ارایه روش تست ترکیبی جدید جهت بررسی صحت عملکرد تنظیمات حفاظتی ژنراتور

بهروز شوقی مطلق/ کارشناس ارشد حفاظت و رلیاژ نیروگاه شرکت آذرخش انتقال نیروی پاژ (گروه مهام شرق)/ bshoghi1859@gmail.com

چکیده

ژنراتور مهم‌ترین و با ارزش‌ترین بخش یک سیستم قدرت است، لذا نقص داخلی آن علاوه بر زیانی که به خود ژنراتور وارد می‌کند، باعث قطع قسمت بزرگی از انرژی نیروگاه نیز می‌گردد. به همین منظور حفاظت از واحدهای نیروگاهی از اهمیت بسزایی برخوردارند.

در این مقاله، با استفاده از روش ترکیبی جدیدی به مطالعه موردی بر روی واحد ۱۰۰MW بخار نیروگاه شریعتی جهت تست عملکرد رله و درستی مقادیر تنظیمی رله حفاظتی(تابع ۵۱V) پرداخته شده است. به‌همین منظور و با استفاده از نرم‌افزار PSCAD، ژنراتور در حالت خطا در پایانه خروجی شبیه‌سازی شده است و نتایج حاصل از این خطا به‌عنوان ورودی در دستگاه تست اومیکرون استفاده‌شده است. در ادامه این پارامترهای شبیه‌سازی شده توسط دستگاه تست در شرایط خطای واقعی به رله حفاظت مجتمع ژنراتور (ABB REG*316)تزریق شده و نتایج حاصل از پاسخ خروجی رله و تنظیمات آن مورد مقایسه و بررسی قرارگرفته است.

کلمات کلیدی: حفاظت ژنراتور، رله حفاظت مجتمع، دستگاه تست اومیکرون، فانکشن حفاظتی،COMTRADE.

۱- مقدمه

ژنراتورها مهم‌ترین و با ارزش‌ترین دستگاه‌های کارخانه‌ها و نیروگاه‌ها می‌باشند. نقص داخلی ژنراتور علاوه بر زیانی که به خود ژنراتور وارد می‌کند، باعث قطع شدن قسمت بزرگی از انرژی نیروگاه نیز می‌شود و در صورت نداشتن تجهیزات حفاظتی مناسب و قطع به‌موقع آن، زیان‌های وارد شده به ژنراتور افزایش پیدا کرده و گسترش می‌یابد، ترمیم و تعمیر محل آسیب‌دیده ممکن است مدت‌ها به طول انجامد و بهره‌برداری از ژنراتور برای مدت زیادی متوقف شود[۱].

امروزه تمامی رله‌های حفاظتی دارای تست‌های دوره‌ای می‌باشند که هدف از این تست‌های ادواری، بیشینه کردن میزان در دسترس بودن آن‌ها و کمینه نمودن احتمال عملکرد نامناسب این تجهیزات در هنگام خطا است[۳-۲].

حالت گذرا در سیستم قدرت، یکی از المان‌های مورد توجه است که با بررسی پدیده گذرا در ژنراتور و ترانس‌های قدرت و دیگر تجهیزات می‌توان چگونگی حفاظت از آن‌ها و تجهیزات عایقی مربوطه را طراحی کرد. قطع و وصل کلیدهای قدرت و همچنین انواع خطاها و اتصال‌کوتاه‌هایی که در سیستم قدرت به وقوع می‌پیوندد بر روی ژنراتور سنکرون تاثیر دارند و موجب وارد آمدن خسارت‌هایی به عایق‌ها و تجهیزات ژنراتور می‌شود. برای جلوگیری از این خسارت‌ها در ژنراتورهای سنکرون، تجهیزات حفاظتی و نیز تنظیمات موجود بر روی آن‌ها نقش بسزایی ایفا می‌کنند[۸-۵].

