

عملکرد بهینه حفاظت جریانی ترانسفورماتور قدرت واحدهای گازی

آنسالدو نیروگاه حرارتی خورشیدی یزد*

حمید تقوی^۱، خلیل خاکی^۲، محمد حسن ابوالفتحی^۱، حسن کیوان پناه^۱،

شهریار زندیان^۱

شرکت مدیریت تولید برق یزد، شرکت بهینه سازان هوشمند برق، **

حرارتی تجهیزات و همچنین ملاحظات پایداری عملکرد تجهیزات حفاظتی در هنگام وقوع خطا بایستی از سرعت کافی برخوردار باشد. لذا تحقیقات بسیاری در زمینه شناسایی و تجزیه و تحلیل عوامل موثر بر عملکرد رله ها صورت گرفته است. یکی از این عوامل وجود هارمونیک در شبکه می باشد که با افزایش پیک شکل موج منجر به اشباع ترانس جریان و افزایش زمان عملکرد رله های اضافه جریان می شوند [۳]. جایگزینی ترانس های جریانی فیبرنوری به جای ترانس های متداول یکی از راهکارهای ارائه شده جهت رفع مشکلات ناشی از اشباع هسته ترانس های جریان می باشد که امروزه بسیار مورد توجه قرار گرفته است. این تکنولوژی که توانسته معضلات اشباع و تاثیرات هارمونیک را بر روی هسته را به کل حذف کند و یک موج کاملا سینوسی به ورودی رله بدهد [۴]. در مقاله ای دیگر یک مدل سازی رله جریان زیاد توسط شبکه عصبی صورت پذیرفته است. رله جریان زیاد جهت عصبی جهت حفاظت سیستم های قدرت با قابلیت اطمینان بالا و سرعت عملکرد بالا در شرایط اغتشاش ترانسفورماتورهای جریان بکار برده می شود [۵]. برای فهم بهتر در بخش بعدی این مقاله به بررسی تاثیر هارمونیک و اشباع ترانسفورماتور جریان بر عملکرد رله جریانی پرداخته شده است. و در بخش سه، یک مدل از ساختار داخلی رله جریانی در نرم افزار متلب شبیه سازی شده است که دارای ساختمان پیچیده ای می باشد در همین بخش روابط ریاضی هارمونیک ها را به صورت مدل به ورودی CT اضافه کردیم و نتایج مورد بررسی قرار گرفته است. در بخش چهارم به ارائه راهکاری جهت بهبود عملکرد پرداخته و در بخش های بعدی نتایج را با هم مقایسه کرده است.

چکیده — با توجه به وجود انواع هارمونیک های جریانی و درصد بالای ضریب THD در شبکه داخلی نیروگاه احتمال به اشباع رفتن ترانس جریان افزایش خواهد یافت. در رله های میکروپروسسوری برای کاهش تاثیر این هارمونیکها و اغتشاشات ناشی از اشباع ترانس جریان از یک فیلتر آنالوگ پایین گذر استفاده شده است. وجود ثابت زمانی در ساختار این فیلتر، تاخیر در زمان پاسخ دهی رله را به همراه دارد که منجر به خسارت شدید به تجهیزات نیروگاه مانند ترانسفورماتور می شود. در این مقاله علاوه بر مدل سازی ساختار واقعی رله جریان زیاد میکرو پروسسوری یک روش جدید برای بهینه سازی زمان عملکرد با استفاده از الگوریتم ژنتیک ارائه شده است. نتایج به دست آمده با این الگوریتم نشان می دهد زمان عملکرد رله و همچنین درصد ضریب THD به میزان قابل قبول بهینه سازی شده است.

واژه های کلیدی — اشباع ترانس جریان - الگوریتم ژنتیک - زمان پاسخ دهی رله - ضریب اعوجاج هارمونیک - فیلتر آنالوگ - رله ABB REG216

۱. مقدمه

حفاظت ترانسفورماتورهای قدرت یکی از مقوله های مهم و ضروری در بهره برداری مناسب نیروگاه می باشد. حفاظت ترانسفورماتور و ژنراتور واحدهای گازی V94.2 نیروگاه حرارتی خورشیدی یزد با استفاده از رله های ABB REG216 می باشد که پیکربندی (شکل ۲) و نمای ظاهری (شکل ۳) آن را ملاحظه می کنید [۱]. طرح های حفاظتی گوناگون علی رغم تنوع ظاهری در چهار ویژگی قابلیت اطمینان حساسیت انتخابگری و سرعت مشترک می باشند [۲]. نظر به محدودیت

۲. هارمونیک و تاثیر آن روی حفاظت شبکه

در شبکه های قدرت بعد از معضل خطای اتصال کوتاه، تاثیر هارمونیک بر روی تجهیزات شبکه سراسری به عنوان مهمترین عامل در تخریب شبکه به شمار می رود. هارمونیک های جریانی یا ولتاژی در ترانسفورماتور تلفاتی همچون:

