IREC2014-2382

افزایش قابلیت اطمینان با مکان‌یابی عیب شعاعی در سیم پیچ ترانسفورماتور قدرت توسط امواج الکترو مغناطیسی بر مبنای فیلترهای منطبق شده

حسام رهبری مقام[1]، مریم السادات اخوان حجازی[2]، حسین کرمی[1]، مهدی صلای نادری[1و3]، گئورک قره‌پتیان[1و3]

[1] قطب علمی قدرت -دانشکده مهندسی برق -دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران
[2] دانشکده مهندسی برق -دانشگاه کاشان، کاشان ، ایران
[3] پژوهشکده بهره برداری ایمن شبکه -دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران ، ایران

چکیده

هدف این مقاله استفاده از امواج الکترو مغناطیسی برای مکان‌یابی عیب تغییر شکل شعاعی بر مبنای یک روش تحلیلی، به منظور افزایش قابلیت اطمینان ترانسفورماتورهای قدرت است. بحثی که در این مقاله مطرح شده است استفاده از روش فیلترهای منطبق شده با ورودی، برای آنالیز سیگنال‌های دریافتی برای مکان‌یابی عیب بر روی یک مدل آزمایشگاهی ترانسفورماتور قدرت است. وجود اثرات محیطی باعث بروز مشکلاتی برای آنالیز سیگنال‌های دریافتی می‌شود. به دلیل حساسیت بالای سیگنال‌های الکترومغناطیسی برای مکان‌یابی عیب، ارائه یک روش بر مبنای فیلترهای منطبق شده با مقایسه مرجع مطمئن سیگنال ارسالی بسیار مفید است.

واژه های کلیدی

مانیتورینگ ترانسفورماتور، مکان‌یابی عیوب شعاعی، آنتن UWB، روش فیلترهای منطبق شده.

مقدمه

ترانسفورماتورهای قدرت یکی از عناصر گران قیمت و مهم شبکه برق هستند. خروج از خط به صورت ناخواسته، خسارات جبران ناپذیری را به شبکه وارد می‌کند. در نتیجه قابلیت اطمینان ترانسفورماتورهای قدرت به عنوان یک مسئله اساسی مطرح است. برای افزایش قابلیت اطمینان ترانسفورماتورها روش‌های مختلفی برای مانیتورینگ ترانسفورماتورهای قدرت به کار گرفته شده است. که هر کدام مزایا و معایبی داشته‌اند. در مانیتورینگ، روشی که به صورت بر خط باشد، یک نیاز اساسی است. روشی که اخیرا با قابلیت بر خط شدن پیشنهاد شده، روش امواج الکترو مغناطیسی است. در این روش امواج الکترومغناطیسی توسط یک آنتن به سیم‌پیچ ترانسفورماتور تابانده شده و امواج برگشتی از آن توسط آنتنهای گیرنده دریافت می‌شود و این نتایج برای حالات سالم ومعیوب در بانک اطلاعاتی ذخیره می‌شوند. سپس با مقایسه حالات سالم و معیوب می‌توان به ایجاد تغییر در سیم‌پیچی پی برد.

نگهداری و تعمیرات و قابلیت اطمینان نباید تا زمان بروز یک حادثه رها شود. هدف جلوگیری از هر نوع حادثه‌ای است. مراحل نگهداری و تعمیرات را می‌توان در سه مرحله خلاصه نمود:

عیب‌یابی مشکلات، برنامه‌ریزی و زمان‌بندی تعمیرات و انجام تعمیرات.

راز نگهداری و تعمیرات صحیح در گام اول آن یعنی عیب‌یابی است. زیرا ارتباط مستقیمی بین عیب‌یابی و هزینه‌ها وجود دارد. به عبارت دیگر هر قدر مشکلات زودتر عیب‌یابی شود، تعمیرات زودتر، ارزان‌تر و ساده‌تر انجام می‌شود.