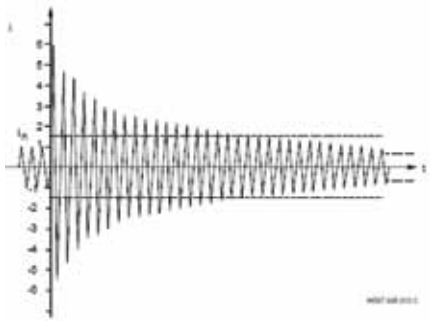
در این مقاله با استفاده از روش ترکیبی جدیدی به مطالعه موردی رله حفاظت مجتمع ABB REG*316 واحد بخار نیروگاه شریعتی جهت بررسی درستی مقادیر تنظیمی و عملکرد صحیح رله در شرایط واقعی پرداخته شده است. از آنجایی که این رله‌ها دارای تابع حفاظتی زیادی می‌باشند در این مطالعه فقط به بررسی توابع حفاظتی جریان زیاد کنترل شده با ولتاژ (۵۱V)[۹] پرداخته شده است. به‌همین منظور و با استفاده از نرم‌افزار سیستم قدرت PSCAD، ژنراتور در حالت خطا در پایانه خروجی شبیه‌سازی شده است و شرایط گذرا حاصل از این خطا به‌عنوان ورودی در دستگاه تست اومیکرون استفاده‌شده است[۱۰]. توسط این دستگاه تست، مقادیر

نتایج حاصل از شبیه‌سازی ساخته‌شده و به رله حفاظتی ژنراتور تزریق می‌شود. نتایج حاصل از عملکرد رله جهت اطمینان از درستی تنظیمات و عملکرد صحیح در شرایط واقعی مورد بررسی قرار گرفته است.

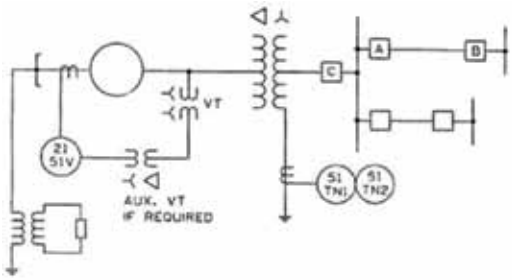
۲- حفاظت جریان زیاد کنترل‌شده با ولتاژ (۵۱V)

عملکرد ژنراتور تحت شرایط خطا از هر قسمت دیگر سیستم قدرت پیچیده‌تر است. در ابتدا جریان خطا حدود ۸ برابر جریان بار کامل است و به سرعت به ۵ برابر جریان نامی کاهش‌یافته، سپس جریان به مقداری کمتری از جریان نامی ژنراتور کاهش می‌یابد. این سه مرحله به‌ترتیب به نام‌های زیرگذرا، گذرا و سنکرون نامیده می‌شوند. در شکل(۱)جریان خطا در یک ژنراتور نشان داده‌شده است.

در صورت بروز اتصال‌کوتاه در خروجی ترانسفورماتور اصلی و یا ترانسفورماتورهای تغذیه‌کننده شبکه داخلی و عدم‌رفع آن توسط رله‌های حفاظتی، جریان اتصال کوتاه بعد از مدت زمانی شروع به افت می‌کند و میزان جریان خروجی ژنراتور بسته به محل وقوع خطا می‌تواند تا کمتر از جریان دایمی ژنراتور برسد که در این صورت رله‌های اضافه جریان نیز قادر به تشخیص خطا نخواهند بود. بنابراین نیاز به رله‌ای می‌باشد که بتواند جریان خطای ماندگار و حالت کار طبیعی ژنراتور با بار کم، تفاوت قایل شود. در رله جریان زیاد کنترل شده با ولتاژ، از یک رله جریان زیاد حساس با جریان راه‌اندازی کم که توسط ولتاژ گشتاور آن کنترل می‌شود استفاده می‌گردد. در شرایط کار طبیعی قسمت ولتاژی رله مانع از عملکرد کل رله می‌شود و در صورت بروز اتصال کوتاه، ولتاژ ترمینال ژنراتور افت کرده لذا قسمت ولتاژی رله اجازه عملکرد به رله جریان زیاد را می‌دهد[۱۲-۱۱].



شکل ۱: جریان خطا در یک ژنراتور سنکرون



شکل۲: نحوه حفاظت پشتیبان برای آرایش اتصال ژنراتور به شبکه

رله جریان زیاد کنترل شده با ولتاژ جزو اصلی‌ترین حفاظت‌های مربوط به ژنراتور می‌باشد و تنظیم آن نیاز به دقت خاصی دارد. این رله به‌عنوان پشتیبان رله‌های اضافه جریان می‌باشند و عملکرد آن با تاخیر قابل ملاحظه‌ای همراه است[۱۱].

