19th International Power System Conference
نوزدهمین کنفرانس بین المللی برق
PSC 2004
98-F-TRN-673

تشخیص خطاهای عایقی ترانسفورماتور
با استفاده از آنالیز گازهای محلول در روغن به کمک شبکه عصبی ـ فازی

محمد میرزایی[۱و۲] احمد غلامی[۱] محمد فرخی[۱]
(۱) دانشکده برق- دانشگاه علم و صنعت ایران
(۲) دانشکده فنی بابل- دانشگاه مازندران
تهران - نارمک - دانشگاه علم و صنعت ایران- دانشکده برق- فاکس:۷۴۵۴۰۵۵

کلمات کلیدی : ترانسفورماتور ،گاز کروماتوگرافی، شبکه عصبی، منطق فازی

چکیده

یکی از مهمترین ابزار در تشخیص و آشکارسازی خطاهای داخلی ترانسفورماتور ، آنالیز گازهای محلول در روغن یا آزمایش گاز کروماتوگرافی روغن می باشد. در ترانسفورماتورها تحلیل و تفسیر نتایج حاصل از توزیع تولید این گازها بیانگر نوع خطا و شدت آن می باشد.در این مقاله ،انواع خطاهای داخلی ترانسفورماتور و روش کلی تشخیص آنها با توجه به میزان گازهای متصاعد شده و همچنین ارتباط بین گازهای تولیدی و درجه حرارت روغن بررسی می شوند.سپس مطابق استانداردهای معتبر، از روش آنالیز گازهای محلول در روغن ،استفاده شده وخطاهای داخلی ترانسفورماتور با اطلاعات بدست آمده از ترانسفورماتورهای معیوب، به کمک روش های هوشمند فازی و عصبی تشخیص و با یکدیگرمقایسه می شوند.

#

۱) مقدمه

ترانسفورماتورهای موجود در سیستم قدرت، یکی از عناصرمهم و گران قیمت بوده که عملکرد صحیح و بدون وقفه آن امری ضروری تلقی می گردد. در یک شبکه قدرت، تعدد زیاد ترانسفورماتورها ، بهره برداری نا صحیح و نامرتب و همچنین عوامل سو ،گاها منجر به مشکلات حاد برای ترانسفورماتورها می شود.

بدون شک ترانسفورماتورها ، تحت تاثیر عوامل سوء ، قرار داشته بطویکه این عوامل می توانند باعث آسیب رساندن و کاهش طول عمر ترانسفورماتوربشود.بیشترین خطای ترانسفورماتور که باعث خروج آن از شبکه می شود، تضعیف خاصیت عایقی داخلی آن می باشد.این خطاها می توانند خسارات زیادی را به بار آورده و گاها موجب توقف ترانسفورماتور و صرف هزینه های مضاعفی برای شرکت های برق بشود.بنابراین اطمینان لازم در عملکرد صحیح و مداوم

ترانسفورماتورها امری ضروری در یک سیستم قدرت مدرن محسوب می گردد. در شبکه های قدرت پیشرفته،جهت جلوگیری از ایجاد هرگونه مشکل در حین بهره برداری و یا احیانا خروج ترانسفورماتورها از سرویس،می بایست نگهداری و بازرسی های لازم بر روی عملکرد هر یک از اجزای آن صورت پذیرد. یکی از تکنیک های مرسوم جهت پیش بینی آثار مخرب ناشی از تنش های الکتریکی ، حرارتی و مکانیکی که با تولید گازهای محلول همراه است،آنالیز گازهای متصاعد شده از روغن و یا روش گاز کروماتوگرافی است. در طی تنش های مذکور ،ضمن افزایش احتمال شکست عایق روغن و کاغذ ، گازهای مختلفی از آنهامتصاعد می شود که اگر میزان آن از حد معینی تجاوز نماید،حتی می تواند باعث انفجار ترانسفورماتور نیز گردد.لذا با توجه به موارد فوق، تست های عایقی و الکتریکی ،همچون اندازه گیری مقاومت های DC و AC ، تخلیه های جزئی،ضریب تلفات عایقی ،استقامت الکتریکی و همچنین تست های شیمیایی نظیرتجزیه گازهای روغن و میزان حجم آب در آن، می توانند اطلاعات بسیار مفیدی را برای تشخیص خطای ترانسفورماتور ارائه دهند.تا کنون با روش های گوناگون واستفاده از تئوری فازی جهت تشخیص عیوب ترانسفورماتور کارهایی انجام گردیده است [۱و۲و۳و۴و۸] . در[۷] نیز با استفاده از آنالیز گازهای محلول در روغن یک ترانسفورماتور نمونه و به کمک جدول استاندارد،عیب داخلی ترانسفورماتور مذکور ، تشخیص داده شده است.

