PSC 2012 بیست و هفتمین کنفرانس بین المللی برق
INTERNATIONAL POWER SYSTEM CONFERENCE
12-14 NOV. 2012 TEHRAN-IRAN
۲۲ تا ۲۴ آبان ماه ۱۳۹۱ / تهران – ایران

تعیین محل عیب تغییر شکل شعاعی در راستای ارتفاع سیم‌پیچ ترانسفورماتور قدرت توسط آنتنهای ساکن فراپهن باند و روش هذلولی‌گون

12-F -TRN-1171

حسام رهبری مقام[۱]، مریم السادات اخوان حجازی[۲] ، مهدی صلای نادری[۱و۳]، گئورک قره پتیان[۱و۳]

۱- قطب علمی قدرت -دانشکده مهندسی برق -دانشگاه صنعتی امیرکبیر-تهران

۲- دانشکده مهندسی برق -دانشگاه کاشان -کاشان

۳- پژوهشکده بهره برداری ایمن شبکه -دانشگاه صنعتی امیرکبیر-تهران

ایران

واژه های کلیدی: مانیتورینگ ترانسفورماتور، عیوب شعاعی، آنتن UWB، روش مکان هندسی

چکیده

به منظور کاهش زمان خارج از مدار بودن ترانسفورماتور، طراحی روشهای مونیتورینگ برخط[1] اهمیت ویژه‌ای دارد. استفاده از امواج الکترومغناطیس برای مونیتورینگ ترانسفورماتور به صورت برخط اخیراً پیشنهاد شده است. هدف این مقاله استفاده از آنتنهای ساکن فراپهن باند جهت تشخیص عیوب شعاعی در راستای ارتفاع سیم پیچ ترانس می‌باشد به این صورت که پالسهای باریک ایجاد شده توسط فرستنده سیستم رادار UWB با استفاده از آنتنهای فراپهن باند به سمت ترانس تابانده شده و بازتاب آن ذخیره می‌شود. همچنین یک روش تحلیلی بر مبنای مکان هندسی اشکال در فضا برای بدست آوردن محل دقیق عیب ارائه و نتایج آزمایشگاهی با تحلیلی مطابقت داده شده است.

۱- مقدمه

ترانسفورماتورهای قدرت از عناصر اصلی شبکه تولید، انتقال و توزیع نیروی برق می باشند وکارکرد درست آنها نقش مهمی در بالا رفتن قابلیت اطمینان شبکه قدرت و ارزش زیادی در اتصال شبکه‌ها خواهد داشت [۱]. بسیاری از خطاهای منجر به خروج ترانسفورماتورها مربوط به تغییر شکل سیم‌پیچی ترانسفورماتورها می‌باشد لذا تشخیص، عیب‌یابی و مکان‌یابی تغییر شکل سیم‌پیچی بخصوص در مراحل اولیه خرابی آنها در افزایش عمر ترانسفورماتورها بسیار با اهمیت است. روشهایی که تاکنون به منظور مونیتورینگ ترانسفورماتور به صورت بر خط پیشنهاد شده است هر کدام نقایصی داشته اند [۲و۳]: روش تست اتصال کوتاه، که هیچ اطلاعاتی در مورد محل و نوع تغییر شکل سیم‌پیچ‌ها در اختیار نمی‌گذارد. همچنین ادعا می‌شود که تأثیر جابجایی سیم‌پیچها بر راکتانس اتصال کوتاه ناچیز است [۴و۵]. روش آزمایش ضربه

[1] On- line monitoring

فشار ضعیف، که درحین انجام این روش ترانسفورماتور باید از شبکه جدا شود. همچنین هر گونه تغییر در شکل موج تولید شده توسط منبع باعث تغییر در شکل موج پاسخ خروجی شده و می‌تواند موجب نتیجه گیری اشتباه گردد [۶]. روش تحلیل پاسخ فرکانسی یا تابع تبدیل، که برای انجام آزمایش می‌بایست ترانسفورماتور را بی بار نمود [۷ و۸]. روش دیگری که درحال حاضر در مرحله تحقیقاتی می‌باشد، روش امواج مافوق صوت است. دراین روش امواج مافوق صوت توسط وسیله‌ای به داخل ترانس فرستاده شده و پس از انعکاس از روغن و سیم پیچیها دوباره توسط همان وسیله دریافت می‌شود. در نهایت با توجه به سرعت سیر و زمان رفت و برگشت امواج و حرکت دادن وسیله مورد نظر، می‌توان فاصله سیم پیچی از بدنه ترانسفورماتور را در نقاط مختلف تعیین کرد [۹].

۲- استفاده از امواج الکترومغناطیسی با نصب آنتن بر روی بدنهٔ تانک ترانسفورماتور

در سیستم‌های مونیتورینگ جدید از انواع مختلف سنسور برای ثبت یک واقعیت استفاده می‌شود. در این سیستم‌ها بر پایهٔ همجوشی اطلاعات[۲] سنسورهای مختلف، وضعیت سیستم ارزیابی می‌شود [۱۰]. پیشنهاد استفاده از امواج الکترومغناطیسی برای تشخیص عیب سیم‌پیچی برای اولین بار در [۱۱] مطرح شده است. برای این روش دو رویکرد در حوزه فرکانس و زمان مطرح شده است. در رویکرد حوزه فرکانس، با گذاشتن یک منبع مایکروویو در کنار ترانس و تاباندن امواج به سیم پیچها از دریچه‌ای به داخل ترانس و گرفتن انعکاس ناشی از آن بوسیله گیرنده میتوان تحلیلی از وضعیت سیم پیچهای ترانس نمود. منبع موج الکترومغناطیسی حتماً باید مستقیماً به داخل تانک راه داشته باشد، چون امواج الکترومغناطیسی از فلزات عبور نمی‌کنند.

