

# استفاده از روش GLRT بمنظور تشخیص برخط و همزمان تغییر شکل شعاعی و مکانیابی عیب تخلیه جزئی در سیمپیچ ترانسفورماتور با استفاده از امواج الکترومغناطیسی

حسین کرمی<sup>۱</sup>، گئورگ قره‌پتیان<sup>۱</sup>، یاسر نوروزی<sup>۱</sup>، مریم السادات اخوان حجازی<sup>۲</sup>  
<sup>۱</sup>دانشگاه صنعتی امیرکبیر، <sup>۲</sup>دانشگاه کاشان

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 میدهد، تشخیص هر دو عیب با یک مجموعه آنتن نصبشده در بدنه ترانسفورماتور و تفکیک سیگنالهای تصویربرداری راداری از تخلیه جزئی امکانپذیر است.

**واژه‌های کلیدی** — تشخیص همزمان عیوب؛ تصویربرداری راداری؛ عیب تغییر شکل شعاعی؛ عیب تخلیه جزئی؛ امواج الکترومغناطیسی؛ روش GLRT

## ۱. مقدمه

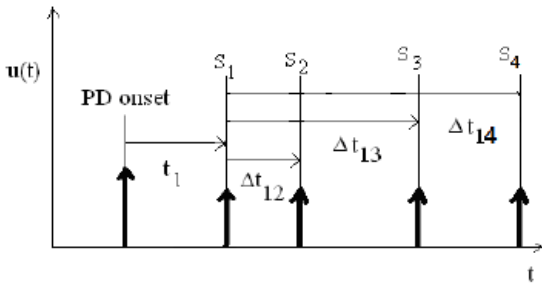
امروزه همه کشورهای صنعتی، به کارکرد و تولید بی‌نقص و انتقال و توزیع پیوسته قدرت الکتریکی وابسته‌اند. ترانسفورماتورها برای ارتباط و اتصال سیستم‌های انرژی با سطوح ولتاژ متفاوت بعنوان مهمترین دستگاه بخش انتقال و توزیع مطرح هستند. در نتیجه خرابی آنها می‌تواند باعث بروز وقفه در تغذیه شبکه و در نتیجه پیامدهای مخرب آن گردد. بس طوی از بهره‌برداران علاقمند هستند که از وضع عیب داخل ترانسفورماتورهای قدرت باخبر شوند. به این ترتیب با استفاده از روش‌های برخط مونتئوریگ، 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 تغییر شکل شعاعی 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 بسطور مورد توجه قرار گرفته است. روش تصویربرداری راداری در تشخیص عیب تغییر شعاعی، و روش اختلاف زمانی رسیدن امواج الکترومغناطیسی حاصل از تخلیه‌جزئی به آنتنهای نصب شده در بدنه برای تشخیص تخلیه‌جزئی، هنوز در حال مطالعه و بهبود هستند. تاکنون روشهای زیادی برای تشخیص این عیوب معرفی شده‌اند ولی هیچکدام به سمت تشخیص همزمان این دو عیب حرکت نکرده‌اند. در جهت حرکت به سمت یک پایش وضعیت کامل و جامع، نیاز به بررسی همزمان عیوب احساس میشود. از آنجا که هر دو عیب را میتوان از طریق امواج الکترومغناطیسی تشخیص داد، در این مقاله به بررسی تفکیک و تشخیص این دو عیب در صورت وقوع همزمان در ترانسفورماتورها میپردازد. به عبارت دیگر با استفاده از روش GLRT که در مقاله توضیح داده شده است، سیگنالهای مربوط به این عیوب در

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 عواملی نظیر پیری، وجود رطوبت و تغییرات دمایی آن در شرایط معمولی نیست

یکی از رایجترین روشهای مکان‌یابی 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 معادله c بیانگر سرعت نور در محیط و  $\Delta t_{12}$ ،  $\Delta t_{13}$  و  $\Delta t_{14}$  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  $(x, y, z)$

