



بررسی نمونه‌ای ترانسفورماتورهای توزیع سوخته شده

غلامحسن عبدی

علی فیاض

عباس کاظمی

شرکت توزیع نیروی برق مازندران - شرکت مهندسی مشاور نیروی مازندران - شرکت توزیع نیروی برق مازندران

چکیده :

مسئله بهره‌برداری و نگهداری ترانسهای توزیع با توجه به ارزش مهم آن در شبکه‌های توزیع از اهمیت بالائی برخوردار است. در شرایط فعلی بسیار مشاهده می‌شود که ترانسهای معیوب و سوخته بعد از برکنار شدن و نصب ترانسهای جدید بجای آنها بلافاصله به انبار تحویل داده شده و تجزیه و تحلیل مناسبی از علل سوختن اینگونه ترانسها بعمل نمی‌آید.

بنظر ماتجربیات حاصله از ترانسهای سوخته شده در روند بهره‌برداری از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده و بخصوص ارائه راه‌حلهای مناسب در زمینه چگونگی بررسی علل معیوب شدن و سوختن این ترانسها ضرورت مبرمی دارد بنابراین ما برای نیل به این هدف از بین ۴۰۰ دستگاه ترانس معیوب و سوخته شده استان مازندران در یک دوره پنجساله ابتدا با یک دسته‌بندی مناسب آنها را تفکیک و سپس از بین هر دسته حداقل یک دستگاه ترانس را انتخاب و با شیوه‌های ابتکاری که در مقاله می‌آید بطور نمونه‌ای و عینی تجربیات حاصله را جمع‌بندی نمودیم.

هرساله تعداد متنابهی از ترانسهای توزیع که در صد قابل توجهی از سرمایه شرکت توزیع محسوب می شود به علت عدم توجه و دقت در نگهداری دچار سوختن می گردند. با محاسبه آماری از بین ۴۰۰ دستگاه ترانس سوخته شده در یک دوره ۵ ساله که متوسط ظرفیت آنها ۲۰۰ کیلوولت آمپر بوده است در برق مازندران چنانچه قیمت هر دستگاه ترانس را بطور متوسط پانزده میلیون ریال برآورد نمائیم مشاهده می شود هر ساله شرکت توزیع برق مازندران سوای هزینه های خاموشی . پرسنلی و غیره مبلغ یک میلیارد و دو بیست میلیون ریال از بابت سوختن این ترانسها ضررمی دهد. لذا در این مقاله به تجزیه و تحلیل پنج عامل حادثه ساز در سوختن ترانسفورماتورها با دسته بندی ۴۰۰ دستگاه ترانسهای سوخته شده و انتخاب نمونه ای آنها بر اساس این پنج عامل در پنج نقطه مختلف شرایط آب و هوایی استان مازندران از طریق بررسی عینی و آزمایشگاهی می پردازیم .

- اضافه باری ناشی از عدم کنترل در مصرف بار

- اضافه جریان ناشی از اتصال کوتاه در نقاط دور شبکه

- اضافه ولتاژ ناشی از پدید آمدن صاعقه

- نفوذ رطوبت زیاد در روغن

- پیری و فرسودگی روغن

که ذیلاً "پنج نمونه از ترانسفورماتورهای که در اثر عوامل فوق الذکر سوخته و از مدار بهره برداری خارج شده اند مورد بررسی قرار می گیرد.

۱- بررسی علل سوختن ترانسفورماتورها

۱-۱- بررسی علت سوختن ترانسفورماتور تحت تأثیر اضافه بار - از نمونه های مهمی که تحت این عامل سوخته است ترانسفورماتور ۴۰۰ کیلوولت آمپر کارخانه آردگران بامشخصات زیر می باشد.