۱. تلفات جریان گردابی در هادی های ترانسفورماتور

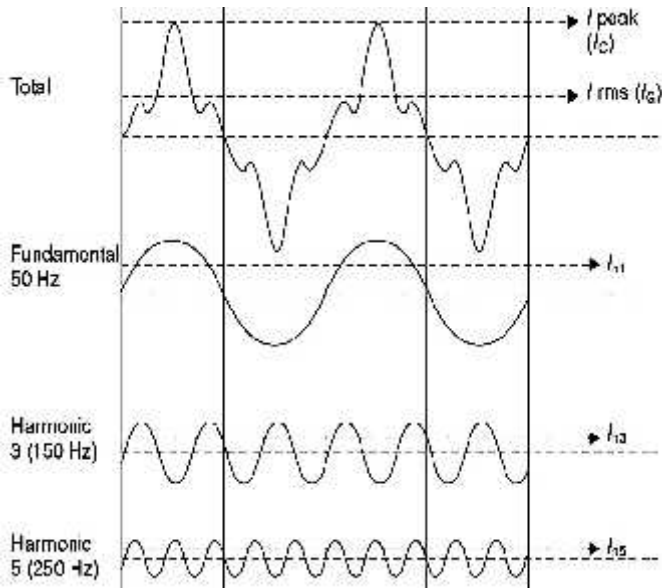
۲. تلفات هیستریزس هسته

۳. تلفات جریان گردابی در هسته

۴. کاهش ظرفیت ترانسفورماتور

ایجاد می کند منابع تولید هارمونیک در نیروگاه یزد اغلب از کارخانجات فولاد که در نزدیکی آن می باشد بر آورد می شود. تجهیزات فولاد که مشخصه اصلی آن قوس الکتریکی مجموعه می باشد یک دامنه بزرگی از هارمونیک زوج دارد به دلیل متقارن بودن موج سینوسی در حالت تنوری این نوع هارمونیک حذف می شود ولی در عمل اینگونه نیست و حضور مخربی در شبکه دارد که با فیلترگذاری بهینه می توان این معضل را در حد مطلوب کاهش داد (شکل ۱).

امروزه واژه هارمونیک در رابطه با مسایل سیستم قدرت کاربرد زیادی دارند. بالاترین میزان درصد هارمونیک در سیستمهای قدرت در بخش شبکه های توزیع به دلیل وجود بارهای غیر خطی می باشد [۵]. استفاده از بارهای غیرخطی مانند اینورترها، وسایل تخلیه قوس الکتریکی، وسایل اشباع شده مغناطیسی و با یک درجه کمتر ماشینهای گردان، بسیار رایج شده است. شکل (۱) شکل موج جریان را در یک شبکه توزیع نشان می دهد. همان طور که از شکل موج و محتوای هارمونیک آن مشخص است. بالاترین میزان هارمونیک مربوط به هارمونیک سوم در شبکه های توزیع می باشد. رله ها از نظر نوع تکنولوژی ساخت به سه دسته الکترومکانیکی و استاتیکی و دیجیتال تقسیم می شوند [۱]. در نوع استاتیکی (میکروپرسسوری) که هدف طراحی ما نیز می باشد طراحی بر مبنای ادوات الکترونیکی آنالوگ بوده و لذا فاقد امکان برنامه ریزی می باشند. حال تاثیر هارمونیک بر روی رله های استاتیکی که باعث تاخیر در پاسخ دهی مناسب آن می شود در بخش بعد به صورت شفاف تر مورد بحث قرار خواهد گرفت.

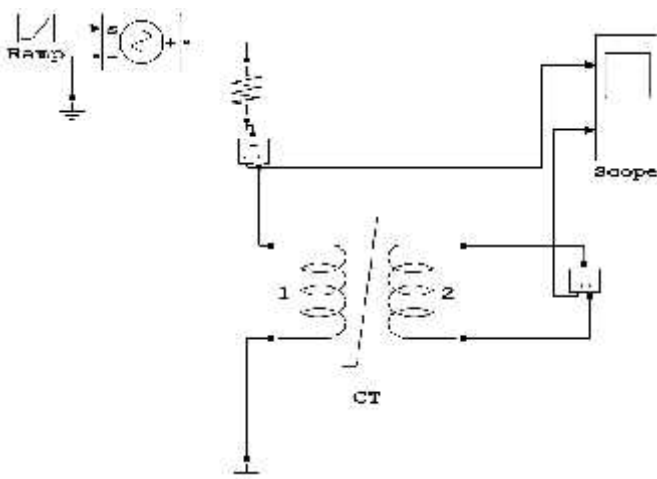


شکل ۱: درجات هارمونیک [2]