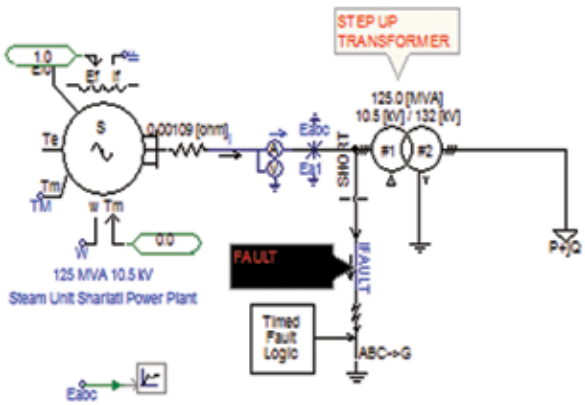
شکل (۲) نحوه‌ی اتصال یک رله جریان زیاد کنترل‌شده با ولتاژ را نمایش می‌دهد[۱۳].

۳- شبیه‌سازی

شبیه‌سازی‌های کامپیوتری می‌توانند تا حدود زیادی نتایج طرح‌های عملی را پیش‌بینی نمایند. هر چقدر شبیه‌سازی دقیق‌تر صورت پذیرد، نتایج حاصل از آن نیز دقیق‌تر و به واقعیت نزدیک‌تر خواهد بود. این موضوع به حساسیت تحقیق وابسته بوده و برنامه‌های کامپیوتری می‌توانند با مدل نمودن شرایط واقعی در محیط نرم‌افزار، نتایج عملکرد یک رله حفاظتی و تنظیمات موجود بر روی آن را در شرایط خطا نشان دهد.

در این بررسی شرایط خطا در واحد بخار به‌صورت جدا از شبکه مدنظر قرارگرفته شده است برای شبیه‌سازی اتصال کوتاه ژنراتور متصل به شبکه در شرایط گذرا، نرم‌افزارهای گوناگونی وجود دارد که می‌توان از آن‌ها بهره برد. در این مقاله علاوه بر ترسیم شکل موج‌های جریان، ولتاژ، دامنه جریان و ولتاژ و دیگر پارامترهای خروجی ژنراتور در حالت خطا از این پارامترها به‌عنوان ورودی به دستگاه تست استفاده شده است، از این‌رو با توجه به پشتیبانی این دستگاه تست پیشرفته از فرمت COMTRADE [۱] نرم‌افزار شبیه‌ساز باید دارای فرمت خروجی پارامترهای ثبت‌شده در فایل خروجی خود، جهت ارتباط با دستگاه تست اومیکرون باشد. با توجه به بررسی‌های به‌عمل‌آمده نرم‌افزار PSCAD جهت این شبیه‌سازی مناسب بوده و مورد استفاده قرارگرفته است.

در شکل(۳) شبیه‌سازی واحد بخار نیروگاه شریعتی با توجه به پارامترهای الکتریکی و دینامیکی موجود توسط نرم‌افزار PSCAD ارایه‌شده، مورد تحلیل و بررسی قرارگرفته شده است.