سال ساخت: ۱۳۵۷ قدرت ترانس: ۴۰۰ کیلوولت آمپر

شماره سریال: ۱۱۵۷۹۷۲۷ - کارخانه سازنده: ایران ترانسفو

وضعیت ظاهری: سالم % ۶ U% اتصال 5 Dy_m

نوع عایق بندی: زمان تحمل اتصال کوتاه ۳ ثانیه درجه حرارت محیط = ۴۰ °C

۱-۲-۱: بازدید از محل نصب ترانس و قدرتهای منصوبه کارخانه

- برگیرها و کات اوتها سالم بوده و از نوع المپامی باشند.
- کابلهای فشار ضعیف ورودی به تابلو فشار ضعیف با مقطع $185 + (2 \times 185) \text{ mm}^2$ و سالم هستند.
- اتصال سیم نول و بدنه تابلو به زمین بر اثر دستکاریهای مشترک قطع می باشد.
- هر سه ترانس جریان تابلو که از نوع " بوداپست " و با نسبت تبدیل $600/5$ - می باشد کاملاً ترک برداشته اند.
- فیوزهای خارجی تابلو که فقط مشترک مذکور را حفاظت می کنند با آمپراژ $630 + 200 = 830 \text{ A}$ می باشد.
- کابلهای خروجی تابلو که کارخانه آرد را تغذیه می کنند همانند کابلهای ورودی با مقطع $185 + (2 \times 185) \text{ mm}^2$ هستند.
- در زمان بازدید، پایه فیوز فاز وسط و فیوزهای مربوطه سوخته بودند. کابل خروجی مربوط به فاز وسطی اتصال به زمین بود.
- دیماند متر کنتور اکتیو عدد ۴ را نشان می داد که با احتساب نسبت تبدیل ترانس جریانها $600/5 = 120$ ماکزیم قدرت مصرفی کارخانه به 480 کیلووات می رسد.
- سیمهای رابط ثانویه ترانس جریان به کنتورهای اکتیو و راکتیو کاملاً قابل دسترس بوده است.
- قدرت منصوبه مصرفی کارخانه بالغ بر 650 کیلووات می باشد.

۱-۱-۳: بررسی آزمایشگاهی ترانس

- روغن ترانس متاسفانه در روز تعویض در برق منطقه گرگان تست نگردید.
- در آزمایش با اهم متر فاز وسطی 20 کیلوولت (سر بوشینگ فاز وسط) به دو فاز کناری ارتباطی نشان نمی دهد. ارتباطهای بوبینهای فشار ضعیف سالم نشان می دهند.

۱-۱-۴: بررسی در کارگاه تعمیرات ترانس :

- هر چهار کلاف کویل فشار متوسط فاز وسط هم از رو وهم در فاصله هر دو کلاف سوخته است. عایق روی سیم پیچ فشار متوسط فاز وسط پوسته شده و از هم پاشیده است. رابط کویل فشار متوسط همین فاز در محل لحیم باز شده و قطع گردیده است. بوبینهای 20 کیلوولت فازهای کناری و همچنین

کویل های فشار ضعیف سالم می باشند.

۱-۱-۵- علت سوختن ترانسفورماتور:

باتوجه به قدرت منصوبه کارخانه آردکه بیش از ۶۵۰ کیلووات بوده و کارکردن هماهنگ موتورهای آن راکه ضریب همزمانی حدود ۸۵٪ را بدست می دهد کیلووات مصرفی حدود ۵۰۰ کیلووات را برای این کارخانه در شرایط ماکزیمم دیماندرقم میزند. عدد ۴ مربوط به دیماند متر کنتور اکتیو کارخانه نیز موید این مطلب بوده و وسعت و گستردگی عیب در بوبین فاز وسط هم گویای سوختن ترانس بعلت اضافه باری می باشد.

۱-۲- بررسی ترانسفورماتور سوخته روستای پلمون جاده هراز آمل بعلت اتصال کوتاه نقطه دور شبکه

۱-۲-۱: مشخصات ترانسفورماتور شبکه فشار ضعیف مربوطه

- قدرت ترانس ۱۰۰ کیلوولت آمپر
- سال ساخت ۱۹۸۰
- کارخانه سازنده رومانی
- وضعیت ظاهری ترانس سالم و بدون عیب است.
- برقیگیرها سالم هستند و مجهزه ارت می باشند.
- فیوزکات اوت باسیم فیوز ۳ آمپر سالم است.
- تابلو فشار ضعیف مجهزه دو خروجی است که هر خروجی به ترتیب مجهزه فیوزهای ۱۰۰ و ۸۰ و ۱۰۰ آمپر و ۸۰ و ۶۳ و ۱۶۰ آمپر می باشند.
- بوشینگهای فشار متوسط و ضعیف سالم هستند، ردیوت گیر و روغن نما وضعیت مناسبی دارند.
- ارت بدنه تابلو و ارت نول وجود ندارد.
- شعاعهای خروجی فشار ضعیف ترانس نسبتاً طولانی می باشد.
- تابلو فشار ضعیف فاقد کلید اتوماتیک یا فیوز مادر می باشد.

