خطا یابی فازی ترانسفورماتور به روش گازکروماتوگرافی و معرفی نرم افزارتحلیل گر

آرش رحیم زاده خوشرو
کلینیک ترانسفورماتور پارس

واژه های کلیدی : GC، گازهای محلول در روغن ترانسفورماتور. منطق فازی، نرم افزار تحلیل گر

چکیده:

مطالعه منظم و مستمر بر روی تعداد زیادی از ترانسفورماتورها، به تجربه نشان داده است که تجزیه و تحلیل گازهای قابل احتراق محلول در روغن (گازکروماتوگرافیGC) اطلاعات مهمی را از وضعیت ترانسفورماتورهای در حال بهره برداری در اختیار می‌گذارند. آزمایش گازکروماتوگرافی فقط بر مبنای گازهای استخراج شده از روغن (به روش خلاء و یا استریپر) و روند رشد آنها در چند مرحله آزمایش پی در پی قابل قبول و تجزیه و تحلیل می‌باشند.

کلیه تکنیکهای هوش مصنوعی به منظور تحلیل عیوب ترانس از روش DGA استفاده می کنند. در این پروسه اغلب پیدا کردن رابطه ای بین اجزای ترانس، نوع عیب و دلایل بروز عیب کار دشواری است و عیوب معمولا در طول زمان ناشناخته باقی می مانند. برای جلو گیری از این گونه مشکلات و زیر نظر گرفتن دقیق تر وضعیت ترانسفورماتور، می توان از منطق فازی استفاده کرد. نرم افزار های متعددی برای این منظور طراحی شده اند که با استفاده از تکنیکهای هوش مصنوعی، منطق فازی، تکیه بر Data base موجود از سوابق تستهای پیشین انجام شده بر روی ترانسفورماتور و سایر مشخصات ترانس، وضعیت ترانسفورماتور را تحلیل می کنند. نرم افزار موجود با استفاده از تکنیکهای هوش مصنوعی و بهره گیری از یک Data base جامع به منظور تحلیل وضعیت ترانسفورماتور در ایران طراحی و پیاده سازی شده است. که در ادامه به آن اشاره خواهد شد.

Transformer Fault Diagnosis Using Fuzzy Logic Interpretations

Rahimzadeh khoshrou Arash
Arash_khoshrou@yahoo.com
I.R Iran

Azad University (Tehran – Jonoob)

Key Words : GC – TOGA 5.5 Software - Fuzzy Logic Interpretations

ABSTRACT

The power transformer is one of the main components in a power transmission network. Major faults in these transformers can cause extensive damage, which do not only interrupt electricity supply but also result in large revenue losses. Due to the large number of transformers of different makes and capacities, routine maintenance and diagnosis of such transformers, even using foreign consultants, are rather difficult as different transformers exhibit different characteristics and problems. Moreover, different climatic and operating conditions may not be able to draw the correct conclusion to some problems.

To help in overcoming such problems, a software is currently being developed called "TOGA 5.5" for the interpretation of the Dissolved Gas Analysis (DGA) performed on the transformers using the technique of fuzzy logic. The first phase of the project which also consists of a fuzzy logic interpretation module can be used for interpreting most of the DGA test results has already been completed and is discussed in this paper. The next phase of the project would involve utilizing other artificial intelligent techniques such as neural networks and other algorithms to automatically generate rules from trends found in the database.

۱ گازهای محلول در روغن :

۳ مکانسیم تولید گاز:

۳-۱ تجزیه روغن:

روغن معدنی از مخلوطی از مولکولهای هیدروکربونی که از گروههای CH, CH_2, CH_3 تشکیل‌گردیده‌است. این ترکیبات از محل کربن به کربن به هم متصل بوده و هیدروژنها به صورت شعاعی قرار دارند. در اثر جدا شدن اتصالات ضعیف از قبیل $C-C, C-H$ در اثر تنش‌های الکتریکی یا حرارتی ، یونهای $H^*, CH^*, CH_2^*, CH_3^*$ تولید می‌شوند. این یونها به سرعت طی یک سلسله فعل و انفعالات تجدید ساختمان نموده و به صورت گازهایی از قبیل هیدروژن $(H-H)$ و متان (CH_3-H) اتان (CH_3-CH_3) اتیلن (CH_2-CH_2) و یا استیلن $(CH-CH)$ ظاهر می‌شوند

۳-۲ تجزیه مواد عایقی سلولزی در اثر گرما:

زنجیره‌های پلیمر موجود در مواد عایقی سلولزی (کاغذ، چوب فشرده، پودر فشرده چوب) دارای تعداد زیادی حلقه هیدروگلوکز با اتصالات ضعیف $C-O$ هستند که در مقابل حرارت، کمتر از هیدروکربوونهای روغن پایدار بوده و در اثر گرمای ناچیزی (از دیدگاه حرارتی ترانسفورماتورها) تجزیه می‌شوند. شکستن این اتصالات به مرور از درجه حرارت ۱۰۵ درجه آغاز شده و تکامل آن در جهت کربنیزه شدن در درجه حرارت‌های بالاتر از ۳۰۰ درجه به وقوع می‌پیوندد. در اثر گرم شدن شدید مواد سلولزی به طور اخص، شاهد مقدار زیادی CO و CO_2 محلول در روغن خواهیم بود. تولید گازهای CO و CO_2 از کاغذهای آغشته به روغن متناسب با افزایش دما به شدت افزایش می‌یابد.

