش از حد هسته و آسیب رسیدن به آن جلوگیری می‌کند. افزایش بیش از حد شار، بواسطه افزایش ولتاژ و یا کاهش فرکانس و یا هر دوی آنها، باعث اشباع مسیر عبور شار و ایجاد تلفات و گرما به خصوص در نواحی غیرمورق می‌شود. این مسأله در ژنراتورهای قدیمی که فاقد این نوع حفاظت بوده و در برخی موارد حتی محدودکننده اضافه شار در سیستم تحریک آنها نیز وجود ندارد، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. بنابراین در این مقاله به بررسی نیاز واحدهای نیروگاه مشهد به حفاظت اضافه شار پرداخته شده است. برای این منظور سیستم‌های حفاظتی این واحدهای نیروگاهی بررسی و با استانداردها و حفاظت‌های توصیه شده توسط سازندگان و ارائه شده در متون مستند علمی مقایسه شده است و در نهایت سیستم حفاظتی مقتضی برای این واحدها پیشنهاد شده است.

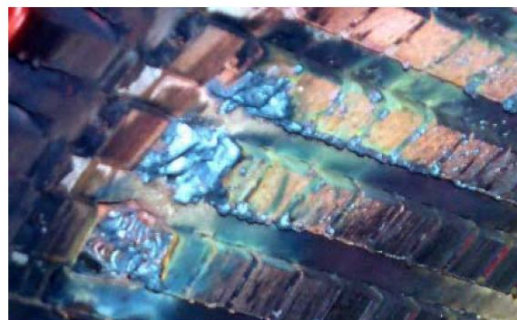
کلید واژه - حفاظت اضافه شار، حفاظت ژنراتور، حفاظت واحدهای نیروگاهی

۱- اهمیت و ضرورت حفاظت اضافه شار

که عمر بالایی دارند مشکل بزرگی به حساب می‌آید. داغ شدن هسته در برخی موارد می‌تواند ذوب شدن موضعی هسته را به دنبال داشته باشد که نمونه‌هایی از آن در شکل (۱-الف) دیده می‌شود. علاوه بر این، گرم شدن بیش از حد هسته ممکن است سبب آسیب رسیدن به عایق بین ورقه‌های هسته شود که در شکل (۱-ب) نشان داده شده است. این حالت می‌تواند منجر به اتصال کوتاه بین ورقه‌های جانبی و در پی آن ایجاد جریان گردابی و افزایش تلفات شود. شار مغناطیسی در هسته متناسب با نسبت ولتاژ ژنراتور به فرکانس آن می‌باشد. بنابراین افزایش ولتاژ و یا کاهش فرکانس سبب افزایش شار مغناطیسی در هسته خواهد شد. خاموش کردن ژنراتور در هنگام راه‌اندازی آن، و یا در پی خروج یک بار بزرگ، وجود خواهد داشت [۳-۴]. احتمال وقوع اضافه شار در زمان‌هایی که فرکانس کمتر از فرکانس نامی می‌باشد، بیشتر است. بدیهی است در این حالت رله اضافه ولتاژ نمی‌تواند ژنراتور را در مقابل اضافه شار حفظ کند. یکی از دلایل اصلی تجاوز نسبت ولتاژ به فرکانس ژنراتور، عملکرد ژنراتور در زمان راه‌اندازی یا خاموش شدن در فرکانسی برابر ۹۵٪ سرعت نامی و یا کمتر از آن می‌باشد که نسبت V/Hz از ۱۰۵٪ مقدار مجاز بیشتر می‌شود. هر چند که در این حالت ولتاژ توسط

ژنراتورها منابع تولید انرژی الکتریکی هستند و حفاظت آنها علاوه بر افزایش طول عمر و کارایی آنها، پایداری و تداوم برق‌رسانی را به همراه خواهد داشت. راندمان از پارامترهای مهم و قابل توجه در طراحی یک ژنراتور می‌باشد. یکی از نکاتی که به منظور بالا بردن هر چه بیشتر راندمان انجام می‌شود، طراحی نقطه کار ژنراتور در نقطه زانوی مشخصه اشباع می‌باشد. پس از نقطه زانو، مشخصه مغناطیسی هسته وارد ناحیه اشباع شده و سبب افزایش مقاومت مغناطیسی عبور شار می‌شود. بنابراین یک ژنراتور برای کار در کمتر از یک شار ماکزیمم طراحی شده است و عملکرد ژنراتور در بیشتر از شار مغناطیسی ماکزیمم، منجر به افزایش تلفات هیستریزس و جریان‌های گردابی در هسته و یا سایر بخش‌های رسانای نزدیک به هسته به خصوص بخش‌های غیرمورق خواهد شد. به عبارت دیگر، در سطوح بالای چگالی شار، مسیر آهنی - مغناطیسی طراحی شده برای عبور شار نرمال، اشباع شده و شار از مسیرهای نشستی که برای این منظور طراحی نشده است، مسیر خود را می‌بندد [۱-۲]. این امر گرم شدن هسته را در پی خواهد داشت و می‌تواند خسارات شدیدی را به همراه داشته باشد [۳-۴]. این موضوع به خصوص در ژنراتورهایی

