

استفاده از روش آنالیز گاز محلول در شناسایی خطاها روی 2 ترانسفورماتور قدرت

2MVA 11.5kv- 0.4kvمحمد پارسا شهریاری^۱، محمد امین کرمی^۲، احمد مرادی^۳، شهاب الدین نیکوخصال^۴^۱ دانشجو گروه مهندسی برق، دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب،

mohammadparsashahriariandp.sh@gmail.com

^۲ دانشجو گروه مهندسی برق، دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب،

mohammadaminkarami3500@gmail.com

^۳ مربی گروه مهندسی برق، دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب، st_ahmad_moradi@azad.ac.ir^۴ مربی گروه مهندسی برق، دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب، pes.nikookhesal@gmail.com

چکیده

استفاده از روش آنالیز گاز محلول در شناسایی مشکلات در 2 ترانسفورماتور قدرت 2MVA 11.5kv-0.4kv این مطالعه کاربرد چهار روش آنالیز گاز محلول را در شناسایی شاخص های خرابی در ترانسفورماتورهای قدرت مورد بحث قرار می دهد. خرابی ترانسفورماتور می تواند به صورت خرابی حرارتی و الکتریکی رخ دهد و گازهای خطرناکی به نام گازهای خطا تولید کند. روغن عایق مورد استفاده در ترانسفورماتورهای قدرت در خنک سازی و حل کردن این گازهای خطرناک نقش دارد تا از گردش نامحدود جلوگیری کند. تعیین نوع و غلظت گازهای حل شده در روغن می تواند اطلاعاتی در مورد شاخص های خرابی ترانسفورماتور ارائه دهد. بنابراین، تجزیه و تحلیل آنالیز گاز محلول برای تعیین روش های موثر برای شناسایی این علائم خرابی انجام می شود. نمونه روغن از ترانسفورماتور گرفته شده و با استفاده از چهار روش مختلف آنالیز گاز محلول مورد تجزیه و تحلیل قرار می گیرد. نتایج تجزیه و تحلیل آنالیز گاز محلول سطوح مختلفی از غلظت گاز را نشان می دهد و بر اساس نتایج تجزیه و تحلیل با استفاده از روش گاز کلیدی، روش نسبت راجر، روش نسبت دوزنبرگ و روش مثلث دووال، مشخص است که ترانسفورماتورها آسیب حرارتی را تجربه می کنند. با تجزیه و تحلیل روش مثلث دووال می توان به نتیجه رسید که دو ترانسفورماتور بیش از حد گرم شده اند. بنابراین، تجزیه و تحلیل مثلث دووال به دلیل محاسبات ساده و در عین حال موثر، می تواند روشی موثر برای شناسایی اختلالات در ترانسفورماتورهای قدرت در نظر گرفته شود.

واژه های کلیدی: آنالیز گاز محلول، گاز کلیدی، نسبت راجر دوزنبرگ، نسبت مثلث دووال

1. مقدمه

همزمان با رشد جمعیت جهان، تقاضا برای انرژی الکتریکی نیز در حال افزایش است این انرژی برای هر دو بخش خانگی و صنعتی ضروری است و اقتصاد جهانی را هدایت می کند. تولید برق از طریق انواع مختلفی از نیروگاه ها در سراسر جهان بدست می آید که هم ژنراتور های برق مبتنی بر سوخت فسیلی و نیروگاه های انرژی تجدید پذیر را در بر می گیرند. اکثر نیروگاه ها به ژنراتور هایی مبتکی هستند که با استفاده از نیروی الکتروموتور تولید شده از سیمپیچی های متناوب و میدان های مغناطیسی انرژی الکتریکی تولید می کند. ژنراتور بسته به اندازه باری که قرار است با آن مواجه شود برق با ولتاژ نسبتا بالا تولید می کند. الکتریسیته تولید شده توسط ژنراتور توسط خطوط برق به پست منتقل می شود. برق از طریق خطوط انتقال برق به بخش های صنعتی و خانگی توزیع می شود. به همین دلیل، سیستم منبع تغذیه به دستگاهی برای افزایش ولتاژ و دستگاهی برای کاهش ولتاژ نیاز دارد که به آن ترانسفورماتور گفته میشود. برای کاهش ولتاژ از ترانسفورماتور کاهنده استفاده می شود زیرا مناطق خانگی به برق تکفاز با ولتاژ 220 ولت و مناطق صنعتی به برق سه فاز با ولتاژ 380 ولت نیاز دارند. ترانسفورماتور افزایشده ولتاژ در تمام خطوط برق برای مثال از ژنراتور به پست و از پست به مصرف کننده استفاده می شود. این کار به این دلیل انجام می شود که فاصله بر روی ولتاژ به دلیل از دست دادن توان تاثیر می گذارد. هر چه مسیر شبکه برق طولانی تر باشد، تلفات بیشتری رخ می دهد. برای تعیین وضعیت ترانسفورماتور برای حفظ قابلیت اطمینان ترانسفورماتور، آزمایش هایی ضروری است که یکی از آنها انجام آزمایش تحلیل گاز محلول است. روش آزمایش تحلیل گاز محلول نوع و مقدار گاز تجزیه شده را تعیین می کند. نتایج آزمایش تحلیل گاز محلول داده های غلظت گاز های مختلف است که سپس برای بدست آوردن آنالیز و پردازش می شود. بنابراین لازم است با آزمایش تحلیل گاز محلول مشکلات یا اختلالات ترانسفورماتور شناسایی شود تا بعدا با تجزیه و تحلیل خرابی ترانسفورماتور بر اساس نتایج تحلیل گاز محلول مشخص شود که آیا خرابی یا اختلال در ترانسفورماتور وجود دارد یا خیر. از مون تحلیل گاز محلول با استفاده از چهار روش گاز کلیدی، نسبت راجر، نسبت دورنبورگ و مثلث دووال انجام می گیرد. داده های تحقیقاتی اولیه داده های ثانویه به شکل گاز محلول در روغن ترانسفورماتور زمانی که ترانسفورماتور در حال کار است با مقدار واحد ppm (قسمت در میلیون) است.

