تحلیل علل وقوع انفجار یکی از ترانسفورماتورهای فوق توزیع وارایه راه حل جهت پیشگیری از حوادث مشابه

رضا توانی، محمد علی کریمی، سیدعلی اکبر شهریاری، سیدمحمدحسین سلطانی

شرکت برق منطقه ای فارس

چکیده — در خرداد ماه سال جاری انفجار ترانسفورماتور یکی از پست‌های فوق توزیع منجر به آتش سوزی کامل ترانسفورماتور و وارد آمدن خساراتی قابل توجه به تجهیزات گردید. ریشه یابی این حادثه که در نوع خود بی نظیر یا کم نظیر بود نکات قابل توجهی پیرامون مباحث طراحی ، ساخت ، نصب، تعمیرات و نگهداری تجهیزات پست را به دست می‌دهد. در این مقاله با استفاده از نرم افزار SIGRA و DIGSILENT به بررسی حادثه فوق پرداخته و در نهایت پیشنهاداتی جهت کاهش حوادث مشابه ارائه گردیده است.

واژه‌های کلیدی — ***ترانسفورماتور ، بوشینگ ، حفاظت ، تحلیل خطا و آتش سوزی***

۱. مقدمه

ترانسفورماتورهای قدرت یکی از اجزاء مهم و گرانقیمت صنعت برق در پست های فشارقوی همچنین عامل مهمی در تعیین هزینه برق هستند. گاهی بر اثر اشکالات پیش آمده در ترانسفورماتورهای قدرت متعلقات مربوطه ترانسفورماتور بصورت ناگهانی قطع شده و این باعث قطع شبکه سراسری می شوند و با توجه به هزینه زیاد و وزن زیاد آنها امکان تهیه و جابجایی آنها مشکل است به همین دلیل لازم است موارد زیر مورد توجه قرار گیرد: [1]

1-1 پیدا کردن و جمع آوری اشکالات پیش آمده در رابطه با ترانسفورماتورهای قدرت و متعلقات مربوطه

۱-۲ پیدا کردن روش های پیشگیری از بروز اشکالات و استفاده از آنها

۱-۳ استفاده از دستورالعمل های سازندگان مربوطه و اضافه کردن دستورالعمل های حاصل از تجربیات موجود در ایران

۱-۴ استفاده از تجربیات متخصصین در جهت بهینه کردن سفارش – خرید- نصب و راه اندازی – تعمیرات – بهره برداری و افزایش عمر ترانسفورماتورهای قدرت در ایران

همانطور که گفته شد ، ترانسفورماتورها مهمترین و گرانترین تجهیز در سیستم توزیع و انتقال انرژی الکتریکی می‌باشند. در خرداد ماه سال جاری یکی از ترانس های فوق توزیع دچار حادثه شد که علی‌رغم عملکرد تجهیزات حفاظتی باعث وارد آمدن خسارات قابل توجه به تجهیزات ایستگاه گردید. در این مقاله در ابتدا مطالعاتی پیرامون انواع خطاهای بوجود آمده در ترانس انجام شده و در ادامه به تجزیه و تحلیل ترانس حادثه دیده پرداخته و راهکارهایی جهت جلوگیری از حوادث مشابه پیشنهاد گردیده است.

۲. دسته بندی خطاهای ترانسفورماتور قدرت

۲-۱- *خطاهای داخلی*

این دسته از خطاها شامل خطاهای سیم پیچی، ترمینالها، هسته و بدنه ترانسفورماتور قدرت می‌باشد.

۲-۲- *شرایط غیر عادی بهره برداری*

منظور شرایطی است که شرایطی که منجر به تحمل اضافه ولتاژ، اضافه شار و یا اضافه بار در ترانسفورماتور می گردد.

