

امکان‌سنجی نصب پنجره دی الکتریک بر روی یک ترانسفورماتور سه فاز واقعی و تشخیص عیوب مکانیکی و تخلیه جزئی با استفاده از امواج الکترومغناطیسی

حمیدرضا طبرسا، مریم السادات اخوان حجازی

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر
دانشگاه کاشان
کاشان، ایران

حسین کرمی پرزانی، گئورگ قره پتیان

دانشکده مهندسی برق قدرت
دانشگاه صنعتی امیرکبیر
تهران، ایران

نیما آجودانی زنجانی

شرکت مهندسی تعمیرات انتقال نیرو تهران (متانیر)
تهران، ایران

بیانگر آن است که تشخیص این عیوب در حضور پنجره دی الکتریک نیز امکان پذیر بوده و می‌توان جهت تشخیص عیوب با استفاده از امواج الکترومغناطیسی، در طراحی اولیه ترانسفورماتورها در نظر گرفت.

واژه‌های کلیدی — ترانسفورماتور قدرت؛ پایش برخط؛ امواج الکترومغناطیسی؛ پنجره دی الکتریک؛ عیب تخلیه جزئی؛ عیب مکانیکی
سیم پیچ

۱. مقدمه

امروزه همه کشورهای صنعتی، به کارکرد و تولید بی‌نقص و انتقال و توزیع پیوسته قدرت الکتریکی وابسته‌اند. ترانسفورماتورها برای ارتباط و اتصال سیستم‌های انرژی با سطوح ولتاژ متفاوت بعنوان مهمترین دستگاه بخش انتقال و توزیع مطرح هستند. در نتیجه خرابی آنها می‌تواند باعث بروز وقفه در تغذیه شبکه و در نتیجه پیامدهای مخرب آن گردد. بسیاری از بهره‌برداران علاقمند هستند که از وضعیت داخل ترانسفورماتورهای قدرت باخبر شوند. به این ترتیب با استفاده از روش‌های برخط مونتورینگ، علاوه

چکیده — پایش برخط ترانسفورماتور یکی از مهمترین مباحث روز دنیا به منظور اطلاع از وضعیت داخل ترانسفورماتور است. با داشتن اطلاعات کامل‌تر از وضعیت ترانسفورماتور، می‌توان تصمیم مطمئن‌تری برای زمان تعمیرات دوره‌ای، اتخاذ کرد. عیب تخلیه‌جزئی و عیب مکانیکی سیم پیچ ترانسفورماتور، از عیوب شاخص و تاثیرگذار در پایش وضعیت ترانسفورماتور هستند. در میان روش‌های برخط موجود در تشخیص این عیوب، استفاده از امواج الکترومغناطیسی به عنوان یکی از ابزارهای تشخیص این دو عیب، امروزه بسیار مورد توجه قرار گرفته است. جهت تشخیص عیب مکانیکی با استفاده از امواج الکترومغناطیسی از روش تصویربرداری راداری استفاده می‌کنند که این روش نیازمند حرکت آنتن در راستای ارتفاع سیم پیچ ترانسفورماتور است. در نتیجه نیازمند طراحی و ساخت یک پنجره دی الکتریک متناسب با نیاز این روش است. در این مقاله یک پنجره دی الکتریک بر روی بدنه تانک یک ترانسفورماتور سه فاز نصب گردید و آزمایشات تشخیص عیب مکانیکی و عیب تخلیه جزئی در حضور پنجره دی الکتریک انجام شد. نتایج

جهت تشخیص عیوب مکانیکی به پنجره عایقی‌ای نیاز داریم که امکان حرکت آنتن‌ها در طول تانک ترانسفورماتور را فراهم سازد. ولی پنجره‌هایی که تاکنون ساخته شده‌اند برای این کار مناسب نیستند. امکان پذیری تشخیص عیوب مکانیکی و تخلیه جزئی با استفاده از امواج الکترومغناطیسی قبلاً به اثبات رسیده است [۹-۱۰]. در این پژوهش قصد داریم که قابلیت این روش‌ها را در حضور پنجره دی الکتریک برای یک سیم‌پیچ سه فاز بررسی کنیم. بدین منظور، پنجره دی الکتریک را برای یک نمونه ترانسفورماتور واقعی سه فاز ساخته و نصب شده و آزمایشات بر روی آن‌ها انجام می‌گیرد. طراحی این پنجره از بابت تاثیرگذاری آن روی عمر مفید تانک ترانسفورماتور حائز اهمیت است و اگر از همان ابتدا در طراحی اولیه مخزن لحاظ گردد، هزینه‌ها را کاهش می‌دهد. این دریچه باید به گونه‌ای طراحی گردد که در مقابل روغن نفوذناپذیر (نشت ناپذیر) باشد، بتواند بیشینه دمای مخزن را تحمل کند، بتواند حداکثر فشار داخل مخزن ناشی از روغن (که برای اکثر ترانس ها کمتر از ۱ bar می باشد) را تحمل کند، یکپارچگی مخزن را دچار مشکل نکند و در مقابل تنش‌های موجود دارای استحکام مکانیکی کافی باشد.