۲.۱. تاثیر هارمونیک بر روی ترانس جریان

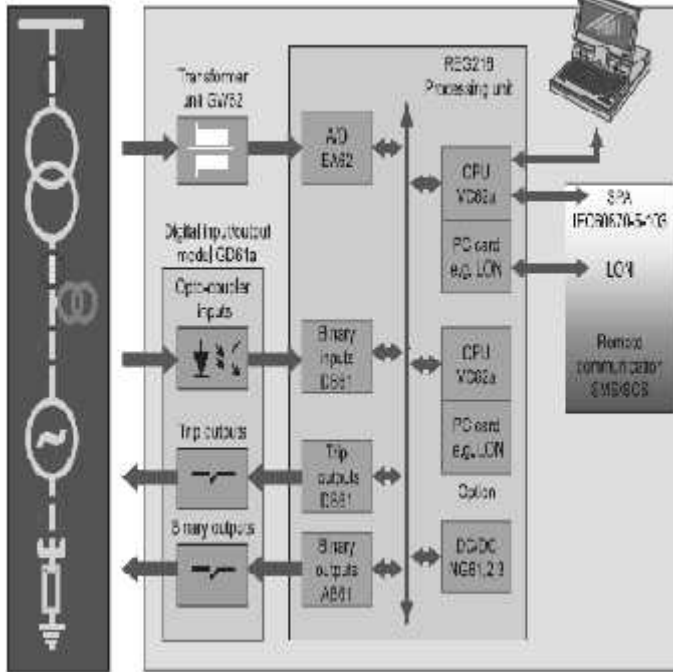
در وهله اول برای بررسی دقیق تر تاثیرات هارمونیک بر روی رله از یک ترانسفورماتور جریان استفاده شده است. شکل (۳).

با توجه به شکل (۳) خواهیم دید که شکل موج خروجی CT کاملاً اشباع شده است. (شکل پایینی-۳) ملاحظه می شود که در صورت اعمال جریانی بیش از جریان نامی ترانسفورماتور وارد ناحیه اشباع شده و هارمونیک زوج تولید می کند و میزان جریان ثانویه آن به صورت غیرخطی تغییر می کند همین شکل موج خروجی، ورودی رله O/C خواهد بود که عامل اصلی خطا در عملکرد رله به شمار می رود. [۳] و [۴]

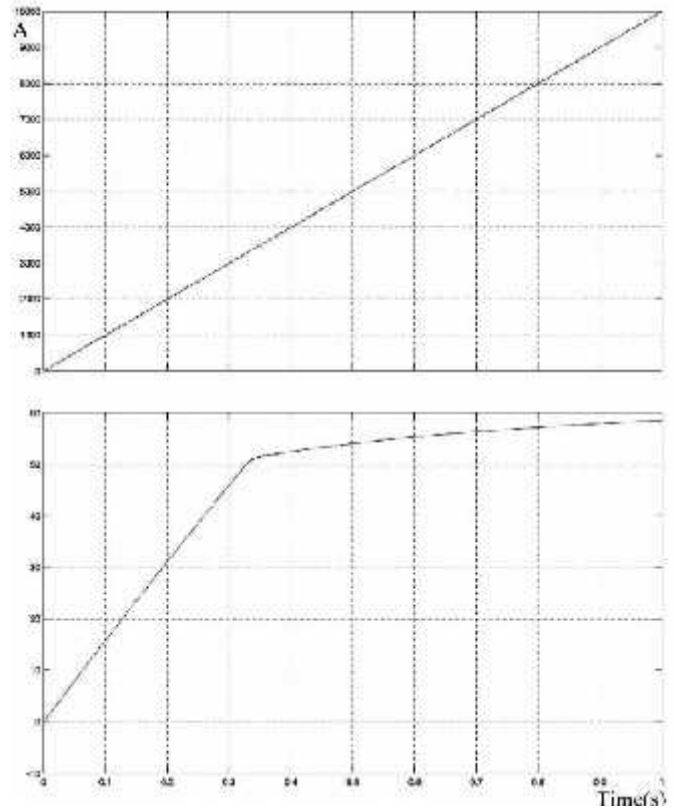


شکل ۲: شبیه سازی اشباع CT [9]

فیلپ فلاپها شمارندهها ریزپردازنده میکروپرسسوری و بسیاری از المانها و معادلات پیچیده دیگر نام برد. شبیه سازی این نوع رله با تمام ساختار داخلی در نرم افزار متلب صورت گرفته است که با توجه به حجم زیاد اطلاعات در مورد شبیه سازی، در این مقاله به ذکر نمای کلی شبیه سازی در شکل (۶) بسنده شده است.



شکل ۴: پیکر بندی رله REG216 [6]



شکل ۳: موج خروجی بخش بالا ترانس غیر قابل اشباع و موج خروجی بخش پایین ترانس با قابلیت اشباع [9]

نکته قابل ذکر در مورد ترانسفورماتورهای که هسته آن ها اشباع می شود این است که خود تولیدکننده هارمونیک زوج می شوند این مقوله خطرناک تر از حالتی است که هارمونیک های زوج در ورودی ترانس مشاهده می شود چون بعد از فیلتر کردن میزان اعوجاج هارمونیکی موج خروجی ترانس جریان، همچنان بالاست.

