



بررسی روش GLRT در تشخیص برخط و همزمان عیوب جابجایی محوری و تخلیه جزئی در سیم پیچ ترانسفورماتور با استفاده از امواج الکترومغناطیسی

حسین کرمی^۱، گئورگ قره پتیان^۱، یاسر نوروزی^۱، مریم السادات اخوان حجازی^۲
^۱دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ^۲دانشگاه کاشان

روش GLRT که در مقاله توضیح داده شده است، سیگنال‌های مربوط به این عیوب در آنتن دریافت کننده جداسازی شده و با استفاده از روش‌های مکان یابی تخلیه جزئی و تصویربرداری راداری، هر کدام از دو عیب تشخیص داده شده و عیب تخلیه جزئی مکان یابی می شود. همانطور که نتایج نشان می دهد، تشخیص هر دو عیب با یک مجموعه آنتن نصب شده در بدنه ترانسفورماتور و تفکیک سیگنال‌های تصویربرداری راداری از تخلیه جزئی امکان پذیر است.

واژه‌های کلیدی — تشخیص همزمان عیوب؛ تصویربرداری راداری؛ عیب جابجایی محوری؛ عیب تخلیه جزئی؛ امواج الکترومغناطیسی؛ روش GLRT

۱. مقدمه

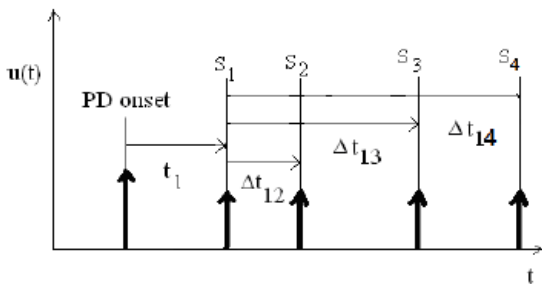
امروزه همه کشورهای صنعتی، به کارکرد و تولید بی نقص و انتقال و توزیع پیوسته قدرت الکتریکی وابسته اند. ترانسفورماتورها برای ارتباط و اتصال سیستم‌های انرژی با سطوح ولتاژ متفاوت بعنوان مهمترین دستگاه بخش انتقال و توزیع مطرح هستند. در نتیجه خرابی آنها می تواند باعث بروز وقفه در تغذیه شبکه و در نتیجه پیامدهای مخرب آن گردد. بسیاری از بهره برداران علاقمند هستند که از وضعیت داخل ترانسفورماتورهای قدرت

چکیده — پایش برخط ترانسفورماتور یکی از مهمترین مباحث روز دنیا به منظور اطلاع از وضعیت داخل ترانسفورماتور است. با داشتن اطلاعات کامل تر از وضعیت ترانسفورماتور، می توان تصمیم مطمئن تری برای زمان تعمیرات دوره‌ای، اتخاذ کرد. عیب تخلیه جزئی و عیب جابجایی محوری سیم پیچ ترانسفورماتور، از عیوب شاخص و تاثیرگذار در پایش وضعیت ترانسفورماتور هستند. در میان روش‌های 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. روش تصویربرداری راداری در تشخیص عیب جابجایی محوری، و روش اختلاف زمانی رسیدن امواج الکترومغناطیسی حاصل از تخلیه-جزئی به آنتن‌های نصب شده در بدنه برای تشخیص تخلیه جزئی، هنوز در حال مطالعه و بهبود هستند. تاکنون روش‌های زیادی برای تشخیص این عیوب معرفی شده اند ولی هیچکدام به سمت تشخیص همزمان این دو عیب حرکت نکرده اند. در جهت حرکت به سمت یک پایش وضعیت کامل و جامع، نیاز به بررسی همزمان عیوب احساس می شود. از آنجا که هر دو عیب را می توان از طریق امواج الکترومغناطیسی تشخیص داد، در این مقاله به بررسی تفکیک و تشخیص این دو عیب در صورت وقوع همزمان در ترانسفورماتورها می پردازد. به عبارت دیگر با استفاده از

الکترومغناطیسی، سیگنال به نویز خوبی داریم. در [۷] به صورت تجربی نشان داده شده است که انتشار امواج الکترومغناطیسی در باند فرکانسی UHF در روغن ترانسفورماتور، در شرایط عادی چندان متأثر از عوامل نظیر پیری، وجود رطوبت و تغییرات دمایی آن در شرایط معمولی نیست.

یکی از رایج‌ترین روشهای مکان یابی PD با استفاده از امواج الکترومغناطیسی، روش TDOA (Time Difference Of Arrival) می‌باشد [۴]. در این روش، زمان انتشار سیگنال از منبع تخلیه جزئی به آنتن‌ها را نمی‌توان تشخیص داد اما اختلاف زمانی سیگنال رسیده به یک جفت آنتن کمک می‌کند تا با یک معادله هایپربولیکی بتوان محل عیب را بر پایه روش TDOA تشخیص داد. با وجود چهار آنتن، سه معادله هایپربولیکی تشکیل می‌شود که در یک نقطه تقاطع دارند. این تفاوت زمان‌ها برای یک سیگنال، در شکل بصورت شماتیک برای چهار آنتن نمایش داده شده است.