ابتدا در بخش بعدی روند نصب پنجره بر روی یک ترانسفورماتور سه فاز واقعی تشریح می‌شود. سپس نتایج آزمایشات جهت تشخیص عیوب تخلیه جزئی و مکانیکی در حضور پنجره دی الکتریک نمایش داده می‌شود.

۲. نصب پنجره بر روی یک ترانسفورماتور واقعی

ابتدا جهت انجام این آزمایش یک ترانسفورماتور زمین که ابعاد آن جهت جابجایی و آزمایش مناسب باشد به عنوان ترانسفورماتور تحت آزمایش انتخاب گردید. این ترانسفورماتور از انبار برق تهران به محل شرکت متانیر جهت انجام آزمایش انتقال داده شد.

ابتدا می‌بایست بدنه ترانسفورماتور جهت نصب پنجره دی الکتریک برش داده شود و پنجره در مکان مناسب نصب گردد. جهت نصب پنجره دی الکتریک، ابتدا لازم است در بدنه تانک رادیاتورها را جدا نماییم. سپس لازم است بدنه تانک با توجه به ابعاد انتخابی برای پنجره ترانسفورماتور برش داده شود. ابعاد پنجره می‌تواند به اندازه ابعاد آنتن باشد اما جهت سهولت نصب و ابعاد موجود برای عایق دی الکتریک، ابعاد پنجره به اندازه سیم‌پیچ‌های ترانسفورماتور قدرت در نظر گرفته شده است. پس از برش با توجه به ابعاد پنجره، لازم است تا دریچه‌های رادیاتور با یک قطعه فلز آب-بندی شود تا این بخش برای ریختن روغن آماده باشد.

بر جلوگیری از وارد آمدن خسارات جدی به ترانسفورماتور، با اطلاع‌رسانی به موقع می‌توان موجب تداوم انتقال انرژی الکتریکی شد [۱].

دو دسته از عیوب ترانسفورماتورهای قدرت که بسیار مورد توجه قرار گرفته است، عیوب مکانیکی سیم‌پیچ و تخلیه جزئی هستند. استفاده از امواج الکترومغناطیسی به عنوان یکی از ابزارهای تشخیص این دو عیب، امروزه بسیار مورد توجه قرار گرفته است [۲-۳]. با تصویربرداری راداری از سیم-پیچ ترانسفورماتور، تشخیص عیوب مکانیکی، شامل عیب شعاعی و عیب محوری، امکان‌پذیر است. در این روش سیگنال الکترومغناطیسی باید به سیم‌پیچ تابیده شده و بازتاب آن مورد تحلیل قرار گیرد تا در طول مدت عملکرد ترانسفورماتور، هر گونه تغییر شکل یا جابجایی در آن پایش شود. اما تانک ترانسفورماتور به عنوان یک صفحه هادی اجازه عبور امواج را نمی‌دهد. این مشکل نه تنها برای تشخیص عیوب مکانیکی بلکه برای تشخیص عیب تخلیه جزئی نیز وجود دارد.