۴ جمع‌بندی و اعلام نظر در مورد عیب :

با توجه اطلاعات آماری به دست آمده برحسب عیوب مختلفی که به طور معمول بر روی ترانسفورماتورها رخ می‌دهد بین "نوع عیب" و "گازهای استخراج شده" می‌توان با اطمینان رابطه ساده‌ای را برقرار ساخت، این روابط ما را قادر می‌سازند قانونمندی خاصی را طی چهار گروه برای عیوب مختلف به وجود آوریم، که در هر یک از آن عیوب، یک گاز خاص مشخصه عیب مربوطه خواهد بود به ترتیبی که ذیلاً به آن اشاره می‌گردد: [1]

۱ـ تخلیه الکتریکی با انرژی زیاد.

۲ـ تخلیه جزئی، با انرژی کم و کرونا .

۳ـ افزایش دمای شدید روغن .

۴ـ تخریب حرارتی مواد عایقی سلولزی.

ولی لازم به تذکر است با تمام این تفاصیل به دلیل وجود فاکتورهای مختلف و عوامل تاثیر گذار، همیشه نمی‌توان بر مبنای تجزیه و تحلیل‌های فوق، قاطعانه نسبت به نوع عیب اعلام نظر نموده یا نسبت به وجود عیب مطمئن بود، چه بسا که در هر یک از عیوب یاد شده به جز گاز مشخصه آن که گاز کلیدی ان عیب محسوب می‌شود، شاهد وجود سایر گازها نیز هستیم. بنابراین قدم بعدی جهت نزدیک شدن به نوع عیب، بهره‌گیری از نسبت بین گازها می‌باشد که می‌تواند کمک موثری به تجزیه تحلیل نوع عیب نماید. در این از ۵ نوع گاز و ۴ نسبت استفاده می‌گردد هر یک از این نسبتها در کنار تجزیه و تحلیل قبلی، تشخیص ما را نسبت به نوع عیب دقیقتر و کاملتر می‌نماید که ذیلاً با آنها اشاره شده است: [2]

$$\frac{H_2}{CH_4}, \frac{C_2H_6}{CH_4}, \frac{C_2H_4}{C_2H_6}, \frac{C_2H_2}{C_2H_4}$$

۴-۱ عیوب الکتریکی:

قبلاً از عیوب الکتریکی نام برده شد. تشخیص آنها از یکدیگر در کنار مقایسه با گازهای کلیدی و نسبت گازها به راحتی میسر می‌باشد و شامل: قوس الکتریکی، جزئی به صورت کرونا و تخلیه جزئی میباشد.

۴-۲ اشکالات حرارتی

۴-۲-۱ گرمای موضعی بر روی بخشهای فلزی:

فلوی مغناطیسی هسته به همراه فلوی پراکندگی می‌تواند در هسته، تانک و چهارچوب هسته (در صورت بسته شدن مدار و شکست عایقی) سبب ایجاد جریان گردشی و داغ شدن شدید بخشهای فلزی گردد. تا وقتی که این بخشهای

گداخته در تماس مستقیم با روغن قرار دارند، به دلیل سیال بودن روغن خطر چندانی ایمنی ترانسفورماتور را مورد تحدید قرار نخواهد داد. در درجه حرارتهای زیر ۳۰۰ درجه سانتی گراد گازهای اشباع شده (CH_4, C_2H_6, C_3H_8)و در درجه حرارتهای بالای ۳۰۰ درجه گازهای اشباع نشده (C_2H_4, C_3H_6)و متان یافت می‌شود. در این حالات مطلقا گاز استیلن وجود ندارد و یا بسیار ناچیز خواهد بود. گداختگی هائی که به ذوب شدن مواد فلزی در ترانسفورماتور می انجامد دارای درجه حرارت بیش از ۱۰۰۰ درجه می‌باشند (درجه ذوب مس ۱۰۸۳ و فولاد آلیاژی ۱۴۵۰ درجه سانتیگراد می‌باشد). گازهای آزاد شده در چنین حالاتی شامل مقدار زیادی استیلن در مقایسه با میزان استیلن محلول در روغن می‌باشد. یک چنین عیوبی دارای اختلاف مشخصی نسبت به عیوب الکتریکی می‌باشند. مهمترین امکان تشخیص برای این دو نوع عیب عبارت است از خارج قسمت $\frac{C_2H_4}{C_3H_6}$ به نحوی که در هنگام سوختن آهن عموماً بیش از ۳ و در هنگام سوختن کنتاکت‌های مسی کمتر از ۳ میباشد. (البته گاهی اوقات این مرزبندی تا حدودی نامطمئن می‌گردد).