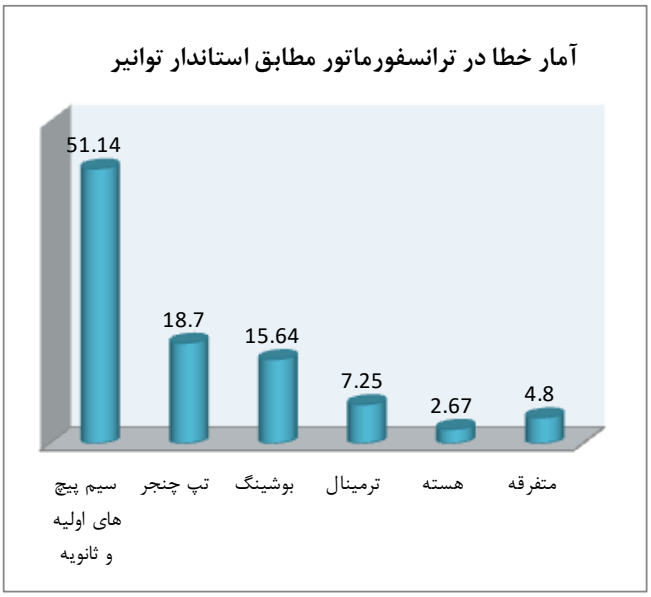
۲-۳ *خطاهای خارجی*

منظور خطاهایی است که ناشی از ترانسفورماتور نمی باشد اما در صورت عدم رفع به موقع منجر به آسیب دیدگی آن می گردد .

۲-۴-مقایسه آمار خطاهای ترانسفورماتور مطابق استاندارد توانیر و IEEE

همانطور که گفته شد یک ترانسفورماتور میتواند به دلایلی چون سیم پیچ های اولیه و ثانویه ، تپ چنجر ، بوشینگ ، ترمینال ، هسته و مواردی چون مخزن روغن دچار حادثه گردد.در شکل (۱) آمار خطاهای ترانسفورماتور طبق استاندارد توانیر نشان داده شده است و همانطور که ملاحظه میگردد بیشترین خطا مربوط به سیم پیچ های اولیه و ثانویه میباشد.

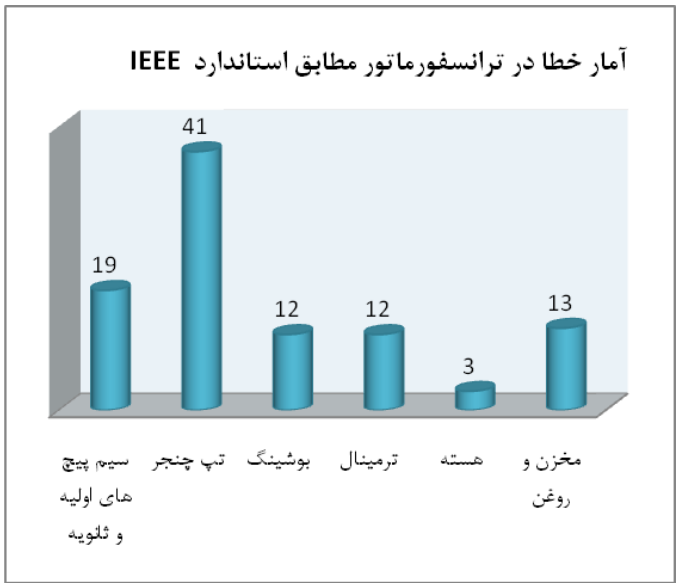
در شکل (۲) آمار خطاهای ترانسفورماتور طبق استاندارد IEEE نشان داده شده است.که همانطور که ملاحظه میگردد بیشترین خطا مربوط به تپ چنجر ترانسفورماتور میباشد.[۲].



شکل (۱): آمار خطا مطابق استاندارد توانیر

همانطور که در استاندارد های توانیر و IEEE مشهود است عامل بوشینگ سومین عامل در بوجود آمدن خطا در ترانسفور می‌باشد و به خاطر اینکه دلیل اصلی حادثه مذکور بوشینگ ترانس بوده این تجهیز به طور دقیق تری مورد بررسی قرار می گیرد.

همانطور که در استاندارد های توانیر و IEEE مشهود است عامل بوشینگ سومین عامل در بوجود آمدن خطا در ترانسفور می‌باشد و به خاطر اینکه دلیل اصلی حادثه مذکور بوشینگ ترانس بوده این تجهیز به طور دقیق تری مورد بررسی قرار می گیرد.



شکل (۲): آمار خطا مطابق استاندارد IEEE

بوشینگ یکی از مهمترین تجهیزات موجود در ایستگاه های فشار متوسط و قوی است که به منظور فراهم آوردن قابلیت عبور هادی الکتریکی از میان یک محفظه که نسبت به هادی عایق باشد، مورد استفاده قرار می‌گیرد

اولین تکنولوژی عایق داخل بوشینگ‌های کاغذی در سال ۱۹۸۱ از نوع RBP (resin bounded paper) بود. این تکنولوژی به دلیل عدم استفاده از روغن در بوشینگ ها تبادل حرارتی محدود و ضریب تلفات بالا در خطوط فشار قوی را به همراه داشت.