۳. مدل سازی ساختار رله جریان زیاد

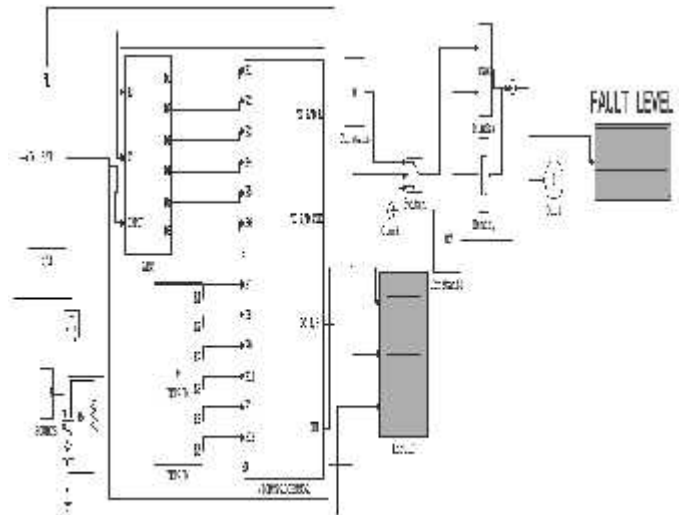
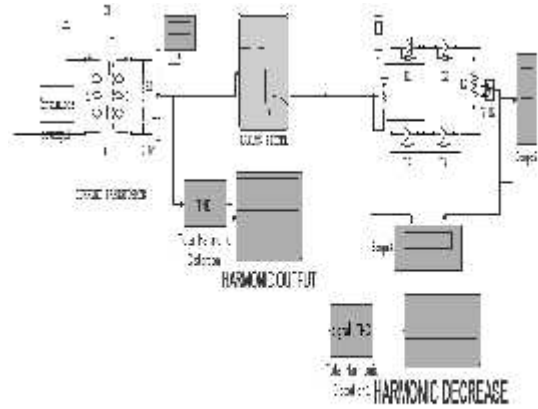
همانطور که در ابتدای بخش نیز اشاره شد شرکت مدیریت تولید برق یزد در بخش حرارتی خورشیدی دارای دو واحد گازی آنسالدو و یک واحد بخار می باشد که یک سیکل را تشکیل می دهد. حفاظت ترانسفورماتور قدرت و ژنراتور بر عهده یک رله کمپکت REG216 می باشد که پیکربندی (شکل ۴) و نمای ظاهری (شکل ۵) آن را ملاحظه می کنید [۱].

رله جریان زیاد از نوع میکروپرسسوری دارای ساختار پیچیده ای می باشد که از مهمترین تجهیزات به کار رفته در آن می توان مبدل D/A-A/D، یکسوساز، فیلتر آنالوگ، نمونه گیر، نگه دارنده، حافظه، انواع



شکل ۵: نمای ظاهری از رله REG216 ABB [6]

است. پردازشگر مرکزی طوری برنامه ریزی شده که به محض رسیدن دامنه جریان به ۱۰ آمپر رله فرمان قطع صادر کند. در حالت عادی خروجی میکروپروسسور به صورت صفر منطقی است، چنانچه خطایی روی دهد خروجی آن به یک منطقی تغییر می یابد که نشانگر عملکرد صحیح آن است. (شکل ۷)



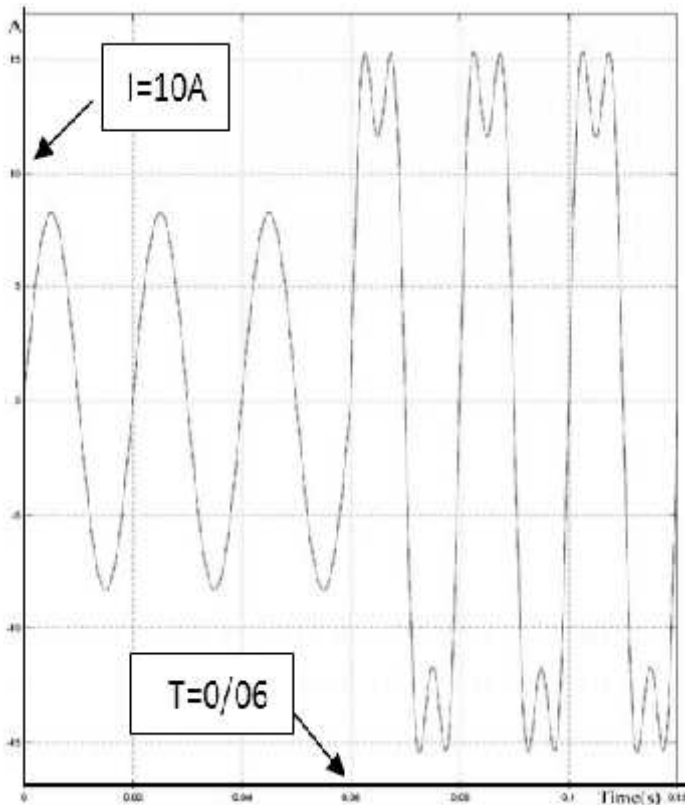
شکل ۶: نمای کلی از ساختار داخلی رله جریان زیاد

۳.۱. شبیه سازی تاثیر هارمونیک بر روی رله

در وهله اول برای بررسی دقیق تر تاثیرات هارمونیک بر روی رله از یک ترانسفورماتور جریان استفاده شده است.