در این مقاله ، انواع خطاهای داخلی ترانسفورماتور و علل ایجاد کننده آن و همچنین تشخیص آنها مورد بررسی قرار گرفته است.همچنین با استفاده از استاندارد IEC مرتبط با آنالیز گازهای محلول در روغن و با توجه به نسبت گازهای مختلف، ضمن طراحی شبکه های هوشمند عصبی و فازی عیوب مختلف داخلی ترانسفورماتور تشخیص داده شده است. بطوری که با پیاده سازی آن بر روی اطلاعات نمونه ای ،تشخیص عیوب انجام و نتایج با یکدیگر مقایسه می شوند.

۲) بررسی خطاهاوگازهای تولیدشده در ترانسفورماتور

بطورکلی خطاهایی که‌امکان‌دارد در یک ترانسفورماتورها رخ دهد را می توان به صور زیرطبقه بندی نمود:

۲-۱)خطاهای حرارتی

همانطور که می دانیم عمده عایق ترانسفورماتور روغن و کاغذ می باشد.عایق روغن ترانسفورماتور در دماهای ۵۰۰-۱۵۰ درجه سانتی گراد تجزیه شده و متناسب با دما، گازهایی با وزن مولکولی کم (نظیر هیدروژن و متان)وهمچنین با وزن مولکولی زیاد(نظیر اتیلن و اتان) را تولیدمی نماید.لذا با تجزیه حرارتی روغن و همچنین تجزیه حرارتی کاغذ سلولز و دیگر عایق های جامد ،مونواکسید کربن ، دی اکسید کربن و قطرات آب نیز در دماهایی کمتر از دمای تجزیه روغن و متناسب با دما تولید می شود. از طرفی عایق کاغذ در مقایسه با روغن در دماهای پائین تری خاصیت عایقی آن افت نموده و در دماهای معمول نیز گازهایی از آن استخراج می شود.

نکته قابل توجه این که نسبت دی اکسیدکربن به مونواکسیدکربن تولیدی در آن می تواند نشان دهنده تجزیه حرارتی‌سلولزباشد که این نسبت بطور عادی بیشتر از ۷ است.

۲-۲)خطاهای الکتریکی بهمراه تخلیه با شدت کم

تخلیه های با شدت کم همچون تخلیه های الکتریکی و جرقه های کم انرژی ، گاز هیدروژن بهمرا ه مقدار کمی متان تولید می نماید.همچنین شدت این تخلیه ها می تواند اتیلن را نیز افزایش دهد.

۲-۳)خطاهای الکتریکی بهمراه تخلیه با شدت بالا

شدت تخلیه های الکتریکی ، جرقه یا دشارژهای ممتدی را می تواند در دماهایی از ۷۰۰ تا ۱۸۰۰ درجه سانتی گراد بهمراه گاز استیلن ایجاد نماید.

با توجه به موارد مذکور، ترکیب کاغذ/ روغن در ترانسفورماتورها، تحت تاثیر تنش های حرارتی یا الکتریکی ، می توانند گازهای مختلفی را با مکانیزم های خاص تولید کنند. تحت این شرایط، مولکول های هیدروکربنی روغن

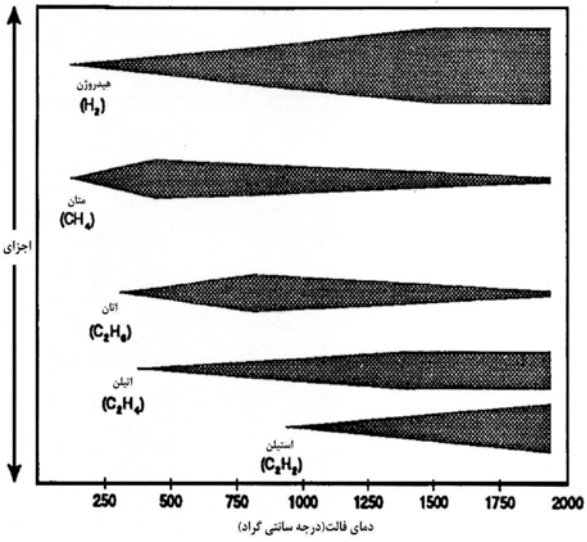
معدنی، تجزیه شده و به شکل هیدروژن و دیگر انواع هیدروکربنها درمی آیند که اینها می توانند با یکدیگر ترکیب و گازهایی همچون، هیدروژن (H_2) ، متان (CH_4) ، اتان (C_2H_6) ، اتیلن (C_2H_4) ، استیلن (C_2H_2) و غیره تولید نمایند. نکته قابل توجه این که مقادیر هر یک از آنها منحصرا به دما در نزدیکی نقطه تنش بستگی دارد. هالستد (Halstead) مدل ترمودینامیکی را برای تشریح ارتباط میان دمای خطا و مشخصات نوع گاز متصاعد شده، پیشنهاد کرد که مطابق آن فرض می شود که همه گازهای هیدروکربنی تولیدی در روغن بصورت یکسان ، تجزیه و هر تولید با دیگر تولیدات در حالت تعادل باشد.مطابق این مدل، نرخ ایجاد هر گاز در هر دمایی، محاسبه و رابطه ای میان گاز تولیدی و دمای روغن وجود خواهد داشت. شکل (۱) ارتباط میان نرخ تولید گازها و دما را نشان می دهد.