۱-۲-۲: بررسی آزمایشگاهی ترانس

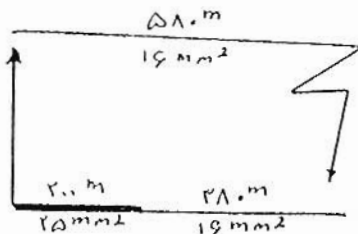
در جریان آزمایش استقامت عایقی روغن ترانسفورماتور با استفاده از دستگاه تست روغن میانگین ولتاژ شکست الکتریکی در فاصله ۲/۵ میلیمتر معادل ۳۵ کیلوولت بدست آمد.

۱-۲-۳: بررسی در کارگاه تعمیرات ترانس :

سیم پیچ فشار متوسط و سطحی و کویل کناری ترانسفورماتور در چندین جا و بطور عمقی دچار آسیب شده بودند. بطوریکه پوسته‌های عایقی سیم پیچی کاملاً سیاه شده و حلقه‌ها بهم متصل شده بودند. این مطلب نیز نتیجه‌گیریهای آزمایش روغن راکه نشان می‌داد سوختن ترانسفورماتور ناشی از اضافه جریان بود تأیید می‌گردد.

۱-۲-۴: علت سوختن ترانس :

باتوجه به توضیحات فوق ضمن بازدید شبکه فشار ضعیف معلوم گردید که در مسیر شبکه فشار ضعیف درختان زیادی وجود دارند که به شبکه نزدیک می‌باشند. در روز حادثه نیز به علت درخت زنی شاخه‌های شکسته فاز نول انتهای شعاع طولانی ترانس راکه به فاصله تقریبی ۵۸۰ متر از آن قرار داشته بودند بهم متصل نمود و موجب ایجاد جریان اتصال کوتاه قابل توجهی گردید. باتوجه به محاسبات زیر روشن می‌گردد که :

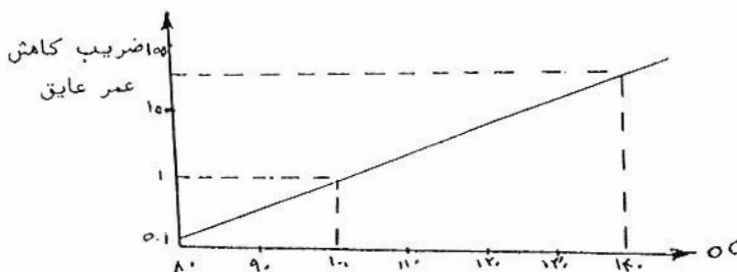


$$R_n = \frac{1}{56} \times \frac{580}{16} = 0.647 \text{ اهم}$$

$$R_{pm} = \frac{1}{56} \times \frac{200}{25} + \frac{1}{56} \times \frac{280}{19} = 0.566 \text{ اهم}$$

$$I_{sn} = \frac{220}{0.647 + 0.566} = 180 \text{ آمپر}$$

این جریان درفازی که مجهز به فیوز ۱۶۰ آمپری بوده ایجاد شد. و از آنجائیکه این فیوز نمی‌توانست در این جریان عمل کند و همچنین باتوجه به جریان اتصالی که در طرف اولیه ترانس معادل $3/6 = 180 : 20 / 0.4$ آمپر می‌شد فیوز کات اوت نیز که مجهز به فیوز ۳ آمپری بود قادر به قطع آن نگردید. لذا ترانسفورماتور مورد نظر در برابر این جریان که معادل $1/25$ برابر جریان نام آن بود و با ملاحظه



منحنی عمر ترانس در مدت تقریبی ۱۵۰ دقیقه به سوختن کامل کشانده شد.