با توجه به شکل (۶) خواهیم دید که شکل موج خروجی CT کاملاً اشباع شده است. (شکل پایینی) ملاحظه می شود که در صورت اعمال جریانی بیش از جریان نامی ترانسفورماتور وارد ناحیه اشباع شده و هارمونیک زوج تولید می کند و میزان جریان ثانویه آن به صورت غیرخطی تغییر می کند همین شکل موج خروجی، ورودی رله O/C خواهد بود که عامل اصلی خطا در عملکرد رله به شمار می رود. [۳] و [۴]

در ادامه یک منبع جریانی که دارای هارمونیک های ۱۱ ۷ ۵ ۳ می باشد به ورودی CT قابل اشباع وصل می کنیم این منبع جریان طوری تعریف شده است که هارمونیک های موجود را در یک زمان خاص وارد مدار می کند. شکل (۵) همچنین در حافظه رله، عدد ثابت ۱۰ تعریف شده



شکل ۷: شکل موج ثانویه ترانس جریان

قسمت اول شکل (۷) نشانگر وضعیت عادی در سیستم می باشد و در بازه (۰-۰/۰۶) قرار دارد به صورت یک سیگنال سینوسی بدون هارمونیک اضافی است. قسمت دوم که در بازه (۰/۰۶-۰/۱۲) ملاحظه می شود نشانگر ایجاد خطای اضافه جریان در شبکه می باشد که دارای هارمونیک اضافی علاوه بر هارمونیک اصلی می باشد. حال این سیگنال به رله اعمال شده، تا عملکرد آن بررسی شود. با توجه به (شکل ۸)، با اعمال این شرایط خروجی به دست آمده دارای زمان تاخیر عملکرد ۰/۰۰۷۴ و درصد هارمونیک ۱۵ درصد می باشد (THD) که این شرایط بسیار نامطلوب و خطرناک هنگام خطا در سیستم می باشد.

بود که تاخیر بسیار چشمگیر می باشد همان گونه که قبلا ذکر شد این تاخیر ناشی از وجود فیلتر آنالوگ در ساختار رله برای حذف اعوجاج هارمونیک می باشد فیلتر آنالوگ روی دو پارامتر درجه و پهنای باند قابلیت مانور دارد که پس از چندین مرتبه تغییرات بر روی دو پارامتر ذکر شده این نتایج به دست آمد جدول (۱).

جدول ۱: مقایسه حالات فیلتر

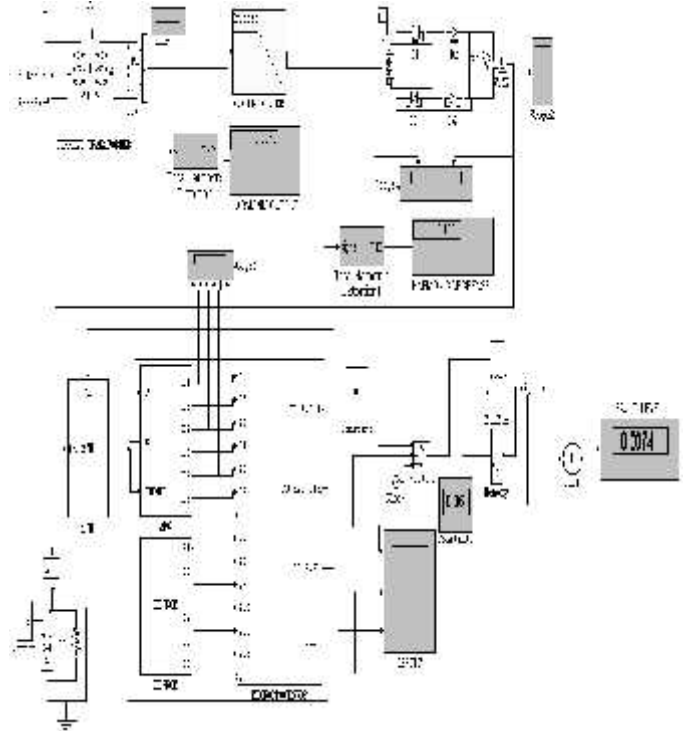
فیلتر	زمان عملکرد	میزان THD
افزایش درجه	کاهش	افزایش
افزایش پهنای باند	افزایش	کاهش

با توجه به جدول ملاحظه می شود هر دو پارامتر از نظر نوع بهینه سازی عکس هم عمل می کنند بنابراین برای به دست آوردن عملکرد ایده آل از روش دیگری باید استفاده کرد که همزمان هر دو گزینه هارمونیک و زمان عملکرد به طور موثری بهینه و عملا کاهش یابند.