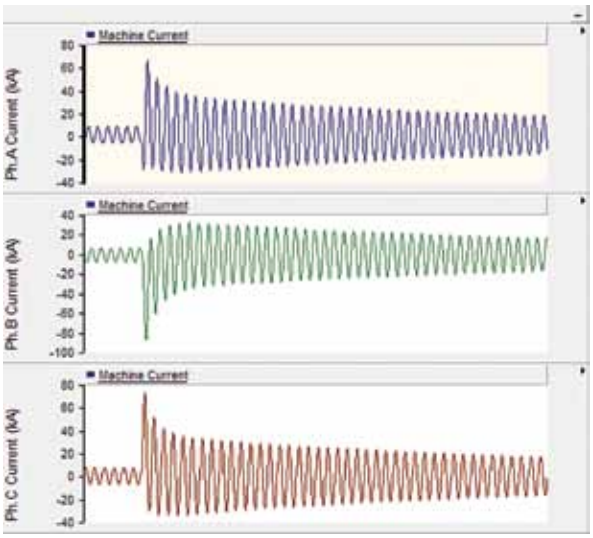


شکل۳: شبیه‌سازی ژنراتور در حالت خطا در محیط نرم‌افزار PSCAD

۳-۱- نتایج

۳-۱-۱- جریان خروجی سه فاز پایانه ژنراتور

در شکل(۴) جریان خروجی حاصل از پایانه۱۰۰MW واحد بخار در شرایط خطای سه فاز در پایانه ژنراتور نشان داده‌شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود جریان قبل از خطا ۵/۸۲ KA بوده است که این مقدار بعد از خطا در حالت‌های فوق گذرا، گذرا و مانا به‌ترتیب به مقادیر۵۵/۴۵، ۵۱/۷، ۲۲/۱۷ کیلوآمپر با توجه به راکتانس‌های دینامیکی ژنراتور می‌باشد که در جدول(۱) این مقادیر نشان داده‌شده است و شامل جریان ژنراتور قبل از خطا و بعد از خطا در حالت مانا است.



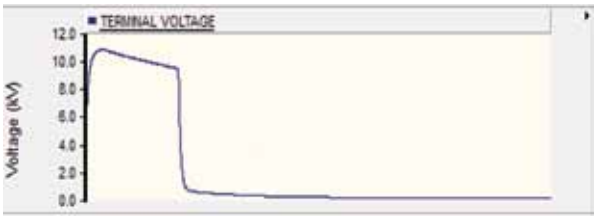
شکل۴: جریان خروجی سه فاز پایانه ژنراتور در حالت خطای سه فاز

جدول۱: مقادیر جریان خروجی ژنراتور واحد بخار شریعتی در شرایط بروز خطا

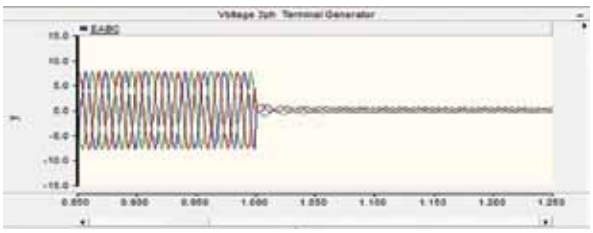
phase	Ph.A	Ph.B	Ph.C
Peri Fault Current(KA)	۵/۸۲	۵/۸۲	۵/۸۲
Duration Fault (KA)	۷/۵۶	۷/۵۶	۷/۵۶
CT Ratio	۱/۸۰۰۰	۱/۸۰۰۰	۱/۸۰۰۰
Sec. Value peri fault(A)	۰/۷۲۷	۰/۷۲۷	۰/۷۲۷
Sec. Value D. fault(A)	۰/۹۴۵	۰/۹۴۵	۰/۹۴۵

۳-۱-۲- ولتاژ پایانه خروجی ژنراتور

در شکل‌های (۵) و (۶) ولتاژ خروجی حاصل از پایانه ژنراتور در شرایط خطای اتصال کوتاه سه فاز در دو حالت سینوسی و مؤثر نشان داده‌شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود به‌محض وقوع اتصال کوتاه در پایانه ژنراتور، ولتاژ به مقدار کمینه خود می‌رسد.



شکل۵: ولتاژ مؤثر پایانه خروجی ژنراتور



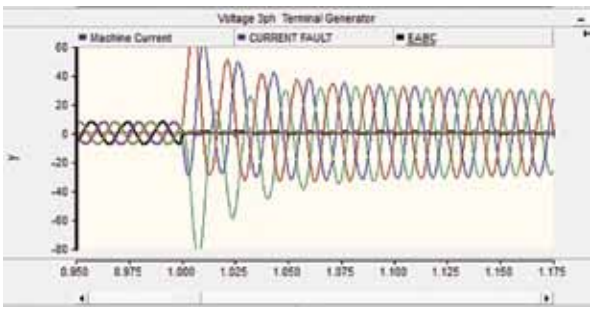
شکل۶: ولتاژ سینوسی پایانه خروجی ژنراتور

در جدول(۲) مقادیر ولتاژ قبل از وقوع خطا و بعد از آن را برای هر فاز با توجه به نسبت تبدیل ترانس ولتاژ نشان داده است.