در زمینه پایش عیب تخلیه جزئی در ترانسفورماتورهای قدرت توسط امواج الکترومغناطیسی و غلبه بر مشکل ذکر شده، تا کنون راهکارهای متفاوتی ارائه شده است. در [۴] به لزوم نصب یک دریچه یا پنجره بر روی بدنه ترانسفورماتور به منظور انتقال امواج به داخل ترانس اشاره شده است که در محل آن یک ماده از جنس عایق که دارای قابلیت عبور امواج با حداقل تلفات و انعکاس باشد، قرار می‌گیرد. در [۵-۷] نمونه‌هایی از این پنجره برای قرار دادن آنتن در آن به منظور تشخیص تخلیه‌جزئی ساخته شده‌اند. در [۶] پنجره دی الکتریک جهت تشخیص تخلیه‌جزئی در یک ترانسفورماتور ۱۸ MVA تک فاز ساخته شده است. در این پنجره‌های عایقی، یک عایق الکتریکی سازگار با روغن بر روی منفذ ایجاد شده در دیواره فلزی مخزن ترانسفورماتور نصب می‌شود. برای این منظور می‌توان از عایق‌های اپوکسی رزین استفاده نمود [۸]. پنجره عایقی علاوه بر جلوگیری از نشت روغن و ایجاد یک حفاظ در برابر میدان الکتریکی فرکانس قدرت، امکان خروج امواج UHF از داخل ترانسفورماتور و آشکارسازی آن‌ها توسط آنتنی که پشت آن نصب شده است را فراهم می‌کند. همچنین با عایق‌بندی محیط خارجی این پنجره و آنتن نصب شده بر روی آن، می‌توان از عدم اندازه‌گیری نویز خارجی توسط آنتن اطمینان حاصل نمود. یکی دیگر از مزایای پنجره‌های عایقی این است که نصب آنتن را بر روی ترانسفورماتور بدون قطع برق امکان‌پذیر می‌نماید. به این ترتیب می‌توان توسط این پنجره‌های عایقی سیگنال‌های UHF تولیدی توسط پالس‌های PD داخل ترانسفورماتور را اندازه‌گیری نمود.



شکل (۲): نمایی از سوزن سوزن تهیه شده برای انجام آزمایش تخلیه جزئی

در آزمایش تخلیه جزئی نیاز به ایجاد یک ولتاژ فشارقوی داریم. جهت ایجاد ولتاژ از یک ترانسفورماتور cascade سه طبقه استفاده شده است. یک طبقه از این ترانسفورماتور برای انجام آزمایش نیز کافی بود زیرا هر طبقه قابلیت ایجاد صد کیلو ولتاژ را دارد. فاصله سوزن سوزن در حدود یک میلیمتر بوده است. اما جهت اطمینان بیشتر، از طبقه دوم این منبع تغذیه که تا ۲۰۰ کیلوولت قابلیت ایجاد ولتاژ دارد استفاده نمودیم.

۳. تشخیص عیوب در حضور پنجره دی الکتریک

۳.۱. تشخیص تخلیه جزئی با حضور پنجره دی

الکتریک

جهت آزمایش تخلیه جزئی مقادیر ولتاژ بصورت پله پله افزایش داده شد. تخلیه جزئی در حدود ولتاژ ۱۹ کیلوولت بوقوع پیوست. روغن استفاده شده بدلیل خصوصیتی که داشت (از قبیل پیری و آلودگی) موجب شده است که تخلیه جزئی در این ولتاژ رخ دهد. در شکل (۳) سیگنال دریافت شده در زمانی که تخلیه جزئی رخ نداده و شکل‌های (۴) و (۵) سیگنال دریافت شده و بزرگ شده آن را در گیرنده‌ها در هنگام وقوع تخلیه جزئی نمایش می‌دهد. در این آزمایش دو آنتن گیرنده متصل است و سیگنال هر دو آنتن نمایش داده شده است. لازم به ذکر است جهت انجام این آزمایش از دستگاه AUTPDMD که در دانشگاه صنعتی امیرکبیر ساخته شده است، استفاده گردیده است [۱۱].

متأسفانه در هنگام انجام برش جهت پنجره دی الکتریک، خمیدگی قابل توجهی در بدنه تانک ترانسفورماتور ایجاد شد که جهت آب‌بندی مشکل ایجاد خواهد کرد. بدین جهت با یک نگهدارنده و جوش دادن یک میله فلزی، خمیدگی ایجاد شده برطرف گردید.

سپس بدنه تانک باید با سوراخ شدن به فواصل منظم جهت نصب و عایق بندی پنجره دی الکتریک آماده گردد. در نهایت با سوراخ شدن تمامی اطراف محل پنجره در تانک و همچنین عایق تهیه شده، آب بندی انجام شده و شکل (۱) نمایی از سیم‌پیچ به‌همراه بدنه تانک آماده شده را نمایش می‌دهد. در نهایت سیم‌پیچ در داخل بدنه قرار داده شده و محافظه با روغن ترانسفورماتور پر خواهد شد.