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

دو دسته از عیب ترانسفورماتورهای قدرت که بسط مورد توجه قرار گرفته است، عیب تغییر شکل شعاعی سیمپیچ و تخلیه جزئی هستند. روش‌های پایش برخط موجود برای تشخیص عیب مکانیکی و تخلیه جزئی، هیچ کدام بمنظور تشخیص همزمان مورد بررسی قرار نگرفته‌اند. همچنین تاثیر تخلیه جزئی در زمان انجام آزمایش تشخیص عیب شعاعی هنوز بررسی نشده است. استفاده از امواج الکترومغناطیسی به عنوان یکی از ابزارهای تشخیص این دو عیب، امروزه بسط مورد توجه قرار گرفته است [۲-۴]. در این مقاله با مروری کوتاه در هر یک از این دو روش، با اعمال روش GLRT، تشخیص همزمان این عیوب و مکان‌یابی 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 اشاره‌های کوتاه مینماییم. در بخش چهارم، تاثیر وجود تخلیه جزئی در حین تشخیص عیب شعاعی نشان داده خواهد شد. در بخش پنجم روش GLRT بمنظور تفکیک سیگنالها توضیح و اعمال شده و نتیجه‌گیری در بخش ششم ارائه میشود.

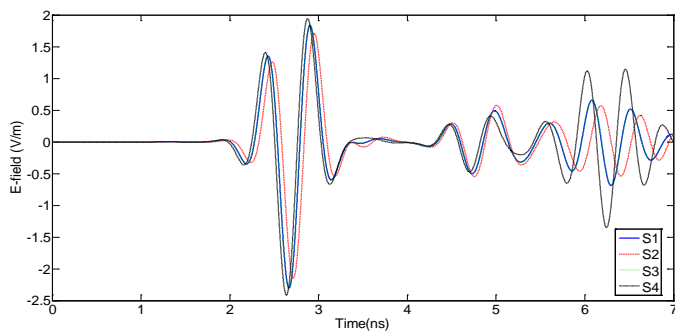
## ۲. تشخیص تخلیه جزئی با روش الکترومغناطیسی

### ۲.۱. توضیح روش

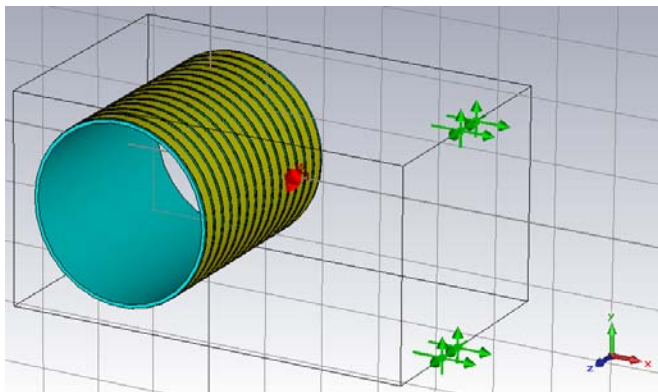
تشخیص تخلیه جزئی یا PD<sup>۱</sup> به کمک امواج الکترومغناطیسی UHF<sup>۲</sup> در ترانسفورماتورهای قدرت، روشی جدید بوده و چند سالی است که به طور جدی مورد مطالعه قرار گرفته است [۴-۵]. در ترانسفورماتورها، آشکارسازی امواج الکترومغناطیسی فرکانس بالای PD در محدوده امواج UHF (بین ۳۰۰MHz تا ۳GHz) توسط آنتن‌هایی 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

<sup>۱</sup> Partial Discharge

<sup>۲</sup> Ultra High Frequency



شکل ۲: سیگنالهای دریافت شده از تخلیه جزئی توسط آنتنها



شکل ۳: شبیه سازی انجام شده در CST

### ۳. تشخیص تغییر شکل شعاعی با استفاده از روش تصویربرداری راداری

#### ۳.۱. توضیح روش

یکی از بروزترین روشهای تشخیص عیب شعاعی سیمپیچ 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 [۲]. سیگنال دریافتی در هر موقعیت آنتن یک اسکن نامیده میشود. هر اسکن یک سیگنال زمانی بوده که با نمونبرداری از امواج دریافتی در یک موقعیت خاص به دست میآید. با تغییر موقعیت آنتن در طول محور اسکنهای

و نامشخص است و سیگنال با زمان t1 که نامشخص است به اولین آنتن می‌رسد.