۳-۴ عوامل مخدوش کننده:

الف) عدم آب بندی محفظه روغن نسبت به محفظه دایورتر سوئیچ ب) عدم عایق بندی روغن نسبت به جو. ج) استفاده از رطوبت‌گیر مشترک میان روغن اصلی و محفظه دایورتر سوئیچ . در ادامه در مورد سایر عوامل خطا آفرین بیشتر توضیح می دهیم.

۵ تئوری فازی و عیب یابی ترانسفورماتور

۵-۱ مزایای تحلیل فازی

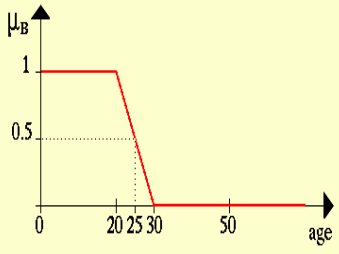
پیش از بررسی کاربردهای منطق فازی در زمینه عیب یابی ترانس، به معرفی اجمالی مجموعه های فازی می‌پردازیم.

یک زیر مجموعه فازی مثل F از یک مجموعه مرجع به نام Sبه صورت زوج مرتب هایی تعریف میشود که در آنها درایه اول عضوی از مجموعه S و درایه دوم μ یا درجه عضویت، عددی در بازه $[0,1]$ بوده و معرف میزان عضویت درایه اول به مجموعه S می باشد که باعث ایجاد رابطه عددی میان عناصر F و S می شود. از $\mu = 0$ به منظور نشان دادن عدم عضویت و از $\mu = 1$ به منظور نشان دادن عضویت کامل و از μهای بین فاصله صفر و یک به منظور نشان دادن درجه عضویت های بینا بین استفاده می شود. به منظور درک بهتر به مثال زیر توجه کنید:

فرض کنید میخواهیم در مورد انسانها و "جوان بودن " صحبت کنیم، در این مثال مجموعه S افراد مورد مطالعه و F یک زیر مجموعه فازی از افراد جوان تعریف می شود. به منظور تعیین درجه عضویت هریک از اعضای F به S میبایست مطابق روابط زیر μ متناسب با سن را برای هریک از اعضا تعریف کرد. به ازای هر x در F داریم:

$$\mu = 1 \quad , \text{ if } \quad \text{Age}(x) < 20$$
$$\mu = (30 - \text{Age}(x))/10, \text{ if } \quad 20 \le \text{Age}(x) \le 30$$
$$\mu = 0 \quad , \text{ if } \quad \text{Age}(x) > 30$$

به گراف شکل زیرتوجه کنید، با توجه به روابط بالا و نمودار، سن افرادبه همراه درجه عضویت انها به مجموعه افرادجوان داده شده است:



Person	Age	degree of youth
Johan	10	1.00
Edwin	21	0.90
Parthiban	25	0.50
Arosha	26	0.40
Chin Wei	28	0.20
Rajkumar	83	0.00

توجه داشته باشید که همواره محاسبه درجه عضویت به سادگی این مثال صورت نمی گیرد و نیاز به محاسبات پیچیده تری دارد. (به عنوان مثال وقتی می خواهیم اندازه قد فردی را نسبت به سن وی بیان کنیم، نیاز به یک درجه عضویت دو بعدی داریم).

از مهمترین مزایای منطق فازی تحلیل با استفاده از مفاهیمی نظیر " کم "، "زیاد"، "متوسط" و . . . می‌باشد. بنابر این میبایست به منظور انجام هر تحلیلی ابتدا متغیر های ورودی و خروجی را مطابق با مفاهیم فوق تعریف کرده، سپس با ایجاد

پایگاه استنباطی دستورات فازی که از سوی کارشناسان تعریف می شود، استفاده از عملگر های ترکیبی فازی که اغلب به صورت Min/Max هستند می‌توان به یک تحلیل فازی دست یافت. با این توضیحات به بررسی کاربرد منطق فازی در گازکروماتوگرافی می‌پردازیم.