با توجه به موارد فوق، با استفاده از روش های DGA (Dessolved Gas Analysis)که در قسمت های بعدی بدان اشاره خواهد شد، می توان بطور نسبتا مطمئنی، خطا های ترانسفورماتور را تشخیص داد.

همچنین انهدام عایق جامد ترانسفورماتور می تواند مطابق مقدار و نرخ گازهای مونواکسید کربن و دی اکسید کربن محلول در روغن، تشخیص داده شوند. این گازها با افزایش دمای روغن در حدود بیش از ۱۵۰ درجه سانتی گراد ایجاد می شوند. بهرحال، میزان این گازها به علت آن که خود می توانند در اثر اکسیداسیون حرارتی طولانی مدت روغن نیز ایجاد گردند نمی تواند روش مناسبی برای تشخیص خطاهای سلولزی باشند. تحقیقات نشان داده است که این گازها، پس از تولید، می توانند در عایق کاغذی ، نفوذ کرده و باعث تغییر میزان آن برای اندازه گیری شود. جدول(۱)میزان گازهای تولیدی در ترانسفورماتور را بهمراه خطاها و مشکلات داخلی آن ،نشان می دهد. لذا با توجه به موارد فوق الذکر،عمده خطاهای ترانسفورماتورها می توانند به علت جرقه های الکتریکی ، کرونای الکتریکی و افزایش دمای کاغذ و روغن ایجاد شوند.لذا درجدول(۲) این خطاها با توجه به عوامل ایجادکننده نشان داده شده است[۵].

لذا به نظر می رسد که، تجزیه و تحلیل گازهای متصاعد شده در ترانسفورماتورهامی تواند فوائد زیر را به همراه داشه باشد:

- هشدار هوشمندانه در خصوص توسعه خطا
- بررسی وضعیت ترانسفورماتورهای جدید و تعمیر شده
- نظارت بر روی ترانسفورماتورهای تحت بار
- تشخیص قسمت های معیوب
- تنظیم جدول برنامه ریزی برای تعمیرات



شکل(۱): ارتباط بین میزان گازهای تولیدی در ترانسفورماتور با درجه حرارت

۳)روش های تشخیص خطای ترانسفورماتور

در تعیین نوع خطای داخلی ترانسفورماتورها،روش های متنوعی وجود دارد که هر یک بر اساس میزان گازهای متصاعد شده از روغن،عیب داخلی ترانسفورماتور را مشخص می کنند.یکی از این روش ها که بطور عموم نیز ازآن استفاده می گردد،استفاده از تکنیک مجموع گازهای قابل احتراق(TCG) یعنی اتان ،متان،استیلن،مونواکسید کربن و هیدروژن است .این روش دارای سرعت عمل بالا بوده و می‌تواند وضعیت ترانسفورماتور را بطور مستمر کنترل نماید.

جدول(۱):میزان گازهای استخراج شده در ترانسفورماتورها با توجه به خطای مربوطه

توضیحات	**گازهای ایجاد شده**
عملکرد نرمال ترانسفورماتور آب بندی شده	بیشتر از ۵٪نیتروژن یا مقدار کمی اکسیژن
بررسی محکم بودن آب بندی ترانسفورماتور	مقداری نیتروژن بیش از ۵٪ مقداراکسیژن
افزایش بار ترانسفورماتور و یا گرم شدن آن ،شکست سلولز	***نیتروژن،دی اکسید کربن یا مونواکسید کربن و یا همه گازها***
تخلیه کرونا،الکترولیز آب یا زنگ زدگی	نیتروژن و هیدروژن
تخلیه کرونا با وجود سلولز یا افزایش بار ترانسفورماتور	نیتروژن، هیدروژن ،دی اکسیدکربن و مونواکسیدکربن
جرقه یا دیگر خطاهای کوچک به علت شکست عایق روغن	نیتروژن، هیدروژن ،متان بهمراه مقادیر کمی اتان و اتیلن
جرقه یا دیگر خطاهای کوچک با وجودسلولز	نیتروژن ، هیدروژن، متان توام با دی اکسید کربن ، مونواکسید کربن و مقادیر کمی هیدروکربن ها (معمولا استیلن وجود ندارد.)
جرقه با انرژی زیاد توسط تنزل شدید استقامت عایقی روغن	نیتروژن توام با هیدروژن زیاد و دیگر هیدروکربن ها همچون استیلن
جرقه با دمای بالادر نقاط مختلف روغن،اتصالات ناقص یا اتصال کوتاه های حلقه به حلقه	نیتروژن توام با مقدار زیادی هیدروژن ،متان ،مقدار زیادی استیلن
همانند قسمت قبل به جز جرقه در سلولز	همانند قسمت قبل به غیر از دی اکسید کربن و توام با مونواکسیدکربن