در این روش امواج الکترومغناطیسی توسط یک آنتن به سیم‌پیچ ترانس تابانده شده و امواج برگشتی از آن توسط همان آنتن دریافت می‌شود و این نتایج برای حالات سالم و معیوب در بانک اطلاعاتی ذخیره می‌شوند. سپس با مقایسه حالات سالم و معیوب می‌توان به ایجاد تغییر در سیم‌پیچی پی برد. در ترانس به علت اینکه با یک سیستم ساکن سروکار داریم، در صورتی که بتوان اثر محیط انتشار موج را ثابت در نظر گرفت و یا رفتار آنرا پیش‌بینی نمود، می‌توان ادعا کرد که تغییر دامنه و فاز امواج برگشتی تنها تابع تغییر شکل در سیم‌پیچهای ترانسفورماتور خواهد بود [۱۲و۱۳].

در رویکرد حوزه زمان، از آنتنهای UWB برای ارسال و دریافت پالس استفاده شده است. هر چه قدر امواجی که مورد استفاده قرار می گیرند دارای رزولوشن فضایی کوچکتر باشند، می‌توان تغییرات بیشتری را در حوزه زمان مورد بررسی قرار داد [۱۳،۱۴و۱۵]. روش دیگری که اخیراً توسعه داده شده تصویربرداری راداری توسط آنتنهای فراپهن باند می باشد. در این روش آنتن فراپهن‌باند در یک سمت سیم پیچ روی یک محور حرکت نموده و از نقاط مختلف داده های مربوط به امواج برگشتی از سیم پیچ را جمع آوری می کند و با استفاده از آن تصویر مربوط به سیم پیچ ساخته می‌شود. عیوب شعاعی و محوری و میزان و محل عیب، با استفاده از این روش قابل تشخیص است [۱۶]. با وجود قدرت و کیفیت بالای این روش، به علت نیاز به حرکت دادن آنتن در یک سمت سیم پیچ، این نیاز احساس می شود که به موازات توسعه روش تصویر برداری راداری توسط امواج فراپهن باند، روش مستقل دیگری برای تشخیص محل عیب شعاعی با فرض ثابت بودن محل آنتن یا آنتنها توسعه داده شود که هدف مورد نظر این مقاله است. این روش بر اساس تحلیل حوزه زمان سیگنالهای دریافتی و مکان هندسی اجسام در فضا در [۱۷] برای تعیین مکان عیب تغییر شکل شعاعی در سطح یک دیسک مدل آزمایشگاهی ترانس و در فضای دو بعدی به کار رفته است. اما با توجه

[2]Information fusion

به اینکه تشخیص و مکان یابی تغییر شکل شعاعی در راستای ارتفاع ترانس و فضای سه بعدی از اهمیت ویژه-ای برخوردار است، برای بهبود تشخیص مکان عیب در این مقاله از روشی جدید و مدل آزمایشگاهی خاصی استفاده شده است که در بخشهای بعدی آن را به طور کامل معرفی خواهیم کرد.

۲-۱ امواج فراپهن باند[3](UWB)

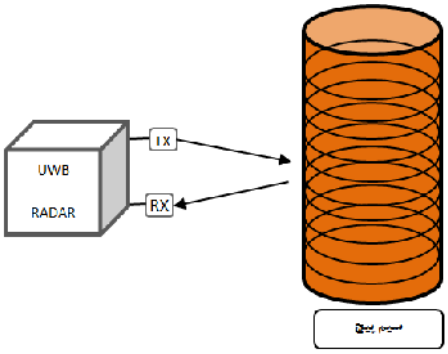
باند اختصاص داده شده به این تکنولوژی مقدار شگفت آور ۷٫۵ گیگاهرتز می‌باشد که بسیار بیشتر از پهنای باند سیستم‌های رایج مشابه است. بر طبق استاندارد FCC[4] یک سیگنال فراپهن باند دارای پهنای باند حداقل ۵۰۰ مگاهرتز یا پهنای باند نسبی بیشتر از ۲۰ درصد می‌باشد. پهنای باند نسبیتوسط رابطهزیر تعریف می‌شود:

$$2\frac{(f_H - f_L)}{(f_H + f_L)} \qquad (۱)$$

که درآن f_H فرکانس قطع $10dB-$ بالایی و f_L فرکانس قطع $10dB-$ پایینی است. سیستم‌های UWB از پالسهایی با دقت زمانی بالا و پهنای زمانی کم، که در حوزه فرکانس گسترده شده‌اند استفاده می‌کنند.تکنولوژی UWB به خاطر پهنای بسیار کم پالسهای آن رزولوشن مکانی بسیار بالایی دارد و برای تشخیص حرکت، مکانیابی و تغییرشکل بسیار مناسب می‌باشد [۱۸].