۱-۳-۱- بررسی ترانسفورماتور سوخته روستای معلم کلای محمودآباد بعلت اضافه ولتاژ صاعقه

۱-۳-۱- مشخصات ترانسفورماتور شبکه مربوط به آن

۱- قدرت ترانس ۵۰ کیلوولت آمپر

۲- سال سوخت: ۱۹۷۸

۳- کشور سازنده: رومانی

۴- وضعیت تجهیزات وابسته: کات اوت بافیوز ۳ آمپری و سالم، برقیگیر دارد

رطوبت گیر دارد ولی شیشه آن شکسته است. بدنه ترانس و نقطه ستاره فشار ضعیف بهم وصل بوده ولی بطور مناسب ارت نیستند، نقطه ستاره ترانسفورماتورهای جریان بهم وصل شده ولی ارت نگردیده اند.

دارای یک خروجی جهت شبکه عمومی و یک خروجی جهت تغذیه چاه آب کشاورزی می باشد.

۱-۳-۲- بررسی آزمایشگاهی ترانس:

ولتاژ شکست روغن ترانس در فاصله ۲/۵ میلیمتر حدود ۲۵ کیلوولت بوده است این مقدار نشان می دهد که نفوذ رطوبت در داخل روغن ترانس مطرح بوده ولی نمی توان آنرا بعنوان عامل سوختن بلکه میتوان بعنوان تضعیف کننده قدرت عایقی کویل های آن در نظر گرفت. روی بوشینگهای کناری ۲۰ کیلوولت ترانس از سه طرف آثار سوختگی و کدر شدن لعاب بوشینگ مشاهده شد. این موضوع دال بر قرار گرفتن ولتاژ بسیار زیاد صاعقه روی فاز مربوطه بوده است. ضمن اینکه جرقه گیر پائینی این بوشینگ از حالت خمیده و روبره بالا (حالت معمولی) خارج بوده و به حالت یک میله راست درآمده بود. لذا به نظر می رسد ولتاژ فوق العاده صاعقه روی بوشینگ اخیر نمی توانسته بطریق مناسبی تخلیه شود (از طریق جرقه گیر) و تخلیه آن از مسیرهای کناری سر بوشینگ سوختگی لعاب آنرا موجب شد.

۱-۳-۳- بررسی در کارگاه تعمیرات ترانس:

بعد از باز شدن ترانس و جداسازی اکتیو پارت از آن مشاهده گردید که دوبوبین ۲۰ کیلوولت

متناظر با فازهای حادثه دیده سوخته‌اند و آسیب بیشتری روی سطح بوبین‌ها و درچند نقطه واقع شده‌است تا در عمق، توجه این مسئله بدین شکل بود که با توجه به گروه اتصال این رنج قدرت ترانس که بصورت 25y می‌باشند ولتاژ صاعقه حداقل دو بوبین 20 کیلوولت مجاور را تحت تانسین فوق‌العاده قرار داده و بعلمت بدعمل کردن بر قگیروپائین بودن درجه ایزولاسیون روغن و عایق سیم‌امکان آسیب پذیری هر دو بوبین را فراهم کرده‌است. همچنین بالا بودن فرکانس ولتاژ صاعقه باعث آسیب دیدگی کویل‌ها در سطح گردیدن تا در عمق.

۱-۳-۴: علت سوختن ترانس :

بار ترانس بطور دائمی نسبت به بار نامی آن فاصله داشته و ترانسفورماتور دچار فولباری نبوده‌است. از آنجائیکه از طریق شیشه رطوبت‌گیر امکان نفوذ رطوبت به ویژه در این منطقه دریا که دارای درصد رطوبت نسبی بالائی است وجود داشته و از این نظر عایق بندی داخلی ترانس ضعیف گردیده بود. لذا محیط اطراف کویل 20 کیلوولت در مقابل اضافه ولتاژ صاعقه تحمل ناپذیر شده و تخلیه این ولتاژ روی کویل مذکور سوختن آن را موجب گردید.

بوبین ولتاژ کنتور اکتیو سوخته بود این موضوع دال بر واقع شدن اضافه ولتاژ روی بوبین‌های مذکور بوده و منشأ این اضافه ولتاژ بدون شک اضافه ولتاژ صاعقه بوده‌است.