جدول۲: مقادیر ولتاژ خروجی ژنراتور واحد بخار شریعتی در شرایط بروز خطا

phase	Ph.A	Ph.B	Ph.C
Peri Fault Voltage (KV)	۱۰/۵	۱۰/۵	۱۰/۵
PT Ratio(KV)	۱۰/۵/√۳ ۰/۱۱/√۳	۱۰/۵/√۳ ۰/۱۱/√۳	۱۰/۵/√۳ ۰/۱۱/√۳
Secondary Value (V)	۱۱۰	۱۱۰	۱۱۰
V. Duration fault(V)	۰/۰۹۲	۰/۰۹۲	۰/۰۹۲

در شکل(۷) افت ولتاژ سه فاز ژنراتور و افزایش جریان به‌صورت هم‌زمان در لحظه، خطا نشان داده‌شده است. همان‌گونه‌که در شکل نیز مشاهده می‌شود در لحظه وقوع خطا ولتاژ سه فاز پایانه ژنراتور تقریباً صفر شده و جریان خروجی سه فاز در همان چند سیکل اول به حدود ۷ برابر جریان نامی ژنراتور افزایش می‌یابد و در نهایت در شرایط مانا به میزان ۱/۱ مقدار نامی کاهش می‌یابد.



شکل۷: کاهش ولتاژ و افزایش جریان ژنراتور در لحظه خطای سه فاز

۳-۲- اعمال نتایج شبیه‌سازی به دستگاه تست

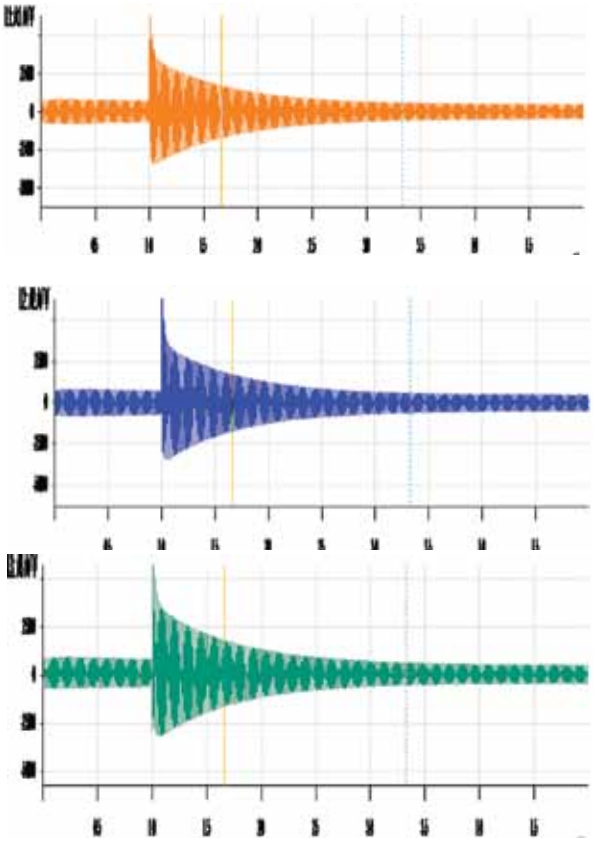
در این بخش با استفاده از منحنی‌های جریان و ولتاژ به‌دست‌آمده از شبیه‌سازی خطا که توسط نرم‌افزارPSCAD شبیه‌سازی‌شده را به‌عنوان ورودی به دستگاه تست اومیکرون داده شده است و سپس به تحلیل عملگرهای حفاظتی جریان زیاد کنترل‌شده با ولتاژ (۵۱V) پرداخته‌شده است.

در جدول(۳) مقادیر موجود بر روی فانکشن حفاظتی بر روی رله را که جهت مشخص شدن محدوده جریان مورد نیاز تست و اطمینان از درستی مقادیر نشان شده است.