2. مروری بر تحقیقات

تعمیر و نگهداری تجهیزات الکتریکی ولتاژ بالا مجموعه ای از فعالیت ها یا فرآیندهای عملیاتی است که شرایط را حفظ می کند و اطمینان می دهد که تجهیزات می توانند به درستی کار کنند تا از تداخلی که باعث آسیب می شود جلوگیری شود. تعمیر و نگهداری تجهیزات ولتاژ بالا برای اطمینان از اینکه توزیع نیروی الکتریکی همیشه فعال است و دارای ضمانت اطمینان است، از جمله کاهش زمان از کار افتادگی به دلیل وقفه های مکرر، بهبود قابلیت اطمینان، در دسترس بودن و کارایی، کاهش خطر خرابی یا آسیب تجهیزات، برای گسترش عمر دستگاه و افزایش امنیت دستگاه است. مهمترین نکته در نگهداری تجهیزات فشار قوی سیستم عایق است که شامل عایق جامد و روغن عایق مایع می باشد. اگر ایزوله بسیار زیاد باشد، یک دستگاه بسیار گران خواهد بود، بنابراین ایزوله مهمترین قسمت است و سن دستگاه را تعیین می کند. به همین دلیل، برای عایق کاری و هم برای آسیب رساندن به عایق، ترمیم یا نگهداری بهترین سیستم عایق مورد نیاز است. برای تعمیر و نگهداری تجهیزات الکتریکی ولتاژ بالا باید بین بازرسی یا نظارت (دیدن، ضبط، احساس و شنیدن) در شرایط عملیاتی و نگهداری (تست، کالیبراسیون یا تنظیم مجدد و تعمیر) تفاوت قائل شوند.

2.1. ترانسفورماتور قدرت

ترانسفورماتور وسیله ای برای تبدیل ولتاژ الکتریکی بدون تغییر فرکانس در مدار انتقال یا توزیع است. وظیفه ترانسفورماتور فقط افزایش و کاهش ولتاژ است و دارای قطعات متحرک مانند الکتروموتور یا ژنراتور نیست. اصل ترانسفورماتور از مفهوم اندوکتانس الکترومغناطیسی با دو سیم پیچ اولیه و ثانویه استفاده می کند، هر سیم پیچ دارای اندوکتانس خود است و به دنبال آن اندوکتانس متقابل بین سیم پیچ ها است.

2.2. گاز حل شده در مبدل روغن

در اجزای ترانسفورماتور، روغن ترانسفورماتور وجود دارد که به عنوان یک عایق حاوی مولکول های هیدروکربنی پیچیده مانند مولکول های CH_3 ، CH_2 و CH که به هم مرتبط هستند عمل می کند. شکستن برخی پیوندها بین عناصر C-H و C-C به دلیل اختلالات حرارتی یا الکتریکی، قطعات یونی مانند H^* ، CH^* ، CH_2^* ، CH^* یا C^* تولید می کند که سپس ترکیب و مولکول های گازی مانند هیدروژن (H_2)، متان (CH_4)، اتان (C_2H_6)، اتیلن (C_2H_4) آناتو استیلن (C_2H_2) تولید می کند، شکل 1.

Mineral Oil	$\left\{ \begin{array}{c} H & H & H & H & H & H & H & H & H & H \\ & & & & & & & & & \\ -C & -C & -C & -C & -C & -C & -C & -C & -C & -C- \\ & & & & & & & & & \\ H & H & H & H & H & H & H & H & H & H \end{array} \right\}$	$C_{10}H_{20-2}$	Ethylene	$\begin{array}{c} H & H \\ & \\ C=C \\ & \\ H & H \end{array}$	C_2H_4
Hydrogen	$H-H$	H_2	Acetylene	$\begin{array}{c} H & H \\ & \\ C \equiv C \\ & \\ H & H \end{array}$	C_2H_2
Methane	$\begin{array}{c} H \\ \\ H-C-H \\ \\ H \end{array}$	CH_4	Carbon Dioxide	$O=C=O$	CO_2
			Carbon Monoxide	$C \equiv O$	CO
			Oxygen	$O=O$	O_2
Ethane	$\begin{array}{c} H & H \\ & \\ H-C & -C-H \\ & \\ H & H \end{array}$	C_2H_6	Nitrogen	$N \equiv N$	N_2

شکل 1. ساختار گازهای محلول در روغن عایق

هرچه تعداد پیوندهای کربنی یک تا سه پیوند اتمی در شکل 1. بیشتر باشد، انرژی بیشتری برای ایجاد آنها لازم است. هیدروژن (H_2)، متان (CH_4) و اتان (C_2H_6) در اثر پدیده های کاهش انرژی کم، مانند تخلیه های جزئی یا کرونا تشکیل می شوند. اتیلن (C_2H_4) با حرارت دادن روغن روی حرارت متوسط و استیلن (C_2H_2) در دماهای بسیار بالا تشکیل می شود. گازهای دیگری مانند نیتروژن (N_2) و زوکسیژن (O_2) نیز ممکن است در روغن وجود داشته باشند. نیتروژن به دلیل بقایای نیتروژن ارسال کننده ترانسفورماتور یا به دلیل پوششهای نیتروژن ظاهر می شود. اکسیژن بیش از حد در فن ترانسفورماتور نشان دهنده نشی در مخزن ترانسفورماتور است. هنگامی که مقدار اکسیژن در روغن کاهش می یابد، دمای ترانسفورماتور نیز به شدت افزایش می یابد. از دیگر دلایل آسیب ترانسفورماتور می توان به آب و شبنم ناشی از مه اتمسفر به دلیل دمای پایین محیط در هنگام روشن نشدن ترانسفورماتور اشاره کرد. این امر اساس اهمیت ارزیابی و آزمایش گاز در ترانسفورماتور برای یافتن اینکه آیا گاز بخشی از مشکل و درصد خرابی ترانسفورماتور است یا خیر است.