۲-۵ روش فازی نسبت گازها

روش‌های متعددی به منظور تحلیل گازهای محلول در روغن ارائه شده‌اند. از آنجاییکه در استاندارد و روشهای تجزیه و تحلیل از نسبت غلظت دو یا چند گاز به منظور تجزیه و تحلیل وضعیت ترانسفورماتور استفاده می‌گردد، گاها مشاهده می‌شود که مقدار این نسبتها دقیقا برابر با مقداری است که در استاندارد به عنوان مقدار مرزی تعریف شده است، در این حالت معمولاً پیش بینی خاصی در مورد وضعیت ترانسفورماتور، در استاندارد منظور نمی‌گردد. روش راجرز یکی از متدهای تجزیه و تحلیل می‌باشد که از پنج گاز و چهار نسبت میان آنها استفاده و برای هر یک از نسبتها چند رنج تعریف نموده ((جدول (۱)). با توجه به اینکه مرز بندی میان رنجها تا حدی تحت تاثیر عوامل خارجی مثل شرایط آب و هوایی، نحوه بارگیری، نوع روغن و . . . قرار دارد، می‌تواند باعث کاهش دقت در تجزیه تحلیل و نتیجه‌گیری گردد. بنابراین استفاده از منطق فازی می‌تواند تا حد زیادی باعث افزایش دقت در تحلیل شود. برای شروع، به صورت قراردادی به شرح زیر از عبارات کوتاهتر به منظور بیان ساده تر مفاهیم استفاده می‌کنیم: [3]

Low → Lo
High → Hi
Very High → VHi
Medium → Med
Acetylene / Ethan → (AE)
Methane / Hydrogen → (MH)
Ethane / Ethylene → (EE)
Ethane / Methane → (EM)

شکل(۱) با توجه به جدول (۱) نظیر هر نسبت در استاندارد و نام گذاری فوق , صورت خلاصه شده نسبت های گازی راجرز را نشان می دهد .

در این مقاله از تابع عضویت نوع L، Π یا Δ [3] به منظور محاسبه درجه عضویت استفاده شده است. بر این اساس به عنوان نمونه در شکل های ۲ و ۳ تابع محاسبه درجه عضویت نظیر نسبت (اتان / استیلن) و نمودار کلاسبندی این نسبت را بر اساس **جدول(۱)**، نشان می دهند. سایر نمودار های کلاسبندی در شکل های ۴ ,۵ و۶ نشان داده شده اند.

دستورات استنباط فازی از دو بخش تشکیل شده اند. بخش اول، شرط (If) و بخش دوم نتیجه شرط (Then). با استفاده از جدول (۱) می‌توان دستورات استنباط فازی راجرز را ، مطابق جدول(۲) پیاده سازی کرد.

If MH=M and AE=M and EE=L and EM=H
then Condition K - rules1

If MH=H and AE=M and EE=L and EM=L
then Condition K - rules 2
….
If MH=VH and AE=L and EE=H and EM=L
then Condition P- rules n

همچنان که گفته شد پس از استنباط فرامین فازی، میبایست با استفاده از عملگرهای ترکیبی فازی که صورت Min/Max هستند، اقدام به ارزیابی نهایی نماییم. بنابراین داریم:

Rule 1 = Min{ MH=M,AE=M,EE=L, EM=H}
Rule 2 = Min{ MH=H,AE=M,EE=L, EM=L}
….
Rule n = Min{ MH=VH,AE=L,EE=H, EM=L}

و در ادامه نتیجه می شود:

Condition K = Max (rule 1, rule 2}
Condition N = Max (rule r, rule p,…..rule n}

حال فرض کنید درجه عضویت نسبتهای گازی راجرز به محدوده های Low، Medium, High به صورت زیر باشند:

MHH=0.7 MHM =0.9 AEM=0.8 EEL=087
EMH=0.95 EML=0.6
Rule 1= Min{ MH=M,AE=M,EE=L, EM=H}
=Min{0.9,0.8,0.87,0.95)
= 0.8
Rule 2 = Min{ MH=H,AE=M,EE=L, EM=L
= Min {0.7,0.8,0.87,0.6}
= 0.6
Condition K = Max {rule 1 ,rule 2}
= Max(0.8,0.6)
= 0.8
ConF to the degree of 0.11
ConG to the degree of 0.09
ConK to the degree of 0.8

با استفاده از جدول (۱) میتوان چنین برداشت کرد که ترانسفورماتور به احتمال زیاد (۸۰ درصد) دارای " Hot spot " و اشکال حرارتی میباشد و احتمال وجود هر گونه تخلیه الکتریکی از نوع "F" و "G" در آن کم (به ترتیب ۱۱ درصد و ۰/۹ درصد) می‌باشد. . همان طور که مشاهده می شود بهره گیری از منطق فازی علاوه بر اینکه ما را از درصد قطعیت عیب اصلی آگاه میکند، احتمال قطعیت سایر حالات ممکن در مجاورت نقاط مرزی را در اختیار می گذارد.