۲-۲ استفاده از رادارUWB برای تشخیص عیب سیم‌پیچ ترانسفورماتور

با استفاده از این روش، عیوب مکانیکی ترانس به صورت برخط و توسط یک دستگاه فرستنده و گیرنده امواج UWB تشخیص داده می‌شود. به این طریق که توسط یک آنتن یک پالس UWB به طرف سیم پیچ ترانسفورماتور ارسال شده و سیگنال داخل محیط (روغن ترانسفورماتور) منتشر شده و به هدف (سیم پیچ) برخورد می‌نماید؛ بخشی از انرژی از سیم‌پیچ بازتاب شده که توسط آنتن گیرنده دریافت، ذخیره و به کامپیوتر ارسال می‌گردد. با تجزیه و تحلیل امواج دریافتی تغییر شکل هندسی سیم پیچ ترانسفورماتور تشخیص داده می‌شود [۱۹، ۲۰ ،۲۱و۲۲]. شکل ۲ کلیات روش مونیتورینگ با استفاده از سنسور UWB را نشان می‌دهد.



شکل ۲: کلیات روش مونیتورینگ با استفاده از سنسور UWB

۳- مدل سازی مجموعه آزمایشگاهی

در این بخش جزئیات مدل استفاده شده به منظور تشخیص عیوب شعاعی در راستای ارتفاع سیم پیچ ترانس بیان می‌شود. مجموعه آزمایشگاهی مدنظر برای مدل سازی شامل اجزای زیر است:

- مدل سیم پیچ ترانسفورماتور
- فرستنده و گیرنده موجهای فرا پهن باند

۳-۱ معرفی مدل سیم پیچ ترانسفورماتور

برای آزمایش ایده مطرح شده به دلایلی از قبیل بحث هزینه، تکرارپذیری آزمایشها و تنوع تغییر شکلهای ایجاد شده به جای ترانس واقعی از مدل استفاده می‌شود. با توجه به این که در صورت ایجاد تغییر شکل مکانیکی در ترانس واقعی، آزمایش قابل تکرار نیست و میزان تغییر شکل نیز قابل تغییر نمی‌باشد. ساخت نمونه‌های آزمایشگاهی در ابعاد ترانسفورماتور واقعی بسیار پرهزینه بوده و عملاً امکانپذیر نمی‌باشد. قطعاً با توجه به پیچیدگی‌های ترانسفورماتور و ابعاد آن، مدل طراحی شده بسیار ساده‌تر، در ابعاد کوچک‌تر ساخته شده است. برای

[3] Ultra Wideband
[4] Federal Commission of Communication

ساختن مدل مهم ترین نکته سبکی و داشتن جنس مشابه با سیم‌پیچ ترانسفورماتور واقعی می‌باشد. همچنین باید از جنس‌هایی که به سهولت قابل شکل‌دهی باشند استفاده شود. به همین دلیل بهترین انتخاب استفاده از لایه هایی از مس است که به صورت نوار روی یک استوانه را می-پوشانند. در شکل ۳ (الف) این مدل نشان داده شده است. ابعاد مدل در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱: ابعاد مدل آزمایشگاهی ترانسفورماتور

پارامتر	مدل سیم‌پیچ
ارتفاع مدل ترانس	۶۵cm
قطر مدل ترانس	۳۲cm

برای مدل کردن تغییر شکل شعاعی در راستای عمودی، در هر مرحله اندازه گیری عیبهایی به پهنای ۳ سانتی‌متر بر روی مدل ترانس در دو ناحیه بالا و پایین آن ایجاد شده است.

با توجه به شکل ۳ که نمایی از کنار مدل سیم‌پیچ ترانسفورماتور است، مشخص است که عیب ها توسط نواری از جنس بدنه سیم پیچ ترانس که به صورت یک برآمدگی می باشد، ایجاد شده است. آزمایش ها در سه حالت انجام شده است: سیم پیچ سالم، سیم پیچ با عیب در قسمت بالا و پایین آن. ابعاد و فواصل استفاده شده در آزمایش در جدول ۲ آمده است.

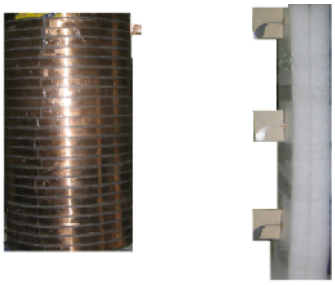
جدول ۲: ابعاد و فواصل استفاده شده در آزمایش

پارامتر	مدل آزمایش
فاصله آنتن های گیرنده	۶۰ cm
فاصله آنتن فرستنده تا گیرنده	۳۰cm
فاصله ترانس تا آنتن ها	۶۰Cm
فاصله میز آزمایش تا زمین	۱۵۰Cm

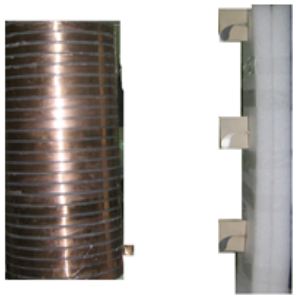
۳-۲ فرستنده و گیرنده موجهای فرا پهن باند و نحوه انجام اندازه‌گیری با آنها

