# عیب یابی تپ سلکتور تپ چنجرهای قابل قطع زیر بار با استفاده از آنالیز گازهای محلول در روغن بهمراه مطالعه موردی

محسن حسین خانلو، سلیمان علیمحمدی
شرکت برق منطقه‌ای زنجان

***چکیده*** — ترانسفورماتور مهم ترین تجهیز موجود در پست‌های فشارقوی می‌باشد که نقش اساسی در تامین انرژی پایدار در شبکه دارد. وقوع هر نوع حادثه و عیب می‌تواند تامین انرژی را با چالش بزرگ مواجه کند. بر اساس آمار درصد قابل توجهی از عیوب در قسمت تپ چنجر رخ می‌دهد که در چنین شرایطی استفاده از روشهای مناسب جهت پیشگیری از حوادث و عیوب در این تجهیز ضروری می‌نماید. انجام تست های عیب یابی مثل تست گازکروماتوگرافی به منظور مشخص کردن گازهای محلول در روغن، می‌تواند کمک شایانی در شناسایی عیوب داشته باشد. در این مقاله با استفاده از آنالیز گازهای محلول در روغن نحوه شناسایی عیب در تپ سلکتور تپ چنجر قابل قطع زیر بار به همراه مطالعه موردی تشریح شده است.

.

**واژه‌های کلیدی** — ترانسفورماتور، تپ چنجر ، گازهای محلول در روغن، گازکروماتوگرافی

## مقدمه

ترانسفورماتور گرانترین تجهیز موجود در پست‌های فشارقوی می‌باشد که از دست دادن این تجهیز می‌تواند صدمات بسیاری را به تامین انرژی پایدار در شبکه وارد کند. سالیانه تعداد قابل توجهی از ترانسفورماتورها به دلیل عدم انجام تست های عیب یابی دچار حادثه می‌شوند. عیب‌هایی که در داخل ترانسفورماتور رخ می‌دهند، غالبا باعث تولید گاز در روغن می‌شوند. در چنین شرایطی انجام تست هایی همانند گازکروماتوگرافی می‌تواند کمک شایانی در شناسایی عیوب انجام دهد.

یک ترانسفورماتور از اجزای مختلفی همچون سیم پیچ ها، هسته ، تپ چنجر، تانک و سایر تجهیزات تشکیل شده است. با توجه به آمارهای موجود[1]، بیش‌ترین خطاهاو عیوب در ترانسفورماتور، در ناحیه تپ چنجر رخداده است. در نتیجه، اتخاذ روش‌های صحیح جهت شناسایی عیوب تپ چنجر و جلوگیری از خروج ناخواسته ترانسفورماتور حیاتی می‌باشد. به منظور تعیین میزان اثربخشی روش گازکروماتوگرافی در تشخیص عیب تپ چتجر بایستی با انواع تپ چنجر و ساختار آنها آشنا شد که در بخش ذیل ارائه شده است.

### ۱- انواع ساختار تپ چنجرهای قابل قطع زیربار:

تپ چنجرهای قابل قطع زیربار(OLTC) را می‌توان در دو نوع زیر دسته بندی نمود[2]:

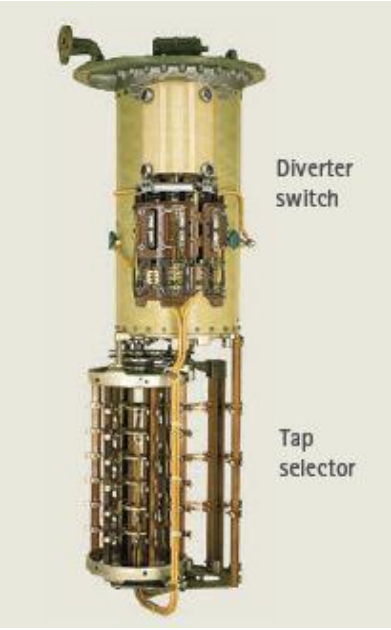
الف- تپ چنجرهای دارای سلکتور سوئیچ

ب- تپ چنجرهای دارای دایورتر سوئیچ و تپ سلکتور

نوع "الف" از یک بخش اصلی به نام سلکتورسوئیچ( Selector switch) تشکیل شده است که کار قطع و وصل جریان و انتخاب تپ را بر عهده دارد . در این نوع ساختار به شکلی است که کنتاکت های متحرک و ثابت تپ چنجر و روغن تپ چنجر در حالت عادی ارتباطی با روغن مخزن اصلی ندارند که طرح آن مطابق «شکل ۱» می‌باشد.