2.3. آنالیز گاز محلول (انحلال گاز)

آنالیز گاز محلول به این معنی است که تحلیل وضعیت ترانسفورماتور بر اساس مقدار گاز حل شده در روغن ترانسفورماتور است. آنالیز گاز محلول همچنین به عنوان پایان نامه خون ترانسفورماتور شناخته می شود. خون انسان در ترکیباتی است که به راحتی مواد دیگری را در اطراف خود حل می کند. با مطالعه مواد محلول در خون اطلاعاتی در مورد سلامت انسان به دست می آوریم. مشابه ترانسفورماتور، آزمایش گازهای محلول در روغن ترانسفورماتور نیز می تواند عملکردی برای تشخیص اینکه آیا عملکرد و وضعیت ترانسفورماتور هنوز مناسب است یا خیر، داشته باشد. برای ارزیابی عملکرد یک ترانسفورماتور، اینکه آیا ترانسفورماتور در شرایط خوبی است یا خیر، یک راه بررسی گاز استخراج شده از نمونه روغن ترانسفورماتور است که به آن آنالیز گاز محلول (تحلیل گاز محلول) می گویند. سپس گاز استخراج شده به واحدهای گازی جدا شده و بر حسب ppm (قسمت در میلیون) محاسبه می شود. خرابی اولیه ترانسفورماتور را می توان با آزمایش آنالیز گاز محلول تشخیص داد.

3. روش پژوهش

3.1. طرح

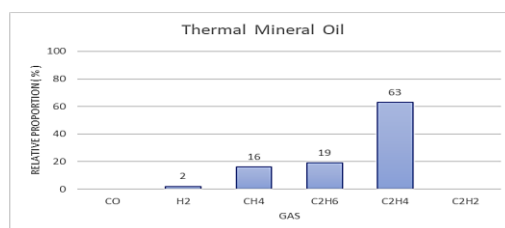
این پژوهش با مرور آغاز می شود که شامل شناسایی مشکل، تعریف مسئله و سپس انجام مشاهدات مرتبط با موضوع تحقیق می شود. محقق نمونه آزمایشی را می گیرد و داده های تجربی و همچنین نتایج نهایی را که می توان از آزمایش هایی که انجام می دهیم به دست آورد، تفسیر می کند.

3.2. چندین آنالیز گاز محلول مواد که استفاده شده است

3.2.1. گاز کلیدی

طبق مقررات IEEE C57.104-2019 تعریف گاز کلیدی گازی است که در یک ترانسفورماتور پر از روغن تولید می شود که می تواند برای تعیین کیفی برای نشان دادن نوع خرابی بر اساس گاز معمولی یا غالب در دماهای مختلف استفاده شود. IEEE C57.204-2019 به شرح زیر توضیح داده شده است:

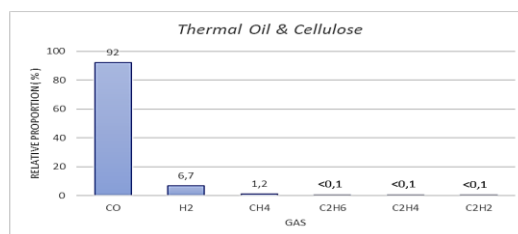
• روغن معدنی حرارتی



شکل 2. مشخصه دمای روغن

بر اساس شکل 2. تجزیه گازهایی از جمله اتیلن (C_2H_4) و متان (CH_4) از مقادیر کمی هیدروژن (H_2) و اتان (C_2H_6) استفاده می کند. با ظهور گاز استیلن (C_2H_2)، یک خطا می تواند به شدت رخ دهد یا به دنبال آن تماس الکتریکی ایجاد شود. گاز بیشتر توسط اتیلن (C_2H_4) غالب است.

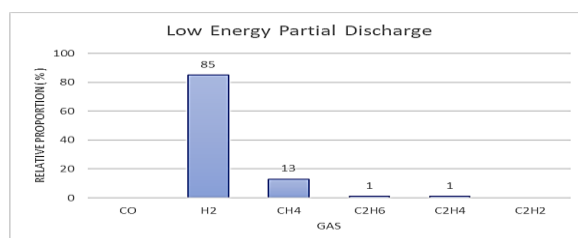
• روغن معدنی حرارتی و سلولزی



شکل 3. مشخصه دمای سلولزی

بر اساس شکل 3. مقدار مونوکسید کربن (CO) در اثر گرمایش سلولز نقش دارد. گازهای هیدروژن (H_2)، متان (C_4) و اتیلن (C_2H_4) زمانی تشکیل می شوند که اختلالات با ساختار روغن ترانسفورماتور همراه باشد. بیشتر گاز توسط مونوکسید کربن (CO) غالب است.

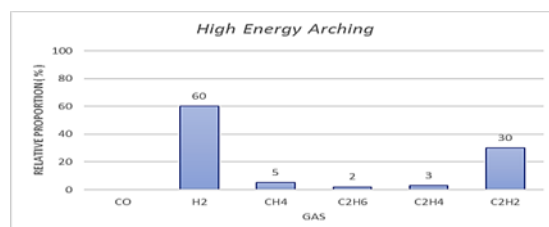
• الکتریکی - تخلیه جزئی کم



شکل 4. مشخصه یک پرش در شارژ الکتریکی

بر اساس شکل 4. تخلیه کم انرژی هیدروژن (H_2) و متان (CH_4) را همراه با مقادیر کمی اتان (C_2H_6) و اتیلن (C_2H_4) تولید می کند. مقدار مونوکسید کربن (CO) نتیجه آزاد شدن سلولز است. بیشترین گاز تحت سلطه هیدروژن است (H_2).

• الکتریکی - قوس انرژی بالا



شکل 5. مشخصه جاری شدن الکتریکی

مطابق شکل 5. هیدروژن (H_2) و استیلن (C_2H_2) و مقداری متان (CH_4) و اتیلن (C_2H_4) تولید می شود. مونوکسید کربن (CO) همیشه خواهد بود تشکیل شود اگر وجود دارد شکست سلولز روغن می تواند کربنیزه شود. بیشتر گاز توسط هیدروژن (H_2) و استیلن (C_2H_2) غالب است.