#### ۲.۲. شبیه سازی روش

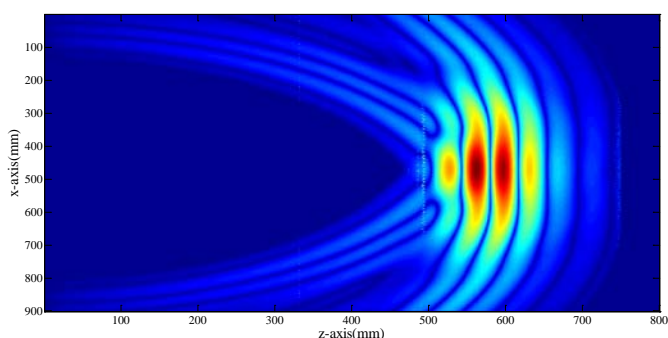
به منظور شبیه سازی، از نرم افزار CST Studio استفاده شده است. به علت بزرگ بودن ابعاد یک ترانسفورماتور و محدودیت سخت افزاری کامپیوتری (اشغال زیاد RAM و CPU توسط نرم افزار CST) در شبیه سازی با نرم افزار، یک مدل آزمایشگاهی برای شبیه سازی این نوع مطالعات استفاده میشود که در [۳] بصورت عملی آزمایش گرفته شده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

جدول ۱: پارامترهای مدل شبیه سازی شده

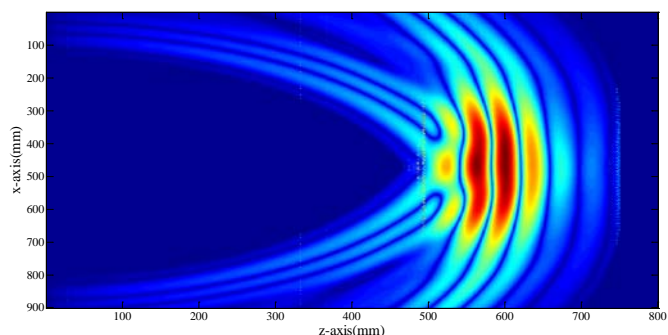
مقدار	پارامتر
300mm	قطر دیسک
14	تعداد دیسکها
20mm	ارتفاع هر دیسک
6mm	ارتفاع spacer از جنس pressboard
350mm	فاصله آنتنها از دیسکها

آنتنها در مختصات  $S_1(500,-173,120)$ ،  $S_2(500,-173,170)$ ،  $S_3(500,173,120)$ ،  $S_4(500,173,70)$  هستند. سیگنالهای دریافت شده در شکل ۲ نشان داده شده است. محیط شبیه سازی شده به همراه محل آنتن-ها (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  $400\text{mm}^3 \times 670 \times 370$ ) و با توجه به نمونه عملی انجام شده در [۸] که با خطای 20cm تخمین زده شده است، دقت قابل قبولی میباشد.

346mm از یکدیگر شبیه سازی شده اند. در این بخش بمنظور بررسی تغییر شکل شعاعی سیم پیچ، عیب شعاعی بصورت بیرونزدگی در محل (150.5,0,96.5) با ابعاد 60\*40\*25 ایجاد شد و طبق توضیحات داده شده، آنتنها در ۳۳ گام، از ارتفاع ۲۰- تا ارتفاع ۳۰۰ میلیمتری، فرآیند ارسال و دریافت را انجام میدهند. تصویر ایجاد شده برای حالت سالم و معیوب در شکل ۵ نشان داده شده است و بطور بصری میتوان تخمین زد که میزان نقاط قرمز رنگ (نقاط گرم) در حالت معیوب بیش از حالت سالم است. اگر عدد ۰.۴ به عنوان میزان سنجش برای مقایسه نقاط گرم باشد، تعداد نقاط در حالت سالم برابر با ۴۳۱۹۲ و در حالت معیوب برابر ۴۷۶۳۲ میباشد که بیانگر وجود عیب شعاعی و قابلیت تشخیص آن از تصاویر است.