به منظور افزایش قابلیت اطمینان و کاهش نرخ خروج از مدار ترانسفورماتورها، نیاز به یک سیستم مانیتورینگ کامل است. مانیتورینگ کامل به این معناست که علاوه بر تشخیص وقوع، میزان و نوع عیب باید مکان آن را نیز به صورت دقیق و مطمئن تعیین کند. عیوبی که در ترانسفورماتور اتفاق می‌افتند به دو دسته الکتریکی و مکانیکی تقسیم بندی می‌شوند. عیوب مکانیکی نیز به دو بخش تغییر شکل شعاعی و جابجایی محوری تقسیم بندی می‌شوند. آنچه که در این مقاله مد نظر قرار گرفته است عیب تغییر شکل شعاعی است.

در سالهای اخیر مکان‌یابی عیوب مکانیکی از جنبه‌های مختلفی مورد مطالعه قرار گرفته است. در راس این مطالعات، کارهای پژوهشی بر اساس روش تابع تبدیل با استفاده از آنالیز فرکانسی[1-3] و همچنین استفاده از مدل مشروح ترانسفورماتور است [4]. اما روشی که اخیرا به صورت بر خط و به صورت مطمئن و دقیق برای تشخیص عیب مطرح شده روش امواج الکترو مغناطیسی است [5-7].

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[8-13].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[8و9]. 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.

در [14-16] مکان یابی‌عیب با فرض ثابت بودن آنتنها مورد بررسی قرار گرفت. بحثی که در این مقاله مطرح شده است استفاده از روش فیلترهای منطبق شده با ورودی، برای آنالیز سیگنال‌های دریافتی برای مکان‌یابی عیب بر روی یک مدل آزمایشگاهی ترانسفورماتور قدرت است. وجود اثرات محیطی باعث بروز مشکلاتی برای آنالیز سیگنال‌های دریافتی می‌شود. به دلیل حساسیت بالای سیگنال‌های الکترومغناطیسی برای مکان‌یابی عیب، ارائه یک روش بر مبنای فیلترهای منطبق شده با مقایسه مرجع مطمئن سیگنال ارسالی بسیار مفید است.

در این مقاله روش فیلترهای منطبق شده با سیگنال ارسالی برای مقایسه سیگنال‌های دریافتی استفاده شده است. با توجه به محدودیت‌های تجهیزات آزمایشگاهی، مکان‌یابی عیب روی مدل دو بعدی ترانسفورماتور و تنها در راستای عمودی و روی یک خط مد نظر قرار گرفته شده است.

برای محاسبه مکان دقیق عیب تغییر شکل شعاعی، یک چیدمان خاص آنتنی نیاز است. در چیدمان اصلی برای بدست آوردن مکان هندسی احتمالی عیب حداقل به یک مجموعه آنتن شامل یک آنتن فرستنده پالس و دو آنتن گیرنده احتیاج می‌باشد. این سه آنتن در یک ردیف قرار می‌گیرند. آنتن وسط به عنوان فرستنده و دو آنتن دیگر در نقش گیرنده سیگنال هستند. دو آنتن گیرنده سیگنالها را در حالت معیوب ترانسفورماتور دریافت می‌کنند. سیگنال دریافتی در حالت مرجع یعنی سیگنال حالت سالم ترانسفورماتور از سیگنال حالت معیوب کم می‌کنیم. با مقایسه دو سیگنال تفاضل برای دو آنتن گیرنده یک اختلاف زمانی بین دو سیگنال بدست می‌آید که این اختلاف زمانی دو آنتن گیرنده نسبت به محل عیب است. با تبدیل این اختلاف زمانی به اختلاف فاصله با استفاده از سرعت نور، می‌توان یک هذلولی‌گون را برای مکان هندسی محل احتمالی عیب در نظر گرفت. آنتنهای گیرنده به عنوان کانونها و آنتن فرستنده مرکز این هذلولی‌گون می‌باشند. با توجه به اینکه مدل ترانسفورماتور هم خود به عنوان یک مکان هندسی است، با تلاقی این مکان هندسیها مکان دقیق وقوع عیب محاسبه می‌شود.

برای بدست آوردن مکان هندسی دقیق برای محل عیب، نیاز به یک روش آنالیز سیگنالی مطمئن است. در نتیجه در این مقاله با مرجع قرار دادن سیگنال ارسالی و طراحی فیلتر منطبق شده با این سیگنال ارسالی، پس از اینکه سیگنال تفاضل به فیلتر داده می‌شود در خروجی یک پیک تولید می‌شود. به دلیل طراحی فیلتر، این سیگنال پیک خروجی فیلتر در برابر نویزها و اثرات محیطی مقام است. در نتیجه با مقایسه سیگنال‌های پیک خروجی فیلتر برای دو آنتن گیرنده، اختلاف زمانی با دقت بالا و به صورت مطمئن بدست می‌آید.