۳-۵ معرفی نرم افزار طراحی شده :

دانش گازکروماتوگرافی در جهان دارای کاربردهای وسیع در زمینه‌های خودروسازی، پتروشیمی، پالایشگاهی و صنعت برق می‌باشد که براساس دستورالعمل‌ها و استانداردهای بین المللی از قبیل IEEE، ANSI، CIGRE، Trafo-Union، Rogers، T M I، Dornenberg، Mitsubishi و . . . ، انجام می‌گیرد.

با توجه به وجود عوامل خطا آفرین در پروسه گازکروماتوگرافی روغن ترانسفورماتور ، تنها اتکا به دستگاه گازکروماتوگراف واستانداردهای یاد شده کافی نبوده و بعضا همراه با خطا می باشد. بنابراین از جمله و مهمترین وظایف کارشناس آزمایشگاه و مهندس تحلیل گر، شناسایی و حذف اثر عوامل خطا آفرین می باشد ; از جمله این عوامل می توان به عنوان مثال به نحوه نمونه گیری و حمل نادرست، طولانی شدن فاصله بین نمونه گیری و تست روغن در آزمایشگاه، استفاده از روغن های نامطلوب از نظر قابلیت جذب گاز و اکسید شدن یا پایه نفتی نامناسب، قابلیت خورده شدن واشرها و مواد عایقی مصنوعی در مجاورت روغن، تصفیه ناقص یا وجود پس ماند گاز در روغن از حوادث قبلی، عدم کالیبره بودن دستگاه گازکروماتوگراف ،عدم توجه کارشناس به اولویت های موجود در استانداردها و دستورالعملهای تجزیه و تحلیل نسبت یکدیگر و بسیاری از عوامل دیگر که بایستی در بررسی نهایی منظور گردند اشاره کرد.

با توجه به پیشرفتی که تاکنون در زمینه تجزیه و تحلیل گازهای محلول در روغن ترانسفورماتورها از سوی موسسات تحقیقاتی، دانشگاهها و شرکتهای سازنده ترانسفورماتور انجام شده است و با عنایت به مراتب فوق و نیاز صنعت برق در کشور، نرم افزار حاضر در این زمینه طراحی و پیاده سازی شده است که قادر به تجزیه و تحلیل وضعیت ترانسفورماتور بر اساس چهارده روش و استاندارد بین المللی می باشد. مهمترین ویژگی این نرم افزار، بهره گیری از منطق فازی در استانداردهای مورد استفاده است که نرم افزار را قادر ساخته بر خلاف سایر روشهای متداول، در مورد حالات ممکن عیوب در مجاورت مقادیر مرزی نسبتها به صورت "درصدی"، در همسایگی قبل و بعد ازاین نقاط اعلام نظـر نماید.

جمع بندی نتایج حاصل از این روش به همراه نتایج حاصل از بررسی سایر عوامل از قبیل عمر ترانسفورماتور، سوابق پیشین گازکروماتوگرافی ترانسفورماتور، ضریب تلفات عایقی، ولتاژ شکست روغن و... نرم افزار را قادر به تحلیل وضعیت نهایی ترانسفورماتور از نظر احتمال وجود عیبی خاص، صحت بهره برداری فعلی و یا میزان اطمینان به ادامه آن، ساخته است.

نرم افزار نامبرده تحت نسخه ششم ویژوال بیسیـــک پیاده سازی شده است و مجهز به یک پایگاه داده می باشد که امکان دسترسی، جستجو و یا اصلاح سوابق هر ترانسفورماتور را در اختیار کاربر قرار می دهد. این پایگاه داده به صورت پیش فرض حاوی ۵۰۰ نمونه سابقه گازکروماتوگرافی انجام شده در ایران و انگلستان می باشد که در تجزیه و تحلیل نهایی وضعیت ترانسفورماتور مورد استفاده قرار می گیرد. امکان ذخیره و بازخوانی اطلاعات، رسم منحنی تغییرات مقادیر گازها و سایر مشخصات روغن ترانسفورماتور و حذف اثر برخی

عوامل مخدوش کننده در گازکروماتوگرافی، از دیگر امکانات این نرم افزار می‌باشند.

۴-۵ طرح سه نمونه عملی :

در این بخش به بررسی دو نمونه تحلیل گاز در روغن می پردازیم و تاثر انالیز با استفاده از منطق فازی در بهبود کیفیت انالیز را مورد بررسی قرار میدهیم.