شکل ۵- (الف) - تصویر حالت سالم

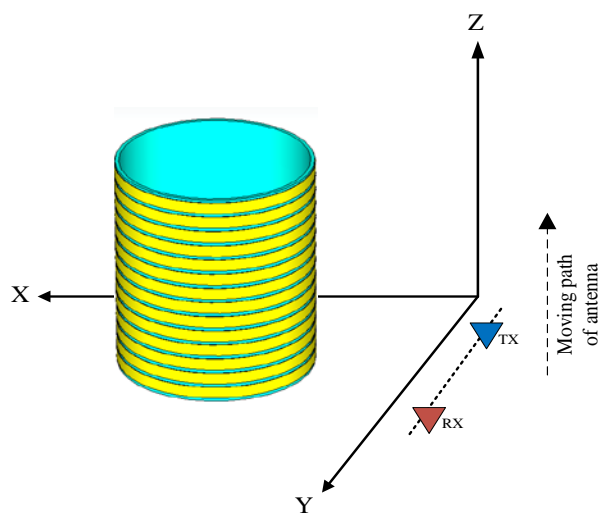


شکل ۵- (ب) - تصویر حالت معیوب

#### ۴. تاثیر تخلیه جزئی در تشخیص عیب شعاعی

اگر دستگاه ارسال و دریافت سیگنال بمنظور تشخیص عیب شعاعی خاموش باشد، فرآیند مکان یابی تخلیه جزئی بدون مشکل انجام خواهد شد. ولی اگر تخلیه جزئی در ترانسفورماتور وجود داشته باشد و بخواهیم تشخیص عیب شعاعی را با ارسال و دریافت سیگنال انجام دهیم، با مشکل مواجه خواهیم شد. همانطور که در بخش قبل توضیح داده شد میزان و تعداد نقاط گرم، تعیین کننده عیب شعاعی در سیمپیچ ترانسفورماتور است. اما اگر

مختلفی بهدست میآید. مجموعه سیگنالهای دریافت شده در فرآیند اسکن-گیری به عنوان دادههای خام برای بهدست آوردن تصویر به کار گرفته می-شوند. به علت اینکه در سیگنالهای دریافت شده مواردی همچون چند مسیری وجود دارد، نیاز به پردازش اولیه سیگنالهای خام داریم. این پردازشها در [۳] به تفصیل شرح داده شده است. در این مقاله به منظور تبدیل سیگنالها به یک تصویر دو بعدی، از الگوریتم مهاجرت کیرشهف استفاده شده است. طریقه بدست آوردن معادلات مربوطه در [۳] توضیح داده شده است که بدلیل محدودیت تعداد صفحات مقاله ذکر نشده است. همچنین تاثیر عواملی همچون تانک ترانسفورماتور و یا روغن ترانسفورماتور در مقالات قبلی بررسی شده است [۹-۱۰]. شایان ذکر است که روش ارایه شده در [۳] از باند فرکانسی فرابهن باند شامل فرکانس 3.2GHz تا 6.1GHz استفاده شده است. اما همانطور که در بخش قبلی ذکر شد، بازه فرکانسی در عیبهای تخلیهجزئی ایجاد شده بین ۳۰۰MHz تا ۳GHz میباشد. هدف ما استفاده از یک مجموعه آنتن در بدنه ترانسفورماتور برای تشخیص همزمان هر دو عیب است. شبیه سازی تشخیص عیب شعاعی در بازه فرکانسی ۳۰۰MHz تا ۳GHz در [۱۱] انجام شده است. نتایج شبیه سازی نشان می-دهد 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.