۱-۴: بررسی ترانسفورماتور سوخته روستای بوته ده بعلمت نفوذ رطوبت در روغن :

۱-۴-۱: مشخصات ترانسفورماتور و شبکه مربوطه :

- قدرت ترانس 50 کیلوولت آمپر - کشور سازنده: رومانی - رطوبت‌گیر ندارد - بر قگیرو ندارد - فیوزکات اوت مجهز به فیوز 3 آمپر است - تابلو فشار ضعیف از نوع سرتیری، دو خروجی و هر خروجی دارای فیوزهای 63 آمپر است؟ - شعاع تغذیه ترانس 222 متر و نول فاقد ارت است. - روغن نماسالم است.

۱-۴-۲: بررسی آزمایشگاهی ترانس :

ولتاژ شکست دی‌الکتریکی روغن در دستگاه تست روغن 5 mm / 2 / 6 KV بدست آمد یعنی اینکه این روغن بسیار از کیفیت روغن سالم بدور بوده و هیچگونه قابلیت استفاده‌ای نداشته‌است. با

برقدار کردن ترانسفورماتور در حالت بی باری روغن سریعاً بحالت قلیان در می آید که این امر ناشی از جریان زیاد اتصالی و کیفیت بسیار پائین روغن بوده است. با گرم کردن مقداری از روغن ترانس در بیرون از آن خروج بخار آب به وضوح دیده می شدند و این امر می رساند که علاوه بر کثیف بودن روغن که بعد از سالها کار و تعویض نشدن به آن مبتلا شده بود. رطوبت نیز به مقدار قابل توجهی در آن نفوذ کرده است.

۱-۴-۳: بررسی در کارگاه تعمیرات ترانس :

با جدا کردن قسمت اکتیویپارت ترانس مشاهده شد که عایقهای جامد بویژه کاغذی کویل سوخته و بشدت آسیب دیده اند در نتیجه این مطلب نیز مسئله نفوذ رطوبت در داخل ترانس را تأیید می نمود.

۱-۴-۴: علت سوختن ترانسفورماتور:

ضمن بررسی ظاهری ترانسفورماتور مذکور معلوم گردید که روغن ترانسفورماتور به شدت تیره می باشد و لوله رطوبت گیر باز بوده، روغن با هوادارای تماس مستقیم است روز سوختن ترانس هوای منطقه آفتابی و بدون ابر و صاعقه بود. لذا مسئله و لناژ صاعقه (حتی بعلمت عدم وجود برگگیر) بعنوان عامل سوزاننده ترانس منتفی می بود. مسیر شبکه از وجود درختان مزاحم و تأسیسات مستجاوز خالی بود. لذا مسئله اضافه جریان راه دور مطرح نبود همچنین کابلهای خروجی و تابلوی فشار ضعیف سالم بنظر می رسید و آثار سوختگی ناشی از اتصال روی آنها مشاهده نگردید. بررسی با میگر و اهم متر نشان داد که یکی از سیم پیچهای ۲۰ کیلوولت به بدنه اتصالی دارد. این مسئله که اتصالی مذکور عامل اولیه است یا ثانویه مطلبی بود که پاسخ آن بشکل زیر در ذهن تداعی می گردید. قدمت ترانسفورماتور به اضافه رطوبت منطقه دشت مازندران و نفوذ آن در روغن ترانس همچنین سیاه بودن بیش از حد روغن مسئله نفوذ رطوبت را بعنوان عامل سوختن ترانسفورماتور مطرح می نماید

۱-۵: بررسی ترانسفورماتور سوخته روستای سراج محله به شهر بعلمت پیری روغن

۱-۵-۱: مشخصات ترانس :

- قدرت ترانس ۱۰۰ کیلوولت آمپر - سال ساخت ۱۹۷۰ - کشور سازنده فرانسه - پوشینگهای فشار متوسط و ضعیف سالم - بدنه ترانس رادیاتور و کنسرواتور سالم - روغن نما سالم - رطوبت

گیرباشیسه سالم ولی سلیکاژل به رنگ آبی نیست - شعاعهای خروجی ترانسفورماتور حداکثر ۲۳۰ متر می باشد و بار ترانس بترتیب برابر ۶۰ و ۸۰ و ۵۰ آمپر است - هوای منطقه در روز حادثه عاری از رعد و برق بود - وضعیت شبکه فشار ضعیف از نظر مقطع و شعاع خروجی ترانسها مناسب است .