در روش TDOA، معادلات هایپربولیکی به صورت زیر است [۴]:



شکل ۱: تفاوت زمان‌های رسیدن سیگنال از محل عیب به آنتن‌ها

$$(c * t_1)^2 = (x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 + (z - z_1)^2 \quad (1)$$

$$(c * (t_1 + \Delta t_{12}))^2 = (x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 + (z - z_2)^2 \quad (2)$$

$$(c * (t_1 + \Delta t_{13}))^2 = (x - x_3)^2 + (y - y_3)^2 + (z - z_3)^2 \quad (3)$$

$$(c * (t_1 + \Delta t_{14}))^2 = (x - x_4)^2 + (y - y_4)^2 + (z - z_4)^2 \quad (4)$$

در این معادلات c بیانگر سرعت نور در محیط و Δt_{12} ، Δt_{13} و Δt_{14} بیانگر اختلاف زمانی سیگنال رسیده از محل عیب به آنتن اول نسبت به سیگنال رسیده به آنتن‌های بعدی است. مکان آنتن‌ها که با S_1 ، S_2 ، S_3 و S_4 شناخته می‌شوند به ترتیب به صورت (x_1, y_1, z_1) ، (x_2, y_2, z_2) ، (x_3, y_3, z_3) و (x_4, y_4, z_4) نمایش داده می‌شوند. مکان عیب در ابتدا به صورت (x, y, z) و نامشخص است و سیگنال با زمان t1 که نامشخص است به اولین آنتن می‌رسد.

باخبر شوند. به این ترتیب با استفاده از روش‌های برخط مونیتورینگ، علاوه 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 جابجایی محوری سیم‌پیچ و تخلیه جزئی هستند. روش‌های پایش برخط موجود برای تشخیص عیوب مکانیکی و تخلیه جزئی، هیچ کدام بمنظور تشخیص همزمان مورد بررسی قرار نگرفته‌اند. همچنین با اینکه تاثیر تخلیه جزئی بروی عیب شعاعی مورد بررسی قرار گرفته است [۲]، اما تاثیر تخلیه جزئی در زمان انجام آزمایش تشخیص عیب جابجایی محوری هنوز بررسی نشده است. استفاده از امواج الکترومغناطیسی به عنوان یکی از ابزارهای تشخیص این دو عیب، امروزه بسیار مورد توجه قرار گرفته است [۳-۴]. در این مقاله با مروری کوتاه در هر یک از این دو روش، با اعمال روش GLRT، تشخیص همزمان این عیوب و مکان یابی عیب تخلیه جزئی بطور همزمان با استفاده از یک مجموعه آنتن نصب شده روی بدنه ترانسفورماتور، مورد بررسی قرار می‌گیرد.

در دو بخش بعدی به روش تشخیص هر کدام از این عیوب توسط امواج الکترومغناطیسی اشاره‌ای کوتاه می‌نمایم. در بخش چهارم، تاثیر وجود تخلیه جزئی در حین تشخیص عیب جابجایی محوری نشان داده خواهد شد. در بخش پنجم روش GLRT بمنظور تفکیک سیگنال‌ها توضیح و اعمال شده و نتیجه گیری در بخش ششم ارائه می‌شود.

۲. تشخیص تخلیه جزئی با روش الکترومغناطیسی

۲.۱. توضیح روش

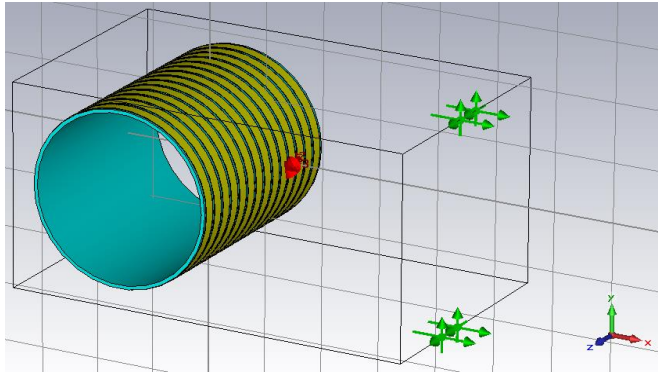
تشخیص تخلیه جزئی یا PD^۱ به کمک امواج الکترومغناطیسی UHF^۲ در ترانسفورماتورهای قدرت، روشی جدید بوده و چند سالی است که به طور جدی مورد مطالعه قرار گرفته است [۴-۵]. در ترانسفورماتورها، آشکارسازی امواج الکترومغناطیسی فرکانس بالای PD در محدوده امواج UHF (بین ۳۰۰MHz تا ۳GHz) توسط آنتن‌هایی که مستقیماً در داخل مخزن ترانسفورماتور از طریق شیر روغن یا در دیواره‌های خارجی آن نصب می‌شود، امکان‌پذیر است [۵-۷]. در [۶]، اظهار داشته که بدلیل ایزوله بودن مخزن ترانسفورماتور از PD های اتفاق افتاده در خارج از تانک از لحاظ