تنظیم‌کننده در محدوده مجاز حفظ شود، اما کاهش فرکانس می‌تواند موجب اضافه تحریک شود.



(الف)



(ب)

شکل (۱): ذوب شدن موضعی هسته در اثر اضافه شار: (الف) بخش‌های ذوب شده در هسته استاتور بر روی دندانه‌های روتور دیده شده است (ب) مواد بین ورقه‌های هسته در اثر گرما ذوب شده است [۵]

از آنجا که اصول ساختاری رله اضافه شار چندان پیچیده نمی‌باشد و از طرفی تقریباً در تمامی ژنراتورهای نصب شده در دو دهه اخیر از این رله استفاده شده است، مقالات فراوانی در این زمینه ارائه نشده است. به عبارت دیگر بیشتر اطلاعات موجود در این زمینه را می‌توان در استانداردهای بین‌المللی به خصوص IEEE مشاهده کرد.

به عنوان یکی از مقالات موجود در این زمینه می‌توان به مرجع [۵] اشاره نمود که در آن به حدود کارکرد مجاز ژنراتور، تنظیمات حفاظتی رله اضافه‌شار و انواع مشخصه‌های آن اشاره شده است. در این مقاله هدف اصلی هماهنگی میان حفاظت اضافه‌شار و محدودکننده‌های موجود در سیستم AVR می‌باشد. نگاهی گذرا به انواع محدودکننده‌های موجود در ژنراتور از جمله مطالب ارائه شده در این مقاله است. در انتهای این مقاله نیز به چند مورد خسارات ناشی از عدم هماهنگی حفاظت اضافه شار اشاره شده است.

در مرجع [۶] به اهمیت حفاظت‌های ژنراتور و هماهنگی آن‌ها با حفاظت‌های خط و سیستم‌های کنترلی از جمله

محدودکننده‌ها با توجه به خاموشی‌های سراسری سال‌های ۱۹۹۶ و ۲۰۰۳ در آمریکا، اشاره شده است.

از میان استانداردهایی که به حفاظت اضافه شار در ژنراتور پرداخته‌اند می‌توان به استاندارد IEEE C۳۷.۱۰۲ اشاره نمود [۷]. نسخه اولیه این استاندارد مربوط به سال ۱۹۹۵ می‌باشد و در سال ۲۰۰۶ بازنویسی و اصلاح شده است. حدود مجاز ولتاژ و فرکانس برای عملکرد ژنراتور، انواع مشخصه‌های حفاظت اضافه شار زمان معکوس، زمان ثابت تک و یا دو زمانه و نیز حد تنظیم هشدار و صدور فرمان قطع در مشخصه‌های مختلف حفاظت اضافه شار در ژنراتور از جمله موضوعاتی است که در این استاندارد به آن پرداخته شده است. طرح‌های حفاظتی ارائه شده در این استاندارد برای حالت‌های مختلف اتصال ژنراتور و نیز ترانسفورماتور واحد متصل به آن نیز قابل استفاده می‌باشد.

استاندارد IEEE C۵۰.۱۲ نیز مربوط به ژنراتورهای قطب برجسته می‌باشد و در آن به مشخصات بهره‌برداری و محدوده مجاز عملکردی ژنراتورهای قطب برجسته پرداخته است [۸]. علاوه بر این مشخصه‌های عملکردی، مقادیر نامی، مشخصه‌های عایقی، محدودیت‌های حرارتی و راندمان ژنراتورها در این مرجع ارائه شده است. همین موضوعات در استاندارد IEEE C۵۰.۱۳ برای ژنراتورهای روتور استوانه‌ای با ظرفیت بالاتر از ۱۰ مگاوات ارائه شده است [۹].