شکل ۴: نمای سه بعدی شبیه سازی

#### ۳.۲. شبیه سازی روش

اطلاعات مدل شبیهسازی در جدول ۱ در بخش قبلی توضیح داده شد. مدل در ارتفاع ۹۰- تا ۲۸۰ قرار دارد. آنتنها به فاصله 350mm از مدل و

جزئی وجود دارد، بخواهیم عیب شعاعی را تشخیص دهیم به مشکلات ذکر شده در بخش ۴ برخورد میکنیم.

همانطور در بخش سوم نیز اشاره شد، روش ارائه شده در [۳]، از یک سیگنال گوسی که تمامی فرکانسهای بازه مورد مطالعه را دارد، استفاده می نماید. 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 می باشند 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 شعاعی استفاده شود. به این روش به اصطلاح *step 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. با توجه به اینکه عیب تخلیه جزئی محدوده ای از فرکانسهای UHF را در محیط منتشر میکند و فقط در یک فرکانس خاص در فضا سیگنال منتشر نمیکند، اگر عیب 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 می توان 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. بعبارت 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 سوال زمانی مهمتر خواهد شد که میدانیم عیب تخلیه جزئی در

در حین ارسال و دریافت سیگنالها، عیب تخلیه جزئی رخ دهد، ترکیب سیگنال ساطع شده از تخلیه جزئی و سیگنال مربوط به تشخیص عیب شعاعی، موجب تشخیص اشتباه در عیب شعاعی میشود. در [۱۱] بر روی اثر تخلیه جزئی در شکل ایجاد شده بطور مفصل اشاره شده است که بعلا محدودیت صفحه از ذکر مجدد آن خودداری می شود.

## ۵. تفکیک دادههای مربوط به عیب تخلیه جزئی و تغییر شکل شعاعی

### ۵.۱. امکان سنجی تفکیک داده ها

یکی از اقداماتی که در پایش وضعیت ترانسفورماتورها نیاز است انجام گیرد، ترکیب روشهای پیشین و حرکت به سمت پایش کامل ترانسفورماتور می باشد. در این مقاله دو روش تشخیص عیب شعاعی سیمپیچ ترانسفورماتور و تخلیه جزئی که هر دو بر پایه روش الکترومغناطیسی میباشند مورد بررسی قرار میگیرند. یکی از مزایای این روش، تاثیر نداشتن نویز بر این سیستم است. همانطور که در مطالعات قبلی نشان داده شده است [۱۲، ۶]، داخل ترانسفورماتور نسبت به محیط اطراف خود کاملاً شیلد میباشند. در نتیجه نویز محیطی تاثیری 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 الکترومغناطیسی سیستم تشخیص، تاثیر 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 داده های مورد نیاز برای تشخیص عیب شعاعی تفکیک شوند. بدین منظور، ابتدا پیشنهاد میشود که در روش تشخیص عیب شعاعی اصلاحی صورت گیرد تا بتوان از تداخل دادهها جلوگیری نمود. شایان ذکر است که مشکل ایجاد شده فقط در تشخیص عیب شعاعی است و در تشخیص و مکان یابی عیب تخلیه جزئی مشکلی نداریم. زیرا در زمانی که فرستنده و گیرنده مربوط به تشخیص عیب شعاعی خاموش میباشند، سیگنالهای تخلیه جزئی همانند توضیحات بخش دوم دریافت شده و مکان یابی صورت میگیرد. ولی در زمانی که عیب تخلیه

