به نام خدا

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی برق-قدرت

عنوان:

شناسایی و تصحیح اشباع ترانسفورماتور جریان در سیستم قدرت

ارائه دهنده:

سلمان خاکسار

استاد راهنما:

خانم دکتر مروج

زمستان ۱۳۹۲

با سپاس فراوان ازخانم دکتر مروج که با صبر خویش این حقیر را تحمل فرموده و بی شک بدون راهنماییهای ایشان این تحقیق به سرانجام نمی رسید.

تقدیم به:

پدرم که عالمانه به من آموخت تا چگونه در عرصه زندگی، ایستادگی را تجربه کنم.

مادرم، دریای بی کران وفاداری و عشق که وجودم برایش همه رنج بود و وجودش برایم همه مهر.

چکیده

تراسفورماتور جریان، سیگنال جریان را به سطح مناسبی برای ابزارهای اندازه‌گیری و حفاظت فراهم می‌کند. دقت و عملکرد رله‌های حفاظتی به طور مستقیم به عملکرد حالت گذرا و حالت پایدار ترانس جریان بستگی دارد. ترانس جریان باید خطا را از سیستم، با قابلیت اطمینان بسیار بالا پاک کنند. برای اینکه به درستی این کار را انجام دهد به بازسازی دقیق و منطقی سیگنال جریان و ولتاژ نیاز دارد. به این منظور ترانس جریان بمنظورکاهش سطح جریان اولیه بکار گرفته می شود. بیشتر ترانس‌های جریان از هسته‌های آهنی برای ماکزیمم کردن شار پیوندی بین سیم پیچ اولیه و ثانویه استفاده می‌کنند. هسته‌ی آهنی ترانس جریان، به دلیل غیرخطی بودن مشخصه مغناطیسی جریان تحریکشان و توانایی آنها برای نگهداری سطح شار بزرگ در هسته که معروف به شار پس ماند هستند، ایده آل نیستند. در نتیجه تمایل دارند اشباع شوند. اشباع ترانس می‌تواند منجربه عملکرد نامناسب رله‌ها و حتی جلوگیری از تریپ[1] دادن رله شود. این تحقیق استفاده از ۱۰شبکه عصبی را که براساس ثابت زمانی و علامت آفست جریان طبقه بندی شدند را پیشنهاد می‌کند. عملکرد این الگوریتم مستقل از پارامترهای ترانس و شار پسماند است. این الگوریتم خطای جبرانسازی را به ۱/۲ درصد کاهش داده است.