¹ Partial Discharge

² Ultra High Frequency

۲,۲. شبیه سازی روش

به منظور شبیه سازی، از نرم افزار CST Studio استفاده شده است. به علت بزرگ بودن ابعاد یک ترانسفورماتور و محدودیت سخت افزاری کامپیوتری (اشغال زیاد RAM و CPU توسط نرم افزار CST) در شبیه سازی با نرم افزار، یک مدل آزمایشگاهی برای شبیه سازی این نوع مطالعات استفاده می‌شود که در [۳] بصورت عملی آزمایش گرفته شده و به عنوان مدل جایگزین، استفاده شده است. ابعاد شبیه سازی شده در جدول ۱ آورده شده است.



شکل ۳: شبیه سازی انجام شده در CST

جدول ۱: پارامترهای مدل شبیه سازی شده

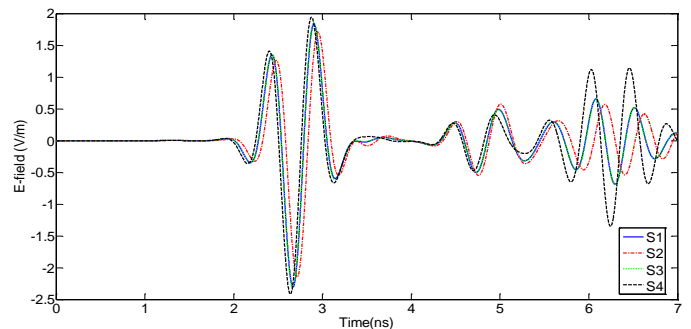
مقدار	پارامتر
300mm	قطر دیسک
14	تعداد دیسک‌ها
20mm	ارتفاع هر دیسک
6mm	ارتفاع spacer از جنس pressboard
350mm	فاصله آنتن‌ها از دیسک‌ها

۳. تشخیص جابجایی محوری سیم پیچ با استفاده از روش تصویربرداری راداری

۳,۱. توضیح روش

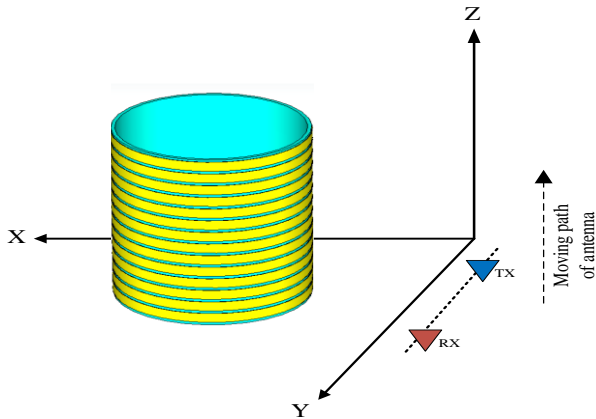
یکی از بروزترین روش‌های تشخیص عیب جابجایی محوری سیم پیچ ترانسفورماتور که در حال مطالعه و بهبود می‌باشد، روش تصویربرداری راداری می‌باشد. نحوه تصویربرداری در شکل ۴ نشان داده شده است. هنگامی که پالس توسط آنتن فرستنده ارسال می‌گردد، امواج ارسالی به هدف (ترانسفورماتور) برخورد نموده و در تمام جهات منعکس می‌گردد. پالس منعکس شده توسط آنتن گیرنده دریافت می‌گردد. برای به دست آوردن یک تصویر دو بعدی از هدف، موقعیت آنتن‌ها تغییر داده شده و در نقاط مختلف محور Z، فرآیند ارسال پالس و دریافت بازتاب آن تکرار می‌گردد [۹]. سیگنال دریافتی در هر موقعیت آنتن یک اسکن نامیده می‌شود. هر اسکن یک سیگنال زمانی بوده که با نمونه‌برداری از امواج دریافتی در یک موقعیت خاص به دست می‌آید. با تغییر موقعیت آنتن در طول محور اسکن‌های مختلفی به دست می‌آید. مجموعه سیگنال‌های دریافت شده در فرآیند اسکن-گیری به عنوان داده‌های خام برای به دست آوردن تصویر به کار گرفته می‌شوند. به علت اینکه در سیگنال‌های دریافت شده مواردی همچون چند مسیری وجود دارد، نیاز به پردازش اولیه سیگنال‌های خام داریم. این پردازش‌ها در [۹] به تفصیل شرح داده شده است. در این مقاله به منظور تبدیل سیگنال‌ها به یک تصویر دو بعدی، از الگوریتم مهاجرت کیرشلف استفاده شده است. طریقه بدست آوردن معادلات مربوطه در [۹] توضیح داده شده است که بدلیل محدودیت تعداد صفحات در اینجا ذکر نشده است. همچنین تاثیر عواملی همچون تانک ترانسفورماتور و یا روغن