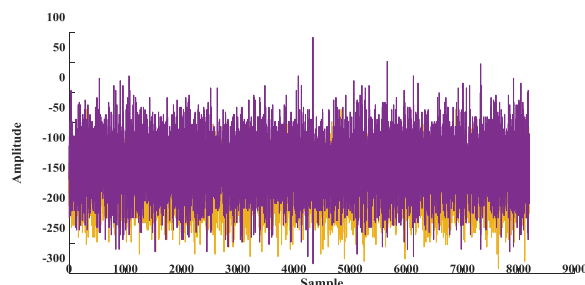
شکل (۱): سیم‌پیچ و بدنه تانک آماده شده به همراه پنجره دی الکتریک جهت آزمایش

جهت ایجاد تخلیه جزئی لازم است تا یک الکتروود سوزن سوزن طبق تایید ناظر در کنار سیم‌پیچ تعبیه شود تا با اتصال به منبع ولتاژ، تخلیه جزئی در ولتاژ مناسب زده شود. در شکل (۲) سوزن سوزن تعبیه شده در کنار سیم‌پیچ نشان داده شده است.

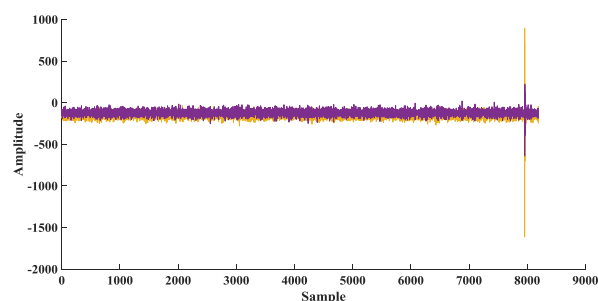
استاندارد IEC 60270 نیاز به خازن مخصوص متصل شده به بوشینگ دارد، میزان دقیق بار تخلیه شده در محل وقوع تخلیه جزئی اندازه گیری شود. نکته مهم دیگر در این زمینه مکان وقوع عیب تخلیه جزئی است. زیرا با تغییر محل تخلیه جزئی، بار تخلیه جزئی ممکن است یکسان باشد اما شدت سیگنال رسیده شده به آنتن متفاوت باشد. همچنین نوع ترانسفورماتور نیز در شدت سیگنال رسیده شده به آنتن متفاوت است. در نتیجه بررسی شدت تخلیه جزئی با استفاده از سیگنال رسیده شده به آنتن پروژه‌ای دیگر خواهد بود که در این بحث نمی‌گنجد. در [۱۲] مطالعه‌ای در این زمینه صورت گرفته ولی با توجه به ابعاد مساله، هنوز جای بحث و بررسی در این زمینه بسیار است.

یکی از موارد مهم در تشخیص عیب تخلیه جزئی، بحث مکان وقوع عیب و قابلیت تشخیص آن توسط آنتن‌های الکترومغناطیسی است. سوالی که در این زمینه وجود دارد این است که آیا اگر سیگنال تخلیه جزئی در هر نقطه‌ای از سیم‌پیچ ترانسفورماتور قدرت رخ بدهد قابلیت تشخیص وجود دارد یا خیر. در [۱۳-۱۴] با پیاده‌سازی آنتن‌ها بر روی بدنه تانک یک ترانسفورماتور واقعی به بررسی این موضوع پرداخته‌اند. در این مطالعات نه تنها به مکان یابی عیب تخلیه جزئی در بیرون از سیم‌پیچ پرداخته شده، بلکه با ارایه روش‌هایی عیب تخلیه جزئی را در داخل سیم‌پیچ تشخیص و مکان یابی نموده‌اند. در نتیجه وقوع عیب در داخل سیم‌پیچ ترانسفورماتور قدرت نیز قابل تشخیص است. این نکته لازم به ذکر است که بحث بر روی ترانسفورماتور قدرت است که سیم‌پیچ آن از نوع دیسکی است و نه پنکیکی.

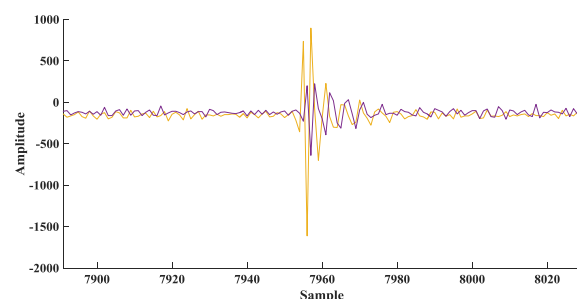
در کنار مطالعاتی که در زمینه مکان‌یابی تخلیه جزئی انجام شده است [۱۲-۱۴]، بطور معمول بحث رویت پذیری و یا حداقل میزان تشخیص تخلیه جزئی نیز مطرح است. نکته‌ای که در این زمینه تاکید شده است میزان تاثیرگذاری نویز محیط بر رویت پذیری و در ادامه آن، مکان یابی تخلیه جزئی است. هر چه میزان شدت تخلیه جزئی نسبت به نویز محیط بیشتر باشد، امکان رویت پذیری و یا مکان یابی بیشتر خواهد شد. به عنوان مثال قابل درک است که اگر میزان قدرت سیگنال تخلیه جزئی در محیط ترانسفورماتور، از میزان نویز داخل تانک ترانسفورماتور کمتر باشد، قادر به تشخیص تخلیه جزئی نخواهیم بود. هر چه قدرت نویز نسبت به سیگنال تخلیه جزئی بیشتر باشد، احتمال روست پذیری کمتر و احتمال تشخیص اشتباه بیشتر است. در [۱۵] یک نمودار در این زمینه ارایه شده است که با توجه به ابعاد و محل وقوع عیب و همچنین نوع ترانسفورماتور مورد بررسی، نمونه‌ای از آن در شکل (۶) قابل مشاهده است.