مدل سازی مجموعه آزمایشگاهی

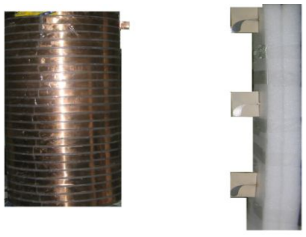
مجموعه آزمایشگاهی مدنظر برای مدل سازی شامل اجزای زیر است:

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

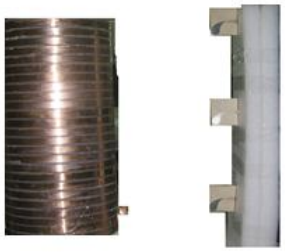
مدل ترانسفورماتور

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 ساخت نمونه‌های آزمایشگاهی در ابعاد ترانسفورماتور واقعی بسیار پرهزینه بوده و عملاً امکانپذیر نمی‌باشد. برای 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 می‌پوشانند. در شکل 1 (الف) این مدل نشان داده شده است. ابعاد مدل در جدول 1 آمده است.

(الف)



(ب)



(ج)

شکل 1: نمایی از کنار مدل سیم‌پیچ ترانسفورماتور. الف) مدل آزمایشگاهی ترانس ب)عیب در ناحیه بالا. ج) عیب در ناحیه پایین.

جدول 1: ابعاد مدل آزمایشگاهی ترانسفورماتور

پارامتر	مدل سیم‌پیچ
ارتفاع مدل ترانس	65cm
قطر مدل ترانس	32cm

برای مدل کردن تغییر شکل شعاعی در راستای عمودی، در هر مرحله اندازه گیری عیبهایی به پهنای 3 سانتی‌متر بر روی مدل ترانس در دو ناحیه بالا و پایین آن ایجاد شده است.

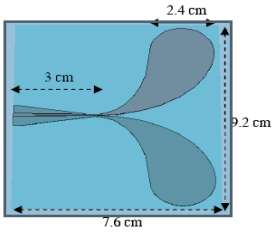
با توجه به شکل 1 که نمایی از کنار مدل سیم‌پیچ ترانسفورماتور است، مشخص است که عیب ها توسط نواری از جنس بدنه سیم پیچ ترانس که به صورت یک برآمدگی می باشد، ایجاد شده است. آزمایش ها در سه حالت انجام شده است: سیم پیچ سالم، سیم پیچ با عیب در قسمت بالا و پایین آن. ابعاد و فواصل استفاده شده در آزمایش در جدول 2 آمده است.

جدول 2: ابعاد و فواصل استفاده شده در آزمایش

پارامتر	مدل آزمایش
فاصله آنتن های گیرنده	60 cm
فاصله آنتن فرستنده تا گیرنده	30cm
فاصله ترانس تا آنتن ها	60cm
فاصله میز آزمایش تا زمین	150cm

آنتن

دراین آزمایش از آنتنهای ویوالدی استفاده شده است[17و18]. 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 3 تا 10 گیگا هرتز می‌باشد ولی چون از دستگاه PulsON برای انجام آزمایش‌ها استفاده شده است، از آنتن مذکور در فرکانس 3.2 تا 6.1 گیگا هرتز استفاده می‌شود. ساختار آنتن استفاده شده به همراه ابعاد آن در شکل 2 نشان داده شده است.



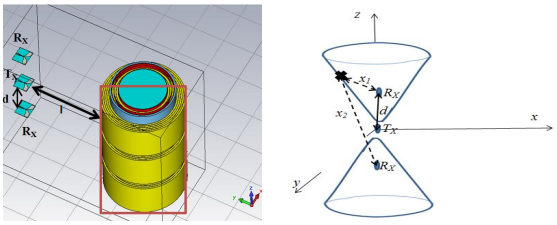
شکل 2:ساختار آنتن استفاده شده به همراه ابعاد آن

مروری بر الگوریتم تحلیلی برای مکان‌یابی عیب در راستای ارتفاع ترانسفورماتور

برای ارایه روش در این فضا فرض می‌کنیم که هدف تنها مکان-یابی عیب در راستای یک خط در ارتفاع سیم پیچ ترانسفورماتور است.