جدول(۲):خطاهای مهم ایجاد شده در ترانسفورماتور و عوامل ایجاد کننده آنها

خطا ها / **عامل ایجاد کننده**	**جرقه**	**کرونا**	**افزایش دمای سلولز**	**افزایش دمای روغن**
اتصال کوتاه حلقه به حلقه سیم پیچی	✱		✱	
مدار باز بودن سیم پیچ	✱		✱	
عمل کردن LTC	✱			
مشکل سیم پیچی		✱	✱	
مشکل هادی		✱	✱	
شل بودن در اتصال به ترمینال های بوشینگ،هادی های تپ، برد های ترمینال	✱	✱	✱	
رطوبت خارجی یا وجود آب در روغن	✱	✱		
اجزای فلزی شناور	✱	✱		
اتصال شل برای حفاظ های کرونا		✱		
شل بودن نگهدارنده ها (Collars)،اسپیسرها،تسمه های (straps) زمین کننده هسته،		✱		
خطای کامل (Through fault)			✱	
اضافه بار			✱	✱
خسارت به عایق پیچ یوغ				✱
زنگ زدگی یا دیگرخسارت به هسته				✱
خسارت به shunt packs در تانک				✱
گرفتگی مسیر گردش روغن				✱
عمل کردن ناقص سیستم خنک کننده				✱

روش دیگر روش دورننبرگ است.مطابق این روش از نسبت بین دو نرخ گازی که در محورهای لگاریتمی ترسیم گردیده ،استفاده و به کمک نسبت های گازی،نوع خطا تشخیص داده می شود.روش سوم،روش گازهای کلیدی است که با توجه به میزان درصد هر گاز،نوع خطای متناظر با آن تشخیص داده می شود و روش چهارم که روش نسبت راجرز است از نسبت گازهای مختلف ،نوع عیب تشخیص داده می شود .

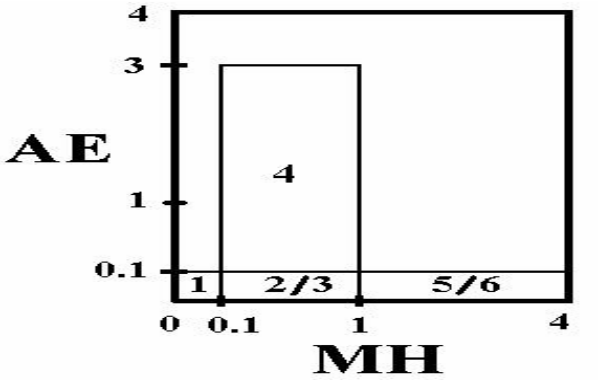
لذا با توجه به روش های موجود در تجزیه و تحلیل گازهای استخراجی در هنگام خطا،می توان از هر روشی بدون هیچگونه شک و شبهه ای مطابق با نیاز و سلیقه شخصی بهره گرفت.لیکن برخی از این روش ها با توجه به مسائل بیشتری ،می تواند عیوب را تشخیص دهد.

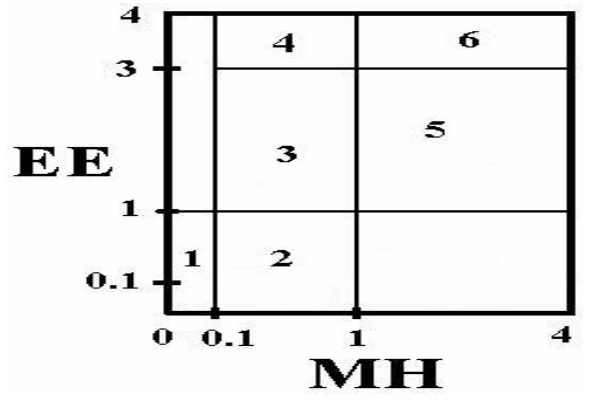
۴) طراحی شبکه های هوشمند عصبی و فازی جهت تشخیص خطا

از آنجایی که تشخیص خطا،با استفاده از آنالیز گازهای محلول در روغن مشکل می باشد، لذا می توان با استفاده از تجربه شخص خبره جهت تشخیص خطا استفاده نمود. در این راستا می توان از منطق فازی و همچنین شبکه های عصبی برای اهدافی که نامعین می باشند بهره گرفت. این روش های تشخیص،نسبتا دارای دقت بالایی بوده که می تواند با استفاده از تجربه شخص آگاه صورت پذیرد. لذا از روش نسبت راجرز که نسبت های گازی و تشخیص نوع عیب آن در شکل(۲)نشان داده شده است، استفاده گردیده بطوری که با طراحی مناسب شبکه های هوشمند می توان خطای ترانسفورماتور را تشخیص داد[۶و۸].