تقسیم‌بندی ژنراتورها و سیستم‌های خنک‌کننده آن‌ها، محدوده‌های بارگیری و حرارتی، حالات مختلف بهره‌برداری و نیز نگهداری قسمت‌های مختلف ژنراتور در استاندارد IEEE Std ۶۷ ارائه شده است [۱۰].

علاوه بر استانداردهای موجود، برخی از شرکت‌های بزرگ نیز طرح‌های حفاظتی مختلفی برای انواع متفاوت ژنراتور ارائه کرده‌اند که از آن جمله می‌توان به مرجع [۱۱] اشاره کرد. این مرجع راهنمای حفاظت‌های مورد استفاده در ژنراتور می‌باشد که توسط شرکت Blaster Electric ارائه شده است. شرکت جنرال الکتریک نیز به عنوان یکی از بزرگ‌ترین شرکت‌های فعال در زمینه انرژی الکتریکی، مجموعه‌ای از طرح‌های حفاظتی را برای تجهیزات مختلف سیستم قدرت از جمله ژنراتور پیشنهاد کرده است که در مرجع [۱۲] به آن اشاره شده است. در این مرجع حداقل حفاظت مورد نیاز و نیز حفاظت‌های توصیه شده برای ژنراتورهای مختلف بر حسب سطح توان تولیدی آن‌ها ارائه شده است.

۲- راهکارهای جلوگیری از اضافه شار

فرکانس از این مقدار، محدودکننده ولت بر هر تیز موجود در AVR به کار می‌افتد و ولتاژ خروجی را همگام با کاهش فرکانس کم می‌کند.

۲-۲- بکارگیری رله‌های اضافه شار

رله اضافه شار با اندازه‌گیری نسبت ولتاژ به فرکانس می‌تواند از افزایش بی‌رویه شار جلوگیری کند. هر چند که این رله در حال حاضر یکی از حفاظت‌های متداول برای ژنراتورها می‌باشد اما در مقابل در بسیاری از ژنراتورهای قدیمی از این نوع رله استفاده نشده است.

عملکرد حفاظتی ناشی از یک رله اضافه شار می‌تواند صرفاً منجر به قطع بریکر ژنراتور شود و با اینکه ابتدا تحریک را کاهش دهد و اگر باز هم اضافه شار از حد مجاز بیشتر شد نهایتاً فرمان قطع بریکر را صادر کند [۵]. همچنین رله اضافه شار می‌تواند با باز کردن بریکر، ژنراتور را از شبکه جدا کرده و در عین حال تحریک را نیز قطع کند. به هر حال باید توجه داشت که اگر صرفاً ژنراتور با باز شدن بریکر از شبکه جدا شود و تحریک قطع نشود، احتمال وجود اضافه شار در هسته ژنراتور وجود دارد. البته این حالت بیشتر در مواردی به وجود می‌آید که توربین نیز به واسطه افزایش فرکانس ناشی از قطع بار، متوقف شود و محدودکننده اضافه شار نیز در تنظیم کننده ولتاژ ژنراتور وجود نداشته باشد. در پی وقوع این حالت، بواسطه کاهش فرکانس ناشی از توقف توربین و از طرفی وجود تحریک در اثر قطع نشدن سیستم تحریک، نسبت ولتاژ به فرکانس بالا می‌رود. در این حالت اگر محدودکننده‌ای در تنظیم کننده اتوماتیک ولتاژ وجود نداشته باشد که با کاهش فرکانس، ولتاژ را نیز کاهش دهد، اضافه شار در هسته ژنراتور به وجود می‌آید. به عبارت دیگر در این شرایط اگر سیستم تحریک قطع نشود، شرایط اضافه شار می‌تواند برای زمانی طولانی‌تر از حد قابل تحمل ولت بر هر تیز کوتاه مدت ژنراتور به طول انجامد. بنابراین در این حالت‌ها نیاز است که از رله اضافه شار به منظور جلوگیری از آسیب‌دیدگی ژنراتور استفاده شود.