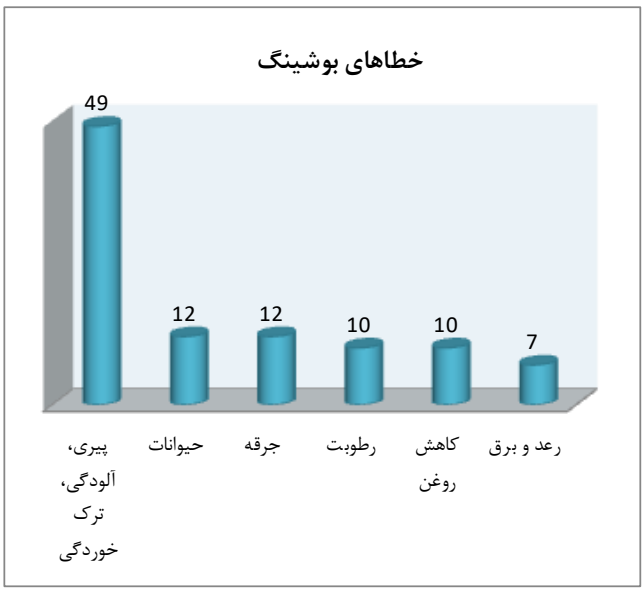
در سال ۱۹۴۴ تکنولوژی OIP (oil impregnated paper) معرفی گردید. در این تکنولوژی در ساختار داخلی بوشینگ از کاغذ کرافت اشباع شده با روغن استفاده میگردد. همچنین فضای بین عایق داخلی و خارجی توسط روغن پر شده است. امروزه بیش از ۸۰ درصد بوشینگ های استفاده شده در سیستم قدرت از این نوع می‌باشد.

از مزایای مزایای بوشینگ های OIP می‌توان به رفتار و عملکرد دمایی و عایقی مناسب در شرایط مختلف و همچنین قیمت مناسب اشاره کرد. ضمن اینکه معایب بوشینگ های OIP می تواند نیاز به نگهداری، خطر آتش سوزی، کلاس عایقی با دمای پایین، عملکرد مکانیکی ضعیف و عدم قرارگیری بوشینگ در زاویه دلخواه باشد.

به منظور رفع مشکلات بوشینگهای OIP در سال ۱۹۵۰ بوشینگ با تکنولوژی RIP (Resin Impregnated Paper) که در ساختار عایقی آن از کاغذ کرافت اشباع شده با رزین استفاده شده است معرفی شد. در این

تکنولوژی به دلیل عدم استفاده از روغن در ساختار عایقی خطر انفجار و در نهایت آتش سوزی ترانس به حداقل مقدار خود رسانده شده است. [۳]

در شکل (۳) آمار فراوانی خطاهای بوشینگ آمده است.



شکل (۳): درصد فراوانی خطای بوشینگ

۳. معرفی نرم افزار

۳-۱- نرم افزار SIGRA

نرم افزار SIGRA برای آنالیز شکل موج‌های خطا با فرمت استاندارد contrite میباشد، این نرم افزار توسط شرکت زیمنس ساخته و گسترش یافته است که بصورت مجزا یا همراه با نرم افزار DIGSI (نرم افزار رله های حفاظتی شرکت زیمنس) عرضه و قابل استفاده می‌باشد. با استفاده از مقادیر ثبت شده در ثبات خطا این نرم افزار داده های اضافی چون امپدانس مثبت و منفی و مقادیر RMS را محاسبه می‌کند.این متغیرهای محاسباتی و اندازه گیری شده و سیگنال های منطقی به صورت گرافیکی برای نمایش مواردی چون هارمونیک ، دیاگرام برداری و .. مورد استفاده قرار می‌گیرد.[۴]

۳-۲- نرم افزار DIGSILENT

نرم افزار DIGSILENT Power Factory یکی از قوی ترین نرم افزارهای تحلیل شبکه می باشد که در هر سه حوزه تولید، انتقال و توزیع کاربرد دارد. قدرت و صحت نتایج حاصل از این نرم افزار تا اندازه‌ای است که در شرکت های برق منطقه ای و شرکت مادر تخصصی توانیر برای تحلیل شبکه سراسری ایران از این نرم افزار استفاده می‌شود.

نام اختصاری این نرم افزار از مجموعه کلمات Digital Simulation and Electrical Network گرفته شده است. با استفاده از این نرم افزار می توان تقریباً هر شبکه قدرتی را به صورت گرافیکی ترسیم نمود و محاسباتی همچون پخش بار، اتصال کوتاه، آنالیز گذرا، جایابی بهینه خازن، بهینه سازی سایز کابل و ... که در قالب توابع متنوع ارائه می گردد، را انجام داد. علاوه بر این امکانات دیگری نظیر برنامه نویسی به زبان DPL و تعریف مدل های DSL این انعطاف پذیری را برای کاربر ایجاد می‌نماید که تحلیل‌های مورد نظر خود را به صورت دلخواه روی سیستم قدرت اجرا نموده و تجهیزاتی که در کتابخانه نرم افزار وجود ندارند را طراحی نماید.