۴-۱)شبکه هوشمند فازی

با توجه به موارد فوق الذکر و مشکل آشکارسازی انواع خطاها، از نظریه منطق فازی برای تشخیص عیب ترانسفورماتور استفاده شده است.در یک مجموعه فازی برای هر متغیری ،تابع عضویتی تعریف می شود که هر عضوی با درجه ای و با مقادیر پیوسته از ۰ تا ۱ ارزش گذاری می شود.درجه تابع عضویت می تواند اطلاعات نامشخص یا کیفی را به اطلاعات کمی تبدیل کند.یکی از مزایای این سیستم،قابلیت بکارگیری نشانه های زبانی برای متغیرها است، بطوری که با بکارگیری آنها،تفسیر معنی داری از مشکلات نشان داده می شود.بهرحال قواعد مورد استفاده می تواند به کمک جداول و روش های مختلف استخراج شود.





۱-تخلیه جزئی
۲-شرایط نرمال
۳-درجه حرارت پائین(کمتر از ۱۵۰ درجه سانتی گراد)
۴-جرقه
۵-درجه حرارت متوسط
۶- درجه حرارت زیاد(بیشتر از ۷۰۰ درجه سانتی گراد)

شکل(۲): نواحی نسبت راجرز

لذا در این مقاله برای طراحی و پیاده سازی سیستم تشخیص خطای ترانسفورماتورها، متغیر های ذیل تعریف گردیده است:

$$MH = \frac{CH_4}{H_2}$$

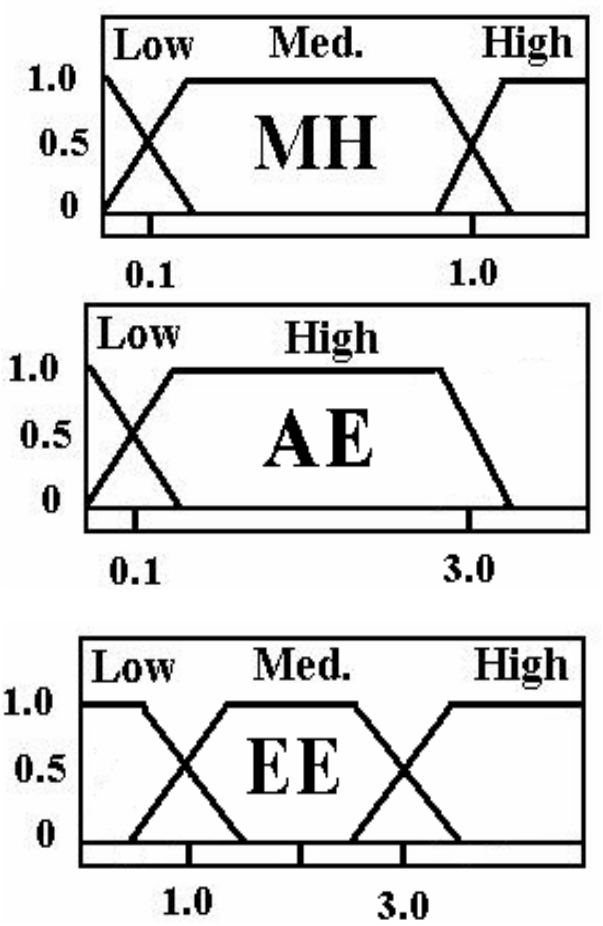
$$AE = \frac{C_2H_2}{C_2H_4}$$

$$EE = \frac{C_2H_4}{C_2H_6}$$

با توجه به نقاط و محدوده های مختلف برای نسبت گازها که در شکل(۲) نشان داده شده، مشخص است که برای هر خطایی یک محدوده وجود دارد و از روی آنها می توان ۶ نوع عیب ترانسفورماتور را تشخیص داد. از این شکل مشخص است که نسبت های گازی دارای مرزهایی در نقاط ۰/۱ ، ۱ و ۳ می باشند به طوری که در نسبت های گازی مرزی و در حد مقادیر آستانه فوق، ممکن است تفسیر خطا به درستی صورت نگیرد و یا به عبارتی تشخیص خطا با دقت کمتری انجام شود. حال پر واضح است که روش فازی می تواند به عنوان ابزاری مفید ،ارزش خود را نمایان سازد و محدودیت های فوق را برطرف کند.