3.2.2. نسبت راجر

این روش نسبت راجر مقدار نسبت گازها به یک دیگر را مقایسه می کند. نسبت های گاز مورد استفاده در تحلیل نسبت راجر عبارتند از $H_2 \div CH_4$ معروف به R1، $C_2H_2 \div C_2H_4$ شناخته شده به عنوان R2، $C_2H_4 \div C_2H_6$ معروف به R5 که در جدول 1 نشان داده شده است. بر اساس IEEE C57.104-2019، نسبت راجر الزامات خاصی ندارد بنابراین می توان از نسبت راجر به طور مستقیم استفاده کرد.

3.2.3. نسبت دورنبرگ

روش نسبت دورنبرگ یکی از روش های تجزیه و تحلیل گاز تجزیه شده از روغن ترانسفورماتور است. این روش مشابه روش نسبت راجر است ولی فقط از سه تشخیص استفاده می کند. اگرچه، غلظت گاز های استفاده شده در محاسبات نسبت دورنبرگ عبارتند از: $R1 = CH_4/H_2$ ، $R2 = C_2H_2/C_2H_4$ ، $R3 = C_2H_2/CH_4$ ، $R4 = C_2H_6/C_2H_2$. این نسبت دورنبرگ دارای دو شرط برای اطمینان از داده های دورنبرگ است، یعنی:

(1) اگر غلظت یکی از گازهای H_2 ، CH_4 ، C_2H_2 ، C_2H_4 بیش از 2 برابر مقدار حد L1 و یکی از دو گاز دیگر (CO و C_2H_6) از مقدار حد L1 تجاوز کند.

(2) تعیین اعتبار نسبت: حداقل یک گاز در نسبت R1، R2، R3 یا R4 فراتر از مقدار حد L1 برود، و در غیر این صورت نمونه روغن مجدداً گرفته می شود.

جدول 1 نسبت راجر استاندارد

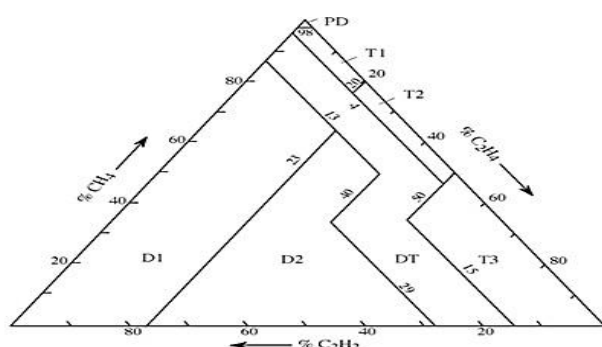
مورد	R1	R2	R5	تشخیص احتمال خطا
0	0,1 به 1,0	$1.0 >$	$1.0 >$	واحد طبیعی
1	$1.0 >$	$1.0 >$	$1.0 >$	تراکم انرژی پایین قوس تخلیه جزئی
2	0,1 به 1,0	0,1 به 3,0	$3.0 <$	قوس بالای تخلیه جزئی
3	0,1 به 1,0	$1.0 >$	0,1 به 3,0	حرارتی با دمای پایین
4	$1.0 <$	$1.0 >$	0,1 به 3,0	حرارتی کمتر از 700 درجه سانتی گراد
5	$1.0 <$	$1.0 >$	$3.0 <$	حرارتی بیشتر از 700 درجه سانتی گراد

جدول 2 داده غلظت گاز L1 دورنبرگ

غلظت L1 (قسمت در میلیون)	گاز پارامتر
100	هیدروژن (H_2)
120	متان (CH_4)
350	کربن مونوکسید (CO)
1	استیلن (C_2H_2)
50	اتیلن (C_2H_4)
65	اتان (C_2H_6)

3.2.4. مثلث دووال

روش مثلث دووال از سه گاز استفاده می کند که با افزایش محتوای انرژی مطابقت دارند: (CH_4) برای مشکلات انرژی کم یا دمای پایین، اتیلن (C_2H_4) برای مشکلات دمای بالا، و استیلن (C_2H_2) برای انرژی بالا یا بالا درجه حرارت یا خطای قوس است. جمع کل این سه گاز 100٪ است ولی یک تغییر در ترکیب این سه گاز نشان دهنده خرابی احتمالی در تجهیزات تحت آزمایش است.



Fault Gas	Description
T1	خطای حرارتی، دمای زیر 300 درجه سانتی گراد
T2	خطای حرارتی، دمای زیر 300 درجه سانتی گراد و زیر 700 درجه سانتی گراد
T3	خطای حرارتی، بالای 700 درجه سانتی گراد
DT	حرارتی و الکتریکی
PD	تخلیه جزئی
D1	تخلیه کم انرژی
D2	تخلیه زیاد انرژی

شکل 5. نشانه های روش مثلث دووال و شرح خطای گاز مثلث دووال

برای ارائه نتایج آنالیز گاز محلول در مثلث دووال، شروع غلظت سه گاز ضروری است. (CH_4) برای مقدار A، (C_2H_4) برای مقدار B و (C_2H_2) برای مقدار C، بر حسب ppm (قسمت در میلیون) است. ابتدا مقدار کل این سه مقادیر را محاسبه کنید: $(CH_4 + C_2H_4 + C_2H_2)$ به عنوان مقدار S، بر حسب ppm، سپس نسبت تناسب سه گاز را بر حسب درصد محاسبه کنید، مقدار X برابر است با $CH_4 = 100\%$ (مقدار A/S)، مقدار Y برابر است با $C_2H_4 = 100\%$ (مقدار B/S) و مقدار Z برابر است با $C_2H_2 = 100\%$ (مقدار C/S).

مقادیر X، Y و Z باید بین 0 تا 100٪ و $100\% = (X + Y + Z)$ باشد. مقادیر X، Y و Z برای مثلث تنها یک نقطه برای آن می دهند. به عنوان مثال، اگر نتیجه آنالیز گاز محلول $100\text{ ppm} = C = B = A$ باشد، $33.3\% = Z = Y = X$ این با یک نقطه در مرکز مثلث مطابقت دارد. اگر مختصات سه گاز در ناحیه تخلیه جزئی باشند یک تخلیه جزئی رخ داده است. حوزه T1 خطای حرارتی در دمای زیر 300 درجه سانتی گراد را نشان می دهد و حوزه T2 خطای حرارتی را بین دمای 300 درجه سانتی گراد و 700 درجه سانتی گراد نشان می دهد. منطقه D1 رهایی انرژی کم (جرقه) را نشان می دهد و حوزه D2 آزادسازی انرژی بالا (قوس الکتریکی) را نشان می دهد. ناحیه DT ترکیبی از خرابی های حرارتی و الکتریکی است.