۲-۳- تنظیمات رله اضافه شار

ناحیه عملکرد مجاز طولانی مدت ژنراتور مطابق محدوده سایه زده شده در شکل (۲) می‌باشد. طبق استانداردهای IEEE Std C57.13، IEEE Std C57.107 و IEEE Std ۶۷ ژنراتورها در ظرفیت و فرکانس و ضریب توان نامی به شرطی که حد بالا و پایین ولتاژ از ۵٪ ولتاژ نامی تجاوز نکند، قادر به

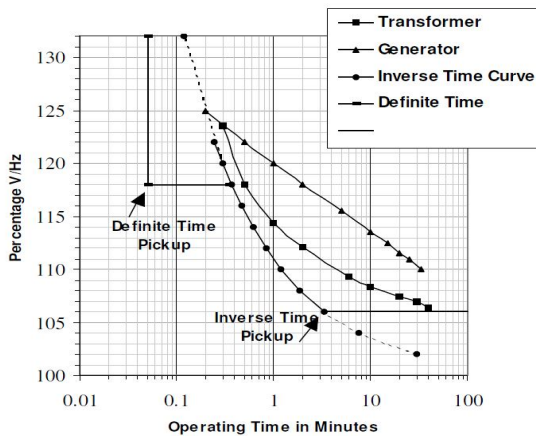
برای جلوگیری از اضافه شار در ژنراتورها و حفظ شار هسته در محدوده قابل تحمل ژنراتور، باید از روش‌هایی استفاده نمود که بوسیله آن‌ها نسبت ولتاژ به فرکانس محدود شود. برای این منظور می‌توان در سیستم تنظیم ولتاژ ژنراتور از کنترلرها (محدودکننده‌هایی) استفاده نمود که همواره با تغییر ولتاژ مبنای ژنراتور، نسبت ولتاژ به فرکانس را در محدوده مورد نظر حفظ کنند. استفاده از این محدودکننده‌ها به تکنولوژی به کار رفته در طراحی واحد وابسته است. علاوه بر این، استفاده از رله‌های اضافه شار به منظور حفظ میزان شار در محدوده مورد نظر متداول می‌باشد.

۲-۱- محدودکننده اضافه شار در سیستم AVR

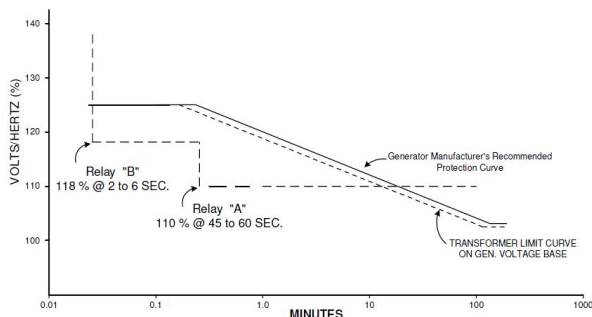
این نوع محدودکننده‌ها در سیستم تحریک ژنراتورها به کار می‌رود و به طور خودکار نسبت ولتاژ به فرکانس را کنترل می‌کند. در حقیقت با استفاده از این نوع محدودکننده به هنگام افت فرکانس از یک مقدار مشخص، ولتاژ خروجی ژنراتور متناسب با فرکانس و یا متناسب با مجذور فرکانس خواهد بود.

در هر حال باید توجه داشت که اگر سیستم تحریک به طور دستی استفاده می‌شود، صرفنظر از وجود و یا عدم وجود محدودکننده، استفاده از رله اضافه شار به صورت جداگانه مورد نیاز می‌باشد. عدم هماهنگی محدودکننده‌های اضافه شار در AVR با تنظیمات رله اضافه شار می‌تواند منجر به عملکرد نابجای رله شود. ولتاژ مرجع یک سیستم AVR با توجه به سازنده آن می‌تواند متناسب با ولتاژ و یا متناسب با مجذور ولتاژ باشد و یا اینکه تنظیمات آن ثابت باشد [۶].

نسبت ولتاژ به فرکانس در هسته ژنراتور نباید از حداکثر مقدار قابل تحمل برای ژنراتور بیشتر باشد. به همین جهت به هنگام کاهش فرکانس، نیاز است که این نسبت کنترل شود. به عبارت دیگر، ولتاژ خروجی ژنراتور باید همگام با کاهش فرکانس کاهش یابد که نسبت ولتاژ به فرکانس در محدوده مجاز حفظ شود. این نوع کنترلر در AVR بسیاری از ژنراتورهای فعلی و برخی از ژنراتورهای قدیمی به کار گرفته شده است. ساده‌ترین نوع پیاده‌سازی این عمل از طریق ایجاد یک رابطه خطی بین ولتاژ ژنراتور و فرکانس آن می‌باشد به طوری که ولتاژ ژنراتور ضریبی از فرکانس می‌باشد. البته بدیهی است این عمل برای حالتی که فرکانس کمتر از فرکانس نامی باشد نیاز است. برای این منظور فرکانس مشخصی به عنوان فرکانس قطع (Cut Off Frequency) در نظر گرفته می‌شود که به ازای کاهش