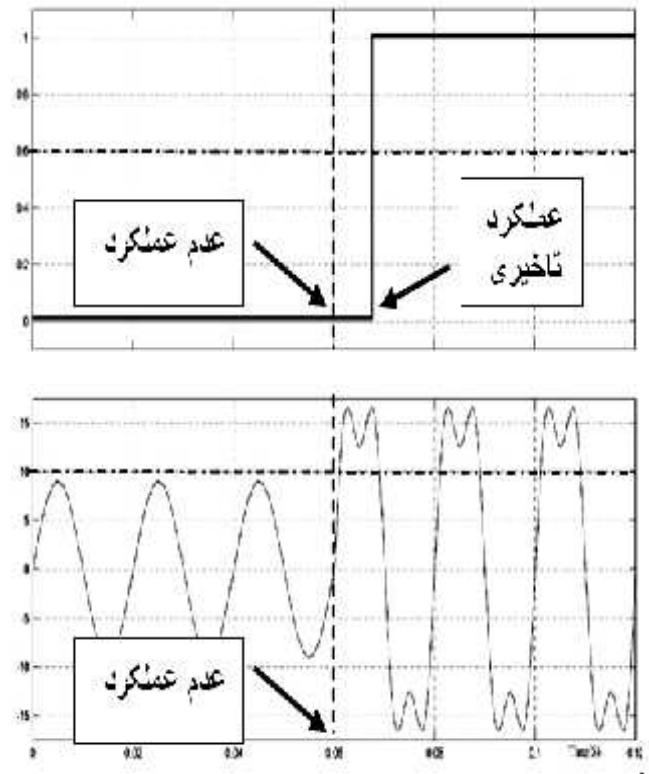
۴. راه حل بهینه سازی فیلتر آنالوگ

یکی از روش های قدرتمند در مسائل بهینه سازی که در سالهای اخیر مورد توجه زیادی قرار گرفته، روش الگوریتم ژنتیک است. [۶] و [۷] از الگوریتم ژنتیک به دلیل مزیت هایی چون حل مسائل غیرخطی، سرعت بالا، استفاده نکردن از مسائل پیچیده ریاضی و ... نسبت به روش های بهینه ریاضی، بیشتر مورد استفاده قرار گرفته است و در کاربردهایی نظیر هماهنگی رله ها، دیسپاچینگ بهینه و پخش بار بهینه نتایج مطلوبی داشته است. از آنجا که مساله طراحی شبکه های توزیع یک مساله غیرخطی و گسسته می باشد، در این مقاله روش الگوریتم ژنتیک برای بهینه سازی فیلتر آنالوگ به کار گرفته شده است در این روش ابتدا برای تعدادی ثابت، که جمعیت نامیده می شود. مجموعه ای از پارامترهای هدف بصورت اتفاقی تولید می شود، پس از اجرای برنامه شبیه ساز عددی را که معرف انحراف معیار و یا برازش آن مجموعه از اطلاعات است را به آن عضو از جمعیت مذکور نسبت می دهیم این عمل را برای تک تک اعضای ایجاد شده تکرار می کنیم، سپس با فراخوانی عملگرهای الگوریتم ژنتیک از جمله لقاح، جهش و انتخاب نسل بعد را شکل می دهیم و این روال تا ارضای معیار همگرایی ادامه داده خواهد شد.

در این مقاله از فراخوانی الگوریتم ژنتیک استفاده شده است. تعداد نسل که همان پارامترهای فیلتر می باشد برابر ۲ قرار دادیم و میزان تکرار

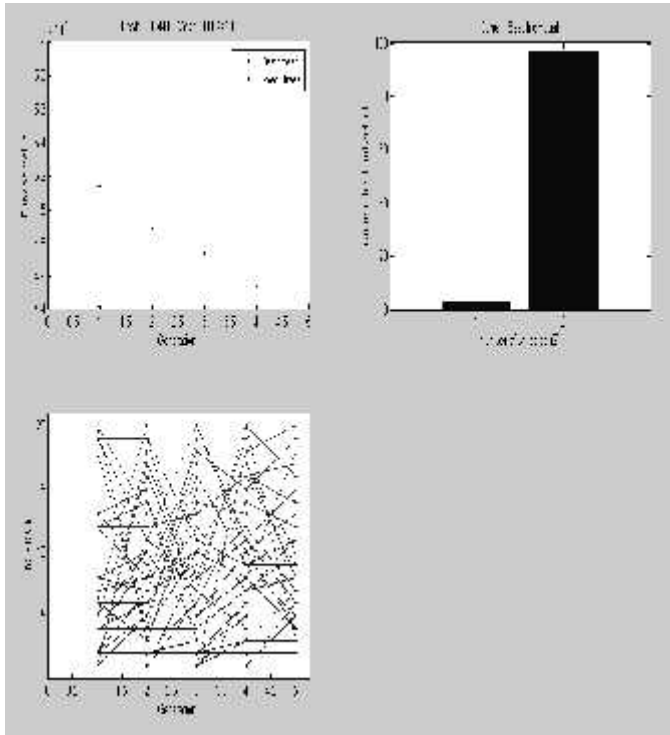


شکل ۸: نتایج شبیه سازی پارامترهای مورد نظر



شکل ۶: منحنی عملکرد رله در حضور هارمونیک

میزان تاخیر در عملکرد رله در حضور هارمونیک با توجه به شکل (۶) برابر با $T_{delay}=0.0074$ می باشد و $T_{opt}=0.0674$ و $T_{main}=0.06$ خواهد