۱- Trip

فهرست مطالب

فصل ۱ ..... ۱

۱-۱-مقدمه: ۱

فصل دوم: ٦

مروری بر کاهای انجام شده ٦

۲-۱-مقدمه: ٦

۲-۲-روشهای پیشنهادی ارائه شده در سالهای گذشته: ۷

۲-۲-۱ روش پیشنهادی انجام شده با استفاده از شبکه عصبی: ۷

۲-۲-۲-روش پیشنهادی ارائه شده با روش رگرسیون غیرخطی: ۱۱

۲-۲-۳-روش پیشنهادی ارائه شده با استفاده از بسط مصنوعی بخش غیر اشباع: ۱۳

۲-۲-۴-روش پیشنهادی ارائه شده براساس LES : ۱٤

۲-۲-۵-روش پیشنهادی ارائه شده بر اساس اندازهگیری مؤلفه ی dc نزولی: ۱۹

۲-۲-۶-روش پیشنهادی ارائه شده براساس جریان تحریک ترانس: ۲۰

۲-۲-۸-روش پیشنهادی ارائه شده بر اساس ANFIS : ۲۲

فصل سوم: ۲۳

مدل ترانسفورماتور جریان ۲۳

۳-۱ مدل ترانسفورماتور جریان ۲٤
۳-۱-۱- مدل جیلز اسرتون ۲٤
۳-۱-۲- تعیین پارامترهای مدل جیلز اسرتون ۲۷
۳-۲- پارامترهای ترانسفورماتورهای جریان ۲۹
۳-۳- دادههای مورد نیاز جهت شبیهسازی سیستم قدرت ۳۱
۳-۳-۱- پارامترهای ترانسفورماتورهای قدرت ۳۱
۳-۴- ترانسفورماتورهای کاهنده ۳۱
۳-۴-۱-ترانسفورماتور دو سیم پیچه ۳۱
۳-۵- ترانسفورماتور جریان ۳۲
۳-۶ سیستم قدرت شبیهسازی شده ۳۵
فصل چهارم: ۳۸
مبانی شبکه عصبی ۳۸
۴-۱-مقدمه: ۳۸
۴-۲- ویژگی های شبکه عصبی: ۳۹
۴-۲-۱- قابلیت یادگیری: ۳۹
۴-۲-۲- پراکندگی اطلاعات: ۳۹
۴-۲-۳- قابلیت تعمیم: ٤۰
۴-۲-۴-پردازش موازی: ٤۰
۴-۲-۵-مقاوم بودن: ٤۰
۴-۳-مدل نرون: ٤۰
۴-۳-۱-مدل تک ورودی: ٤۱
۴-۳-۲- توابع فعالسازی ٤۲
۴-۴-مدل چند ورودی ٤٤
۴-۴-۱-فرم خلاصه شده نرون ٤۵
۴-۵-ساختار شبکه عصبی ٤٦
۴-۵-۱-شبکه تک لایه ٤٦
۴-۵-۲- شبکههای چند لایه: ٤۹
۴-۵-۳- لایه خروجی ۵۱
فصل پنجم: ۵٦

شبیه سازی و نتایج عددی ..... **Error! Bookmark not defined.**
۵-۱-مقدمه: ٥٦
۵-۲-پارامترهای موثر روی اشباع: ٥٧
۵-۲-۱-شار پس ماند: ٥٨
۵-۲-۲-بردن ترانس جریان: ٥٩
۵-۲-۳-ثابت زمانی: ٦٠
۵-۲-۴-زاویه شروع خطا: ٦١
۵-۳-الگوهای آموزشی: ٦٢
۵-۴-ساختار و آموزش شبکه عصبی: ٦٣
۵-۵-تعیین رنج ثابت زمانی: ٦٤
۵-۶-بدست آوردن علامت DC offset : ٦٥
۵-۷-الگوریتم شناسایی اشباع ٦٧
۵-۸- معیار توقف الگوریتم جبرانسازی ٦٨
۵-۹- شاخص تعیین درصد خطای جبرانسازی ٦٨
۵-۱۰-نتایج الگوریتم پیشنهادی: ٦٩
۵-۱۰-۱-عملکرد شبکه عصبی در بازه زمانی ۰-۴۰ms و dc-offset مثبت: ٦٩
۵-۱۰-۲-عملکرد شبکه عصبی در بازه زمانی ۴۰-۸۰ ms و dc-offset مثبت: ٧١
۵-۱۰-۳-عملکرد شبکه عصبی با ثابت زمانی ۱۶۰-۲۰۰ms و dc-offset مثبت: ٧٤
۵-۱۰-۴-عملکرد شبکه عصبی با ثابت زمانی ۸۰-۱۲۰ms و dc-offset منفی: ٧٨
۵-۱۰-۵-عملکرد شبکه عصبی با ثابت زمانی ۱۲۰-۱۶۰ms و dc-offset منفی: ٨٠
فصل ششم: ٨٥
مقایسه الگوریتم پیشنهادی با روش LES ٨٥
۶-۱-مقدمه: ٨٥
۶-۲-نحوه عملکرد LES : ٨٥
۶-۳-مقایسه نتایج: ٨٧
فصل هفتم ٩٣
پیشنهادات و نتیجهگیری ٩٣
۷-۱-نتیجهگیری ٩٣
۷-۲-پیشنهادات ٩٣

مراجع ۹۵

فصل ۱

۱-۱-مقدمه:

در پستهای فشار قوی به دو منظور اساسی انداره گیری و حفاظت، برای اطلاع از وضعیت کمیت های الکتریکی جریان احتیاج است. ولی از آنجا که مقادیر کمیت مزبور در پستها و خطوط فشار قوی بسیار زیاد می باشند و دسترسی به آن نه اقتصادی بوده و نه عملی است، لذا از ترانسفور ماتور جریان استفاده می شود. ثانویه این ترانسفورماتور نمونه هایی با مقیاس کم از کمیت های مزبور که تا حد بسیار بالایی تمام ویژگی های کیت اصلی را داراست، در اختیار می گذارد، و کلیه دستگاههای اندازه گیری، حفاظت و کنترل مانند ولتمتر، آمپرمتر، توان سنج، رله ها، دستگاههای ثبات خطاها و وقایع و غیره که برای جریان های پایین ساخته می شوند از طریق آنها به کمیت های مورد نظر در پست دست می یابند.