اما تپ چنجر نوع"ب" متشکل از دو قسمت دایورترسوئیچ( Diverter switch) و تپ سلکتور(Tap selector) است که طرح آن مطابق «شکل 2» می‌باشد. کار قطع و وصل جریان در قسمت دایورترسوئیچ انجام می‌شود اما تپ‌های فازهای مختلف در قسمت تپ سلکتور انتخاب می‌شود. در این نوع به دلیل قرار داشتن تپ سلکتور در داخل مخزن اصلی، امکان تولید گاز در صورت وجود عیب در این ناحیه، وجود خواهد داشت. این مقاله در صدد

شکل ۱: تپ چنجرهای دارای سلکتور سوئیچ




شکل ۲ – تپ چنجرهای دارای دایورتر سوئیچ و تپ سلکتور

بیان کردن نحوه عیب یابی در قسمت تپ سلکتور تپ چنجر نوع"ب" با استفاده از آنالیز گازهای محلول در روغن می‌باشد.

## ۲- *آنالیز گازهای محلول در روغن*

آنالیز گازهای محلول در روغن به عنوان یکی از روش‌های مشهور در عیب یابی ترانسفورماتور شناخته شده است. اساس این روش بر این اصل مبتنی است که عیب های مختلف باعث تولید گازهای خاصی در روغن می‌شوند.

نرخ تخریب روغن و سلولز بطور قابل توجهی با وجود خطا در داخل ترانسفورماتور افزایش می‌یابد. گازهای مهم تولید شده عبارتند از:

- متان ($CH_4$)، اتان ($C_2H_6$)، اتیلن ($C_2H_4$)، استیلن ($C_2H_2$)
- هیدروژن($H_2$)، مونواکسید کربن ($CO$)، دی اکسید کربن($CO_2$)
- نیتروزن ($N_2$) و اکسیژن($O_2$)

هرچند ممکن است عوامل مختلفی باعث ایجاد گاز شوند، اما عوامل ایجاد گازها می‌توان در سه دسته زیر طبقه‌بندی نمود:

الف) تخلیه جزئی

ب) خطای حرارتی

ج) تخلیه الکتریکی(آرک)

به منظور شناسایی هر یک از عوامل و عیوب بالا می‌توان از روش‌های گوناگونی همانند روش‌های ذیل استفاده نمود:

- روش گازهای کلیدی
- روش نسبت اساسی گازها
- روش دورنبرگ
- روش راجرز
- روش مثلث دوال

شرح هر یک از روش‌های بالا در استانداردهای IEC 60599 و IEEE C57.104 وسایر منابع آورده شده است [۳]و[۴]و[۵]و[۶].

همچنین به منظور تعیین مقادیر نرمال و غیر نرمال هر یک از گازهای اشاره شده، مقادیر مرزی در استانداردهای فوق بیان شده است.

## ۳- مطالعه موردی

ترانسفورماتور مورد مطالعه، یک ترانسفورماتور با ردیف ولتاژ ۶۳/۲۰ کیلوولت و ظرفیت 30MVA است که در پست فشارقوی الوند واقع شده است. تپ چنجر این ترانسفورماتور از نوع دارای دایورترسوئیچ و تپ سلکتور است. نتایج تست گازکروماتوگرافی این ترانسفورماتور در «جدول 1» آورده شده است.

جدول ۱: نتایج تست گازهای محلول در روغن

| تاریخ نمونه برداری | H2 | O2 | N2 | C0 | CO2 | CH4 | C2H4 | C2H6 | C2H2 | مقدارگازهای اشتعال پذیر |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 93/11/28 | 35 | 28362 | 69354 | 283 | 3421 | 95 | 603 | 160 | 8 | *1184* |
| 94/3/21 | 0 | 28160 | 78365 | 262 | 2874 | 43 | 389 | 118 | 5 | *817* |
| 94/10/6 | 51 | 25910 | 73638 | 318 | 3408 | 74 | 415 | 162 | 15 | *1035* |
| 94/12/5 | 78 | 32269 | 75632 | 241 | 3071 | 165 | 654 | 188 | 17 | *1343* |
| 95/3/5 | 138 | 26891 | 76359 | 278 | 3435 | 227 | 826 | 176 | 14 | *1659* |
| درصد رشد | *77* | *-17* | *1* | *15* | *12* | *38* | *26* | *-6* | *-18* | *24* |

رنگ بندی انجام شده در این جدول بر اساس وضعیت های بیان شده در جدول یک آخرین ویرایش استاندارد IEEE C57.104 می‌باشد که رنگ سبز،زرد،نارنجی و قرمز به ترتیب بیانگر وضعیت های ۴،۳،۲،۱ در این استاندارد می‌باشد.