شکل (۳): نویز دریافت شده در هنگامی که تخلیه جزئی نداریم



شکل (۴): سیگنال تخلیه جزئی دریافت شده توسط دستگاه

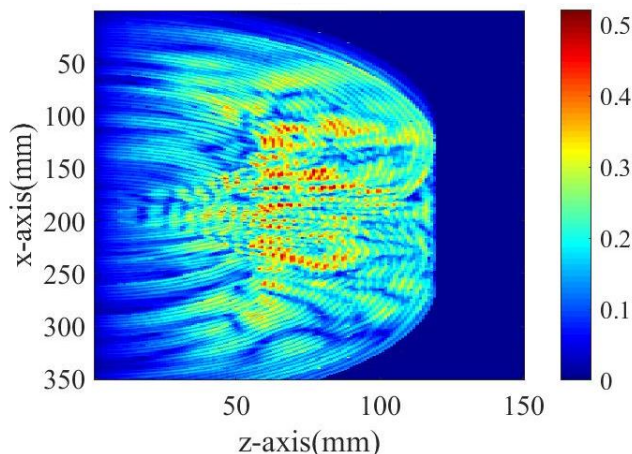


شکل (۵): سیگنال دریافت شده در دستگاه بصورت بزرگ شده

همانطور که مشاهده می‌شود در صورت وقوع تخلیه جزئی، سیگنال ایجاد شده به قدری از لحاظ دامنه با حالت نویزی (بدون حضور تخلیه جزئی) تفاوت دارد که به سادگی قابل تشخیص با استفاده از دستگاه AUT-PD- MD است. در نتیجه دستگاه قابلیت تشخیص این عیب را دارد. کافی است یک سیگنال بزرگ در سیگنال‌های دریافت شده مشاهده شود تا وقوع عیب اعلام گردد. لازم به توضیح است که جهت تشخیص شدت تخلیه جزئی و میزان بار تخلیه شده در محل تخلیه جزئی، که معمولاً به عنوان معیار شدت وقوع تخلیه جزئی بکار می‌رود، نیاز است تا بارها آزمایش در نقاط مختلف با مقادیر تخلیه جزئی مختلف تکرار و آزمایش شود تا بتوان یک ارتباط بین مقدار سیگنال دریافتی و مقدار شدت تخلیه جزئی برقرار کرد. بدین منظور باید با استفاده از تجهیزات اندازه‌گیری شدت تخلیه جزئی، که معمولاً طبق

است تا از دریافت سیگنال بازتابی اطمینان حاصل نماییم. در نتیجه با در نظرگیری تمامی مراحل از جمله تغییر محل آنتن‌ها، تصویربرداری از سیم‌پیچ در حالت سالم در حدود یک ساعت بطول انجامید.

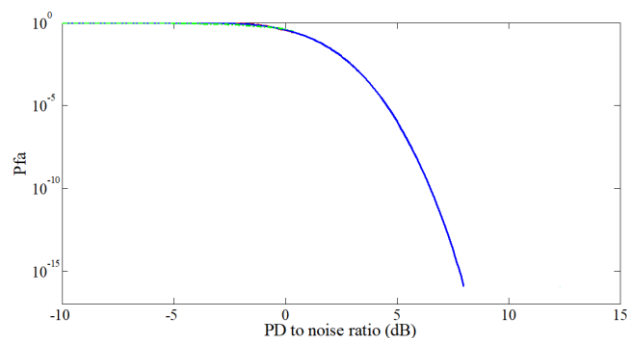
در ابتدا لازم است تا تصویری از حالت سالم سیم‌پیچ بدست آید. فرآیند تصویر برداری با توضیحات فوق انجام پذیرفت و سیگنال‌های بدست آمده با توجه به توضیحات ارائه شده در گزارش‌های قبلی جهت استفاده در الگوریتم مهاجرت کیرشرف آماده شد. در شکل ۲ یک تصویر از حالت سالم سیم‌پیچ با دستگاه AUTPDMD قابل مشاهده است.