آنتن‌ها در مختصات $S1(500,-173,120)$ ، $S2(500,-173,170)$ ، $S3(500,173,120)$ ، $S4(500,173,70)$ هستند. سیگنال‌های دریافت شده در شکل ۲ نشان داده شده است. محیط شبیه سازی شده به همراه محل آنتن‌ها (با رنگ سبز) و محل عیب تخلیه جزئی (با رنگ قرمز)، در شکل ۳ نمایش داده شده است. محل عیب تخلیه جزئی در مختصات $P(151,0,19.5)$ واقع شده است. با توجه به معادلات (۱) تا (۴)، محل تخلیه جزئی در مختصات $(153,0.3,26)$ تخمین زده شد که با محل عیب واقعی حدود 7mm فاصله دارد. این دقت با توجه به ابعاد شبیه‌سازی شده (در حدود $670*370*400\text{mm}^3$) و با توجه به نمونه عملی انجام شده در [۸] که با خطای 20cm تخمین زده شده است، دقت قابل قبولی می‌باشد.

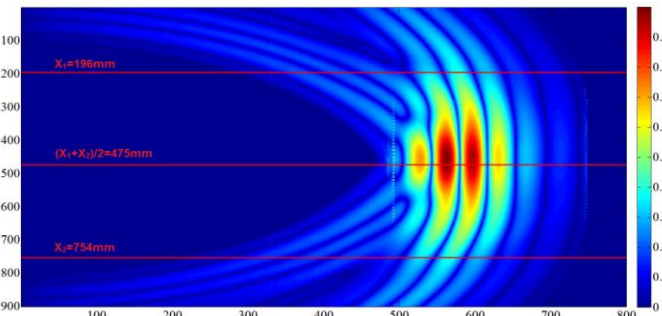


شکل ۲: سیگنال‌های دریافت شده از تخلیه جزئی توسط آنتن‌ها

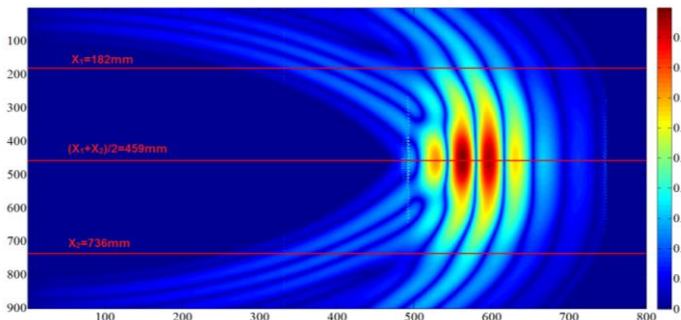
را در مقایسه با تصویر شکل ۵-الف، بصورت 8.5mm به سمت بالا نشان می‌دهد. در صورتیکه عیب واقعی، 16mm به سمت پایین است).



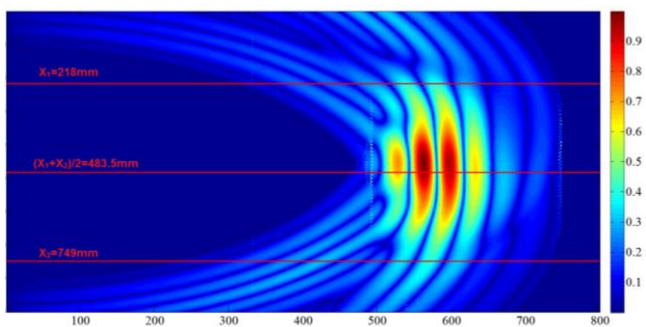
شکل ۴: نمای سه بعدی شبیه سازی



شکل ۵-الف)- تصویر حالت سالم



شکل ۵-ب)- تصویر حالت معیوب



شکل ۶: تاثیر تخلیه جزئی در تصویربرداری راداری

ترانسفورماتور در مقالات قبلی بررسی شده است [۱۰-۱۱]. شایان ذکر است که روش ارایه شده در [۳] از باند فرکانسی فرابهن باند شامل حدود فرکانس ۳GHz تا ۶GHz استفاده شده است. اما همانطور که در بخش قبلی ذکر شد، بازه فرکانسی در عیب‌های تخلیه جزئی ایجاد شده بین ۳۰۰MHz تا ۳GHz می‌باشد. از آنجا که در این مقاله هدف ما استفاده از یک مجموعه آنتن در بدنه ترانسفورماتور برای تشخیص همزمان هر دو عیب است، در نتیجه شبیه سازی تشخیص عیب جابجایی محوری در بازه فرکانسی ۳۰۰MHz تا ۳GHz انجام شده است. نتایج شبیه سازی نشان می‌دهد که در این بازه فرکانسی نیز نتایج، مشابه با روش فرابهن باند ارایه شده در [۳] می‌باشد و استفاده از این بازه فرکانسی نیز قابل قبول می‌باشد.