بنابراین ترانسفورماتور جریان از یک طرف وسیله فشار قوی بوده بنابراین می بایستی بصورت هماهنگ با سایر تجهیزات فشار قوی انتخاب شود(طرف اولیه)[۱] و از طرف دیگر به تجهیزات فشار ضعیف پست(طرف

۱-primary side

ثانویه)[1] ارتباط دارند. ترانسفورماتور جریان حفاظتی جهت بدست آوردن جریان عبوری از خط انتقال یا تجهیزات دیگر شبکه قدرت در مقیاس پایین تر به کار می رود. سیم پیچی اولیه آن بطور سری در مدار قرار دارد و بسته به نوع اولیه می تواند تک دوری یا چند دوری باشد. تعداد دور ثانویه ترانس جریان متناسب با نسبت تبدیل می باشد .میزان بار ثانویه با توجه به نوع ولتاژ و جریان آن تعیین می گردد. تفاوت آن با ترانسفورماتور اندازه گیری آن است که قابلیت آن را دارد که جریان های خیلی زیاد را به جریان کم قابل استفاده در رله ها تبدیل کند. همچنین ترانسفورماتور جریان باید طوری انتخاب شود که هم در حالت عادی و نرمال شبکه و هم در حالت اتصال کوتاه و ایجاد خطا بتواند جریان ثانویه لازم و مجاز را برای دستگاههای حفاظتی تامین کند. از آنجا که در اختیار گذاشتن جریان بطور مستقیم در جریان و ولتاژهای زیاد میسر نیست و از طرفی چنانچه امکان بدست آوردن آن نیز باشد، ساخت وسایل حفاظتی که در جریان زیاد کار کنند به لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه نیست لذا این عمل عمدتا" توسط ترانسفورماتورهای جریان انجام می شود.

سیستمهای قدرت هم از نظر پیچیدگی و هم از نظر وسعت در حال گسترش هستند. رله های حفاظتی سیستم قدرت نقش بسیار مهمی را در سیستمهای قدرت جدید بازی می کنند. آنها باید با دقت بالا، قابلیت اطمینان مناسب و همچنین با سرعت بالا خطاهای سیستم قدرت را از شبکه پاک کنند. برای اینکه بتوانند به درستی از انجام این کار برآیند، به بازسازی دقیق سیگنالهایه ولتاژ و جریان اولیه در طول خطاهایه سیستم نیاز دارند. بدین منظور ترانسفورماتور جریان برای کاهش سطح دامنه سیگنال جریان ناشی از خطای اتفاق افتاده در سمت اولیه ترانس جریان و ارسال آن به سمت ثانویه بکار گرفته می شود.

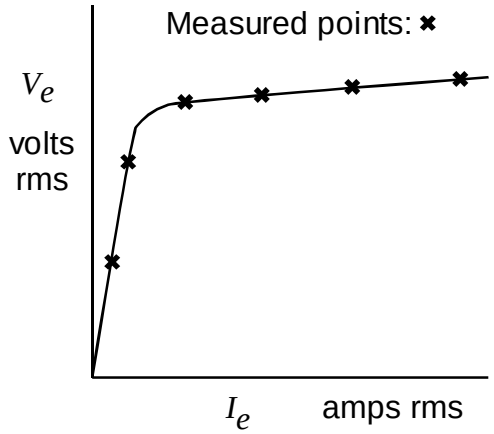
در بیشتر ترانس های جریان از هسته های آهنی برای ماکزیمم کردن شار بین سیم پیچ های اولیه و ثانویه استفاده می شود. هزینه کم، قابلیت اطمینان، سهولت کاربرد و عایق گالوانیزه از فواید استفاده از ترانس های

---

[2]-second side

جریان با هسته آهنی است. به هر حال هسته آهنی ترانس های جریان به دلیل غیر خطی بودن مشخصه تحریک و توانایی آنها برای نگهداری سطحی از شار در هسته آهنی به عنوان شار پس ماند، ایده آل نیستند و تمایل دارند به اشباع بروند که از مضرات استفاده از هسته آهنی است.