تهیه مجموعه نرم افزارهای Power Factory از سال ۱۹۷۶ در شرکت DIGSILENT GmbH آلمان آغاز شده است و در حال حاضر در نزدیک به ۹۰ کشور دنیا مورد استفاده می‌باشد[۵]

۴. آنالیز حادثه

ترانس مذکور با اتصالی در سمت فشار قوی واحد دیفرانسیل عملکرد حفاظتی داشته و ترانس خارج می شود. علیرغم عملکرد صحیح حفاظت و حذف خطا در زمان ۸۰میلی ثانیه منتها به علت شدت انفجار ترانس آتش گرفته و خسارات زیادی به برقگیر و بوشینگ و ترانس جریان وارد شده است (شکل (۴).

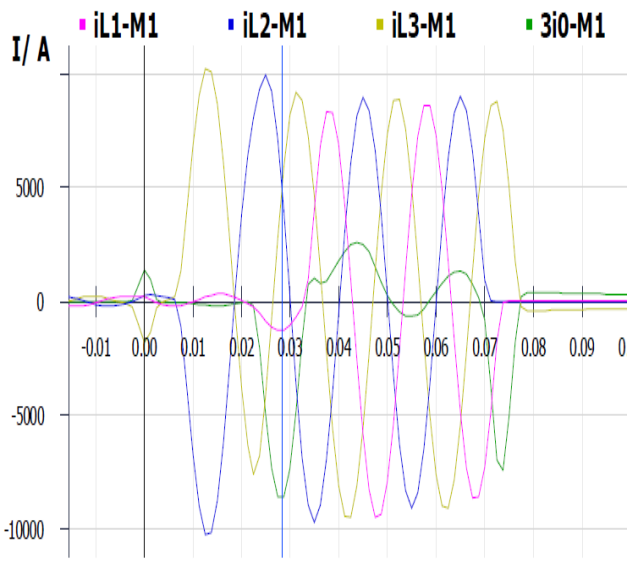
واحد REF استارت شده است ولی به تریپ نرسیده دلیل آن این بوده که جریان NCT از مقدار جریان 3I0 کمتر بوده است.تقریبا نسبت ۱ به ۳ داشته است.

با توجه به اینکه بوشینگ به طور کامل از بین رفته است. شکل (۵) لذا اتصالی از داخل بوشینگ ترانس فاز C اتفاق افتاده که جریان مسیر خود را از طریق تانک و بدنه ترانس بسته و مقدار کمتری از نقطه صفر ترانس و از داخل سیم پیچی ها عبور کرده است و NCT جریان کمتری را ثبت کرده است. از دلایل بروز این مطلب اشکال عایقی در داخل خود بوشینگ و یا کم بودن سطح روغن داخل محفظه بوشینگ می باشد.

شکل (۴): ترانسفورماتور بعد از حادثه

شکل (۵): شروع حادثه با انفجار بوشینگ سمت HV ترانس

همانطور که در شکل (۶) مشخص است اتصالی در ابتدا تکفاز بوده در بعد از حدود ۷ میلی ثانیه دوفاز–زمین شده و نهایتا بعد از ۳۵ میلی ثانیه اتصالی سه فاز شده و در نهایت بعد از ۸۰ میلی ثانیه خطا پاک شده منتها به علت شدت اتصالی باعث آتش سوزی کامل ترانس و تعدادی از تجهیزات ترانس می گردد.



شکل (۶): وضعیت جریان ها قبل و بعد از حادثه در نرم افزار SIGRA

برای روشنتر شدن موضوع شبیه سازی حادثه در نرم افزار دیگسایلنت انجام شده است. شبیه سازی مورد نظر در شکل (۷) نمایش داده شده است و تمامی بارها و وضعیت ولتاژها دقیقا مشابه زمان حادثه در نرم افزار وارد شده است .

نحوه اعمال اتصالی به صورتی است که در زمان ۱۰۰ میلی ثانیه یک اتصالی تک فاز به زمین به فاز BCN از سمت HV اعمال شده است. همانطور که در شکل (۸) نمایش داده شده است به محض وقوع اتصالی بر روی فاز BCN شکل موج های دو فاز A و C سمت LV با هم ۱۸۰ درجه اختلاف فاز دارند .