شکل (۳): حد قابل تحمل اضافه شار ژنراتور و ترانسفورماتور متصل به آن به همراه رله اضافه شار نمونه [۷]



شکل (۴): نمونه‌ای از تنظیمات رله اضافه شار زمان ثابت دو مرحله‌ای [۷]

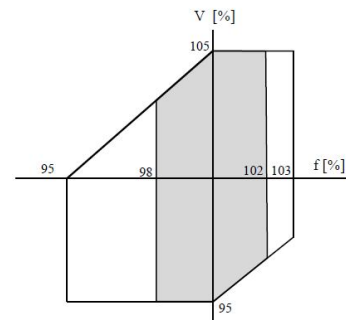
را که بین ۴۵ تا ۶۰ ثانیه تنظیم می‌شود برای صدور فرمان قطع به کار می‌اندازد [۷].

نمونه‌ای از منحنی شار قابل تحمل یک ژنراتور و تنظیمات رله اضافه شار آن در شکل (۵) نشان داده شده است.

به عنوان مثال همانطور که بر روی منحنی نشان داده شده است ژنراتور تنها می‌تواند تا ۱/۵ دقیقه در نسبت ولتاژ به فرکانس ۱/۲۵ کار کند و پس از این مدت، مقدار V/f باید به کمتر از ۱/۱ کاهش پیدا کند و برای خنک شدن هسته ژنراتور باید حداقل ۱۵ دقیقه در این شرایط کار کند. تنظیمات رله مورد استفاده برای چنین ژنراتوری نیز در جدول (۱) ارائه شده است.

در تنظیم رله اضافه شار، علاوه بر حدود اضافه شار ژنراتور و ترانسفورماتور، محدودیت‌های محدودکننده‌های موجود در AVR (به شرط وجود) نیز باید در نظر گرفته شوند. این محدودکننده‌ها باید سریع‌تر از حفاظت اضافه شار مورد استفاده باشند تا قبل از عملکرد سیستم حفاظتی تحریک شده و اضافه شار را محدود کنند.

عملکرد هستند. اضافه تحریک یک ژنراتور هنگامی اتفاق می‌افتد که نسبت ولتاژ به فرکانس (V/Hz) اعمال شده به ترمینال از ۱.۰۵٪ بیشتر شود.

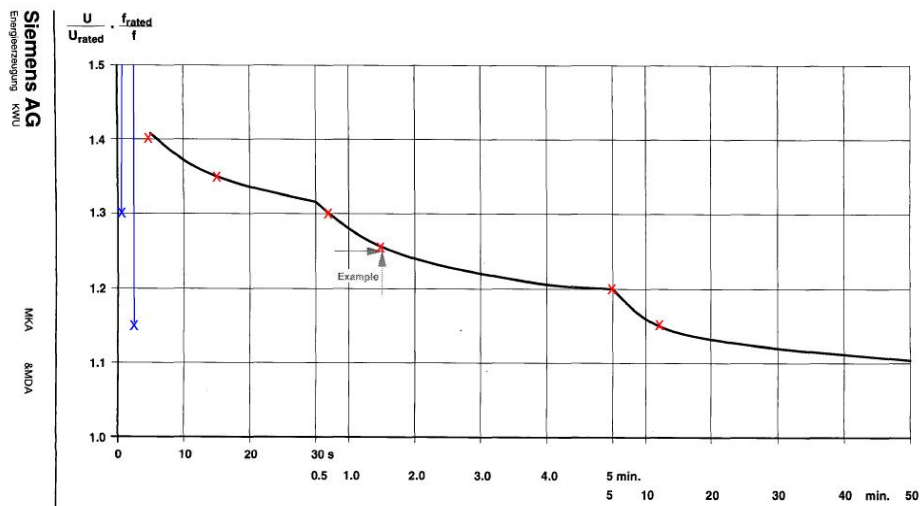


شکل (۲): محدوده قابل تحمل ولت بر هرتز برای کار دائم ژنراتور [۵]