شکل ۷: نمایی از تصویر حالت سالم سیم‌پیچ

جهت مقایسه تصاویر در حالت سالم و معیوب طبق توضیحات ارائه شده در گزارش‌های قبلی، معیار ۰.۴۵ جهت تعریف نقاط گرم استفاده می‌شود. در تصویر بالا تعداد نقاط گرم برابر با ۲۹۴ است.

پس از قرارگیری عیب شعاعی بر روی سیم‌پیچ، تصویربرداری با مشخصات ارائه شده دوباره انجام پذیرفت. در شکل ۸ می‌توان تصویری از نتایج بدست آمده از دستگاه AUTPDMD را مشاهده نمود. در این تصویر با استفاده از معیار ۰.۴۵ تعداد نقاط گرم برابر با ۹۳۶ است. این بدان معنی است که نسبت به حالت سالم یک عیب شعاعی رخ داده است. البته این نتیجه‌گیری با توجه به این نکته است که اطمینان داریم هیچ سیگنال تخلیه جزئی اتفاق نیفتاده است. در غیر این صورت باید در حین تصویربرداری، سیگنال‌های سینوسی دریافتی بررسی شوند تا اگر در گیرنده، غیر از فرکانس سیگنال ارسالی، فرکانس‌های دیگری نیز وجود دارند اعلام وقوع عیب تخلیه جزئی در حین تصویربرداری راداری شود و فرآیند ارسال و دریافت در آن فرکانس تکرار شود تا زمانی که سیگنال تصویربرداری راداری در دریافت کننده دارای محدوده فرکانسی وسیع که ناشی از وقوع تخلیه جزئی است، نباشد. توضیحات کامل این روش جهت حذف اثر تخلیه جزئی از سیگنال-



شکل (۶): ارتباط تشخیص اشتباه وقوع تخلیه جزئی با نویز داخل ترانسفورماتور نسبت به سیگنال تخلیه جزئی [۱۵]

بطور کلی، میزان رویت پذیری ارتباط تنگاتنگی با نویز محیط داخل ترانسفورماتور قدرت دارد. لازم به ذکر است که در داخل محیط تانک ترانسفورماتور قدرت به دلیل اینکه تانک فلزی همانند یک شیلد عمل می‌کند، سیگنال مخرب از محیط بیرون ترانسفورماتور نخواهیم داشت. از طرف دیگر، سیگنال منتشر شده ناشی از سیم‌پیچ و جریان عبوری از آن در حد چند کیلوهرتز تا چند مگاهرتز است. در صورتیکه سیگنال تخلیه جزئی فرکانسی در حدود چند صد مگاهرتز دارد. تنها نویزی که بروی تشخیص عیب تخلیه جزئی تاثیرگذار است، سیگنال نویز حرارتی است که بستگی به میزان بار الکتریکی کشیده شده از سیم‌پیچ و گرمایی که ایجاد می‌کند در ترانسفورماتورهای مختلف متفاوت است و در هر نوع ترانسفورماتور باید جداگانه مورد بررسی قرار گیرد.

۳.۲. تشخیص عیب مکانیکی شعاعی در حضور

پنجره دی الکتریک

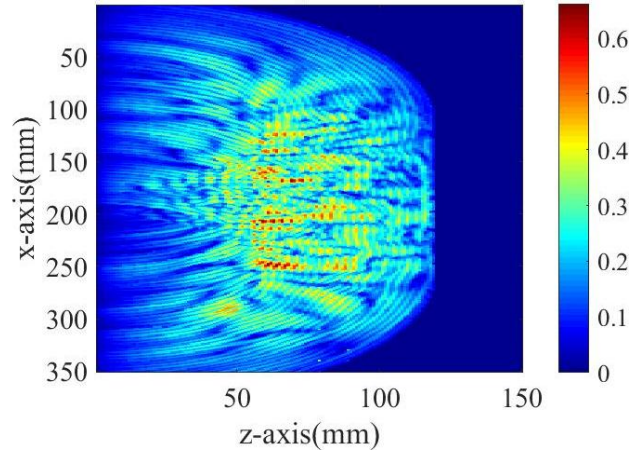
با جهت تشخیص عیب شعاعی در سیم‌پیچ ترانسفورماتور، آنتن‌های الکترومغناطیسی با فاصله ۱۸ سانتی متری از پنجره و بدنه تانک ترانسفورماتور مستقر شدند. مرکز آنتن‌ها از فاصله حدود ۳۶ سانتی متری از زمین به عنوان پله اول قرار داده شدند و در ۱۱ پله با فواصل ۳ سانتی متری فرآیند ارسال و دریافت انجام شد. ارتفاع نهایی آنتن‌ها در فاصله تقریبی ۶۶ سانتی متری از زمین بعد از اتمام فرآیند ارسال و دریافت قرار می‌گرفت. در هر پله، طبق توضیحات داده شده از دستگاه AUTPDMD، تصویربرداری انجام شده و نتایج ثبت می‌گردند. فرکانس کاری از ۸۰۰ مگاهرتز شروع شده و تا ۳ گیگاهرتز ادامه می‌یابد. در هر فرکانس یک سیگنال سینوسی ارسال می‌شود و سیگنال بازتاب شده در آنتن گیرنده دریافت می‌شود. بین هر فرآیند ارسال و دریافت یک سیگنال سینوسی تا شروع ارسال سیگنال سینوسی دیگر، در حدود یک ثانیه زمان دریافت سیگنال در نظر گرفته شده