همچنین در شبیه سازی مذکور مطابق شکل (۸) در زمان ۳۰۰ میلی ثانیه یک اتصالی سه فاز نیز اعمال شده است.

۵. نتیجه گیری

با توجه به اهمیت ترانسفورماتور به عنوان مهمترین و گران قیمت ترین تجهیز مورد استفاده در ایستگاه پیشنهاد می گردد که برای جلوگیری از حوادث ترانسفورماتور موارد زیر انجام گردد.

۱- نصب سیستمهای ثبات خطا

۲- نصب سیستمهای مانیتورینگ آنلاین مدیریت جامع ترانسفورماتورهای قدرت که با استفاده از رصد پارامترهای عایقی و الکتریکی ترانسفورماتور میزان توان قابل به کار گیری ترانس را به اپراتور پیشنهاد دهد.

۳- بررسی وضعیت بوشینگ ها به طور مداوم توسط اپراتور

۴- عدم بارگیری ترانس بیشتر از ۸۰ درصد ظرفیت نامی آنها

۵-استفاده از بوشینگ های با تکنولوژی RIP به جای OIP در ترانس های حساس برای جلوگیری از حوادث منجر به آتش سوزی ترانس

منابع

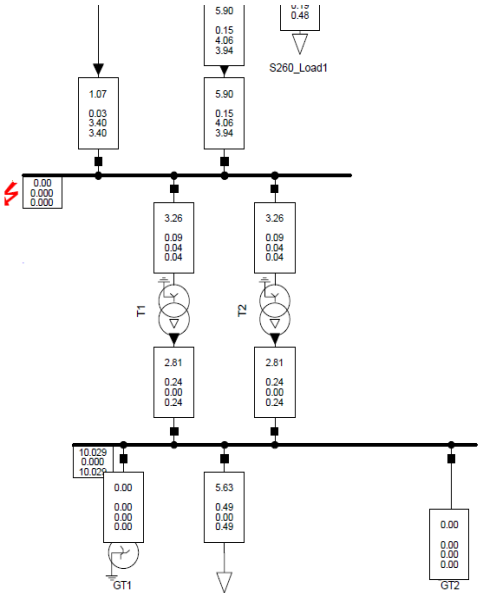
[۱] گزارشهای حسین پیشکام راد در شرکت توانیر

[۲] سایت تخصصی ترانسفورماتور http://www.irantransformer.com

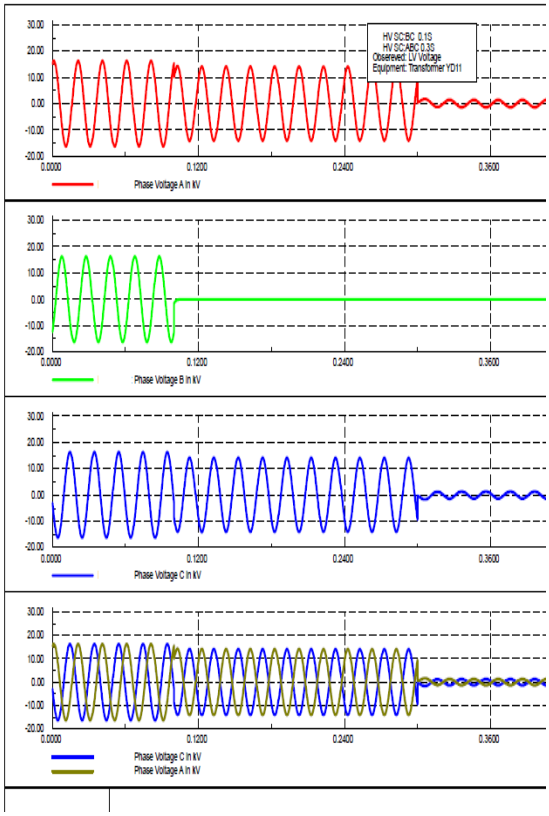
[۳] رضا حقیقیان، ابوالفضل واحدی و مجتبی نظام، "محله بررسی رفتار حرارتی بوشینگهای OIP و RIP با مطالعه چند شاخص الکتریکی نمونه"، دومین کنفرانس بین المللی ترانسفورماتور ۱۳۹۴، تهران.

[۴] help نرم افزار SIGRA

[۴] help نرم افزار DIGSILENT



شکل (۷): شبیه سازی حادثه در نرم افزار DIGSILENT



شکل (۸) نتایج شبیه سازی