۳.۲. شبیه سازی روش

اطلاعات شبیه سازی در جدول ۱ در قسمت قبلی توضیح داده شد. در این بخش بمنظور بررسی جابجایی محوری سیم پیچ، سیم پیچ را به میزان ۲۰ میلیمتر به سمت پایین جابجا نمودیم و طبق توضیحات داده شده، آنتن‌ها در ۳۰ گام، از ارتفاع ۱۰ تا ارتفاع ۱۸۰ میلیمتری، فرآیند ارسال و دریافت را انجام می‌دهند. تصویر ایجاد شده برای حالت سالم و معیوب (داری جابجایی محوری) در شکل ۵ نشان داده شده است. اگر عدد ۰,۴ به عنوان میزان سنجش برای تخمین مکان مرکز سیم پیچ باشد، خطوط مربوط حد بالا (اولین نقطه بالای شکل با عدد رنگی ۰,۴)، حد پایین (آخرین نقطه پایین شکل با عدد رنگی ۰,۴) و متوسط این دو خط به عنوان معیار نمایش داده شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود، با مقایسه دو شکل بدست آمده می‌توان وجود جابجایی محوری را مشاهده نمود. شبیه سازی ها مقدار جابجایی ۱۶ میلیمتر به سمت پایین را نشان می‌دهند.

۴. تاثیر تخلیه جزئی در تشخیص عیب محوری

همانطور که در بخش قبل توضیح داده شد با یافتن حد بالا و حد پایین سیم پیچ، می‌توان عیب محوری را در سیم پیچ ترانسفورماتور پیدا کرد. اما اگر در حین ارسال و دریافت سیگنال‌ها عیب تخلیه جزئی رخ دهد، ترکیب سیگنال ساطع شده از تخلیه جزئی و سیگنال مربوط به تشخیص عیب محوری موجب تشخیص اشتباه در عیب محوری می‌شود. به عنوان نمونه اگر در برخی از گام‌ها و در حین ارسال و دریافت سیگنال، یک عیب تخلیه جزئی رخ دهد، همانطور که در شکل ۶ نمایش داده شده است، تصویر حاصله عیب را بصورت اشتباه نشان می‌دهد (بطور مثال در این شکل عیب

۵. تفکیک داده‌های مربوط به عیب تخلیه جزئی و

تغییر شکل شعاعی

۵.۱. امکان سنجی تفکیک داده‌ها

همانطور که در مطالعات قبلی نشان داده شده است [۱۲، ۶]، داخل ترانسفورماتور نسبت به محیط اطراف خود کاملاً شیلد می‌باشد. در نتیجه نویز محیطی تأثیری بر عملکرد سیستم ندارد. نویزهای داخل محیط ترانسفورماتور نیز با توجه به آزمایش عملی صورت گرفته بر روی یک ترانسفورماتور 200kV واقعی در [۱۲]، به کمک روش‌های حذف نویز، بر روی عملکرد سیستم تشخیص، تأثیر قابل ملاحظه‌ای ندارد.

در بخش قبل نشان داده شد که تداخل عیب تخلیه جزئی در هنگام تشخیص عیب مکانیکی موجب تخریب شکل حاصله و تشخیص اشتباه خواهد شد. در نتیجه لازم است تا اطلاعات مربوط به تخلیه جزئی از داده‌های مورد نیاز برای تشخیص عیب جابجایی محوری تفکیک شوند. بدین منظور، ابتدا پیشنهاد می‌شود که در روش تشخیص عیب جابجایی محوری اصلاحی صورت گیرد تا بتوان از تداخل داده‌ها جلوگیری نمود. شایان ذکر است که مشکل ایجاد شده فقط در تشخیص عیب جابجایی محوری است و در تشخیص و مکان یابی عیب تخلیه جزئی مشکلی نداریم. زیرا در زمانی که فرستنده و گیرنده مربوط به تشخیص عیب جابجایی محوری خاموش می‌باشد، سیگنال‌های تخلیه جزئی همانند توضیحات بخش دوم دریافت شده و مکان یابی صورت می‌گیرد.

همانطور در بخش سوم نیز اشاره شد، روش ارایه شده در [۳]، از یک سیگنال گوسی که تمامی فرکانسهای بازه مورد مطالعه را دارد، استفاده می‌نماید. سیگنال دریافت شده پس از بازخورد از جسم نیز، بصورت مجموعی از سیگنال‌های سینوسی با فرکانسهای مختلف است که حاصل سیگنال دریافتی، بصورت یک سیگنال گوسی نمایش داده می‌شود. در واقع سیگنال‌های دریافتی برای تشخیص عیب مکانیکی همان سیگنال‌های سینوسی ارسالی می‌باشند که اندازه و فاز آنها در حین مسیر تغییر کرده است. در نتیجه اگر سیگنال گوسی بصورت چند سینوسی جداگانه ارسال و دریافت شود و سپس سیگنال‌های سینوسی با هم جمع شوند به همان سیگنال گوسی خواهیم رسید.