با مشاهده مقادیر غیر نرمال در سال۱۳۹۳، فواصل نمونه برداری کاهش یافت تا روند تولید گاز معین گردد. در نمونه های تست شده در سال ۱۳۹۴ نیز وجود مقادیر غیرنرمال گاز و روند رو به رشد آن مشاهده گردید.

با استفاده از روش‌های بیان شده در استانداردهای IEC 60599 و IEEE C57.104 عیب حرارتی شناسایی گردید. یکی از عوامل ایجاد خطای حرارتی بر اساس استانداردهای فوق، وجود کنتاکت‌های معیوب می باشد. با توجه با نوع تپ چنجر این ترانسفورماتور که دارای کنتاکت های متعددی در داخل روغن تانک اصلی است، وجود عیب در این ناحیه محتمل گردید که بدین منظور تست مقاومت DC(بصورت رفت و برگشت در تمامی تپ‌ها) در۱۰ اسفند سال ۱۳۹۴ انجام گردید که نتایج آن در «جدول ۲و۳» آورده شده است.

با توجه به مقادیر به دست آمده که بیانگر تفاوت زیاد(بعضاً بیش از ۳۰ در صد) در مقادیر مقاومت بین فازها وبین تپ۹و۱۰ (قسمت change over )بود و با در نظر گرفتن اینکه مقدار قابل قبول تفاوت مقاومت ها بر اساس استاندارد [V] برابر۵ درصد است، وجود عیب در ناحیه تپ سلکتور(به دلیل تولید گاز و مقاومت بالا) محرز گردید. در بازدید میدانی انجام شده در۵ خرداد۹۵ ، آثار کربونیزاسیون و رسوب شدید در ناحیه Change over قسمت تپ سلکتور مشاهده گردید که در «شکل‌های۳ تا ۵» آورده شده است.

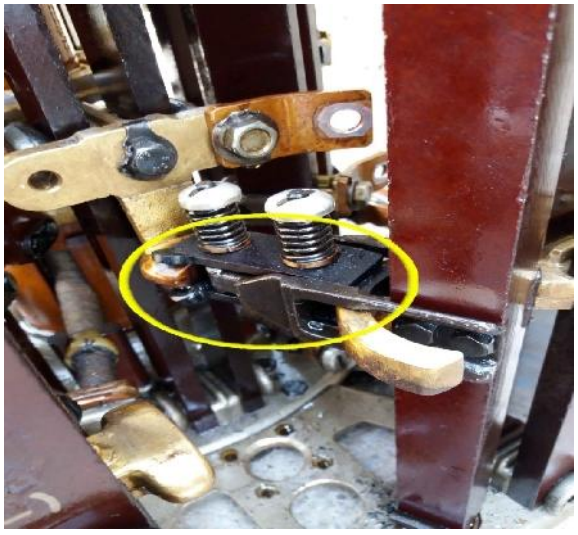
جدول ۲: نتایج تست مقاومت DC سیم پیچی(رفت)

| TAP | 1U-1N UP | فاصل تپ | 1V-1N UP | فاصل تپ | 1W-1N UP | فاصل تپ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 336 | 2 | 359 | 6 | 418 | 6 |
| 2 | 334 | 8 | 353 | 5 | 412 | 5 |
| 3 | 326 | 1 | 348 | 6 | 407 | 5 |
| 4 | 325 | 8 | 342 | 2 | 402 | 6 |
| 5 | 317 | 2 | 340 | 5 | 396 | 5 |
| 6 | 315 | 8 | 335 | 5 | 391 | 5 |
| 7 | 307 | 2 | 330 | 5 | 386 | 4 |
| 8 | 305 | 7 | 325 | 6 | 382 | 4 |
| 9 | 298 | 46 | 319 | 71 | 378 | 131 |
| 10 | 252 | 2 | 248 | 6 | 247 | 0 |
| 11 | 250 | 2 | 242 | 5 | 247 | 5 |
| 12 | 248 | 8 | 237 | 5 | 242 | 4 |
| 13 | 240 | 2 | 232 | 4 | 238 | 6 |
| 14 | 238 | 9 | 228 | 5 | 232 | 5 |
| 15 | 229 | 2 | 223 | 5 | 227 | 5 |
| 16 | 227 | 8 | 218 | 5 | 222 | 4 |
| 17 | 219 | 1 | 213 | 5 | 218 | 5 |
| 18 | 218 | 9 | 208 | 5 | 213 | 4 |
| 19 | 209 | | 203 | | 209 | |