لذا برای تشخیص خطا می توان نواحی مختلفی را تعیین و متغیرهای واقعی را بصورت متغیرها یاکمیت های زبانی کوچک’low’ ، متوسط’medium’ ،بزرگ ’high‘ تعریف نمود. در شکل(۳) این توابع عضویت برای سه متغیر ورودی سیستم فازی نشان داده شده است.

در این قسمت از تجربه شخص خبره که مطابق استاندارد ارائه شده است، استفاده می گردد.حال با توجه به اطلاعات شخص خبره ، این اطلاعات به صورت عبارتهای فازی و در قالب اگر...آنگاه بیان می گردد. از آن جایی که در عمل، عواملی همچون زمان بارگیری ، نوع ساختار ترانسفورماتور، حجم روغن و همچنین شرایط محیطی بر مقادیر حاصل از DGA موثراست، لذا می توانند بر تشخیص عیب موثر باشند.بنابراین برخی از نتایج DGA ،خارج از محدوده تشخیص، قرار می گیرد. با توجه به جدول(۳) و همچنین با توجه به سه متغیر ورودی و از طرفی با توجه به محدوده مشخص شده آنها در توابع عضویت ورودی، ۱۸ قاعده تصمیم گیری می توان تصور کرد.لیکن با توجه به واقعیت های عملی و استاندارد، ۶ حالت ممکن برای تصمیم گیری وجود دارد.



شکل(۳):توابع عضویت سه متغیر ورودی سیستم فازی

در طراحی سیستم فازی بکار رفته در این مقاله از موتور ااستنتاج ممدانی ـ حداقل، فازی گر تکین و فازی زدای میانگین‌مرکزاستفاده‌شده است. در جدول(۳) کدهای تشخیص نسبت راجرز ، برای متغیرهای فازی نشان داده شده است.

		EE=Low	EE=Medium	EE=High
MH=Low	AE=Low	۱	N	N
	AE=High	N	N	N
MH=Medium	AE=Low	۲	۳	N
	AE=High	N	N	٤
MH=High	AE=Low	N	٥	٦
	AE=High	N	N	N

جدول(۳):دسته بندی خطاهای نسبت راجرز با توجه به متغیرهای فازی(پایگاه قواعد فازی)

– مواردی که با N مشخص شده است، در این روش تعریف نشده اند

تعدادی از قواعد فازی جدول (۳) در ذیل آمده است:

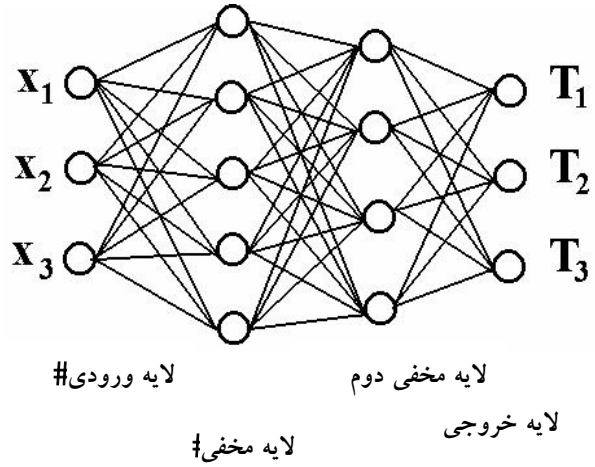
- IF AE=Low and MH=Medium and EE=Low Then (شرایط نرمال)
- IF AE=Low and MH=High and EE=Medium Then (درجه حرارت متوسط کمتر از ۷۰۰ درجه سانتی گراد)

۴-۲) شبکه هوشمند عصبی مصنوعی

ساختار شبکه عصبی از مغز انسان الهام گرفته شده است که دارای قابلیت یادگیری و حل مسئله پیچیده ، غیرخطی و همچنین مسائلی که دارای الگوریتم خاصی نبوده ولی اطلاعات مفید و مهمی از آنها در دسترس است، می باشند.یکی از این موارد،آنالیز گازهای محلول در روغن با توجه به نسبت های گازی می باشد که در این مقاله بدان اشاره شده است.از آنجایی که این مسئله را نمی توان با الگوریتم خاصی تشخیص و همچنین به تجربه شخص خبره نیز وابسته است،می توان از شبکه عصبی مصنوعی برای حل آن استفاده نمود.

در این راستا و جهت شبیه سازی ، از شبکه های عصبی پرسپترون چند لایه (MLP) با الگوریتم تعلیم پس انتشار خطا که دارای قابلیت طبقه بندی الگوها،همچون تشخیص عیب در نواحی مختلف است ،استفاده گردیده است. همچنین برای هر عیب ،یک کد شناسایی مطابق جدول (۴)در نظر گرفته شده است. برای این شبیه سازی از جعبه ابزار شبکه عصبی نرم افزار MATLAB6.5 استفاده شده که توپولوژی شبکه عصبی طراحی شده در این مقاله در شکل(۴)نشان داده شده است.