دراین آزمایش از آنتنهای ویوالدی استفاده شده است[۲۳و۲۴]. با توجه به اینکه در بحث اندازه‌گیری جابجایی سیم‌پیچ ترانسفورماتور نیاز به پترن باریک (برای جلو گیری از اثرات ناشی از محیط اطراف) با گین بالا می‌باشد از آنتنهای ویوالدی استفاده شده است. فرکانس کار آنتن‌های استفاده شده بین ۳ تا ۱۰ گیگا هرتز می‌باشد ولی چون از دستگاه PulsON برای انجام آزمایش‌ها استفاده شده است، از آنتن مذکور در فرکانس ۳,۲ تا ۶,۱

(الف)



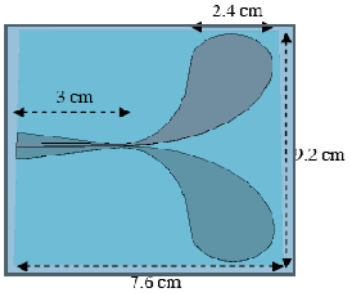
(ب)



(ج)

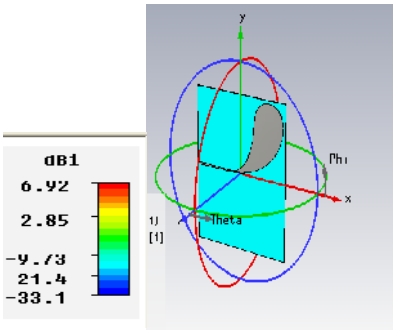
شکل ۳: نمایی از کنار مدل سیم‌پیچ ترانسفورماتور. الف) مدل آزمایشگاهی ترانس ب)عیب در ناحیه بالا. ج) عیب در ناحیه پایین.

گیگا هرتز استفاده می‌شود. ساختار آنتن استفاده شده به همراه ابعاد آن در شکل ۴ نشان داده شده است.

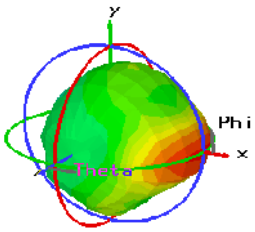


شکل ۴:ساختار آنتن استفاده شده به همراه ابعاد آن

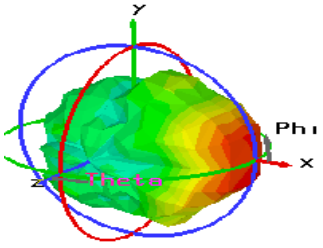
مشخصه پترن آنتن ویوالدی برای فرکانس‌های۳ و ۶ گیگاهرتز در شکل ۵ آورده شده است.



(الف)



(ب)



(ج)

شکل ۵: توزیع میدان در اطراف آنتن الف) نحوه قرارگیری آنتن در مختصات سه بعدی. ب) فرکانس ۳ گیگا هرتز. ج) فرکانس ۶ گیگا هرتز

لازم به ذکر است با توجه به زاویه های تعریف شده در روی شکل، پترن مورد نظر بدست آمده است.

آزمایش های مربوط به حوزه زمان توسط فرستنده و گیرنده موجهای فرا پهن باند انجام شده است. برای انجام آزمایش ها می‌توان از اندازه گیری حوزه زمان نتورک آنالیزر یا دستگاه PulsON استفاده نمود.

از آنجا که آنتنهای مورد استفاده بسیار ظریف و حساس می‌باشند و همچنین به منظور تثبیت آنها از پایه‌هایی مخصوص به عنوان نگهدارنده استفاده شده است. ارتفاع این پایه ها طوری طراحی شده که بتواند تمام ارتفاع ترانس را پوشش دهد.

۴- معرفی روش تحلیلی به منظور تعیین مکان دقیق عیب تغییر شکل شعاعی در راستای عمودی مدل سیم پیچ ترانس

هدف این مقاله تحلیل و پردازش سیگنالهای دریافتی به منظور تعیین مکان دقیق عیب تغییر شکل شعاعی ایجاد شده در راستای عمودی مدل سیم پیچ ترانس است. روش مطرح شده بر مبنای مکان هندسی اشکال در فضا است. در فضا مکان هندسی نقاطی که اختلاف فاصله آنها از دو نقطه ثابت مقدار ثابتی باشد هذلولی گون نام دارد که آن دو نقطه ثابت کانون های آن هذلولی گون می باشند. برای انجام آزمایش از دو آنتن گیرنده و یک آنتن فرستنده استفاده شده است(شکل۳).

اگر یک عیب در سیم پیچ ترانس رخ دهد دو آنتن گیرنده با فواصل زمانی متفاوت (t_1 و t_2) عیب را می بینند. می توان از این ویژگی استفاده کرد و مکان وقوع عیب را تشخیص داد. با داشتن سرعت انتشار سیگنالها که همان سرعت نور است می‌توان اختلاف زمانی سیگنالهای دریافتی را به اختلاف فاصله تبدیل کرد. یعنی عیب از دید آنتن گیرنده اول در فاصله x_1 از آنتن گیرنده اول و از دید آنتن گیرنده دوم در فاصله x_2 از آنتن گیرنده دوم قرار دارد. اندازه x_1 و x_2 از رابطه زیر بدست می آیند [۱۷].

$$x_1 = t_1 \times c$$
$$x_2 = t_2 \times c \qquad (۲)$$

که C سرعت نور و برابر 3×10^8m/s می باشد. بنابراین با داشتن t_1 و t_2 می توان فاصله عیب از دو آنتن گیرنده را بدست آورد.