شکل (۱-۱) منحنی مشخصه ترانس را نمایش می دهد. اگر شار ترانس به پشت نقطه زانویی افزایش یابد، ترانس اشباع می شود.در این حالت جریان ثانویه ترانس، دامنه کاهش یافته جریان اولیه که در اثر وقوع خطا افزایش یافته را نشان نمی دهد و خطای نسبت تبدیل ترانس بطور قابل ملاحظه ای افزایش می یابد. این اتفاق موجب عملکرد نامناسب رله های حفاظتی سیستم قدرت می شود.



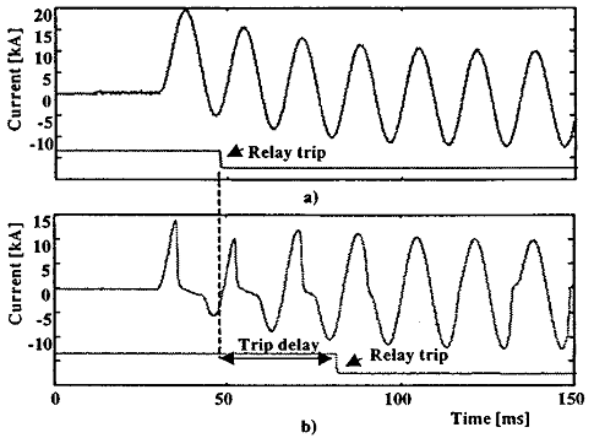
شکل(۱-۱) منحنی مغناطیس ترانس

رفتار ترانس تحت حالت ماندگار و وضعیت خطای متقارن تحت استاندارد ANSI C۵۷,۱۳-۱۹۹۳ بررسی می شود. این استاندارد شرایط های خاصی را برای طراحی ترانس جریان در نظر گرفته است. به عنوان مثال ولتاژ نامی ترمینال ثانویه ترانس جریان برابر است با ولتاژی که ترانس با یک بار استاندارد در ۲۰ برابر جریان ثانویه نامی بدون تجاوز از ۱۰٪ ضریب تصحیح دریافت می کند. البته برای گزینش ترانس جریان روش های مبتنی بر فرمول های ریاضی[۱]و بهره گیری از منحنی مغناطیس[۱]وجود دارد که به دلیل دور

نشدن از موضوع تحقیق در همین حد خلاصه می کنیم. علاقه مندان می توانند در مقالات و کتب ارجاع شده به تفضیل روش های گزینش ترانس جریان را مورد بررسی قرار دهند.

روشهایی برای جلوگیری از اشباع ترانس در نظر گرفته شده که یک مورد می توان به افزایش ابعاد هسته ترانس اشاره کرد. روش دیگر بکارگیری از موادی در هسته آهنی است که می تواند چگالی شار بزرگ را در هسته حمایت کند و از اشباع ترانس جلوگیری کند. هر دو روش هم از لحاظ قیمت و هم از نظر سهولت در کاربرد به این جهت قابل تأمل است که افزایش سطح مقطع هسته منجر به افزایش ابعاد ترانس می شود که از نظر مکانیکی ایجاد مشکل می کند. از طرف دیگر کاهش سطح مقطع اشکالاتی را در عایق بندی ترانس بوجود می آورد.

زمانیکه هسته ی آهنی در سیستم های حفاظتی استفاده می شود وقوع اشباع یک امر بحرانی است. بیشتر رله های حفاظتی اعم از الکترومکانیکال و الکترونیکی بر اساس مقدار مؤثر جریان خطا عمل می کنند. اگر سیگنال اعمال شده بوسیله ترانس جریان به سبب اشباع از حالت سینوسی خارج شود که اصطلاحا" به عنوان سیگنال معیوب معرفی می شود، مقدار مؤثر جریان دریافت شده بوسیله رله کمتر از مقدار مؤثر جریان خطای واقعی خواهد بود. این امر سبب می شود رله های حفاظتی با تأخیر فرمان قطع را صادر نمایند حتی زمانیکه شدت اشباع بیشتر می شود و شدت تخریب سیگنال از حالت سینوسی بیشتر می شود مقدار مؤثر جریان کمتر خواهد شد که رله فرمان قطع نمی دهد و این امر موجب عدم هماهنگی رله ها می شود. در شکل (۱-۲) زیر عملکرد درست رله در هنگام غیبت اشباع و تأخیر در فرمان قطع توسط رله در هنگام اشباع نماش داده شد.