4. نتایج و بررسی

4.1. اشیاء و مطالعه مناطق

اینجا دو شیء ترانسفورماتور قدرت که به عنوان نیروگاه مورد مطالعه قرار خواهند گرفت وجود دارند. مشخصات ترانسفورماتور تست شده در جدول 3. ارائه شده است.

جدول 3 مشخصات ترانسفورماتور

ترانسفورماتور TX1A	ترانسفورماتور SST1B	داده های مشخصات
1250	2000	رتبه بندی نامی (KVA)
اولیه : 6,6 و ثانویه : 0,4	اولیه : 5,11 و ثانویه : 6,6	ولتاژ نامی (KV)
اولیه : 3,109 و ثانویه : 180,42	اولیه : 4,100 و ثانویه : 175	جریان نامی (A)
ONAN	ONAN	خنک کاری
روغن معدنی	روغن معدنی	نوع روغن
295	1160	وزن روغن

4.2. تحلیل داده های ترانسفورماتور SST1B

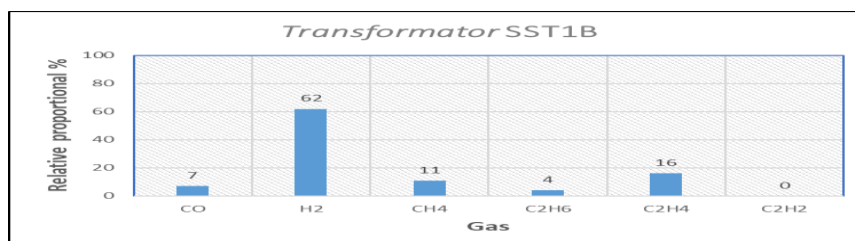
پارامترهای موجود در داده ها مقادیر غلظت انواع مختلف گازهای مزاحم هستند: هیدروژن (H_2)، متان (CH_4)، اتان (C_2H_6)، اتیلن (C_2H_4) و مونوکسید کربن (CO).

جدول 4 پارامتر گاز ترانسفورماتور SST1B

مقدار	استاندارد	واحد	گاز پارامتر
227	IEC ۶۰۵۶۷	ppm	هیدروژن (H_2)
42	IEC ۶۰۵۶۷	ppm	متان (CH_4)
25	IEC ۶۰۵۶۷	ppm	کربن مونوکسید (CO)
429	IEC ۶۰۵۶۷	ppm	کربن دی اکسید (CO_2)
0,24	IEC ۶۰۵۶۷	ppm	استیلن (C_2H_2)
58	IEC ۶۰۵۶۷	ppm	اتیلن (C_2H_4)
13	IEC ۶۰۵۶۷	ppm	اتان (C_2H_6)

4.2.1. روش گاز کلیدی

اولین کاری که در استفاده از روش گاز کلیدی باید انجام شود، تعیین درصد هر گاز است که پس از آن درصد های زیر بدست می آید:



شکل 6. نمودار گاز کلیدی SST1B

بر اساس شکل 6 می توان دیده شود که گازهای غالب در تست هیدروژن (H_2) و اتیلن (C_2H_4) با مقادیر 62٪ و 16٪ هستند. بر اساس داده ها و استاندارد IEEE C57.104-2019، ترانسفورماتور B1SST در تخلیه الکتریکی ناموفق بوده است.

4.2.2. روش نسبت راجر

روش نسبت راجر 5 نوع غلظت گاز را با هم مقایسه می کند: متان (CH_4)، هیدروژن (H_2)، استیلن (C_2H_2)، اتیلن (C_2H_4)، اتان (C_2H_6).

$$R1=CH_4/H_2=42/227=0.018 \quad R2=C_2H_2/C_2H_4=0.24/58=0.004 \quad R5=C_2H_4/C_2H_6=58/13=4.46$$

پس از بدست آوردن مقادیر مقایسه ای گازها، آنها را وارد نسبت راجر می کنیم که در جدول 1 نشان داده شده است. کد R1، R2، R5 نشان می دهد که مقدار با جدول مطابقت ندارد، بنابراین این مقدار را نمی توان در جدول استاندارد وارد کرد.

4.2.3. روش نسبت دورنبرگ

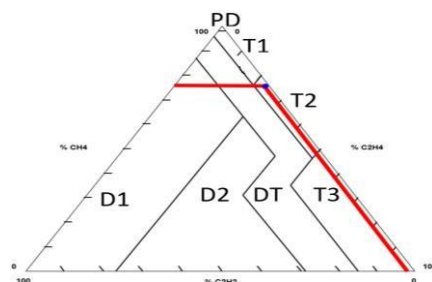
روش نسبت دورنبرگ 5 نوع غلظت گاز را با هم مقایسه می کند: متان (CH_4)، هیدروژن (H_2)، استیلن (C_2H_2)، اتیلن (C_2H_4)، اتان (C_2H_6).

$$R1=CH_4/H_2=42/227=0.018 \quad R2=C_2H_2/C_2H_4=0.24/58=0.004 \quad R3=C_2H_2/CH_4=0.24/42=0.005 \\ R4=C_2H_6/C_2H_2=13/0.24=54.1$$

پس از بدست آوردن مقدار مقایسه ای گازها، به نسبت دورنبرگ می رسیم و R1، R2، R3، R4 تجزیه حرارتی را نشان می دهد. روی لایه عایقی سیم نشانه ای از گرمای بیش از حد وجود دارد و این می تواند باعث ایجاد گاز CO شود زیرا با یک لایه عایق سلولزی چسبانده شده است و باعث کاهش استحکام دی الکتریک روغن عایق است.