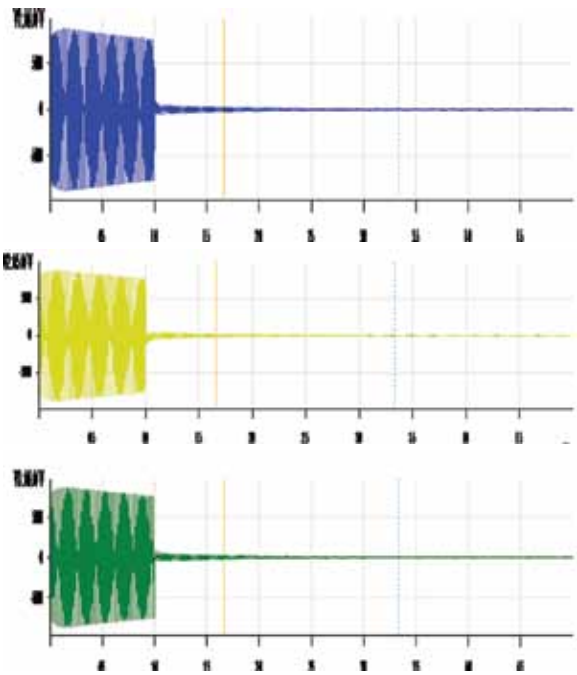
جدول۳: تنظیمات حفاظتی ۵۱V

Description	Name
Delay	۳sec.
Current	۱/۵*In
Hold Voltage	۰/۷*Un
Number of Phase	۳ ph
CT Ratio	۱/۸۰۰۰ A
PT Ratio	۱۰/۵/√۳/۰/۱۱/√۳ (KV)
In Generator	۶/۸۷۳ KA
Ibase	۰/۸۶

مقادیر شبیه‌سازی‌شده توسط دستگاه تست اومیکرون به‌منظور تزریق به رله مطابق شکل‌های(۸) و (۹) است.
همان‌گونه که مشاهده می‌شود در تمامی آن‌ها ابتدا به رله جریان و ولتاژ قبل از خطا جهت اطمینان از عملکرد رله در شرایط نرمال و سپس جریان و ولتاژ خطا تزریق می‌گردد.

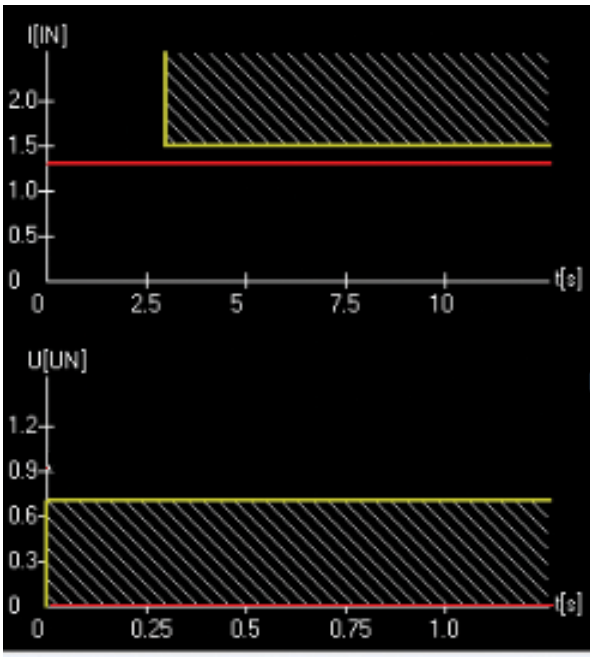


شکل۸: مقدار سینوسی تزریقی جریان به رله



شکل۹: مقدار سینوسی تزریقی ولتاژ به رله

همان‌گونه که در شکل(۱۰) مشاهده می‌شود منحنی عملکرد رله از دو قسمت جریانی و ولتاژی تشکیل‌شده است که در قسمت جریانی مقدار تزریق‌شده در حالت خطا فاقد عملکرد است ولی در قسمت ولتاژی دارای عملکرد مناسب می‌باشد ولی در کل، رله فاقد عملکرد نهایی است.



شکل۱۰: منحنی عملکرد در زمان تست، فانکشن حفاظتی ۵۱V در رله ABB REG*316

۳-۳- تحلیل نتایج تست از روش شبیه‌سازی و دستگاه تست

همان‌گونه که در شکل(۱۰) مشاهده شد با توجه به جریان و ولتاژ تزریقی توسط دستگاه تست در زمان تست رله دارای عملکرد مناسب و قابل‌قبول نبوده، از این‌رو درستی مقادیر تنظیمات موجود رله در شرایط اتصال کوتاه واقعی و گذرای سیستم به‌دلیل نرسیدن جریان خطا به مقدار تنظیمی رله فاقد عملکرد می‌باشد. این مقادیر جریان خطا در جدول (۴) نشان داده‌شده است.