شکل(۱-۲) a-عملکرد درست رله و b-عملکرد با تاخیر رله

یکی دیگر از اثرات منفی اشباع ترانس در حفاظت دیفرانسل است. حفاظت دیفرانسیل بطور گسترده برای کاربرد در ژنراتور، ترانسفورماتورها، بارها، خط های انتقال استفاده می شود. عملکرد پایدار حفاظت دیفرانسیل ژنراتور معمولا" بوسیله اختلالات مختلف تأثیر می گیرد بالأخص بوسیله اشباع ترانس. در مدت دوره اشباع ، ترانس جریان نمی تواند به درستی جریان اولیه را به ثانویه انتقال دهد. به ویژه در مورد اتفاقات خطای خارجی که نزدیک به ترمینال ماشین رخ می دهد. اگر مشخه انتقال ترانس جریان در سمت فار از سمت نول متفاوت باشد یک جریان متفاوت خطا اتفاق می افتد که حفاظت دیفرانسیل عملکرد نادرستی نشان می دهد.

در این تحقیق بر آن شدیم تا با ارائه الگوریتمی مناسب، با دقت بالا، سرعت مناسب و با قابلیت اطمینان بالا جریان ثانویه معیوب را اصلاح کنیم. در ادامه در فصل ۲ به بررسی الگوریتم های جبرانسازی ارائه شده در مقالات می پردازیم و معایب هر یک را بطور مفصل تشریح می کنیم.در فصل ۳ ملاحضات شبیه سازی را که برای تولید نمونه های سیگنال جریان اولیه، جریان ثانویه سالم و جریان ثانویه به اشباع رفته را مورد مطالعه قرار می دهیم و بخشی از شبکه قدرت را که در نرم افزار PSCAD شبیه سازی شد را بطور مبسوط شرح می دهیم. در فصل ۴ ابزارهای بکارگرفته شده در الگوریتم ارائه شده را معرفی و جزئیات آنرا نقد می کنیم. در فصل ۵ الگوریتم و خروجیها را نمایش می دهیم. جمع بندی نهایی، مقایسه و تحلیل نتایج بدست آمده را در فصل ۶ ارائه می کنیم.

فصل دوم:

مروری بر کاهای انجام شده

۲-۱-مقدمه:

در این فصل بطور کامل به بررسی مقالات ارائه شده در سالهای گذشته می پردازیم. هدف از تدوین این فصل آشنایی خواننده با الگوریتم های ارائه شده و معایب هر الگوریتم است که نیاز به الگوریتمی بهتر و کاربردی تر را نمایان میکند. مقالات بررسی شده در بازه ی زمانی ۱۹۹۷ -۲۰۱۳ می باشد که در این سالها ایده های زیادی مطرح شده که به چاپ رسیده است. سعی شده تا اطلاعات مورد نیاز در این فصل گنجاده شود. علاقه مندان می توانند برای دریافت جزئیات بیشتر به مرجع مورد نظر مراجعه کرده و اطلاعات را استخراج کند.

۲-۲-روش‌های پیشنهادی ارائه شده در سال‌های گذشته:

۲-۲-۱ روش پیشنهادی انجام شده با استفاده از شبکه عصبی:

در سال ۲۰۰۱ مقاله ای در مجله IEEE به چاپ رسید که از یک شبکه عصبی برای تصحیح اشباع ترانس جریان به دلیل خطاهایی که در سیستم قدرت اتفاق می افتد. در این کاربرد، شبکه عصبی آموزش داده شد تا اینکه تابع معکوس ترانس جریان را فراهم کند. در این الگوریتم شبکه عصبی خروجی های ترانس جریان را پردازش کرد تا یک تخمینی از ورودی (جریان اولیه)[۱] فراهم کند. اما این شبکه عصبی سیگنال های جریانی را که در اثر شار پس ماند خراب می شوند آموزش نمی بیند و فقط تغییر ثابت زمانی اولیه و تغییر زاویه خطا مورد توجه قرار گرفت. ماهییت شبکه عصبی به این گونه است که چیزی را می تواند به خوبی پیش بینی کند که آن را آموزش دیده باشد. همچنین این شبکه فقط برای بارهای مقاومتی آموزش داده شده و ضریب توان در نظر گرفته نشده است. در این مقاله برای پوشش دادن رنج دینامیکی بزرگی از جریان خطا از تکنیک کاربرد دو شبکه عصبی استفاده کرد. یک شبکه عصبی با جریان های خطا با دامنه کم آموزش داده شد و دیگری با جریان های خطا با دامنه بالا. در این مقاله از یک شبکه عصبی پیشرو با دو لایه مخفی که تعداد ۱۰ نرون[۲] برای لایه مخفی[۳] اول و تعداد ۶ نرون برای لایه مخفی دوم تعیین شد بطوریکه لایه ورودی شامل ۳۲ نرون و لایه خروجی شامل یک نرون می باشد. از تابع tansig برای توابع فعالسازی[۴] در هر دو لایه مخفی استفاده کرده و یک تابع خطی[۵] را در لایه خروجی قرار داد. این الگوریتم را به دلیل پوشش ندادن همه عوامل موثر در اشباع ترانس نمی توانیم به عنوان یک روش جامع در نظر بگیریم.[۲]