با توجه به توضیحات ذکر شده، پیشنهاد می‌شود بجای استفاده از یک سیگنال گوسی که در [۳] پیشنهاد شده است، از مجموع چند سیگنال سینوسی برای هر گام از آزمایش تشخیص عیب جابجایی محوری استفاده شود. به این روش به اصطلاح stepped-frequency می‌گویند. مزیت این روش در این است که زمانیکه سیگنال سینوسی با فرکانس f ارسال کردیم، توقع داریم سیگنال دریافتی نیز سینوسی با فرکانس f باشد و با توجه به توضیحات بالا، فقط دامنه و فاز آن تغییر یافته باشد. از آنجا که تخلیه جزئی محدوده وسیعی از فرکانس‌های UHF را در محیط منتشر می‌کند و فقط در یک فرکانس خاص نیست، اگر تخلیه جزئی در حین فرآیند ارسال و دریافت یکی از موجهای سینوسی رخ بدهد، سیگنال دریافت شده در آنتن، سینوسی با یک فرکانس خالص نیست. در نتیجه می‌توان دریافت که در حین ارسال و دریافت این آزمایش، یک تخلیه جزئی رخ داده است و ارسال و دریافت سیگنال سینوسی برای این فرکانس باید تکرار شود. این تکرار تا زمانی ادامه می‌یابد تا یک سیگنال سینوسی ارسال شود و سیگنال دریافتی هم سینوسی با همان فرکانس باشد. عبارات دیگر تا زمانی که تشخیص داده شود سیگنال دریافتی بدون حضور تخلیه جزئی است، این تکرار ادامه می‌یابد.

یک ابهام مهم که در این روش می‌ماند این است که آیا امکان دسترسی به سیگنالی که تداخل با سیگنال تخلیه جزئی نداشته باشد امکان پذیر است یا خیر. این امر امکان‌پذیر است که جزئیات پاسخ به این ابهام در [۱۱] تشریح شده است و در این مقاله بدلیل محدودیت در تعداد صفحات از ذکر مجدد آن خودداری می‌کنیم.

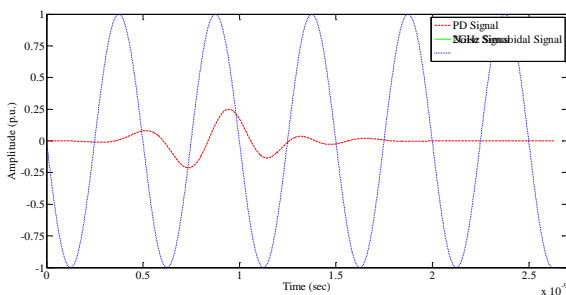
۵.۲. تفکیک سیگنال‌ها به روش GLRT

روش GLRT در مباحث راداری مربوط به تشخیص هواپیما و یا هر شیء دیگری در هوا مورد استفاده قرار گرفته است [۱۴]. در این روش، فرض می‌شود که سیگنال از طریق آنتن به K بخش ارسال، و دریافت شده است که هر سیگنال دارای N داده گسسته است. اگر شیئی در فضا نباشد ($S=0$)، سیگنال‌های دریافتی (r_k) به مانند نویز (w_k) دریافت می‌شود. در غیر این صورت یکی شیء ($S \neq 0$)، سیگنال دریافتی بصورت ترکیب نویز و بازتاب سیگنال ارسالی خواهد بود.

$$\begin{cases} S = 0 : r_k = w_k \\ S \neq 0 : r_k = S + w_k \end{cases} \quad \forall k = 1, \dots, K \quad (5)$$

تخلیه، مقدار GLRT را برای سیگنال دریافتی که مجموع سیگنال تخلیه جزئی و سیگنال دستگاه فرستنده گیرنده است محاسبه می‌نماییم و این مقدار را با حالتی که تخلیه جزئی نباشد مقایسه می‌کنیم.