اختلاف فاصله‌ها بدست آمده از دید آنتنهای گیرنده است که ثابت هستند. بنابراین برای یک عیب که در یک مکان معینی اتفاق افتاده، اختلاف فاصله از دو نقطه ثابت (آنتن های گیرنده) بدست می آید. مکان هندسی نقاطی که اختلاف فاصله آنها از دو نقطه ثابت مقدار ثابتی باشد در فضا یک هذلولی‌گون است که کانونهای آن آنتنهای گیرنده هستند.

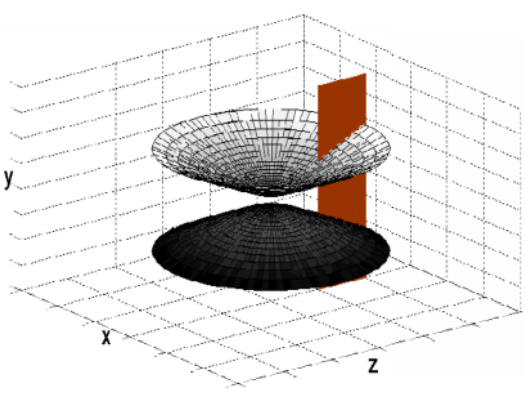
بنابراین متناسب با یک عیب تغییرشکل شعاعی می توان یک هذلولی گون در نظر گرفت که عیب مورد نظر روی یک نقطه از آن قرار گرفته است. همچنین برای سیم پیچ ترانس که عیبها در یک راستای عمودی قرار گرفته اند و با توجه به اینکه هدف تعیین مکان عیب در این راستا می-باشد و همچنین شکل چیدمان آزمایش، مکان هندسی مربوط به آن که باید با مکان هندسی هذلولی گون تلاقی داده شود یک مستطیل خواهد بود. معادله هذلولی‌گون و سطح مستطیل نیز اگر محور ترانس را در راستای محور yها در نظر بگیریم با توجه به این که قطر مدل ترانس ۳۲ سانتیمتر و ارتفاع آن ۶۵ سانتیمتر می باشد به صورت زیر است:

$$\frac{y^2}{a^2} - \frac{x^2}{b^2} - \frac{z^2}{c^2} = 1 \qquad (۳)$$

$$\begin{cases} z = 0 \\ d \le x \le d + 32 \\ -32.5 \le y \le +32.5 \end{cases} \qquad (۴)$$

همان طور که شکل ۸ نشان می دهد و از حل معادلات (۳) و (۴) منحنی بدست آمده از تلاقی دو مکان هندسی بخشی از یک هذلولی است که معادله آن به صورت زیر است:

$$\frac{y^2}{a^2} - \frac{x^2}{b^2} = 1 \qquad (۵)$$



شکل ۸: تلاقی مکان هندسی ترانس و هذلولی گون

با توجه به این که عیب در سطح ترانس رخ داده است در نتیجه از مستطیل مربوط به مکان هندسی مدل ترانس فقط خط X=d مد نظر قرار می‌گیرد. که d فاصله عیبهای مدل سیم پیچ ترانس تا آنتنها یعنی کمترین فاصله بین آنتنها و سطح مدل سیم پیچ ترانس می‌باشد. بنابراین نقطه تقاطع هذلولی بدست آمده با خط:

$$x=d \qquad (۶)$$

محل وقوع عیب تغییرشکل شعاعی می باشد. برای بدست آوردن هذلولی مربوط به یک عیب، حاصل از تلاقی مکان هندسی‌ها نیاز به اختلاف فاصله از آنتن های گیرنده است. نحوه بدست آوردن اختلاف فاصله به صورت زیر است:

ابتدا در دوحالت سالم و عیب مدل سیم پیچ ترانس آنتن فرستده سیگنال ارسالی را منتشر می کند و توسط دو آنتن گیرنده دریافت می شود. با توجه به فاصله عیب از آنتن گیرنده زمان وقوع اختلاف بین سیگنال حالت عیب و حالت سالم مدل سیم پیچ ترانس متفاوت خواهد بود. می توان از اختلاف سیگنال حالت عیب و حالت سالم سیم پیچ ترانس برای بدست آوردن زمان وقوع تغییرات در سیگنال های دریافتی استفاده نمود. چون فاصله آنتنهای گیرنده نسبت به مکان وقوع عیب متفاوت می باشد، زمان وقوع تغییرات در سیگنالهای دریافتی دو آنتن گیرنده یکسان نمی‌باشد. اختلاف زمان وقوع تغییرات از دید دو

آنتن گیرنده برای یک عیب مشخص یک عدد ثابت است. می‌توان این اختلاف زمانی را با ضرب در سرعت انتشار سیگنال که سرعت نور است به اختلاف مکانی تبدیل کرد.و با استفاده از این اختلاف مکانی هذلولی مورد نظر بدست می آید.

اگر مبدا مختصات آنتن فرستنده و آنتنهای گیرنده روی محور y در نظر گرفته شود، و معادله خط مربوط به مدل سیم پیچ ترانس با فاصله d از مبدا و در راستای محور yها در نظر گرفته شود، معادلات (۵) و (۶) حاصل می شود.