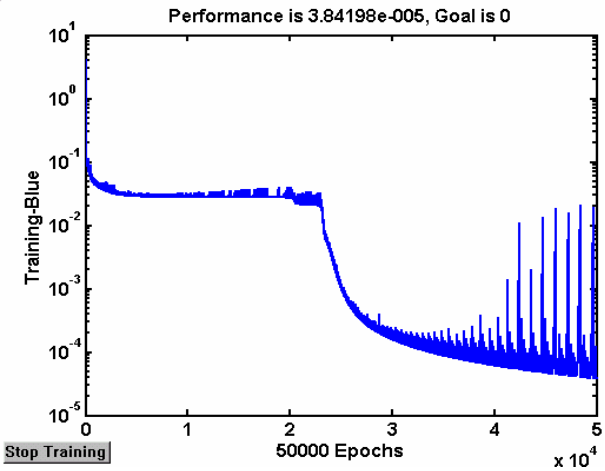
در طرح این شبکه، از دو لایه مخفی و یک لایه خروجی، با توپولوژی [۳ ۴ ۵] که دقت آن پس از ۵۰۰۰۰ بار دوره تعلیم ،دارای مجموع مربعات خطای شبکه طراحی شده ۰/۰۰۰۰۳۸۴۲ است، استفاده شده است.نمودارمجموع مربعات خطا در شکل(۵) نشان داده شده است.



شکل(۴):توپولوژی شبکه عصبی طراحی شده

کد شناسایی در شبکه عصبی طراحی شده	شماره عیب طبق شکل(۲)
[■■■]	۱
[■■■]	۲
[■■■]	۳
[■■■]	۴
[■■■]	۵
[■■■]	۶

جدول(۴):کد شناسایی عیب در شبکه عصبی مصنوعی طراحی شده



شکل(۵):مجموع مربعات خطا پس از ۵۰۰۰۰ بار دوره تعلیم شبکه طراحی شده

۵) پیاده سازی سیستم های طراحی شده فازی و عصبی بر روی اطلاعات نمونه

در این قسمت ،جهت بررسی صحت و دقت نتایج بدست آمده و همچنین مقایسه روش های هوشمند فازی و عصبی طراحی شده از نتایج تست های گاز کروماتوگرافی روغن ترانسفورماتور برخی مقالات ،استفاده و برای پیاده سازی و مقایسه آنها بکار گرفته شده است.از آنجایی که اطلاعات عملی زیادی وجود ندارد که به کمک آن بتوان سیستم طراحی شده این مقاله را با آن مقایسه نمود،در ذیل با توجه به برخی اطلاعات عملی و تجربی و یا پیش بینی ،جهت تشخیص عیب استفاده گردیده که در جدول (۵) آمده است.

جدول(۵):نتایج گاز کروماتوگرافی و تست شبکه های هوشمند طراحی شده
الف)نتایج گاز کروماتوگرافی و نسبت گازها
ب)پیاده سازی نتایج جدول (الف)برای تست شبکه های طراحی شده

(الف)

		مقادیر گازها بر حسب ppm					نسبت گازها		
مرجع	ردیف	CH_4	H_2	C_2H_2	C_2H_4	C_2H_6	MH	AE	EE
[۱]	۱	۵۸۴	۲۶۶	۱	۸۶۲	۳۲۸	۲/۱۹۵	۰/۰۰۱	۲/۶۲۸
[۲]	۲	۳۳۴	۱۷۲/۹	۳۷/۷	۸۱۲/۵	۱۷۲	۱/۹۳۲	۰/۰۴۶	۴/۷۲۴
[۷]	۳	۲۶	۲۱۹	۰	۸	۲۷	۰/۱۲	۰	۰/۳
[۷]	۴	۲۵	۱۳۷	۰	۱۸	۱۱	۰/۱۸	۰	۱/۶۴
[۷]	۵	۰	۱۵۳	۰	۴/۱۵	۵	۰	۰	۰/۸۳

(ب)