۱-primary current

۲-neuron

۳-hidden layer

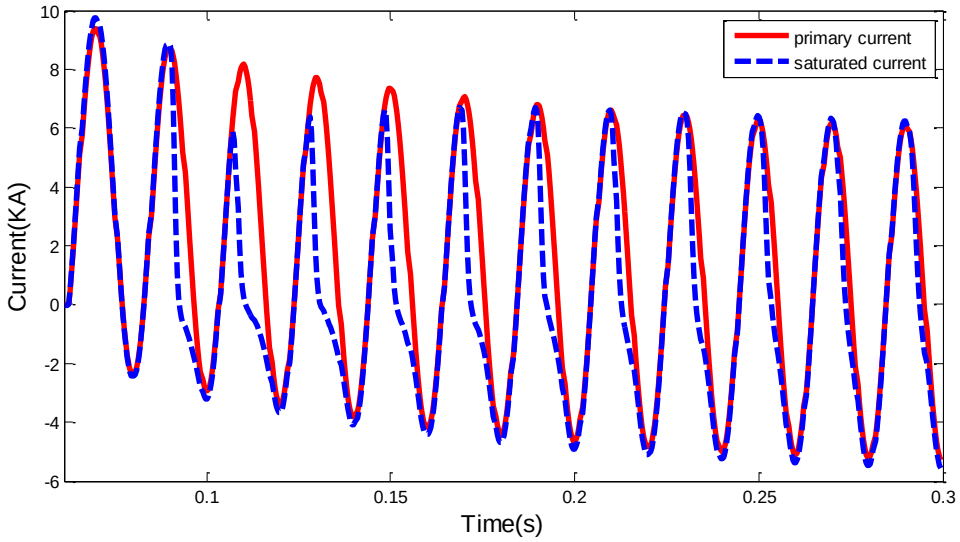
٤-activation function

٥-linear layer

در سال ۲۰۰۶ مدلی پیشنهاد شد که براساس آن نمونه هایی از سیگنال جریان برای به دست آوردن تابع انتقال معکوس ترانس جریان استفاده شد. در این الگوریتم از یک شبکه عصبی چند لایه برای آموزش تابع معکوس ترانس جریان استفاده شده است. شبکه عصبی چند لایه اطلاعات ورودی از پیش تعیین شده را جهت آموزش دریافت می کند. بر اساس منطق سعی و خطا و مورد آزمایش قرارگرفتن شبکه های عصبی فراوان بالاخره یک شبکه عصبی با ۳۰ نرون در لایه ورودی و یک نرون در لایه خروجی در نظر گرفته شد که ورودی های شبکه جریان نمونه برداری شده و نمونه های قبلی جریان هستند. از طرفی سرعت نمونه برداری ۲۰ نمونه در هر سیکل است. قابل ذکر است که فرکانس سیستم قدرت مطالعه شده ۵۰ هرتز است. ساختار شبکه استفاده شده شامل دو لایه مخفی است که لایه اول دارای ۱۲ نرون و لایه دوم دارای ۸ نرون می باشد. برای تمام شبکه تابع فعالسازی tansig و یک تابع خطی برای لایه خروجی در نظر گرفته شد. در بین الگوریتم های آموزشی که در نرم افزار MATLAB موجود می باشد در این مقاله از الگوریتم آموزشی marquardt-levenberg استفاده شد که نسبت به back-propagation سریعتر است.