در این مقاله مقدار $K=1000$ در نظر گرفته شد. بدین معنی که در حوزه فرکانس سیگنالهای دریافتی به ۱۰۰۰ بازه فرکانسی مختلف تقسیم کردیم و سپس مقدار GLRT را برای هر کدام از این بازه ها محاسبه نمودیم. با انتخاب P_{fa} برابر با ۰,۶، تمامی مقادیر GLRT را با مقدار P_{fa} مقایسه می‌نماییم. مقدار P_{fa} با توجه به شرایط هر آزمایش و حساسیت سیستم، بطور اختیاری انتخاب می‌شود. طبیعی است که انتخاب بسیار پایین این مقدار موجب هشدار بی مورد و انتخاب بالای این مقدار موجب عدم هشدار در زمان وقوع تخلیه جزئی در حین ارسال و دریافت می‌شود. در این شبیه سازی مقدار ماکزیمم GLRT در سیگنال سینوسی دریافتی به ۰,۵ هم نمی‌رسد و انتخاب مقدار ۰,۶ برای P_{fa} دقت خوبی می‌باشد. زیرا با وقوع یک PD که دامنه GLRT آن از ۰,۱ بیشتر باشد، آلامر داده و باید آزمایش تکرار شود. در صورتیکه مقدار GLRT در هر کدام از K قسمت، از ۰,۶ بیشتر شد می‌توان نتیجه گرفت که PD رخ داده است. در شبیه سازی انجام شده سیگنال دریافتی با در نظرگیری تخلیه جزئی دارای GLRT به مقدار ۰,۶۴۶۲ شده است. در نتیجه تخلیه جزئی تشخیص داده شده و فرآیند ارسال و دریافت برای این فرکانس و در این گام، باید تکرار شود. تکرار آزمایش تا زمان دست یافتن به یک سیگنال سینوسی خالص ادامه خواهد یافت که امکان پذیری دست یابی به همچین سیگنالی شرح داده شد. با اعمال روش ذکر شده برای همه گام‌ها و همه فرکانسهای ارسال و دریافتی، تصاویر بدست آمده پس از تفکیک سیگنالها همانند تصاویر بدست آمده در بخش سوم خواهد بود که می‌توان بدین صورت عیب جابجایی محوری را با وجود عیب تخلیه جزئی تفکیک و تشخیص داد.



شکل ۶-الف): تاثیر زمانی PD در سیگنال دریافتی در فرکانس 2GHz

طبق [۱۴]، اگر نرم ($\|r_k\|^2$) تمامی سیگنالهای دریافتی از K ناحیه را داشته باشیم، در صورتیکه در یکی از نواحی، مقدار $\|r_k\|^2$ از مجموع آنها بیشتر از یک حد آستانه (P_{fa}) شد، میتوان تشخیص داد که در آن ناحیه، علاوه بر نویز یک شیئی در فضا وجود دارد.

$$GLRT_i = \frac{\|r_i\|^2}{\sum_{k=1}^K \|r_k\|^2} \quad \forall i = 1, \dots, K \quad (6)$$

if $GLRT_i > P_{fa} \rightarrow$ an object in i^{th} space

همانطور که توضیح داده شد، بمنظور تشخیص همزمان عیوب، در صورتیکه در حین تصویربرداری راداری، دریافت‌کننده حاوی فرکانس‌هایی غیر از فرکانس ارسالی باشد، تخلیه جزئی رخ داده و باید آزمایش در آن فرکانس تکرار شود. پس ابتدا فرکانس سیگنال ارسالی را از سیگنال دریافتی حذف می‌کنیم تا باقیمانده سیگنال تحلیل شود. فرض می‌شود که بجای K ناحیه در فضا، سیگنال دریافتی را در حوزه فرکانس به K ناحیه تقسیم می‌کنیم. با اختیار کردن مقدار مناسب P_{fa} ، با وقوع تخلیه جزئی، در حوزه فرکانس، $GLRT_i$ برای یکی از K ناحیه بیش از P_{fa} خواهد شد و باید در آن فرکانس، تصویربرداری تکرار گردد.

بمنظور شبیه سازی روش ارائه شده در این مقاله، از مدل ذکر شده در بخش دوم استفاده شده است. بجای استفاده از سیگنال گوسی، شبیه سازی در بازه ۳۰۰MHz تا ۳GHz انجام گرفت. بمنظور تشخیص عیب جابجایی محوری سیم پیچ، در ۳۳ گام با فواصل ۱۰ میلیمتری از هم، ۲۹۹۰ سیگنال سینوسی در ۲۹۹۰ فرکانس مختلف در بازه فرکانسی ۳۰۰MHz تا ۳GHz برای ارسال و دریافت هر گام بررسی شد. در هر سیگنال سینوسی، سیگنال دریافتی باید نسبت به سیگنال ارسالی فقط در دامنه و فاز متفاوت باشد. بمنظور بررسی تاثیر عیب تخلیه جزئی در حین تشخیص عیب شعاعی، فرض کردیم در یکی از گامها، در حین ارسال و دریافت برای فرکانس 2GHz، عیب تخلیه جزئی رخ دهد و سیگنال ناشی از تخلیه جزئی با سیگنال تشخیص عیب جابجایی محوری ترکیب شود. سیگنال تخلیه جزئی و سیگنال دستگاه فرستنده گیرنده، در شکل ۶ در حوزه های زمان و فرکانس، نمایش داده شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود در حوزه فرکانس، اگر تخلیه جزئی نبود، سیگنال دریافتی تنها یک سیگنال سینوسی می‌بود. ولی با وقوع تخلیه جزئی، سیگنال دریافتی توسط آنتن بصورت سینوسی خالص نبوده و باید آزمایش در این فرکانس به منظور تشخیص درست عیب جابجایی محوری دوباره تکرار شود. بمنظور تشخیص وقوع