جدول ۳: نتایج تست مقاومت DC سیم پیچی(برگشت)

| TAP | 1U-1N down | فاصل تپ | 1V-1N down | فاصل تپ | 1W-1N down | فاصل تپ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 333 | 1 | 363 | 6 | 418 | 6 |
| 2 | 332 | 7 | 357 | 4 | 412 | 3 |
| 3 | 325 | 3 | 353 | 15 | 409 | 5 |
| 4 | 322 | 7 | 338 | 4 | 404 | 5 |
| 5 | 315 | 2 | 334 | 7 | 399 | 5 |
| 6 | 313 | 6 | 327 | 4 | 394 | 5 |
| 7 | 307 | 2 | 323 | 4 | 389 | 5 |
| 8 | 305 | 3 | 319 | 4 | 384 | 2 |
| 9 | 302 | 50 | 315 | 68 | 382 | 135 |
| 10 | 252 | 12 | 247 | 5 | 247 | 0 |
| 11 | 240 | 1 | 242 | 6 | 247 | 7 |
| 12 | 239 | 8 | 236 | 4 | 240 | 4 |
| 13 | 231 | 1 | 232 | 5 | 236 | 6 |
| 14 | 230 | 8 | 227 | 5 | 230 | 4 |
| 15 | 222 | 0 | 222 | 5 | 226 | 5 |
| 16 | 222 | 8 | 217 | 4 | 221 | 4 |
| 17 | 214 | -2 | 213 | 5 | 217 | 5 |
| 18 | 216 | 8 | 208 | 5 | 212 | 4 |
| 19 | 208 | | 203 | | 208 | |

شکل۳: کنتاکت کربونیزه شده و داراب رسوب در هر سه فاز ناحیه تپ سلکتور



شکل۴: کنتاکت های کربونیزه شده و داراب رسوب بسیار شدید در تپ سلکتور

شکل۵: کنتاکت کربونیزه شده و داراب رسوب بسیار شدید در تپ سلکتور

## نتیجه‌گیری

در این مقاله با توجه به اهمیت تداوم پیوستگی برق و جایگاه ترانسفورماتور در این مسئله، ضرورت بررسی انجام تست گازکروماتوگرافی جهت تعیین عیب ترانسفورماتور بیان شد. همچنین انواع تپ چنجرهای موجود تشریح و چگونگی استفاده از تست گازکروماتوگرافی جهت شناسایی عیب یکی ازین انواع بیان گردید. در ادامه روشهای آنالیز گازهای محلول بررسی و تبیین گردید.در انتها نیز روش های انجام شده در جهت عیب‌یابی ترانسفورماتور۶۳/۲۰ کیلوولت پست الوند بررسی شده و نحوه استفاده از تست های مختلف و نتایج آنها در جهت عیب‌یابی ترانسفورماتور تشریح گردید.

## قدردانی

بدینوسیله از کلیه همکارانی که در این پروژه و شناسایی عیب ترانسفورماتور فوق الذکر، مساعدت داشته اند خصوصا معاونت محترم بهره برداری، مدیریت محترم دفتر فنی انتقال و همکاران محترم تعمیرات قزوین و زنجان و گروه محترم آزمایشگاه کمال تشکر و قدردانی را داریم.

## منابع

[۱]-P. Picher, S. Riendeau, M. Gauvin, F. Leonard, L. Dupont, J. Goulet, C. Rajotte, “New Technologies for Monitoring Transformer Tap-Changers and Bushings and Their Integration into a Modern IT Infrastructure”, CIGRE paper, Paris, France, 2012.

[2]- Dr. Ditel Dohnal" On-Load Tap-Changers for Power Transformers ", MR company brochure

[3]-IEC 60599:Guide to interpretation of dissolved and free gases analysis

[4]-IEEE Std C57.104-2008: IEEE Guide for the Interpretation of Gases Generated in Oil--Immersed transformers

[٥]- FIST 3-30 Transformer Maintenance- Facilities , Instructions Standards, and Techniques

[٦]- FIST 3-31 Transformer Diagnostics- Facilities , Instructions Standards, and Techniques

[٧]-IEEE Std 62-1995: IEEE Guide for Diagnostic Field Testing of Electric Power Apparatus - Part 1: Oil Filled Power Transformers, Regulators, and Reactors