بنابراین متناسب با یک عیب تغییرشکل شعاعی می توان یک هذلولی گون درنظر گرفت که عیب موردنظر روی یک نقطه از آن قرار گرفته است. همچنین برای سیم پیچ ترانس که عیب ها 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.

شکل 3 چیدمانی را برای مشخص کردن پارامترها و هذلولی‌گون مربوط به آنالیز سیگنالها و منطبق با مکان آنتنها را نشان می‌دهد.



(ب) (الف)

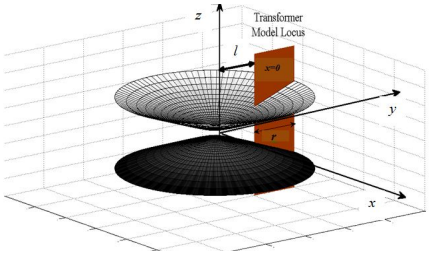
شکل 3: پارامترهای مسئله. الف: هذلولی‌گون منطبق با مکان آنتنها. ب: چیدمان

معادله هذلولی گون و سطح مستطیل نیز اگر محور ترانس را در راستای محور yها در نظر بگیریم با توجه به این که قطر مدل ترانس r سانتیمتر و ارتفاع آن h سانتیمتر می باشد به صورت زیر است:

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

$$\begin{cases} x=0 \\ l \le y \le l+r \\ -h/2 \le z \le +h/2 \end{cases} \qquad (2)$$

باید توجه داشت که در حالت کلی مکان هندسی سیم‌پیچی ترانسفورماتور به صورت یک استوانه در نظر گرفته می‌شود اما در فضای دوبعدی فرض شده که این مکان هندسی تنها یک مستطیل در صفحه $x=0$ است (شکل 4).



شکل 4: تلاقی مکان هندسی‌ها

با توجه به این که عیب تغییر شکل شعاعی در سطح ترانسفورماتور مد نظر است در نتیجه از مستطیل مربوط به مکان هندسی مدل ترانسفورماتور فقط خط $y=l$ مورد بررسی قرار می-گیرد. که l فاصله عیبهای مدل سیم پیچ ترانسفورماتور تا آنتنها یعنی کمترین فاصله بین آنتنها و سطح مدل سیم پیچ ترانسفورماتور می-باشد.

اختلاف فاصله یک نقطه روی هذلولی‌گون از دو کانون آن (آنتن های گیرنده) برابر $2a$ می‌باشد. بنابراین با داشتن اختلاف فاصله عیب

موردنظر می توان مقدار a را بدست آورد. مقدار a که برابر نصف اختلاف فاصله می باشد از رابطه (3) محاسبه می‌شود:

$$2a = x_1 - x_2 \quad (3)$$

با مشخص شدن پارامتر a، b و c از رابطه زیر بدست می‌آیند:

$$b^2 = c^2 = d^2 - a^2 \quad (4)$$

همان طور که در شکل 3 نشان داده شده است d فاصله بین آنتن گیرنده و فرستنده (فاصله بین کانونها تا مرکز هذلولی‌گون) است.

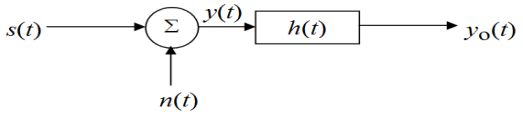
پس از تعیین تمام پارامترها اکنون با حل همزمان معادلات (1) و (2) مکان عیب تغییر شکل شعاعی در فضای دو بعدی مذکور بدست می‌آید.

فیلترهای منطبق شده[1]

یکی از داده‌های اصلی که در دست هست و به عنوان مرجعی سالم و مطمئن می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد سیگنال پالس ارسالی است. در این بخش با استفاده از سیگنال پالس ارسالی به عنوان مرجع و بر مبنای فیلترهای منطبق شده مشکل حضور نویزهای بالا در گیرنده رفع شده است. استفاده از این روش به دلیل اینکه برپایه پیک سنجی است در مقابل نویزهای صنعتی بسیار مقاوم است.