4.2.4. روش مثلث دووال

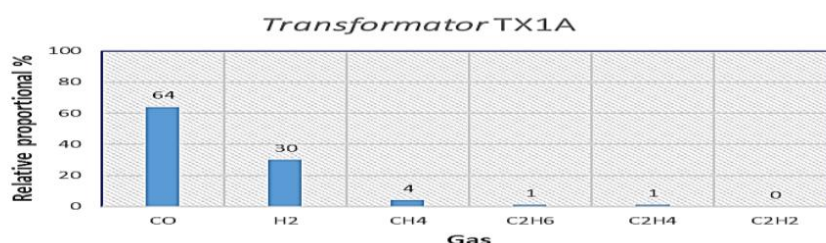
روش مثلث دووال از 3 مقدار غلظت گاز استفاده می کند که عبارتند از: متان (CH_4)، اتیلن (C_2H_4)، و استیلن (C_2H_2). بر اساس شکل 7 می توان نتیجه گرفت که نشانه ای از اغتشاش حرارتی با درجه حرارت بیشتر از 700 درجه سانتی گراد وجود دارد. مشاهده می شود که نقطه میانی این 3 نوع گاز در ناحیه T3 است.



شکل 7. نتایج از تحلیل و بررسی از روش مثلث دوال ترانسفورماتور SST1B

4.3. تحلیل داده های ترانسفورماتور TX1A

4.3.1. روش گاز کلیدی



شکل 8. نمودار گاز کلیدی TX1A

بر اساس شکل 6 مشاهده می شود که گازهای غالب در آزمایش آنالیز گاز محلول، مونوکسید کربن (CO) و هیدروژن (H2) با مقادیر 64% و 30% است. بر اساس داده ها و استاندارد های IEEE C57.104-2019، ترانسفورماتور TX1A شکست سلولز معدنی حرارتی و گرمای بیش از حد را تجربه می کند.

4.3.2. روش نسبت راجر

روش نسبت راجر 5 نوع غلظت گاز را با هم مقایسه می کند: متان (CH_4)، هیدروژن (H_2)، استیلن (C_2H_2)، اتیلن (C_2H_4)، اتان (C_2H_6).

$$R1=CH4/H2=25/200=0.125 \quad R2=C2H2/C2H4=0.24/8=0.03 \quad R5=C2H4/C2H6=8/5=1.6$$

پس از بدست آوردن مقادیر مقایسه ای گاز ها، آنها را وارد نسبت راجر می کنیم که در جدول 1 نشان داده شده است. کد R1، R2، R5 نشان می دهد که مورد 3 نشانه ای از دمای حرارتی پایین روی لایه عایق سیم وجود دارد و می تواند باعث ایجاد گاز CO شود زیرا با لایه عایق سلولزی ترکیب می شود. این شرایط قدرت دی الکتریک عایق روغنی را کاهش می دهد.

4.3.3. روش نسبت دورنبرگ

روش نسبت دورنبرگ 5 نوع غلظت گاز را با هم مقایسه می کند: متان (CH_4)، هیدروژن (H_2)، استیلن (C_2H_2)، اتیلن (C_2H_4)، اتان (C_2H_6).

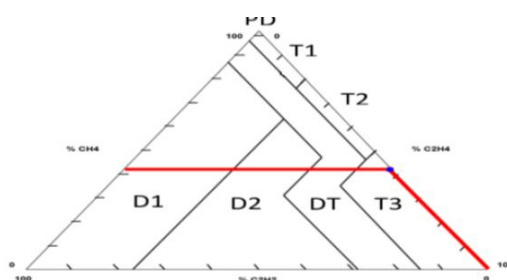
$$R1=CH_4/H_2=25/200=0.125 \quad R2=C_2H_2/C_2H_4=0.24/8=0.03 \quad R3=C_2H_2/CH_4=0.24/5=0.0096$$

$$R4=C_2H_6/C_2H_2=5/0.24=20.84$$

پس از بدست آوردن مقدار مقایسه ای گازها، به نسبت دورنبرگ می رسمیم و $R1$ ، $R2$ ، $R3$ ، $R4$ تجزیه حرارتی را نشان می دهد. روی لایه عایقی سیم نشانه ای از گرمای بیش از حد وجود دارد و این می تواند باعث ایجاد گاز CO و CO_2 شود زیرا با یک لایه عایق سلولزی چسبانده شده است و باعث کاهش استحکام دی الکتریک روغن عایق است.

4.3.4. روش مثلث دووال

روش مثلث دووال از 3 مقدار غلظت گاز استفاده می کند که عبارتند از: متان (CH_4)، اتیلن (C_2H_4)، و استیلن (C_2H_2). بر اساس شکل 9 می توان نتیجه گرفت که نشانه ای از اغتشاش حرارتی با درجه حرارت از 300 درجه سانتی گراد تا 700 درجه سانتی گراد وجود دارد. مشاهده می شود که نقطه میانی این 3 نوع گاز در ناحیه $T2$ است.



شکل 9. نتایج از تحلیل و بررسی از روش مثلث دووال ترانسفورماتور TX1A

4.4. نتایج تحلیل و بررسی ترانسفورماتورهای TX1A و SST1B

جدول 5 نتایج تست آنالیز گاز محلول و تحلیل داده ها

ترانسفورماتور	روش آنالیز	نتایج آنالیز گاز محلول
SST1B	گاز کلیدی	انرژی کم – تخلیه جزئی
SST1B	نسبت راجر	نا موجود
SST1B	نسبت دورنبرگ	تجزیه حرارتی
SST1B	مثلث دووال	شکست حرارتی بیش از 700 درجه
TX1A	گاز کلیدی	انرژی بالا – قوس الکتریکی
TX1A	نسبت راجر	حرارتی دمای کم
TX1A	نسبت دورنبرگ	تجزیه حرارتی

TX1A	مثلت دووال	شکست حرارتی 300 تا 700 درجه
------	------------	-----------------------------

1. نتایج تجزیه و تحلیل به دست آمده در جدول 5 نشان می دهد که وضعیت ترانسفورماتور SST1B یک خطای حرارتی کمتر از 700 درجه سانتی گراد را نشان می دهد. چندین علت احتمالی خطا شامل اضافه بار، فرسایش عایق بین هادی های مجاور و در سیم پیچی است. هنگامی که دما بیش از 700 درجه سانتیگراد است، تشکیل ذرات کربن قابل توجهی می تواند در روغن رخ دهد و تغییر رنگ روغن تبدیل به فلز یا تجمع فلزی می شود.