برای رسم هذلولی به پارامترهای a و b نیاز داریم. اختلاف فاصله یک نقطه روی هذلولی از دو کانون آن (آنتن های گیرنده) برابر $2a$ می باشد. بنابراین با داشتن اختلاف فاصله عیب موردنظر می توان مقدار a را بدست آورد. مقدار a برابر نصف اختلاف فاصله می باشد. c برابر فاصله کانون (آنتن گیرنده) از مرکز هذلولی (آنتن فرستنده) می‌باشد. بنابراین پارامتر c نیز با اندازه گیری فاصله آنتن فرستنده و گیرنده بدست می آید. با مشخص بودن a و c اندازه پارامتر b با استفاده از رابطه $b^2 = c^2 - a^2$ بدست می آید. بنابراین می توان هذلولی مذکور را رسم کرد. با حل معادلات زیر که از روابط (۵)و (۶) بدست آمده نقطه تقاطع خط و هذلولی بدست می آید.

$$\begin{cases} x - d = 0 \\ \frac{y^2}{a^2} - \frac{x^2}{b^2} - 1 = 0 \end{cases} \quad (۷)$$

با حل معادله فوق مقدار y به صورت زیر بدست می‌آید. مقدار بدست آمده برابر مکان عیب در راستای محور y می‌باشد.

$$y = \pm a\sqrt{1 + \frac{d^2}{b^2}} \quad (۸)$$

با توجه به اینکه مبدا مختصات مکان آنتن فرستنده می-باشد، با معلوم شدن y از معادله (۸) و استفاده از معادله (۶) مکان دقیق عیب بدست می آید. هذلولی بدست آمده با مدل سیم پیچ ترانس در دو نقطه تقاطع دارد. با توجه به این که آنتن سمت بالا یا سمت پایین زودتر اختلاف سیگنال مربوط به عیب را می بیند، یک نقطه قابل قبول بدست می‌آید.

۵- آزمایش تشخیص دقیق عیب شعاعی در راستای عمودی ترانس

در این بخش، روش پیشنهادی برای تشخیص محلهای مختلف عیب تغییر شکل شعاعی در راستای عمودی سیم پیچ ترانس آزمایش شده است. ابتدا مدل سیم‌پیچ ترانس در حالت سالم یعنی بدون قرار دادن نوار مدل کننده عیب مورد آزمایش قرار گرفته است. در این حالت ارسال و دریافت سیگنال‌های ارسالی توسط آنتن فرستنده و گیرنده و دستگاه PulsOn انجام می‌شود. مشخصات سیگنال ارسالی و نحوهٔ پیش پردازش در مرجع [۱۵] آمده است. سپس در دو مرحله عیب به صورت یک بیرون زدگی نوار با ابعاد ۳*۳ سانتیمتر در دو ناحیه مدل شده است سپس ارسال و دریافت سیگنال‌ها انجام می‌شود.

۵-۱ محل تغییر شکل شعاعی در ناحیه بالای ارتفاع مدل سیم پیچ ترانس

در این چیدمان بیرون زدگی مدل عیب در ناحیه بالای ارتفاع مدل سیم پیچ ترانس قرار دارد (شکل ۳ (ب)). مکان آنتنها هیچ تغییری نسبت به حالت سالم نکرده است. در این حالت اختلاف زمان در سیگنالهای دریافتی دو آنتن گیرنده از طریق پردازش و مقایسه سیگنالها بدست می آید. با مقایسه اختلاف فاصله بدست آمده از تحلیلهای حوزه زمان و اختلاف فاصله واقعی و تکرار آزمایشها ضریب ثابتی بدست می آید که وابسته به محیط آزمایش و وسایل مورد آزمایش می باشد. با استفاده از تحلیل حوزه زمان سیگنال های دریافتی و ضریب ثابتی که بدست آورده شده است. آنتن گیرنده بالا به صورت مشهودی عیب را زودتر دیده است (شکل۹ (الف)). اختلاف زمان سیگنالهای دریافتی با توجه به ضریب بدست آمده برابر ۰,۷۸ نانو ثانیه می‌باشد. بنابراین اختلاف مکانی برابر ۲۳,۴

سانتیمتر می شود. این اختلاف مکانی برابر $2a$ می‌باشد. در نتیجه با استفاده از معادله(۸):

$$y = \pm ۱۱.۷ \sqrt{۱ + \frac{۶۰^۲}{۲۷.۶۲^۲}}$$

در نتیجه

$$y = ۲۷.۹۸$$

که بیانگر این مطلب است که محل تقاطع هذلولی و خط یعنی محل وقوع عیب در ارتفاع ۲۷,۹۸ سانتیمتری از مرکز ترانس می باشد. با توجه به محل واقعی عیب که درفاصله ۲۸ سانتیمتری از مرکز ترانس ایجاد شده است با دقت خوبی قابل قبول می باشد.