نمونه اول متعلق به ترانس اصلی واحد پنجم نیروگاه رامین می باشد . این ترانس به علت افزایش غیر مجاز گاز های قابل اشتعال ، به خصوص استیلن از مدار خارج گردید . استاندارد های معتبر مثل Rogers، IEC و Trafo-Union ، عیب خاصی را برای این ترانس پیش بینی نمی کنند .از آنجایی که روشها و استاندارد های تجزیه و تحلیل به کار رفته در این نرم افزار از یک الویت در تجزیه و تحلیل بر خوردار نیستند ، نمی توان تنها بر اساس نظر دو روش MISUBISHI و Dornenberg ، وجود تخلیه الکتریکی را در این ترانس قطعی دانست .از طرفی وجود گاز استیلن و هیدروژن خود دلیلی برای وجود نوعی اشکال الکتریکی می-باشد.، به منظور بررسی دقیقتر ، با استفاده از منطق فازی ، نرم افزار مشابه انچه در بالا آمد، به بررسی وضعیت نسبتها در مجاورت مقادیر مرزی در سه روش Rogers، IEC ، Trafo-Union می پردازد . پس از تحلیل فازی، همچنان که اشاره گردید نرم افزار از یک پایگاه داده (به عنوان تجربیات نرم افزار) جهت تجزیه و تحلیل نهایی وضعیت ترانسفورماتور استفاده میکند. حاصل این تجزیه و تحلیل ، مطابق آنچه در پیوست آمده در بخشی تحت عنوان Software' Interpretation به صورت درصدی اعلام میگردد ، بنابراین میتوان نسبت به وجود تخلیه الکتریکی با اطمینان بیشتر قضاوت نمود .

نمونه دوم از کتاب Transformer Maintenance Guide مربوط به یک ترانس ۲۰ MVA می باشد ، ترانس به علت افزایش ناگهانی گازهای قابل احتراق از مدار خارج شد. وجود مقادیر بالای استیلن ، هیدروژن و متان حاکی از رخداد قوس الکتریکی در داخل روغن هستند. همچنان که در پیوست پیداست تقریباً همه روشها نیز بر وجود نوعی تخلیه الکتریکی شدید، اتفاق نظر دارند. پس از باز شدن ترانس وجود این تخلیه به صورت قوس الکتریکی بین کویل ثانویه و هسته تایید گردید .در قسمت تحلیل فازی مربوط به این ترانس وجود این تخلیه شدید با در صد بالا عنوان شده است .

نمونه سوم متعلق به یک ترانس پست انتقال هست. که پس از دوسال از شروع بارگیری جهت انجام تست روتین مورد گازکروماتوگرافی قرار گرفت. انچنان که از مقادیر تک به تک گاز های کلیدی پیداست ترانس در وضعیت عادی عادی قرار دارد. انالیز نتایج بدون استفاده از منطق فازی گویای وجود اشکال حرارتی با دمای ۲۰۰ تا ۳۰۰ درجه در اغلب دستورالعملها میباشد و احتمال عملکرد نرمال در حدود ۶۰ درصد محاسبه شد. با توجه به الگوی گازها احتمال وجود اشکال حرارتی یاد شده بسار کم است. لذا پس از اعمال محاسبات منطق فازی کلیه دستورالعمل ها گویای عمکرد نرمال ترانس میباشد و احتمال کارکرد نرمال ۹۶ درصد محاسبه می شود که در مقایسه، منطقی تر و با واقعیت منطبق تر است.

۶ نتیجه‌گیری:

با توجه به پیشرفتی که امروز در امر تجزیه و تحلیل عیوب ترانسفورماتورها از طریق گاز کروماتوگرافی بدست آمده میتوان با در نظر گرفتن عوامل مخدوش کننده و خارج نمودن اثر آنها از نتایج آزمایشات واستفاده از روشهای نوین محاسباتی، با دقت بسیار زیاد نسبت به نوع عیب اظهار نظر نمود و با انجام آزمایشات دوره‌ای مناسب بر روی روغن ترانسفورماتور از شکل‌گیری عیوب و روند رشد احتمالی آنها مطلع شد.

۷ منابع:

[1] IEEE C57.104-1991. Guide for the interpretation of Gases Generated in Oil-mmersd Transformers

[2] Die Beurtielung des Betriebszustandes von Transformatoren durch Gasanalyse. R.Mueller, H.Schliesing , K.Solder

[3] Yan-jun، Ryan، Micheal and Power،James Using fuzzy Logic، New york

$$AE = C2H2 / C2H4 \begin{cases} 0\ Lo & U < 0.1 \\ 1\ Med & 0.1 <= U <= 3.0 \\ 2\ Hi & U > 3.0 \end{cases}$$

$$MH = CH4 / H2 \begin{cases} 5\ Lo & U < 0.1 \\ 0\ Med & 0.1 <= U <= 1.0 \\ 1\ Hi & 1.0 <= U <= 3.0 \\ 2\ VHi & U > 3.0 \end{cases}$$

$$EE = C2H4 / C2H6 \begin{cases} 0\ Lo & U < 1.0 \\ 1\ Med & 1.0 <= U <= 3.0 \\ 2\ Hi & U > 3.0 \end{cases}$$

$$EM = C2H6 / CH4 \begin{cases} 0\ Lo & U < 1.0 \\ 1\ Hi & U >= 1.0 \end{cases}$$