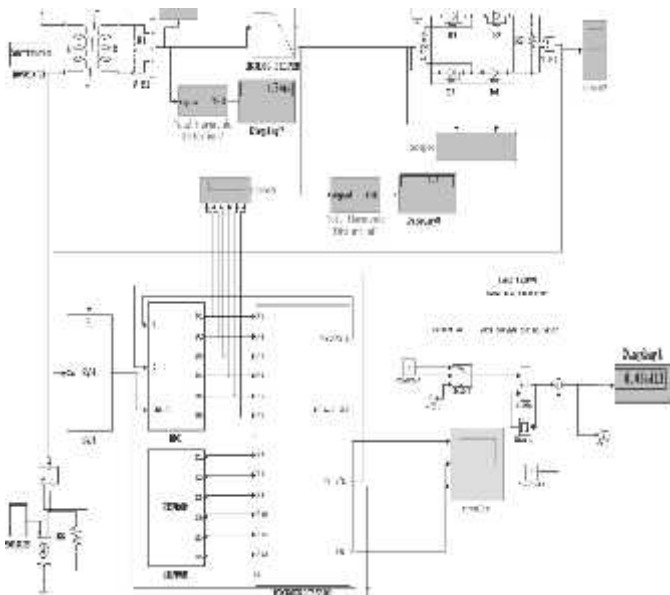


شکل ۱۰: منحنی نتایج بهینه‌سازی فیلتر

- در شکل (۹) پارامترهای به دست آمده برای اختلاف زمان بهینه شده
 $T = 0.0044$ عبارتست از:

پهنای باند $= 97$ ، درجه فیلتر $= 3$

حال با جاگذاری مجدد اطلاعات به دست آمده در مدل این نتایج
زیر حاصل گردید شکل (۱۱)



شکل ۱۱: خروجی مدل بهینه سازی

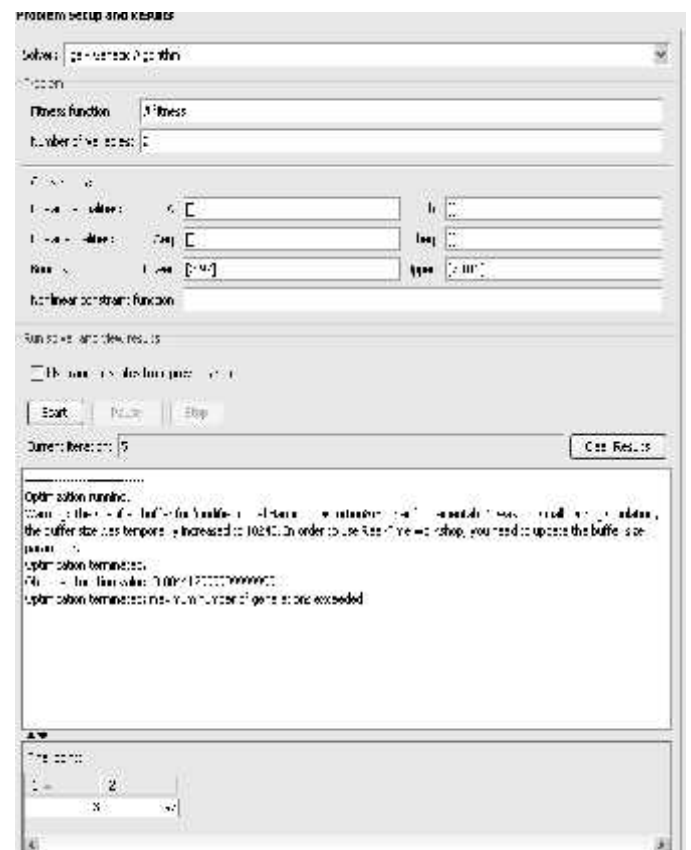
الگوریتم با توجه به دارا بودن ساختار داخلی پیچیده رله و استفاده از میکروپروسسور در ساختار آن که به طولانی شدن زمان پاسخ دهی نرم افزار مربوطه می‌انجامد برابر ۱۰ قرار دادیم همچنین گستره درجه فیلتر از ۲ تا ۱۳ و گستره پهنای باند مابین ۹۷ الی ۱۰۳ گذاشته شده است.

۴.۱. تابع هدف

تابع هدف به گونه ای بیان شده است که هر دو پارامتر درجه و پهنای باند فیلتر را در برگرد ضمناً برای کاهش زمان پاسخ‌دهی نرم افزار بازه زمان کل شبیه‌سازی از ۰/۱۲ به ۰/۰۷ کاهش داده شده است.

۴.۲. نتایج بهینه‌سازی فیلتر آنالوگ

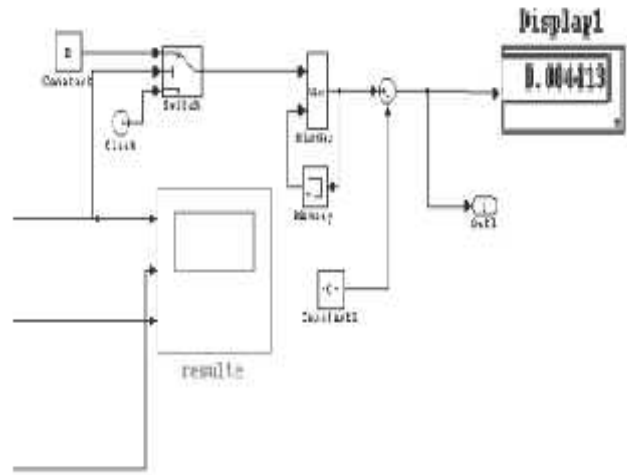
بعد از اینکه بهینه‌سازی با توجه به تغییر شرایط انجام گرفت نتایجی به دست آمد که مطابق شکل (۹ و ۱۰) می‌باشد.