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

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

همانطور که در بخشهای قبلی توضیح داده شد، بمنظور تشخیص همزمان عیوب، در صورتیکه در حین انجام تصویربرداری راداری در تشخیص عیب شعاعی، آنتن دریافت کننده حاوی فرکانسهای غیر از فرکانس ارسال باشد، تخلیه جزئی رخ داده و باید آزمایش در آن فرکانس تکرار شود. در نتیجه ابتدا فرکانس سیگنال ارسال را از سیگنال دریافت شده حذف می‌کنیم تا باقیمانده سیگنال تحلیل شود. در این مقاله، فرض میشود که بجای  $K$  ناحیه در فضا، سیگنال دریافتی را در حوزه فرکانس به  $K$  ناحیه تقسیم میکنیم. با اختیار کردن مقدار مناسب برای  $P_{fa}$ ، در صورت وقوع تخلیه جزئی، مقدار  $GLRT_i$  در حوزه فرکانس سیگنال، برای یکی از  $K$  ناحیه بیش از  $P_{fa}$  خواهد شد. در نتیجه باید در آن فرکانس، تصویربرداری تکرار گردد.

بمنظور شبیه سازی روش ارایه شده در این مقاله، از مدل ذکر شده در بخش دوم استفاده شده است. بجای استفاده از سیگنال گوسی، شبیه سازی در بازه  $30.0\text{MHz}$  تا  $3\text{GHz}$  انجام گرفت. بمنظور تشخیص عیب شعاعی سیمپیچ، در  $33$  گام با فواصل  $10$  میلیمتری از هم،  $2990$  سیگنال سینوسی در  $2990$  فرکانس مختلف در بازه فرکانسی  $30.0\text{MHz}$  تا  $3\text{GHz}$  برای ارسال و دریافت هر گام بررسی شد. در هر سیگنال سینوسی، سیگنال دریافتی باید نسبت به سیگنال ارسال 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  $2\text{GHz}$ ، عیب تخلیه جزئی رخ دهد و سیگنال ناشی از تخلیه جزئی با سیگنال تشخیص عیب شعاعی 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 شعاعی دوباره تکرار شود. بمنظور تشخیص وقوع 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.

طول یک پریود فرکانس  $50\text{Hz}$  ممکن است بارها اتفاق بیفتد. بعبارت دیگر با توجه به تکرار داشتن عیب تخلیه جزئی و سیگنال آن در محیط، آیا امکان دارد که سیگنال سینوسی ای ارسال شود و سیگنال دریافتی بدون تداخل با سیگنال عیب تخلیه جزئی باشد یا خیر. اگر زمان بین دو تخلیه جزئی صورت گرفته به قدری زیاد باشد که سیگنال سینوسی ارسال از آنتن برای تشخیص عیب شعاعی، در بین دو رخداد متوالی تخلیه جزئی، بتواند ارسال و دریافت شود مشکلی نخواهیم داشت. در تشخیص عیب شعاعی سیگنال فاصله بین آنتن فرستنده تا ترانسفورماتور و پس از برخورد از سطح ترانسفورماتور تا آنتن دریافت کننده را با سرعت نور در محیط طی میکند. در نتیجه زمان رفت و برگشت سیگنال در حدود چند نانوثانیه (کمتر از  $10\text{ns}$ ) خواهد بود. از طرف دیگر، همانطور که در [۱۳] بیان شده است، در هر سیکل از فرکانس  $50\text{Hz}$  شبکه، ممکن است در حدود  $50$  بار تخلیه جزئی بوقوع پیوندد. بعبارت دیگر بین دو تخلیه جزئی متوالی در حدود  $1\text{ms}$  فاصله خواهد بود. با مقایسه این دو زمان میتوان نتیجه گرفت که اگر در فاصله  $1\text{ms}$ ، بتوان لاقبل  $10$  بار (مجموعاً در حدود  $0.1$  میکروثانیه که بسیار کمتر از  $1\text{ms}$  است) سیگنال سینوسی را ارسال و دریافت کرد، میتوان به گرفتن سیگنالی بدون تداخل با تخلیه جزئی اطمینان حاصل نمود.