۲-۵ محل تغییر شکل شعاعی در ناحیه پایین ارتفاع مدل سیم پیچ ترانس

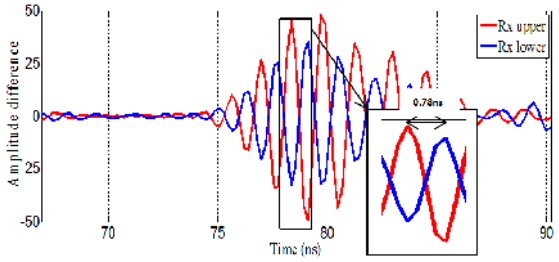
در این چیدمان بیرون‌زدگی مدل عیب در ناحیه پایین ارتفاع مدل سیم پیچ ترانس قرار دارد (شکل ۳(ج)). مکان آنتنها هیچ تغییری نسبت به حالات قبل نکرده است. در این حالت با استفاده از تحلیل های حالت قبل اختلاف زمان در سیگنال های دریافتی دو آنتن گیرنده تقریبا همان اختلاف زمان حالت قبل و برابر ۰,۷۶ نانو ثانیه که تایید کننده محاسبات، تحلیل ها و ضریب ثابت بدست آمده از مرحله قبل می باشد. بنابراین اختلاف مکانی برابر ۲۲,۸ سانتیمتر می شود. در نتیجه با استفاده از معادله(۸):

$$y = \pm ۱۱.۴ \sqrt{۱ + \frac{۶۰^۲}{۲۷.۷۵^۲}}$$

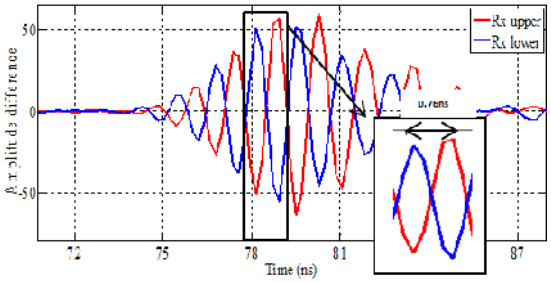
در نتیجه

$$y = -۲۷.۱۶$$

که بیانگر این مطلب است که محل تقاطع هذلولی و خط یعنی محل وقوع عیب در ارتفاع ۲۷,۱۶ سانتیمتری از مرکز ترانس می باشد. با توجه به تحلیل سیگنالهای دریافتی، آنتن گیرنده پایین به صورت مشهودی عیب را زودتر دیده است و علامت منفی بیانگر همین حقیقت که عیب در ناحیه پایین سیم پیچی ترانس می باشد(شکل۹ (ب)).



(الف)



(ب)

شکل ۹: شکل موج های دریافتی دو آنتن گیرنده . الف) عیب در ناحیه بالا و در ارتفاع۲۸ سانتیمتری از مرکز ترانس. ب) عیب در ناحیه پایین و در ارتفاع۲۸ سانتیمتری از مرکز ترانس.

اگر ناحیه وسط ارتفاع ترانس را مبدا در نظر بگیریم محل واقعی عیب تغییر شکل شعاعی در راستای ارتفاع ترانس و مکان تخمین زده شده به وسیله روش تحلیلی در جدول ۳ آمده است. علامت مثبت و منفی به ترتیب بیانگر این مطلب است که عیب در ناحیه بالا یا پایین ترانس نسبت به مرکز آن قرار گرفته است.

جدول ۳: مقایسه مکان واقعی عیب با مقدار تخمین زده شده

مکان واقعی عیب	مقدار تخمین زده شده
+ ۲۸cm	+ ۲۷,۹۸cm
- ۲۸cm	- ۲۷,۱۶cm

۶- نتیجه گیری

در این مقاله روشی تحلیلی بر مبنای مکان هندسی اجسام درفضا برای تشخیص محل دقیق عیب شعاعی سیم‌پیچ ترانس در راستای عمودی با استفاده از آنتنهای فراپهن باند ارائه شده است. در این روش از یک آنتن فرستنده و دو آنتن گیرنده استفاده شد. با استفاده از اختلاف زمان دریافت پالسها محل دقیق عیب از محل تقاطع یک هذلولی گون با یک مستطیل تعیین می‌شود. نتایج اندازه‌گیری صحت الگوریتم را تأیید می‌نمایند.

تقدیر و تشکر

مولفین مقاله از حمایت پژوهش حاضر تحت قرارداد شماره ۸۷/۴ مورخ ۸۷/۱۲/۲۴ توسط شرکت برق منطقه ای تهران تشکر می‌نمایند.

مراجع

[1] Bengtsson, C.;"Status and trends in transformer monitoring," Power Delivery, IEEE Transactions on , vol.11, no.3, pp.1379-1384,Jul 1996

[2]Christian, J.; Feser, K.;"Procedures for detecting windingdisplacements in power transformers by the transfer functionmethod," Power Delivery, IEEE Transactions on , vol.19, no.1, pp.214- 220, Jan. 2004

[3] Rahimpour, E.; Christian, J.; Feser, K.; Mohseni, H.; "Transfer function method to diagnose axial displacement and radialdeformation of transformer windings," Power Delivery, IEEETransactions on , vol.18, no.2, pp. 493- 505, April 2003

[4] D. K. Xu, J. H. Hung, "On-line Monitoring of WindingDeformation of Power System," IEEEConference on Electrical Insulating Material ,2001, pp. 853- 856.

[5] J.Christian and K.Feser,"Procedures for Detecting Winding Displacements in Power Transformers by the Transfer Function Method," IEEE Transaction on Power Delivery, Vol.19, No.1, pp.214-220, Jan. 2004.

[6] A. S. Morched, L. Marti, R. H. Brierly, J. G.Lackey, "Analysis of Internal Winding Stressin EHV Generator Step-up TransformerFailures," IEEE Transaction on PowerDelivery, Vol. 11. No. 2, April 1996.