2. نتایج تجزیه و تحلیل به دست آمده در جدول 5 نشان می دهد که وضعیت واحد ترانسفورماتور TX1A دارای خطای حرارتی بین 300 تا 700 درجه سانتی گراد است. چندین علت احتمالی شامل اضافه بار، فرسوده شدن عایق بین هادی های مجاور و در سیم پیچی است. ظاهر روغن زمانی که بالای 200 درجه سانتی گراد می رسد به رنگ قهوه ای در می آید و زمانی که دمای آن به بالای 300 درجه می رسد ذرات کربن درون آن تشکیل می شود.

5. نتیجه گیری

در تجزیه و تحلیل نهایی، نتایج زیر را می توان گرفت: روش گاز کلیدی این مزیت را دارد که می تواند نشانه هایی از اختلالات در ترانسفورماتور را با استفاده از تصاویر گرافیکی استنتاج کند. اما نقطه ضعف آن این است که تصاویر به دست آمده از نتایج آزمایش با استاندارد IEEE C57.104-2019 یکسان نیست. برای تعیین اختلالات ترانسفورماتور می توان از روش های نسبت راجر و دورنبورگ استفاده کرد. اما نقطه ضعف این روش استفاده از محاسبات و مقادیر مشخص شده در جدول استاندارد IEEE C57.104-2019 است. روش مثلث دووال مناسب ترین روش برای استفاده است زیرا می تواند با محاسبات ساده و قدرتمند عیب های یک ترانسفورماتور را استنباط کند و انواع نشانگر های خطا را می توان در مناطق بسته تشخیص داد. نشان دهنده خطا در دو ترانسفورماتور که دچار شکست حرارتی بیش از حد شده اند است.

مراجع

- [1] مرتضایی، محمد، و مرادی، احمد. (1395). عیب یابی عایق کاغذ روغن ترانسفورماتور قدرت به روش FDS. کنفرانس بین المللی برق <https://sid.ir/paper/882748/fa> SID.
- [2] Mortazi, Mohammad and Moradi, Ahmad and Khosravi, Mohsen (2021): Simultaneous optimization of transformer tap changer and network capacitors to improve the distribution system's static security considering distributed generation sources. Published in: International Journal of Engineering Science and Computing , Vol. 11, No. 07 (30 July 2021): pp. 28527-28536.
- [3] Moradi, A., Hosseini, S. M. H. Partial discharge detection by using combined VHF and AE sensors in XLPE power cables. Signal Processing and Renewable Energy, 2019; 3(3): 5s1-71. (2019) doi:20.1001.1.25887327.2019.3.3.4.3
- [4] moradi, ahmad and mortazi, mohammad and nadi polkhab alireza,1396,ANALYSIS AND DE-NOISING OF PARTIAL DISCHARGE SIGNALS IN MEDIUM VOLTAGE XLPE CABLES,International Conference on New Horizons in Engineering Sciences.
- [5] Minaee, Iman and Hosseini, Seyyed Mohammad Hassan and Moradi, Ahmad,1400,Comparison of Ultra-High Frequency Sensors and Capacitive Coupler in Detecting the Partial Discharge of Power Cables,Fourth International Conference on Electrical, Computer and Mechanical Engineering,Tehran.

- [6] moradi, ahmad and mortazi, mohammad and nadi polkhabbi alireza, 1396, Partial Discharge Field Testing and Analysis by UHF and HFCT Signals in power cables, International Conference on New Horizons in Engineering Sciences, <https://civilica.com/doc/781213>
- [7] Hosseini, Seyed Mohammad Hassan and Peyman Rezaei Baravati. "Transformer Winding Modeling based on Multi-Conductor Transmission Line Model for Partial Discharge Study." *Journal of Electrical Engineering & Technology* 9 (2014): 154-161.
- [8] Hosseini, Seyed Mohammad Hassan and Peyman Rezaei Baravati "Partial discharge localization based on detailed models of transformer and wavelet transform techniques" *Journal of Electrical Engineering and Technology*, 10 (3), pp. 1093-1101, 2015.
- [9] سید محمد حسن، سید محمد حسن و مرادی، احمد و مینایی، ایمان، 1396، عیب یابی بهینه تخلیه جزئی PD در کابل های فشار قوی با استفاده از سنسورهای فرکانس بالا، کنفرانس ملی رویکردهای نوین در صنعت برق، تهران، <https://civilica.com/doc/829086>
- [10] حسینی، سید محمد حسن و مینایی، ایمان و مرادی، احمد، 1396، طرح اولیه و پیشنهادی کوپلر خازنی پهن باند به منظور کاربرد در تست های تخلیه جزئی در کابل قدرت، کنفرانس ملی رویکردهای نوین در صنعت برق، تهران <https://civilica.com/doc/829086>
- [11] Tseng, Kuo-Ching, En-Ming Shih, and Guan-Yu Huang. "An integrated of buck and half-bridge high step- down converter utilizing single-stage driving design for high-efficiency energy conversions." *International Journal of Circuit Theory and Applications* 51.2 (2023): 750-763
- [12] Torres, Jorge, et al. "Implementation of a Condition Monitoring Software for Mineral Oil-Immersed Transformers via Dissolved Gas In-Oil Analysis." 2021 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2021 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC/I&CPS Europe). IEEE, 2021
- [13] Smaism, Ghassan Fadhil, Azher M. Abed, and Hosein Alavi. "Analysis of pollutant emission reduction in a coal power plant using renewable energy." *International Journal of Low-Carbon Technologies* 18 (2023): 38- 48
- [14] Putra, Muhammad Akmal Afibuddin, et al. "Dissolved Gas Analysis of Generator Step Up Transformer in Grati Power Plant Using Random Forest Based Method." *Journal of Telecommunication Network (Jurnal Jaringan Telekomunikasi)* 13.1 (2023): 51-58
- [15] Schneider, Kevin P., et al. "Analytic considerations and design basis for the IEEE distribution test feeders"
- [16] IEEE Transactions on power systems 33.3 (2017): 3181-3188
- [17] Cholis, Nur, and Rizki Noor Prasetyono. "Analysis Of The Effect Of Magnetic Location And Addition Of Berrier Flux On Back EMF Value On Pmsg 12S8P Using FEM Method." *Journal of Electronic and Electrical Power Applications* 2.1 (2022): 65-71
- [18] Sodilesmana, Anggy Eri, Nasrulloh Nasrulloh, and Rizki Noor Prasetyono. "The Effect Of [3] Loading And Unbalanced Load On Determination Of Life Loss Of Distribution Transformers.: Array." *Journal of Electronic and Electrical Power Applications* 1.2 (2021): 1-7
- [19] Darmana, Tasdik, Syarif Hidayat, and Miftahul Khoir. "Analisis Pemerataan Beban Pada [4] Transformator Dari Sisi Sekunder Terhadap Penyaluran Tenaga Listrik Di Pt. Pln (Persero) Up3