## 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 می باشد. اگر شیئی در فضا نباشد ( $S=0$ )، سیگنالهای دریافتی ( $r_k$ ) به مانند نویز ( $w_k$ ) دریافت میشود. ولی در صورت وجود یکی شیء ( $S \neq 0$ )، سیگنال دریافتی بصورت ترکیب نویز و بازتاب سیگنال ارسال خواهد بود.

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

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.

با اعمال روش ذکر شده برای همه گامها و همه فرکانسهای ارسالی و دریافتی، تصاویر بدست آمده پس از تفکیک سیگنالها همانند تصاویر بدست آمده در بخش سوم خواهد بود که میتوان بدین صورت عیب شعاعی را با وجود عیب تخلیه جزئی تفکیک و تشخیص داد.

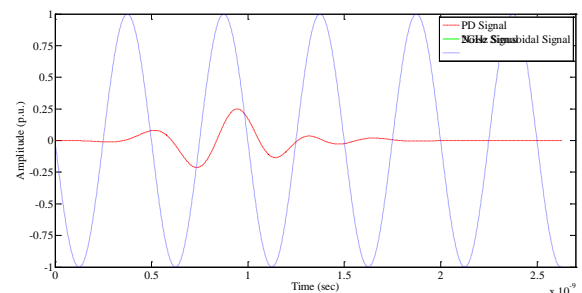
## ۶. نتیجه گیری

در این مقاله با بررسی دو روش مکان یابی تخلیه جزئی و تشخیص عیب شعاعی 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 شعاعی نیاز به تفکیک سیگنالهای دریافتی از عیب تخلیه جزئی احتمالی داریم. این هدف با استفاده از روش GLRT امکان پذیر خواهد بود.

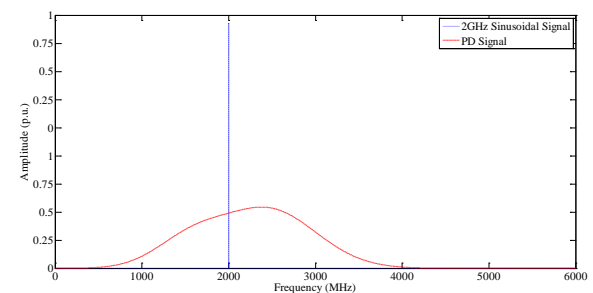
## منابع

- [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] Raziye Mosayebi, H. Sheikhzadeh, M. S. Golsorkhi, M. A. Hejazi, G. B. Gharehpetian, "Detection of Winding Radial Deformation in Power Transformers by Confocal Microwave Imaging", Electric Power Components and Systems, Vol. 42, Issue 6, April 2014, pp. 605-611.
- [3] M. S. Golsorkhi, G. B. Gharehpetian, M. Dehmollaian, M. A. Hejazi, "A Feasibility Study on Application of Radar Imaging for Detection of Transformer Winding Radial Deformation", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 27, No. 4, Oct. 2012, pp. 2113-2121.
- [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. Denisov 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.
- [9] مریم السادات اخوان حجازی، مریم صباغ پور آرائی، قاسم مختاری، گنورک قره پتیان ، "اندازه گیری اثر تانک در روش تشخیص تغییر شکل شعاعی سیم پیچ ترانسفورماتور توسط امواج الکترومغناطیسی" بیست و نهمین کنفرانس بین المللی 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).

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 می نماییم. 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 آلام 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، آلام 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 نظر گیری 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.



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



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

[۱۱] حسینی کرمی، گنورک قره پتین، طهر نوروزی، مریم السادات اخوان حجازی، "امکان سنجی تشخیص تغییر شکل شعاعی و مکانیابی عیب PD در سیم پیچ ترانسفورماتور بصورت برخط و همزمان با استفاده از امواج الکترومغناطیسی"، دومین کنفرانس ترانسفورماتور ۱۳۹۴-تهران، ایران

- [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. Nayebi, "Invariant Tests for Rapid-fluctuating Radar Signal Detection with Unknown Arrival Time", Signal Processing (Elsevier), Vol. 87, Issue 3, pp. 441-452, 2007.