برای استفاده از رله اضافه شار و محدود کردن شار عبوری از هسته، نیاز است حداکثر شار قابل تحمل در ژنراتور و البته ترانسفورماتور متصل به آن مشخص باشد. به عنوان نمونه، مشخصه شار قابل تحمل یک ژنراتور به همراه ترانسفورماتور متصل به آن در شکل (۳) نشان داده شده است. همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود استفاده از یک مشخصه زمان معکوس به همراه یک مشخصه زمان ثابت در صورتی که درست تنظیم شده باشد می‌تواند با مشخصه شار قابل تحمل ژنراتور مطابقت داشته باشد [۴]. در حفاظت پیشنهاد شده در شکل (۳)، المان زمان معکوس از منحنی معکوس توان دوم مطابق رابطه (۱) استفاده می‌کند که در این رابطه t زمان عملکرد بر حسب دقیقه و K مقدار ثابت برابر ۴ و پیک آپ در ۱.۰۶٪ می‌باشد. همچنین برای المان زمان ثابت پیک آپ بر روی ۱.۱۱۸٪ و با تأخیر زمانی ۰/۰۵ دقیقه است.

$$t = \frac{0.003K}{\left(\frac{V/(Hz)}{100} - 1\right)^2} \quad (1)$$

در برخی موارد نیز از دو رله زمان ثابت برای حفاظت اضافه شار استفاده می‌شود که نمونه‌ای از آن در شکل (۴) ارائه شده است. صدور فرمان قطع برای افزایش شار از ۱.۱۱۸٪ برای مدتی بین ۲ تا ۶ ثانیه بوقوع می‌پیوندد. در این شکل، رله اول که با حرف B نشان داده شده است بین ۱.۱۱۸٪ تا ۱.۲۰٪ V/Hz نامی تنظیم شده است و در صورت تجاوز از این مقدار ضمن اعلان هشدار، تایمری را برای صدور فرمان قطع به کار می‌اندازد که بین ۲ تا ۶ ثانیه قابلیت تنظیم دارد. علاوه بر این رله دوم که رله A نامیده شده است، بر روی ۱.۱۱۰٪ مقدار (V/Hz) نامی تنظیم شده است و با افزایش از این مقدار پس از اعلان هشدار، تایمری



شکل (۵): منحنی اضافه شار قابل تحمل یک ژنراتور نمونه

جدول (۱): تنظیمات رله اضافه شار برای منحنی اضافه شار قابل تحمل نشان داده شده در شکل (۵)

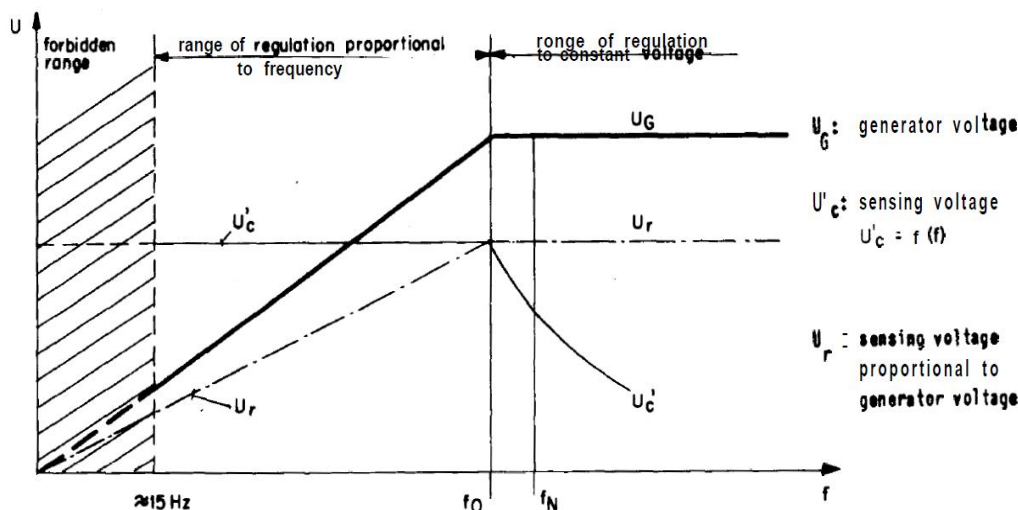
Parameter/Comment	Setting	
Overexcitation Protection (U/f)	ON	
U/f > Pickup	1,10	
T U/f > Time Delay (Warning)	6,00	s
U/f >> Pickup	1,40	
T U/f >> Time Delay	5	s
U/f = 1,05 Time Delay	20000	s
U/f = 1,10 Time Delay	3600	s
U/f = 1,15 Time Delay	720	s
U/f = 1,20 Time Delay	300	s
U/f = 1,25 Time Delay	90	s
U/f = 1,30 Time Delay	45	s
U/f = 1,35 Time Delay	15	s
U/f = 1,40 Time Delay	6	s