شکل ۱ – کلاسبندی نسبتهای راجرز

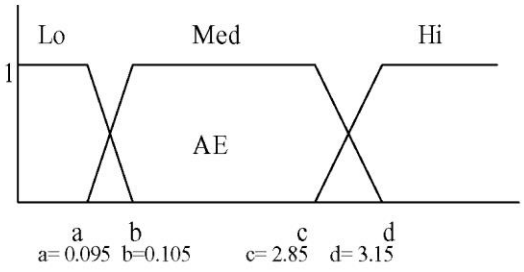
$$AE \quad \in \{ Lo, Med, Hi \}$$

$$AELo\ (u;a,b) = \begin{cases} 1 & u < a \\ b-u / b-a & a <= u <= b \\ 0 & u > b \end{cases}$$

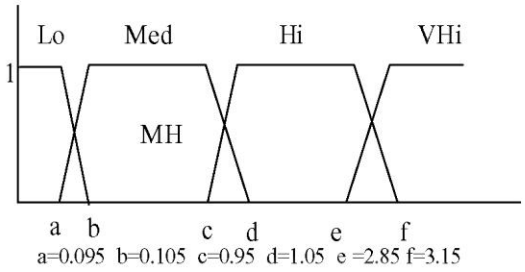
$$AEMed\ (u;a,b,c,d) = \begin{cases} 0 & u < a \\ u-a / b-a & a <= u < b \\ 1 & b <= u <= c \\ d-u / d-c & c < u <= d \\ 0 & u > d \end{cases}$$

$$AEHi\ (u;c,d) = \begin{cases} 1 & u > d \\ u-c / d-c & c <= u <= d \\ 0 & u < c \end{cases}$$

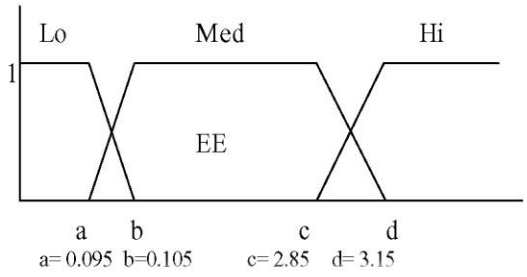
شکل ۲ – تابع محاسبه درجه عضویت نظیر نسبت اتان / استیلن



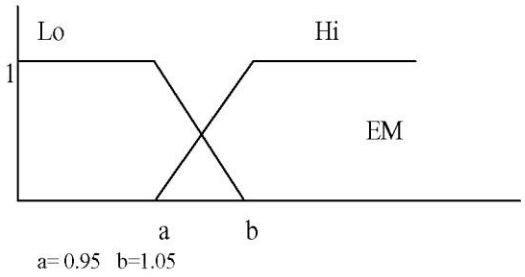
شکل 3 – نمودار تابع محاسه درجه عضویت نظیر نسبت (اتان / استیلن)



شکل 4 – نمودار تابع محاسه درجه عضویت نظیر نسبت (هیدروژن / متان)



شکل 5 – نمودار تابع محاسه درجه عضویت نظیر نسبت (اتان / اتیلن)



شکل 6 – نمودار تابع محاسه درجه عضویت نظیر نسبت (متان / اتان)

---- Date: 1383-07-26 ---------- Time: 11:36:24 AM ---------- Transformer Name : Ramin Main S 5

نمونه تست اول :

---- Current Gas Volumes: ----------

Co2:1781 CO: 26 H2: 11 CH4:9 C2H2:140 C2H4: 45 C2H6:27 C3H6:0.01 C3H8:0.01
T . D . G = 258
THE TOTAL COMBUSTIBLE GASES ARE SMALLER THAN 500 PPM,THAT IS NORMALY AN INDICATION
_ OF SATSFACTORY OPERATION OF TRANSFORMER.

---- Analyses based on current Gas volumes: ----------

---- ROGER ---------- IS NOT DEFINED
---- DOBLE ENGIN. ---------- IS NOT DEFINED
---- DORNENBERG ---------- CORONA
---- DORNENBERG RP ---------- IS NOT DEFINED
---- BS/IEC ---------- IS NOT DEFINED
---- MITSUBISHI ----------PARTIAL DISCHARGES
---- TRAFO - UNION ---------- IS NOT DEFINED
---- IEC 10/418/CDV 1998 ----- IS NOT DEFINED
---- Burton Davies ---------- IS NOT DEFINED

---- Software's Interpretation : ----------

Probability of Normal Operation : 78.9 %

Probability of Thermal Fault : 0 %

Probability of Electrical Fault : 21 %
Probability of Partial Discharges : 25 %
Probability of Electrical Discharges : 50 %
Probability of Electrical Discharges with high Energy Density : 25 %

نمونه تست دوم :

---- Current Gas Volumes : ----------

Co2:973 CO: 174 H2: 127 CH4:107 C2H2:224 C2H4: 154 C2H6:11 C3H6:0.01 C3H8:0.01
T . D . G = 797
THE TOTAL COMBUSTILBLE GASES IS BETWIN 500 AND 1000 PPM,THAT INDICATES DECOMPOTION
MAY BE IN EXCESS OF NORMAL AGEING (SUGGESTING A NEED FOR MORE FREQUENT ANALYSES.)