جدول۴: نتایج تست عملکرد فانکشن حفاظتی ۵۱V

phase	Ph.A	Ph.B	Ph.C
Peri Fault Current (KA)	۵/۸۲	۵/۸۲	۵/۸۲
Duration Fault (KA)	۷/۵۶	۷/۵۶	۷/۵۶
CT Ratio (A)	۱/۸۰۰۰	۱/۸۰۰۰	۱/۸۰۰۰
Secondary Value fault (A)	۰/۹۴۵	۰/۹۴۵	۰/۹۴۵
Setting Current Value (A)	۱۰/۳۲	۱۰/۳۲	۱۰/۳۲
Secondary Value setting (A)	۱/۲۹	۱/۲۹	۱/۲۹

۳-۴- تنظیمات پیشنهادی

با توجه به جریان به‌دست‌آمده در حالت شبیه‌سازی تنظیمات قسمت جریانی فانکشن ۵۱V طبق فرمول(۱) به‌دست می‌آید و بعد از محاسبه تنظیمات جدید طبق جدول (۵) این مقادیر را به رله اعمال می‌شود.

$$I_{Setting} = \frac{I_{Fault}}{In_{Gen}} \qquad (۱)$$

بنابراین:

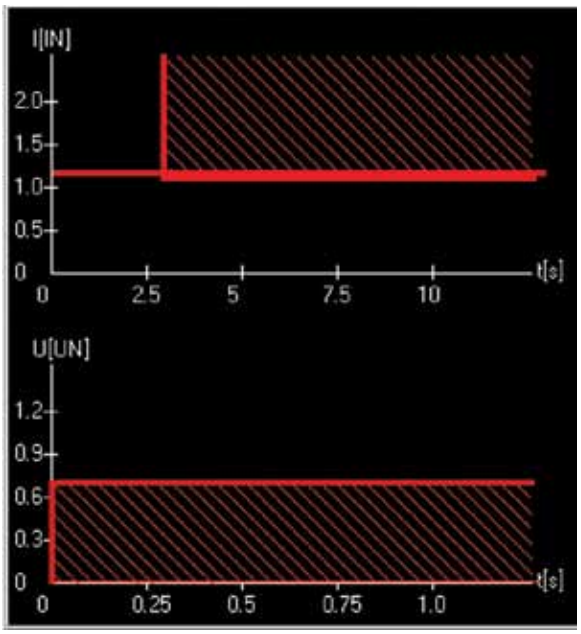
$$I_{Setting} = 7.56KA / 6087 = 1.1 * In$$

جدول ۵: تنظیمات جدید برای فانکشن ۵۱V

Description	Name
Delay	۳sec.
Current	۱/۱*In
Hold Voltage	Un*۰/۷
Number of Phase	۳ ph
CT Ratio	۸۰۰۰/۱ A
PT Ratio	۱۰/۵/√۳/۰/۱۱/√۳ (KV)
In Generator	۰/۸۷۳ KA

۳-۵- تست فانکشن ۵۱V بعد از اعمال تنظیمات جدید

با توجه به تنظیمات پیشنهادی مجدد رله مورد تست و آزمایش قرارگرفته و همان‌گونه که در شکل(۱۱) نشان داده شده رله دارای عملکرد قابل‌قبولی است که می‌توان از تنظیمات جدید به‌عنوان نمونه اصلی برروی رله ژنراتور استفاده کرد.



شکل ۱۱: منحنی عملکرد فانکشن ۵۱V بعد از اعمال تنظیمات جدید

۴- نتیجه‌گیری

امروزه حفاظت و نگهداری از واحدهای نیروگاهی با توجه به پیشرفت فناوری و تغییر مکانیسم تجهیزات حفاظتی از سمت رله‌های الکترومغناطیسی و استاتیکی به سمت رله‌های حفاظت مجتمع میکروپروسسوری نیازمند نگرش صحیح در روش تست این تجهیزات است. به همین دلیل بررسی تنظیمات و انجام تست‌های دوره‌ای دارای اهمیت زیادی می‌باشند. با گسترش شبکه‌های قدرت همواره نیاز به بررسی‌های دقیق‌تری از عملکرد تجهیزات در زمان خطا در شبکه به‌وجود می‌آید و به‌منظور بررسی رفتار ژنراتور در شرایط خطا در شبکه نیاز به شبیه‌سازی‌های مناسبی است.