استفاده نشده است. ولی در مقابل مجهز به محدودکننده شار در سیستم AVR خود می‌باشد. این محدودکننده سعی می‌کند نسبت ولتاژ به فرکانس را در محدوده مورد نظر نگهدارد. به عبارت دیگر، ولتاژ خروجی متناسب با فرکانس خواهد بود.

در محدودکننده‌های شار موجود در واحدهای BBC، ولتاژ واحد به هنگام افت فرکانس، به طور خطی وابسته به فرکانس است. به عبارت دیگر در سیستم AVR این واحد، هنگامی که فرکانس از محدوده تنظیمی پایین‌تر می‌رود، ولتاژ مرجع نیز کاهش می‌یابد و بدین صورت نسبت ولتاژ به فرکانس و در نتیجه شار درون هسته کنترل می‌شود. مشخصه عملکردی این محدودکننده در شکل (۶) ارائه شده است. این عمل به گونه‌ای انجام می‌شود که با کاهش فرکانس از فرکانس قطع (f_0)، میزان شار ثابت بماند. به عبارت دیگر با کاهش فرکانس از فرکانس قطع، ولتاژ به طور خطی متناسب با فرکانس می‌باشد. در این

۳- بررسی ویژگی‌های واحدهای نصب شده در نیروگاه مشهد

واحدهای نیروگاه مشهد محصول سه شرکت متفاوت اشکودا، الین و بی‌بی‌سی می‌باشند. واحد ۶۰ مگاوات آمپری اشکودا محصول کشور چک‌اسلواکی بوده و عمر بالایی دارد. علاوه بر این واحد، واحد ۱۵ مگاوات آمپری الین نیز جزء واحدهای قدیمی نیروگاه مشهد می‌باشد. با مطالعه اسناد این واحدها [۱۳] و [۱۴] مشخص می‌شود که متأسفانه این دو واحد فاقد حفاظت اضافه شار بوده و حتی در سیستم AVR آن‌ها نیز از محدودکننده ولت برتر استفاده نشده است. علاوه بر این در آن‌ها از حفاظت کاهش/افزایش فرکانس نیز استفاده نشده است. هرچند که واحد BBC جدیدتر از دو واحد دیگر می‌باشد در این واحد نیز از حفاظت اضافه شار و افزایش/کاهش فرکانس



شکل (۶): مشخصه عملکرد محدودکننده شار در کنترلر Unitrol ۲۰۱۰ در واحدهای نیروگاه مشهد [۱۵]

است که با توجه به آن‌ها بتوان مشخصه ولت بر هرتز قابل تحمل ژنراتور را تعیین نمود. اما با توجه به استانداردهای موجود نظیر مرجع [۷] (شکل‌های (۳) و (۴)) و نیز کاربردهای مشابه واحدهای اشکودا در سایر نیروگاه‌ها نظیر نیروگاه ایرانشهر، تنظیمات ارائه شده برای واحدهای نیروگاه مشهد به صورت جدول (۲) خواهد بود. البته باید ولتاژ مرجع رله را نیز در نظر گرفت. بدیهی است در صورتی که از ولتاژ خط به عنوان ولتاژ مرجع رله استفاده شود، باید تنظیمات ارائه شده، در ضریب $\sqrt{3}$ ضرب شود.

جدول (۲): تنظیمات پیشنهادی برای واحدهای نیروگاه مشهد

پارامتر	تنظیمات		زمان عملکرد
	ولتاژ مرجع: V_{LL}	ولتاژ مرجع: V_{LN}	
زمان هشدار	۲/۲۱	۱/۲۵	۲
زمان قطع مرحله ۱	۲/۲۱	۱/۲۵	۳۲
زمان قطع مرحله ۲	۲/۵۵	۱/۴۵	۳

۴- نتیجه‌گیری

در این مقاله به تشریح اهمیت سیستم حفاظت اضافه شار برای ژنراتور پرداخته شده است. همچنین لزوم نیاز یا عدم نیاز واحدهای نیروگاه مشهد مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج این کار تحقیقاتی حاکی از آن است که با توجه به ساختار واحدهای نیروگاه مشهد، مستندات علمی و استانداردهای موجود در دنیا، حفاظت اضافه شار برای واحدهای نیروگاه مشهد مورد نیاز می‌باشد.