.Cengkareng." Jurnal Ilmiah Teknik 2.2 (2023): 73-80

[20] Ali, Mohd Syukri, et al. "Conventional methods of dissolved gas analysis using oil-immersed power transformer for fault diagnosis: A review." *Electric Power Systems Research* 216.109064 (2023)

[21] Tang, Mingcong, et al. "Density Functional Theory Study of Adsorption of Dissolved Gas in Transformer Oil on a Metal (Ag, Pd, and Pt)-Doped NbSe₂ Monolayer." *ACS Applied Nano Materials* 6.7 (2023): 5517-5526

[22] Naibaho, Nurhabibah. "Analisis Kegagalan Transformator Berdasarkan Hasil Pengujian [7] ANALISIS GAS TERDISSOLVASI." *PROSIDING SEMINAR NASIONAL ENERGI & TEKNOLOGI (SINERGI)*. 2018

[23] Equipment, Oil-Filled Electrical. "Sampling of Gases and Analysis of Free and Dissolved [8] Gases— Guidance." *Standard IEC 60567* 2011(

[24] Shidiq, Syahril, Aeri Sujatmiko, and Abdul Hafid Paronda. "Pengujian Dissolved Gas [9] Pada Trafo Tenaga 150/20kv 60mva Di Gardu Induk Tambun." *JREC (Analisis Gas Terdissolusi)* (Journal of Electrical and Electronics) 7.1 (2019): 43-52

[25] Meira, Matias, et al. "Comparison of gases generated in mineral oil and natural ester [10] immersed transformer's models." *2020 IEEE Electrical Insulation Conference (EIC)*. IEEE, 2020

[26] Oktaviani, Ria, and Yohannes M. Simanjuntak. "Analisis Pengujian Dga Menggunakan [11] Metoda Chromatography Gas Sebagai Indikasi Kegagalan Minyak Isolasi Transformator Gi 150 Kv Kota Baru." *Jurnal Teknik Elektro Universitas Tanjungpura* 2.1 (2020)

[27] Ali, Mohd Syukri, et al. "Conventional methods of dissolved gas analysis using oil-immersed power transformer for fault diagnosis: A review." *Electric Power Systems Research* 216.109064 (2023)

[28] method for power transformer faults Nanfak, Arnaud, et al. "Hybrid [13] diagnosis based on evolutionary k- means clustering and dissolved gas subsets analysis." *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation* 2023(

[29] Bakar, Norazhar Abu, et al. "Improvement of transformer dissolved gas analysis [14] interpretation using J48 decision tree model." *IAES International Journal of Artificial Intelligence* 48 (2023) 12.1

[30] Wajid, Abdul, et al. "Comparative Performance Study of Dissolved Gas Analysis Methods for Identification of Faults in Power Transformer." *International Journal of Energy Research* 2023 (2023)

[31] Araujo, Mateus M., et al. "Enhancing gas formation theory assessment in power [16] transformers by using decision tree transparency and new guess into decomposition temperatures of insulating mineral oil." *Neural Computing and Applications* (2023): 1-8

[32] Manoj, T., et al. "Alternate and effective dissolved gas interpretation to understand the transformer incipient faults." *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation* 2023(

The application of the Dissolved Gas Analysis (DGA) technique in detecting issues on two Power Transformers with a capacity of 2MVA and voltage ratings of 11.5kV-0.4kV

Mohammad Parsa Shahriari¹, Mohammad Amin Karami², Ahmad Moradi³, Shahab Aldin Nikookhesal⁴

¹ Department of Electrical Engineering, South Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran, mohammadparsashahriariandp.sh@gmail.com

² Department of Electrical Engineering, South Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran, mohammadaminikarami3500@gmail.com

³ Department of Electrical Engineering, South Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran, St_ahmad_moradi@azad.ac.ir

⁴ Department of Electrical Engineering, South Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran, pes.nikookhesal@gmail.com

Abstract— This research delves into the utilization of four Dissolved Gas Analysis (DGA) methods to detect failure indicators in power transformers. Transformer failures can manifest as thermal or electrical failures, emitting hazardous fault gases. The insulating oil in power transformers aids in cooling and dissolving these dangerous gases to prevent uncontrolled circulation. Analyzing the type and concentration of gases dissolved in the oil can offer insights into transformer failure indicators. Hence, DGA analysis is carried out to identify effective methods for recognizing these signs of failure. Oil samples were extracted from transformers and subjected to analysis using four distinct DGA methods. The results of the DGA analysis unveiled varying levels of gas concentration. Through the application of the Key Gas Method, Roger's Ratio Method, Doernenburg's Ratio Method, and Duval's Triangle Method, it was determined that the transformers had experienced thermal damage. The analysis using Duval's Triangle Method specifically indicated that two transformers had overheated. Therefore, the Duval's Triangle Method analysis can be deemed as an efficient approach for detecting abnormalities in power transformers due to its straightforward yet effective calculations.

Keywords: Dissolved Gas Analysis, Key Gas, RogerRatio, Doernenburg Ratio, Duval Triangle