به دلیل اینکه این الگوریتم بر اساس یکسری سیگنال های به دست آمده از سیستم قدرت شبیه سازی شده، شبکه عصبی را که قابلیت بالایی در یادگیری روابط غیر خطی و پیچیده بین ورودی و خروجی دارد به خوبی آموزش داد به نحوی که ماکزیمم خطای پیش بینی ٪۲،۵ برآورد شد ولی به دلیل زیر نمی توان به عنوان یک الگوریتم جامع از آن استفاده کرد. بطور کلی دو علت مهم در خراب شدن شکل موج جریان از حالت سینوسی وجود دارد یکی شار پس ماند موجود در هسته ی آهنی ترانس جریان است و دیگری بار ترانس جریان. هر چه شار پس ماند بیشتر و بردن ترانس جریان مقاومتی تر باشد و سهم القایی آن کمتر باشد خرابی شکل موج در وضعیت اشباع بیشتر است. اشکالی که در این الگوریتم وجود دارد بیشتر به بار القایی پرداخته که موجب خرابی کمتری در ترانس می شود. از آنجاییکه این شبکه دارای ۳۰ نرون ورودی است که ۲۰ نرون آن به داده ی نمونه برداری شده و ۱۰ نرون به نمونه های قبلی جریان تعلق دارد این حقیقت را نشان می دهد که باید ۳۰ نمونه جریان سالم که در پریود اشباع قرار ندارد. این شرایط فراگیر نیست چرا که با افزایش شار پس ماند و مقاومتی تر شدن بردن ترانس جریان وقوع اشباع در سیکل اول بعد

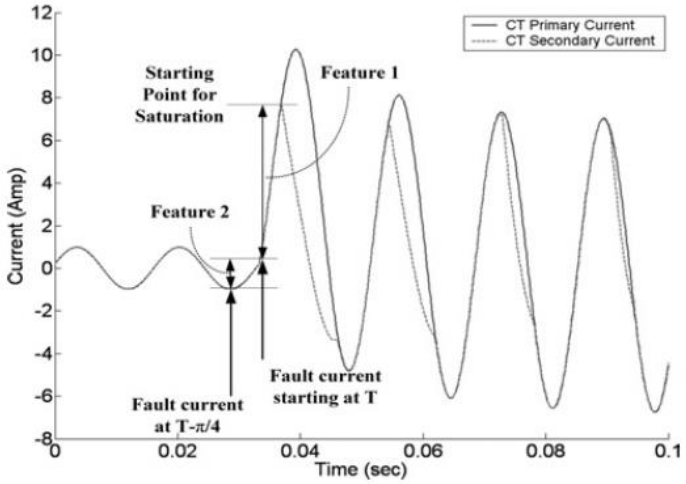
از وقوع خطا امریست اجتناب ناپذیر و هنگام وقوع این چنین اشباع سخت، این الگوریتم قادر به جبرانسازی شکل موج نخواهد بود. همانطوری که در شکل (۲-۱) مشخص است اشباع باید حداقل یک و نیم سیکل بعد از بروز خطا اتفاق بیفتد تا الگوریتم شروع به کار کند[۳]



شکل (۲-۱)

در سال ۲۰۰۸ با استفاده از تبدیل موجک و هوش مصنوعی جبرانسازی جریان خراب ثانویه ترانس جریان انجام شد. با استفاده از تبدیل موجک از شکل موج ویژگی[۱] استخراج کرده که در شکل(۲-۲) نشان داده شد.

۱-feature



شکل(۲-۲)

ویژگی اول تفاوت بین شروع جریان خطا در لحظه ی T و شروع جریان خطا در اولین دوره اشباع و ویژگی دوم بصورت تفاوت در جریان بین لحظه ی T برای وقوع خطا و لحظه $T-\frac{P}{4}$ برای جریان نرمال تعریف شد.یکی از اشکالات عمده شبکه های عصبی تحت نظارت زمان طولانی برای آموزش شبکه است. این مشکل می تواند به وسیله خوشه بندی داده های آموزشی به داخل چند خوشه بهبود یابد که در این الگوریتم از این تکنیک مفید استفاده کرده است. ابزار fuzzy-c-mean را برای خوشه بندی[۱] داده های آموزشی بکار برد. این ابزار کل داده های آموزشی را به ۹ خوشه متفاوت تقسیم کرد که برای هر خوشه یک شبکه عصبی در نظر گرفته شده که به صورت مجزا هر شبکه با داده های منحصر به خودش آموزش می بیند. هر شبکه مستعمل شامل ۱۷ نرون در لایه ورودی است که در ساختار این شبکه فقط یک لایه مخفی با ۱۰ نرون وجود دارد. سرعت نمونه برداری در این الگوریتم ۷۶۸۰ هرتز می باشد (یا دارای ۱۲۸ نقطه در هر سیکل). اگر همه‌ی ۱۲۸ نمونه در هر سیکل را به عنوان ورودی به شبکه عصبی اعمال کنیم شبکه خوب آموزش نمی بیند. از اینرو با اعمال ۱۷ داده نمونه برداری شده که عبارتند از (p-۱۲۸, ..., p-۱٦, p-۸, p) که