صورت خواهیم داشت:

$$U_G = k \times f \quad (۲)$$

در این رابطه U_G ولتاژ خروجی ژنراتور، k ثابت تناسب و f فرکانس می‌باشد. شایان ذکر است که با استفاده از این رابطه می‌توان حداکثر ولت بر هرتز قابل تحمل برای ژنراتور و یا عبارتی حداکثر شار قابل تحمل آن را بدست آورد.

محدود کننده شار در واحدهای BBC در کنترلر Unitrol ۲۰۱۰ پیش‌بینی شده است. فرکانس قطع در این کنترلر می‌تواند بین ۴۰ تا ۶۵ هرتز تنظیم شود. همانطور که در شکل (۶) مشاهده می‌شود این کنترلر می‌تواند تا فرکانس ۱۵ هرتز نیز عملکرد مناسبی داشته باشد.

با توجه به:

- عمر بالای واحدها
- عدم وجود حفاظت اضافه شار
- بکار نرفتن محدودکننده‌های شار در سیستم AVR واحدهای الین و اشکودا
- طرح‌های حفاظتی توصیه شده توسط شرکت‌های سازنده و ارائه شده در استانداردها و مراجع مختلف از جمله مراجع [۷] و [۱۲]

- عدم وجود حفاظت افزایش/کاهش فرکانس استفاده از حفاظت اضافه شار ضروری می‌باشد.

تنظیم دقیق رله اضافه شار با توجه منحنی دقیق ولت بر هرتز قابل تحمل ژنراتور انجام می‌پذیرد. اما یکی از مشکلات تنظیم رله‌های اضافه شار در نیروگاه مشهد عدم وجود اسنادی

and 60 Hz Synchronous Generators and Generator/Motors for Hydraulic Turbine Applications Rated 5 MVA and Above”, IEEE Power Engineering Society.

[9] IEEE Std C57.13™-2005 “IEEE Standard for Cylindrical-Rotor 50 Hz and 60 Hz Synchronous Generators Rated 10 MVA and Above”, IEEE Power Engineering Society, (Revision of ANSI C57.13-1989).

[10] IEEE Std 67™-2005 “IEEE Guide for Operation and Maintenance of Turbine Generators”, (Revision of IEEE Std 67-1990).

[11] Blaster Electric, “Generator Protection Application Guide”.

[12] GE Power Management, “Relay Selection Guide”.

[13] Skoda excitation system catalog.

[14] Brown Boveri catalog, “Generator protection”, vol. 11.

[15] “Instruction Manual for the Gas Turbine Generating Plant Mashhad Power Station”, Generator and Accessories include Starting and Excitation (Rectifier) Transformers-Excitation Equipment Instructions for Installation and Operation, UNITROL 2010, Control Amplifier, vol. 6, pp. 2-15.

مراجع

[1] هاشم مرتضوی، اکبر کاشی الحسینی، محمدتقی قنبری "بهینه‌سازی حفاظت ژنراتورهای قدیمی بوسیله رله‌های دیجیتال" هجدهمین کنفرانس بین‌المللی برق، ۱۳۸۲.

[2] “IEEE Guide for Protective Relay Applications to Power Transformers”, IEEE Std C37.91-2000.

[3] “Transformer Protection Principles”, Available in: www.geindustrial.com.

[4] Generator Protection, ABB, May 1997.

[5] A.P. Kharel, R.J. Rusch and R.T. Jones, “Review of Generation System Overflux Limiters and Protection and Consequences of Incorrect Settings”, IEEE 63rd Annual Conference for Protective Relay Engineers, pp. 1-12, March 29-April 1 2010.

[6] C.J. Mozina, “Coordinating Generator Protection with Transmission Protection and Generator Control-NERC Standards and Pending Requirements”, IEEE Power and Energy Society General Meeting, pp. 1-6, 25-29 July 2010.

[7] IEEE Std C37.102™-2006 “IEEE Guide for Operation and Maintenance of Turbine Generators”, IEEE Power Engineering Society (Revision of IEEE Std C37.102-1995).

[8] IEEE Std C57.13™-2005 “IEEE Standard for Salient-Pole 50 Hz