مباحث قبلی، امکان تشخیص عیوب با استفاده از امواج الکترومغناطیسی در حضور پنجره نیز امکان پذیر است.

های دریافتی تصویربرداری در گزارشات قبلی آمده است و از تکرار آن پرهیز می‌شود.

۴. نتیجه گیری

در این مقاله امکان‌سنجی نصب پنجره عایقی دی الکتریک بر روی بدنه ترانسفورماتور سه فاز جهت تشخیص عیوب تخلیه جزئی و مکانیکی سیم پیچ با استفاده از امواج الکترومغناطیسی مورد بررسی قرار گرفت. پنجره بر روی بدنه تانک یک ترانسفورماتور زمین نصب شد و سپس آزمایشات تشخیص عیوب اجرا گردید. نتایج نشان داد که امکان تشخیص عیوب تخلیه جزئی و مکانیکی در حضور پنجره دی الکتریک نیز امکان پذیر است. با استفاده از نتایج این آزمایش عملی می‌توان در آینده با تجهیز ترانسفورماتورهای در حال ساخت، امکان پایش برخط سیم پیچ ترانسفورماتور قدرت را با استفاده از امواج الکترومغناطیسی بدون هیچ مشکلی فراهم نمود.



شکل ۸: تصویر از حالت معیوب سیم پیچ

البته وقوع عیب شعاعی بدون بررسی تعداد نقاط گرم و تنها از روی شکل نیز قابل تشخیص است. زیرا بیشینه عدد نقاط گرم در شکل ۷ در حدود ۰.۵ و در شکل ۸ در حدود ۰.۶۵ است. به عبارت دیگر، میزان حضور و بیشینه مقدار نقاط گرم به وضوح بیشتر شده است.

از طرف دیگر همانطور که مشخص است نسبت به گزارشات قبلی، اعداد رنگی از مقادیر کمتری شروع می‌شوند. هر چند که معیار ۰.۴ در این تصاویر نیز پاسخگو است اما جهت بهبود این معیار در تصاویر می‌توان پیشنهاد داد که معیار انتخاب عدد رنگی گرم، از ۴۰٪ بالاترین مقدار عدد رنگی باشد. به عبارت دیگر در این شکل‌ها، بیشترین عدد رنگی برابر با ۰.۶۲ است. در نتیجه معیار عدد رنگی جهت تشخیص تعداد نقاط گرم به جای عدد ۰.۴۵ برابر با ۰.۲۵ باشد. در این صورت تعداد نقاط گرم در حالت‌های سالم و معیوب به ترتیب برابر با ۶۳۸۷ و ۸۶۳۵ خواهد شد. هر چند که دوباره تاکید می‌گردد معیار قبلی نیز هنوز جوابگو است و نیازی به تغییر معیار اعداد رنگی گرم نیست. اما از آنجا که گاهی ممکن است نقاط رنگی از عددی مانند ۰.۴ در حالات خاص بالاتر نرود، این پیشنهاد می‌تواند بهبودی در روند تشخیص عیوب باشد.

لازم به ذکر است که اعداد اختصاص داده شده به هر رنگ در شکل‌ها با توجه به بیشینه مقادیر هر شکل است. به طور مثال در شکل ۷ بیشینه عدد موجود حدوداً برابر با ۰.۵ است در صورتیکه در شکل ۸ در حدود ۰.۶۵ است. این اعداد بیشینه، در هر شکل متناظر با رنگ قرمز خواهد شد.