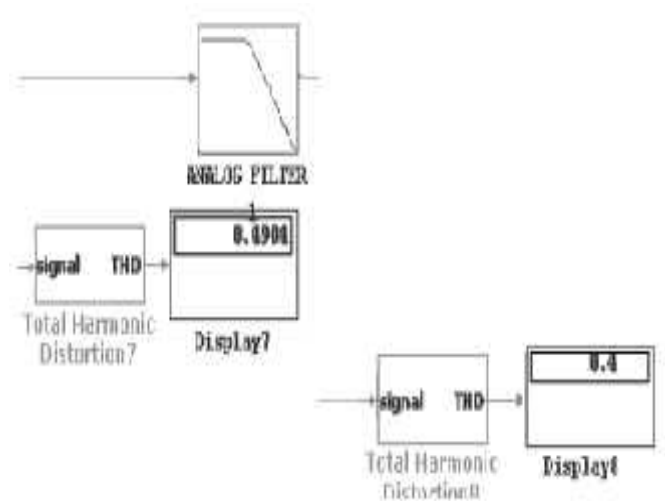
شکل ۹: نتایج بهینه‌سازی

جدول شماره ۲: مقایسه نتایج قبل و بعد از بهینه سازی

درصد THD	زمان عملکرد	
۰/۵	۰/۰۰۷۴	قبل از بهینه سازی
۰/۴	۰/۰۰۴۴	بعد از بهینه سازی



شکل ۱۲: کاهش زمان عملکرد رله REG216



شکل ۱۳: کاهش درصد THD

۵.۱. پیشنهادات

برای اینکه ما بتوانیم اثرات هارمونیک و همچنین مقدار خطای زمان را کاهش دهیم از دو راه حل دیگر نیز می توان استفاده کرد.

۱-۵- مدل سازی ساختار رله جریان زیاد عصبی و بهینه سازی آن به کمک الگوریتم ژنتیک [۵].

۲-۵- جایگزینی ترانس جریان معمولی با ترانس جریان فیبرنوری برای کاهش اثرات اشباع [۹] و [۴].

- سپاسگزاری

تشکر می کنم از مدیریت محترم نیروگاه حرارتی خورشیدی یزد و معاونت بهره برداری و نیز همکاران عزیزم که بنده را در این مقاله تحقیقاتی همراهی کردند.

همچنین قدردانی می شود از سرکار خانم مهندس لیلا حسینی که بنده را در راستای نتایج بهینه سازی یاری کردند.

۵. نتیجه گیری

با توجه به مقادیر به دست آورده شده در الگوریتم ژنتیک و جاگذاری در فیلتر پسیو زمان عملکرد رله در یک شرایط تعریف شده از ۰/۰۰۷۴ به ۰/۰۰۴۴ کاهش یافته است که به میزان ۴۰ درصد خطای رله را کاهش داده است.

پس هدف اصلی ما نتیجه داده است همچنین میزان هارمونیک در بدترین شرایط بعد از تغییرات پارامترهای داخلی به نسبت ۱۰ درصد در بعد از فیلتر کاهش یافته است.

جدول زیر مقایسه بهتری برای عملکرد بهینه سازی انجام داده است جدول (۲).

مراجع

- [۱] محامدی بهنام و سجادی علی، "بررسی رفتار عملگر ۷۸ رله های 7UM62 و REG216 در شرایط گریز از همگامی واحد های یک نیروگاه نمونه در شبکه سراسری ایران"، بیست و هشتمین کنفرانس بین المللی برق، ۱۳۹۲، تهران.
- [۲] خدرزاده، مجتبی و مرتجی، محمد، (۱۳۸۳)، "مبانی حفاظت سیستم های قدرت"، چاپ اول، موسسه آموزش عالی صنعت آب و برق، تهران، ۳۶۰ صفحه.
- [۳] قاسمی، فروزان، "تاثیر هارمونیک های جریان بر روی رله های IDMT شبکه های توزیع"، چهارمین کنفرانس شبکه های توزیع، مهر ۱۳۸۱، خراسان رضوی.
- [۴] خدایی، محمدرضا و امینایی، صدیقه، "استفاده از مبدل های نوری جریان در سیستم های قدرت به جای ترانس جریان"، کنفرانس دانشجویی ۱۳۸۸، شیراز.
- [۵] عروج، زهرا و امینایی، صدیقه، "رله جریان زیاد بر پایه شبکه مصنوعی"، کنفرانس بین المللی برق ۱۳۸۸، شیراز.
- [6] "REG216 Operating Instructions," ABB. [Online]. Available.
- [7] M. Janatian and H. Karegar "Novel fuzzy & artificial ANN representation of O/C relay characteristics" PSC Tehran May 2003 .
- [8] K. Venkataramana and A. Singh "Recent techniques used in transmission line protection" International Journal of Power Proceeding Russian Moscow Oct. 2006 pp. 51- 63.
- [9] J. D. P. Hrabliuk "Optical Current Sensors Eliminate CT Saturation" IEEE Transactions on Industrial Electronics Feb. 2005 pp. 243-254.
- [10] [Http:// www.abb.com](http://www.abb.com).
- [11] [Http://www.iran-transfo.com](http://www.iran-transfo.com)