۱-۵-۲: بررسی آزمایشگاهی ترانسفورماتور:

آزمایش نمونه روغن ترانسفورماتور مذکور و لثاژ متوسط شکست الکتریکی روغن را در $15KV/2/5mm$ نشان می داد این مطالب در درجه اول خودگویای پیری بیش از حد روغن می بود . مضافاً "برای آنکه مسئله نفوذ رطوبت قابل توجه در داخل ترانس با توجه به توضیحات فوق مطرح نبود .

۱-۵-۳ : بررسی در کارگاه تعمیرات ترانس :

باباز کردن ترانسفورماتور و جداسازی قسمت اکتیویات از تانک ترانس معلوم گردید که یکی از کویلها دچار اتصالی حلقه است و این موضوع باعث می شده که در موقع زیر بار رفتن ترانس و گرم شدن روغن که پیری روغن را بیشتر تشدید می نمود جریان اتصالی حلقه به مرور زیاد شود تا بدان حد که موجبات سوختن فیوزکات اوت را فراهم آورد. آزمایش ترانسفورماتور با میگر جهت شناخت نوع اتصالی ، ترانسفورماتور را فاقد اتصالی بدنه و اتصالی کویل ۲۰ کیلوولت با فشار ضعیف نشان می داد.

۱-۵-۴ : علت سوختن ترانسفورماتور:

با توجه به اینکه ترانس در آزمایشات اولیه ضمن اینکه چند لحظه زیر بار قرار می گرفت عکس العمل نشان داده و موجب قطع کات اوت می گردید. بنظر رسید ترانسفورماتور دچار اتصالی داخلی ضعیفی است و عامل این اتصالی با جمع بندی اطلاعات ذکر شده می توانست پیری روغن باشد. یکی از نکات مهمی که این نظریه را تقویت می کرد مسئله سال ساخت و نصب ترانسفورماتور مذکور بود. زیرا که این ترانسفورماتور به مدت حدود ۲۰ سال زیر بار بود و با توجه به بهره برداری ترانسهای توزیع در برق مازندران (باشاید بسیاری از برقهای منطقه ای دیگر) که برنامه تنظیم شده مناسبی جهت اجرای تستهای دوره ای ترانس در دستور کار خود ندارند باعث پیری زودرس ترانس شده و سوختن سریعتر آن موجب می گردد.

نتیجه :

بررسی انجام شده از نظر فنی و اقتصادی نشان می‌دهد که برای جلوگیری از سوختن ترانسها باید شیوه مناسب و جدیدی را در برخورد با ترانسهای سوخته جایگزین شیوه‌های مرسوم نمود و بجای اینکه ترانسهای مذکور به بوته فراموشی گذاشته شود باید تحت آزمایش مناسب قرار گیرد و علت معیوب شدن آن را با توجه به بهره‌برداری و یا تجهیزات بکار برده شده ملحوظ داشت. بعنوان مثال تجربیات مدارس استان مازندران نشان می‌دهد که در نوار ساحلی یا مناطقی که از درصد رطوبت بالائی برخوردار است ترانس هر میتیک پیشنهاد و برای مناطق کوهستانی و دشت از برقی‌بارت کامل و برای واحدهای صنعتی با نظر کارشناسی قدرت انشعاب با قدرت منصوبه دستگاهها مطابقت داشته باشد و کلیه تابلوها مجهز به کلید اتوماتیک باشند بخصوص برای مناطق دور از شهر همچنین با بازدیدهای دوره‌ای شرایط فیزیکی و شیمیائی روغن ترانس تحت نظر بوده تا قدرت عایقی ترانس از سطح مجاز کمتر نشود.

منابع :

- ۱- نشریه علمی و فنی برق شماره ۱۳ - مرکز تحقیقات نیرو
- ۲- پروژه تحقیقاتی مربوط به علل سوختن ترانسفورماتورهای توزیع (عبدی - فیاض - کاظمی)
- ۳- عباس کاظمی، علی فیاض، غلامحسین عبدی، "علل سوختن ترانسفورماتورهای توزیع و راههای کاهش آن" هفتمین کنفرانس بین‌المللی برق - آبان ۱۳۷۱