[۹] مریم السادات اخوان حجازی، مریم صباغ پور آرانی، قاسم مختاری، گئورگ قره پتیان، "اندازه گیری اثر تانک در روش تشخیص تغییر شکل شعاعی سیم پیچ ترانسفورماتور توسط امواج الکترومغناطیسی" بیست و نهمین کنفرانس بین‌المللی برق - ۱۳۹۳ تهران، ایران

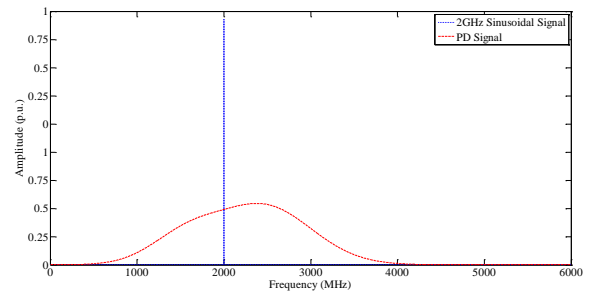
[10] M. A. Hejazi, G.B. Gharehpetian, A. Mohammadi, "Effect of Oil on Transformer Monitoring Using Electromagnetic Waves", 21-th International Power System Conference, 2006, Tehran, Iran (in Persian).

[۱۱] حسین کرمی، گئورگ قره پتیان، یاسر نوروزی، مریم السادات اخوان حجازی، "بررسی همزمانی و برخط بودن تشخیص جابجایی محوری و مکان‌یابی عیب تخلیه جزئی در سیم پیچ ترانسفورماتور با استفاده از امواج الکترومغناطیسی"، ششمین کنفرانس صنعت نیروگاه‌های حرارتی (گازی، سیکل ترکیبی، بخاری)، تهران، ایران، ۱۳۹۴.

[12] Wenzhi, C., Zhiguo, T., Chengrong, L., Hao, W., Yuan, Y., & Yimin, J., "A novel sensor for UWB RF PD location and experimental investigation on a 220kV transformer" Electrical Insulation and Dielectric Phenomen, IEEE Conference on, pp. 413-416, 2009.

[13] J. Li, W. Si, X. Yao, Y. Li, "Partial Discharge Characteristics over Differently Aged Oil/pressboard Interfaces", IEEE Trans. on Dielec. & Elec. Insul., Vol. 16, No. 6, pp. 1640-1647, 2009.

[14] M. Derakhtian, A.A. Tadaion, S. Gazor and M.M. Nayeibi, "Invariant Tests for Rapid-fluctuating Radar Signal Detection with Unknown Arrival Time", Signal Processing (Elsevier), Vol. 87, Issue 3, pp. 441-452, 2007.



شکل ۶- (ب): تاثیر فرکانسی PD در سیگنال دریافتی در فرکانس 2GHz

۶. نتیجه گیری

در این مقاله با بررسی دو روش مکان‌یابی تخلیه جزئی و تشخیص عیب جابجایی محوری سیم‌پیچ ترانسفورماتور با کمک امواج الکترومغناطیسی، استفاده همزمان سیستم نصب شده بر روی بدنه تانک بمنظور تشخیص همزمان این دو عیب با استفاده از روش GLRT مطالعه شد. نتایج نشان داد که برای تشخیص بهتر عیب جابجایی محوری نیاز به تفکیک سیگنال‌های دریافتی از عیب تخلیه جزئی احتمالی داریم. این هدف با استفاده از روش GLRT امکان پذیر خواهد بود.

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] Karami, Hossein, Gevork B. Gharehpetian, Yaser Norouzi, and Maryam Akhavan Hejazi. "GLRT-based Mitigation of Partial Discharge Effect on Detection of Radial Deformation of Transformer HV Winding using SAR Imaging Method", to be appeared in IEEE Sensors Journal, DOI: 10.1109/JSEN.2016.2592966, 2016.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] Lopez-Roldan, J., Tang, T., Gaskin, M., "Optimisation of a sensor for onsite detection of partial discharges in power transformers by the UHF method", Dielec. & Elec. Insul., IEEE Trans. on, Vol. 15, Issue 6, 2008.
- [6] S. Tenbohlen, D. Denissov and S. M. Hoek, "Partial Discharge Measurement in the Ultra High Frequency (UHF) Range", Dielec. and Elec. Insul., IEEE Trans. on, Vol. 15, Issue: 6, pp. 1544-1552, 2008.
- [7] Convery, A.R. and Judd, M.D. (2003) Measurement of propagation characteristics for UHF signals in transformer insulation materials. In: 2003 13th International Symposium on High Voltage Engineering (ISH), 2003-08-25 - 2003-08-29, Delft.
- [8] H. H. Sinaga, B. T. Phung and T. R. Blackburn, "Partial Discharge Localization in Transformers Using UHF Detection Method", IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation Vol. 19, No. 6; December 2012.