[7] T. Leibfried and K. Feser, "Monitoring of power transformers using the transfer function method," IEEE Trans. Power Delivery, Vol. 14, pp.1333-1341, August 2002

[8] T.Leibfried and K.Feser , "Off-line and On-line Monitoring of Power Transformers using the Transfer Function Method,"IEEE International Symposium on Electrical Insulation ,Montreal ,Quebec ,Canada, pp.34-111 , June 16-19 ,1996

[9] S. Naiqiu, Z. Can, H. Fang, L. Qisheng and Z.Lingwei, "Study on Ultrasonic MeasurementDevice for Transformer WindingDeformation," IEEE Transaction on PowerDelivery, Vol. 19. No. 1, pp. 1401-1404.

[10] Feng LV, Hai-lian DU , Hao Sun , Zhan-feng Wang, Yuan LI "Power Transformer Fault Diagnosis Based on Data Fusion" Proceedings of the 17th World Congress The International Federation of Automatic Control Seoul, Korea, July 6-11, 2008

[11]م. اخوان حجازی،"تشخیص جابجایی و تغییر شکل سیم‌پیچی ترانس قدرت بوسیله امواج الکترومغناطیسی" پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد ، دانشکده مهندسی برق، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، شهریور ۱۳۸۵ ،تهران، ایران.

[12]م.اخوان حجازی ، گ.قره پتیان ، ع.محمدی" اثر روغن بر مانیتورینگ سیم پیچ ترانسفورماتور به کمک امواج الکترومغناطیسیPSC2006"، آبان ماه ۱۳۸۵، تهران ، ایران.

[13]م.اخوان حجازی ، گ.قره پتیان ، ع.محمدی" ارائهیک روش نوین جهت تشخیص جابجایی محوری سیم‌پیچترانسفورماتور به کمک امواج الکترومغناطیسی" PSC2006، آبان ماه ۱۳۸۵، تهران ، ایران.

[14]قاسم مختاری، مریم السادات اخوان حجازی ،حسن علی ال حسینی، گئورگ قره‌پتیان" مدلسازی و تشخیص جابجایی محوری سیم پیچ ترانسفورماتور به کمک سنسورهای فرا پهن باند و تعیین مقدار جابجایی به کمک شبکه عصبی" PSC 2010، تهران، ایران.

[15]جواد ابراهیمی، گئورک قره پتیان، حمیدرضا امین داور، مریم السادات اخوان حجازی "کاربرد تبدیل ویولت گسسته برای تشخیص برخط تغییر شکل شعاعی سیم‌پیچ ترانسفورماتور با توجه به اندازه‌گیری-

های انجام شده توسط سنسورهای فراپهن باند" PSC 2010، تهران، ایران

[16]محمد صادق گلسرخی اصفهانی، مریم السادات اخوان حجازی ، گئورگ قره‌پتیان"تشخیص میزان تغییر شکل شعاعی سیم پیچ ترانسفورماتور با استفاده از تصویربرداری راداری " PSC 2011، تهران، ایران.

[17]مریم السادات اخوان حجازی ، جواد ابراهیمی، گئورگ قره‌پتیان "تعیین محل عیب شعاعی در سیم‌پیچ ترانسفورماتور قدرت با استفاده از آنتنهای فراپهن باند و روش هذلولی" PSC 2011، تهران، ایران.

[18]D. Dardari, C.-C. Chong, and M. Z. Win, "Improved lower bounds on time-of-arrival estimation error in realistic UWB channels," in Proc. IEEE Int. Conf. on Utra-Wideband (ICUWB),Waltham, MA, Sept. 2006, pp. 531– 537.

[19]G. Mokhtari, G. B. Gharehpetian, R. Faraji-dana, M. A. Hejazi, "On-line Monitoring of Transformer Winding Axial Displacement Using UWB Sensors and Neural Network", International Review of Electrical Engineering (IREE), Vol. 5, No. 5, October 2010 (ISI-ranked)

[20] M. A. Hejazi, J. Ebrahimi, G. B. Gharehpetian, R. Faraji-Dana and M. Dabir, "Feasibility Studies on On-line Monitoring of Transformer Winding Mechanical Damage Using UWB Sensors", XIX International Conference on Electrical Machines, ICEM 2010, September 6-8, 2010, Rome, Italy

[21] G. Mokhtari, M. A. Hejazi and G. B. Gharehpetian, "Simulation of On-line Monitoring of Transformer Winding Axial Displacement Using UWB Waves", XIX International Conference on Electrical Machines, ICEM 2010, September 6-8, 2010, Rome, Italy

[22] J. Ebrahimi, G. B. Gharehpetian, H. Amindavar and M. A. Hejazi, "Antennas Positioning for On-line Monitoring of Transformer Winding Radial Deformation Using UWB Sensors",3rd International Powerand Energy Conference (PECon), Nov. 29- Dec. 1, 2010, Kuala lumpur, Malaysia

[23] Mehdipour, K. Mohammadpour- Aghdam, R. Faraji- Dana, "Complete Dispersion Analysis of Vivaldi Antenna for Ultra Wide Band," Progress In Electromagnetic Reasearch, PIER 77, 85-96, 2007.

[24] K. Y. Yazdandoost and R. Kohno, "Slot antennafor ultra wideband system," Proc. Of IEEEWireless Communications and AppliedComputational Electromagnetics Conference(ACES), pp. 212-216, 2005.