در این مقاله با استفاده از روش تست ترکیبی جدیدی به بررسی درستی عملکرد رله حفاظتی نیروگاهی پرداخته شد. با استفاده از این روش می‌توان به تحلیل رفتار دینامیکی شبکه و اثرات آن بر روی ژنراتور پرداخت و عملکرد و تنظیمات واحدهای حفاظتی بر روی ژنراتور را مورد بررسی قرار داد. در این روش، ابتدا به‌وسیله نرم‌افزار PSCAD، سیستم قدرت و ژنراتور با توجه به پارامترهای دینامیکی آنها شبیه‌سازی شد و سپس به بررسی خطا در سیستم پرداخته و در نهایت خروجی این نرم‌افزار به‌عنوان ورودی به دستگاه تست اعمال شد و دوباره این مقادیر توسط دستگاه تولید گردید. در ادامه به بررسی درستی عملکرد رله در شرایط خطا پرداخته شد. با توجه به نتایج به‌دست آمده مشخص شد که در شرایط بروز خطا در پایانه ترمینال ژنراتور واحد بخار، تابع حفاظتی ۵۱V از رله حفاظت مجتمع ABB REG*316 دارای تنظیمات مناسبی نبوده و در صورت بروز خطا در شبکه ممکن است دارای عملکرد مناسبی نباشد به همین دلیل تنظیمات مناسب دوباره برای آن محاسبه شد.

۵- مراجع

[1] NERC System Protection and Control Subcommittee “Power Plant and Transmission System Protection Coordination” Revision 1 – July 2010

[2] A. Ebrahimi, M. Ojaghi, K. Mazlumi, “TEST METHOD ANALYZING OF PROTECTION EQUIPMENT AND OPTIMAL TIME DEFINING FOR PET IN ZANJAN REGIONAL ELECTRICITY COMPANY” International Journal on “Technical and Physical Problems of Engineering” (IJTPE), Pages 94-104, June 2014

[3] J.J. Kumm, M.S. Weber, E.O. Schweitzer, D. Hou, “Philosophies for Testing Protective Relays”, Schweitzer Engineering Laboratories, 48th Annual Georgia Tech Protective Relaying Conference, Atlanta, Georgia, May 1994.

[5] Agber, J. U., Odaba, P. E. and Onah, C. O.” Effect of Power System Parameters on Transient Stability Studies”, American Journal of Engineering Research (AJER), Volume-4, Issue-2, pp-87-94, 2015

[6] Kundur, P and J. Paserba. 2004. Definition and classification of power system stability. IEEE Trans. on Power Systems.19, 2, pp.1387-1401.

[۷] شوقی مطلق، بهروز، «بهینه‌سازی رله‌های حفاظتی مجتمع ژنراتور REG*316 واحدهای بخار نیروگاه شریعتی و خیام»، سومین اجلاس نیروگاه‌های برق کشور.

[۸] عسکریان ابیانه، حسین، «حفاظت و رله‌ها»، تألیف، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، چاپ سوم، بهار ۱۳۸۵.

[9] ANSI/IEEE Standard Device Numbers, Power Systems Protection and Relaying

[10] OMICRON electronics: Test Universe Software, Available on-line (2013): www.omicron.at.

[11] D. Ventruella, P Steciuk, “A Second Look at Generator 51-V Relays” IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRY APPLICATIONS, VOL. 33, NO. 3, MAY/JUNE 1997

[۱۲] رمضانیان، محمد. «تنظیم رله جریان زیاد کنترل شده با ولتاژ در شبکه‌های صنعتی»، بیست و چهارمین کنفرانس بین المللی برق، سال ۲۰۰۹

[13] Charles J. Mozina, “Implementing NERC Guidelines for Coordinating Generator and Transmission Protection”, Consultant, Beckwith Electric Company

[14] Malalelayction R REG 316*4-Numerical Generator Protection-ABB Switzerland Ltd Baden-6th Edition Applies for software Version v 6.3

پی‌نوشت

1. A new Standard for Common Format for Transient Data Exchanging

***