---- Analyses based on current Gas volumes: ----------

---- ROGER ---------- ARCING WITH POWER FOLLOW THROUGH
---- DOBLE ENGIN. ---------- IS NOT DEFINED
---- DORNENBERG ---------- ELECTRICAL DISCHARGES (EXCEPT CORONA)
---- DORNENBERG RP ---------- IS NOT DEFINED
---- BS/IEC ----------DISCHARGES OF HIGH ENERGY
---- MITSUBISHI ---------- A R C D I S C H A R G
---- TRAFO - UNION ---------- IS NOT DEFINED
---- IEC 10/418/CDV 1998 --------DISCHARGES OF HIGH ENERGY DENSITY
---- Burton Davies ---------- Arc With Power Follow Through

---- Software's Interpretation : ----------

Probability of Normal Operation : 26.3 %

Probability of Thermal Fault : 0 %

Probability of Electrical Fault : 74 %
Probability of Electrical Discharges : 14.3 %
Probability of Electrical Discharges with high Energy Density : 64.3 %
Probability of Arcing : 21.4 %

نمونه تست سوم بدون استفاده از منطقی فازی :

```
---- Current Gas Volumes : ----------------------------------------------------------------------------

     CO2:1348  CO: 123  H2: 11  CH4:6  C2H2:0.01  C2H4: 6  C2H6:11  C3H6:9  C3H8:4  O2:3898  N2: 78432
     T . C . G  =  157.01
     TOTAL COMBUSTIBLE GASES ARE LESS THAN 500 PPM,THAT IS NORMALY AN INDICATION OF SATSFACTORY OPERATION
_    OF TRANSFORMER.

---- Analyze based on current Gas volumes: ------------------------------------------------------------

 ---- ROGER ----------------- OVERHEATING  200 - 300 DEG.C
 ---- DOBLE ENGIN ----------- IS  NOT DEFINED
 ---- I N N F --------------- THERMAL FAULT OF TEMPERATURE RANGE 100 - 200 'C
 ---- DORNENBERG ------------ IS NOT  DEFINED
 ---- T R R M ---------------- NORMAL AGING
 ---- DORNENBERG RP ---------- IS NOT  DEFINED
 ---- BS/IEC ----------------- NORMAL AGEING .
 ---- MITSUBISHI ------------ IS NOT DEFINED
 ---- TRAFO - UNION --------- IS NOT DEFINED
 ---- IEC 10/418/VDE 1998 ---- OVERHEATING  Up to 200 DEG.C
 ---- Burton Davies ------------ Overheating 200 - 300' C

---- Software's Interpretation  : ---------------------------------------------------------------------

     Probability of Normal Operation : 60 %

     Probability of Thermal Fault : 40 %
               Probability of Overheating with low Temperature : 12.5 %
               Probability of Overheating with medium Temperature : 75 %
               Probability of Overheating with high Temperature : 12.5 %

     Probability of Electrical Fault : 0 %
```

نمونه تست سوم با استفاده از منطقی فازی :

```
---- Analyze based on current Gas volumes: ------------------------------------------------------------

 ---- ROGER ----------------- IS  NOT  DEFINED
 ---- DOBLE ENGIN ----------- IS  NOT  DEFINED
 ---- I N N F --------------- IS  NOT  DEFINED
 ---- DORNENBERG ------------ IS  NOT  DEFINED
 ---- T R R M ---------------- IS  NOT  DEFINED
 ---- DORNENBERG RP ---------- IS  NOT  DEFINED
 ---- BS/IEC ----------------- IS  NOT  DEFINED
 ---- MITSUBISHI ------------ IS  NOT  DEFINED
 ---- TRAFO - UNION --------- IS  NOT  DEFINED
 ---- IEC 10/418/VDE 1998 ---- IS  NOT  DEFINED
 ---- Burton Davies ------------ IS  NOT  DEFINED

---- Software's Interpretation  : ---------------------------------------------------------------------

     Probability of Normal Operation : 96.7 %

     Probability of Thermal Fault : 3.3 %
               Probability of Overheating with high Temperature : 100 %

     Probability of Electrical Fault : 0 %
```