نتایج آزمایش در این قسمت بیانگر امکان پذیر بودن تشخیص عیب مکانیکی شعاعی در حضور پنجره دی الکتریک است. در نتیجه در تجمیع با

منابع

- [1] M.A. Hejazi, J. Ebrahimi, G.B. Gharehpetian, M. Mohammadi, R. Faraji Dana, G. Moradi, "Application of Ultra-Wideband Sensors for On-line Monitoring of Transformer Winding Radial Deformations-A Feasibility Study", IEEE Sensors, Vol. 12, No. 6, pp. 1649-1659, June 2012.
- [2] S. Mortazavian, G. B. Gharehpetian, M. Akhavan Hejazi, M. S. Golsorkhi, and H. Karami, "A Simultaneous Method for Detection of Radial Deformation and Axial Displacement in Transformer Winding Using UWB SAR Imaging", 4th Conference on Thermal Power Plants (Gas, Combined Cycle, and Steam), Dec. 18-19, 2012, Tehran, Iran.
- [3] H. Karami, M.S.A. Hejazi, M.S. Naderi, G.B. Gharehpetian, S. Mortazavian, "Three-dimensional Simulation of PD Source Allocation Through TDOA Method", 4th Conference on Thermal Power Plants (Gas, Combined Cycle, and Steam), Dec. 18-19, 2012.
- [4] م. اخوان حجازی، "تشخیص جابجایی و تغییر شکل سیم پیچی ترانس قدرت بوسیله امواج الکترومغناطیسی" [پایان نامه] کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی برق، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، شهریور ۱۳۸۵، تهران، ایران.
- [5] S. Coenen, "Measurement of Partial Discharges in Power Transformers Using Electromagnetic Signals", University Stuttgart, 2012.
- [6] M. D. Judd, L. Yang, C. J. Bennoch, I. B. B. Hunter, "UHF Diagnostic Monitoring Techniques for Power Transformers", EPRI Substation Equipment Diagnostics Conference XII, New Orleans, February 15-18, 2004.
- [7] M. D. Judd, O. Farish, J. S. Pearson and B. F. Hampton, "Dielectric Windows for UHF Partial Discharge Detection", IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation Vol. 8 No.6, December 2001.
- [8] Judd, M.D. ; Li Yang ; Hunter, I.B.B., "Partial discharge monitoring for power transformer using UHF sensors. Part 2: field experience", Electrical Insulation Magazine, IEEE, Volume: 21, Issue: 3, pp. 5-12, 2005.
- [9] حسین کریمی، گئورگ قره پتیان، یاسر نوروزی، مریم السادات اخوان حجازی، "بررسی همزمانی و برخط بودن تشخیص جابجایی محوری و مکان یابی عیب تخلیه جزئی در سیم پیچ ترانسفورماتور با استفاده از امواج الکترومغناطیسی"، ششمین کنفرانس صنعت نیروگاه‌های حرارتی (گازی، سیکل ترکیبی، بخاری)، تهران، ایران، ۱۳۹۴.

[۱۰] حسین کریمی، گنورک قره پتیان، یاسر نوروزی، مریم السادات اخوان حجازی، " بررسی روش GLRT در تشخیص برخط و همزمان عیوب جابجایی محوری و تخلیه جزئی در سیم پیچ ترانسفورماتور با استفاده از امواج الکترومغناطیسی"، سی و یکمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی برق، پژوهشگاه نیرو، تهران، ایران، ۱۳۹۵.

[۱۱] حسین کریمی، "تشخیص همزمان و برخط تخلیه جزئی و عیوب مکانیکی سیم پیچ ترانسفورماتور قدرت با استفاده از امواج الکترومغناطیسی و پیاده سازی"، پایان نامه دکترا، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۱۳۹۶.

- [12] Coenen, S., Tenbohlen, S., Markalous, S. M., & Strehl, T. (2008). Sensitivity of UHF PD measurements in power transformers. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 15(6).
- [13] Zheng, S., Li, C., Tang, Z., Chang, W., & He, M. (2014). Location of PDs inside transformer windings using UHF methods. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 21(1), 386-393.
- [14] Tang, Z., Li, C., Cheng, X., Wang, W., Li, J., & Li, J. (2006). Partial discharge location in power transformers using wideband RF detection. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 13(6).
- [15] G. B., Norouzi, Y., et. Al. (2016). GLRT-based mitigation of partial discharge effect on detection of radial deformation of transformer HV winding using SAR imaging method. *IEEE Sensors Journal*, 16(19), 7234-7241.