۱-clustering

حرف p اشاره می کند به p امین نقطه برای نمونه ها در زمان داده شده. اگر شبکه عصبی را به این نحو آموزش دهیم برای فعال شدن الگوریتم جبران سازی باید به اندازه یک سیکل منتظر بمانیم. شیوه ی آموزش این ۹ شبکه ی عصبی براساس الگوریتم پس انتشار است. شکل موج خروجی شبکه ی عصبی کاملا تصحیح شده نیست بلکه شبکه عصبی فقط یک جبرانسازی اولیه روی شکل موج خراب انجام می دهد. جبرانسازی نهایی با استفاده از قوانین فازی[۲] TSK است. خروجی داده ها از قوانین فازی، خروجی نهایی و تصحیح شده است.

با همه توضیحاتی که در رابطه با این الگوریتم داده شد دو مشکل عمده به چشم می آید. یکی در نظرنگرفتن شار پس ماند هسته آهنی ترانس که یکی از موثرترین عوامل اشباع ترانس است و دومی تاخیر زمانی است. تأخیر زمانی با این توضیح که چون ۱۷ داده ی نمونه برداری برای ورودی شبکه عصبی از ۱۲۸داده ی سیکل اول به دست می آید در نتیجه برای رسیدن به این ۱۷ داده باید یک سیکل تمام بشود سپس شبکه فعالیت خود را بطور نرمال دنبال کند.[۴]

۲-۲-۲-روش پیشنهادی ارائه شده با روش رگرسیون غیرخطی:

در سال ۲۰۱۰ روشی مشابه با مقاله قبلی برای جبرانسازی انجام شد. در این مقاله با استفاده از تبدیل موجک به استخراج ۵ ویژگی از سیگنال جریان پرداخته شد. که بر اساس این پنج ویژگی همه ی نمونه های جریان با استفاده از fuzzy-c-mean به ۴۲ دسته متمایز تقسیم شد. بطور انفرادی برای هر دسته یک فرمول رگرسیون غیر خطی بسط داده شد تا در مرحله اول جریان ثانویه ترانس جریان را که در اثر اشباع از حالت سینوسی خارج می شود را تصحیح کند. برای تصحیح نهایی سیگنال جریان از قوانین TSK استفاده

۲-Takagi-Sugeno-Kang

شد. ۵ ویژگی استخراج شده به قرار زیر است:

- ✓ زاویه شروع خطا
- ✓ تفاوت جریان بین لحظه τ و لحظه ی $\tau - \frac{T}{4}$
- ✓ تفاوت بین لحظه τ و لحظه $\tau + \frac{T}{128}$
- ✓ تفاوت در بین جریان ها در زمان τ و $\tau + \frac{2T}{128}$
- ✓ بار الکتریکی فعال

مشخصه جریان خطا می تواند با دو مؤلفه بصورت رابطه (۲-۱) تعریف می شود.

$$y = a_1 * e^{(-t*a_2)} + a_3 + \sin\left(2\pi ft + a_4\right)$$ رابطه(۲-۱)

بخش اول جریان dc کاهشی که بصورت نمایی که a_1 مؤلفه dc و a_2 ثابت زمانی است و بخش دوم جریان ac سینوسی که شامل a_3 دامنه و a_4 زاویه فاز است. نکته قابل توجهی که در این مقاله وجود دارد این است که جریان خطای حالت گذرا را بصورت رابطه (۲-۲)تعریف نمود.

$$y = a_1 * e^{(-t*f)} + a_3 + \sin\left(2\pi ft + a_4\right)$$ رابطه(۲-۲)

متغییر a_2 در رابطه (۲-۲) ثابت و برابر ۶۰ هرتز در نظر گرفته شد. از مقایسه دو رابطه(۳-۱) و (۳-۲) می توان نتیجه گرفت که اثر تغییر ثابت زمانی در شکل موج در نظر گرفته نشده وبا تغییرات محل خطا که نسبت xبه R تغییر می کند مد نظر قرار نگرفته است.[۵]