	نتیجه عیب			
ردیف	واقعی	با استفاده از منطق فازی	شبکه عصبی طراحی شده	پاسخ مطلوب شبکه عصبی
۱	خطاهای حرارتی دمای خیلی بالا	عیب ۵	[۰/۰۰۵ ۰/۰۰۱ ۱/۰۰۱۵]	عیب [۱۰۰]
۲	خطاهای حرارتی دمای خیلی بالا	عیب۶	[۱/۰۱۳۹ -۰/۰۰۳۱ ۱/۰۰۱۵]	عیب [۱۰۱]
۳	*	عیب۲	[-۰/۰۰۰۸ ۰/۰۰۴۲ ۰/۳۵۶۱]	عیب [۰۰۰]
۴	*	عیب ۳	[-۰/۰۰۱۶ ۱/۰۰۶۳ -۰/۰۰۷۵]	عیب [۰۱۰]
۵	*	عیب ۱	[۰/۰۰۰۴ ۰/۰۱۲۰ -۰/۰۶۹۱]	عیب [۰۰۰]

درمرجع[۷] که در جدول(۵) به آن اشاره شده، مطالعه ای بر روی ترانسفورماتور نیروگاه نکا انجام شده است. به استناد این مقاله که با استفاده از جدول نسبت راجرز و آزمایشات مختلف انجام شده بر روی ترانسفورماتور ،افزایش تدریجی گاز در داخل ترانسفورماتور و افزایش دما پیش بینی شده بود ، که پس از سالیان بعد و تعمیر آن به عیبی که از آن سالها به کمک این جدول پیش بینی گردید،پی برده شد. در جدول (۵) مطابق موارد فوق، علامت ✱ بر مبنای این موضوع بوده و پاسخ های حاصله از روش های انجام شده در این مقاله ، موارد[۷] را نیز تایید می نماید.

همانطور که از جدول فوق مشخص است تشخیص عیب ها و نتایج حاصل از شبکه طراحی شده عصبی و فازی ،جز در مورد ردیف (۳) برای هر دو یکسان است. لذا با این شبکه های هوشمند و با طراحی مناسب آنها می توان بطور نسبتا دقیقی عیوب داخلی ترانسفورماتور را تشخیص داد.

۵) نتیجه

در این مقاله، خطاهای داخلی ترانسفورماتور ، چگونگی و میزان تولید گاز و همچنین ارتباط آن با دما تشریح گردید. اما از آنجایی که می توان از روش های هوشمند مختلفی برای اهداف مشکوک استفاده نمود ،در این مقاله با طراحی شبکه عصبی مناسب و همچنین به کمک منطق فازی ،مطابق استاندارد معتبر، تشخیص عیوب عایقی مهم ترانسفورماتورها انجام گرفت و نتایج با یکدیگرمقایسه گردید.با توجه به نتایج حاصله و همچنین قیود اولیه، روش فازی پاسخ دقیق تری را ارائه نموده است.لیکن از آنجایی که بدست آوردن قواعد فازی گاها مشکل و دشوار است اخیرا بیشتر از روش شبکه های عصبی برای تشخیص حالات مختلفی همچون موضوع مورد بحث در این مقاله، استفاده می گردد.

مراجع

[1] S.M.Islam, T.Wu and C.L.Huang, “A novel fuzzy logic approach to transformer fault diagnosis”, IEEE Trans. On Dielectric and Electrical Insulation, Vol.7, No.2, April 2000

[2]G.Zhang,K.Yasuoka and S.Ishii,” Application of fuzzy equivalent matrix for fault diagnosis of oil-immersed “, proc. Of 13th international conference on dielectric liquids ICDL’99, Nara, Japan, July 20-25, 1999

[3] Ning Gao, Zhang Yan. ,”New approach on comprehensive diagnosis of insulation faults in power transformer “High voltage institute,Helsinki University of Technology & High voltage division, School of Electrical Engineering Xi’an Jiaotong University.

[۴] منصور رفیعی ،’ تشخیص عیوب ترانسفورماتورهای قدرت از طریق تحلیل نتایج حاصل از آنالیز گازهای محلول در روغن با استفاده از منطق فازی’ ، دهمین کنفرانس مهندسی برق ایران، جلد چهارم، صفحه۲۸۲-۲۷۶ ، ۱۳۸۱

[5] British Standards Institution, The interpretation of the analysis of gases in transformers and other oil-filled electrical equipment in service,London.BS 5800,1979. (IEC599: 1978) 1999

[6] IEEE Std C57.104-1991. IEEE guide for the interpretation of gases generated in oil-immersed transformers, New York: IEEE Press,1992

[۷] جواد روحی و منوچهر جباری ،’اثر تصفیه روغن بر روند تشخیص عیب در حال تکوین در ترانسفورماتورهای قدرت ’ ، هفدهمین کنفرانس بین المللی برق،آبان ۱۳۸۱

[۸] محمد فرخی ،احمد غلامی و محمد میرزایی،’ تشخیص خطاها و میزان خاصیت عایقی سلولز در ترانسفورماتورها با استفاده از منطق فازی’ ، یازدهمین کنفرانس مهندسی برق ایران ، جلد چهارم ، صفحه ۳۱۱-۳۰۱ ، ۱۳۸۲