اساس کار فیلترهای منطبق شده در زیر بیان شده است:

شکل 5 یک سیستم را در حالت کلی با حضور نویز نشان می‌دهد.



شکل 5: سیستم همراه با نویز

$S(t)$ سیگنال ورودی، $N(t)$ نویز محیط و $y_o(t)$ سیگنال دریافتی است. رابطه زیر برای سیستم برقرار است[19]:

$$y_o(t) = \int_{-\infty}^{\infty} h(t-\tau)y(\tau)d\tau = \int_{-\infty}^{\infty} h(\tau)y(t-\tau)d\tau$$
$$= \int_{-\infty}^{\infty} h(\tau)s(t-\tau)d\tau + \int_{-\infty}^{\infty} h(\tau)n(t-\tau)d\tau = s_o(t) + n_o(t) \quad (5)$$

برای یک نویز نوعی سفید با دامنه واحد نسبت سیگنال به نویز (SNR) در $t=T$:

$$(S/N)^2\big|_T = \frac{s_o^2(T)}{E[n_o^2(T)]} = \frac{\left[\int_{-\infty}^{\infty} h(\tau)s(T-\tau)d\tau\right]^2}{\int_{-\infty}^{\infty} h^2(\tau)d\tau} \le \frac{\left[\int_{-\infty}^{\infty} h^2(\tau)d\tau\right]\times\left[\int_{-\infty}^{\infty} s^2(T-\tau)d\tau\right]}{\int_{-\infty}^{\infty} h^2(\tau)d\tau} \quad (6)$$

معادله فوق در صورتی درست است که:

$$\int_{-\infty}^{\infty} h^2(\tau)d\tau = \int_{-\infty}^{\infty} s^2(T-\tau)d\tau \quad (7)$$

به این معنی که:

$$(S/N)^2\big|_{T,\max} = \int_{-\infty}^{\infty} s^2(T-\tau)d\tau \quad (8)$$

به این ترتیب اثبات می‌شود برای یک فیلتر منطبق شده رابطه زیر برقرار است:

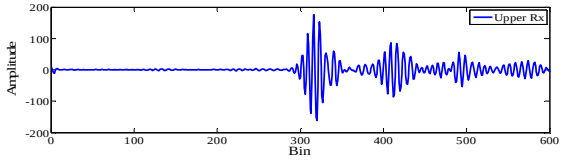
$$h(t) = s(T-t) \quad \text{for } t \ge 0 \quad (9)$$

با در نظر گرفتن مطالب بالا و استفاده از خود همبستگی سیگنالها می‌توان حتی در نویزهای توان بالا اختلاف زمانی مربوط به دو سیگنال تفاضل آنتنهای گیرنده را به صورت دقیق محاسبه کرد.

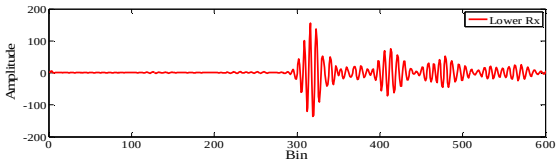
نتایج

در آزمایش ارسال و دریافت سیگنال را در حالتی انجام می‌دهیم که عیب تغییر شکل شعاعی را در ناحیه بالای و پایین سیم‌پیچ ترانسفورماتور و در ارتفاع (y=±20cm) نسبت به مرکز ترانسفورماتور به عنوان مبدا مختصات مدل کرده‌ایم (شکل 1).

شکلهای 6 (الف) و (ب) سیگنالهای دریافتی برای دو آنتن گیرنده در حالت سالم ترانسفورماتور را نشان می‌دهند. 7 (الف) و (ب) سیگناهای دریافتی پس از مدل کردن عیب را نمایش می‌دهند.

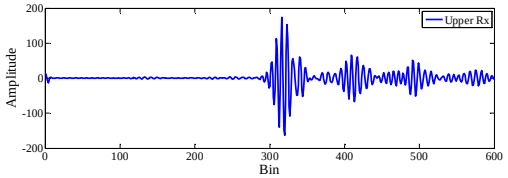


(الف)

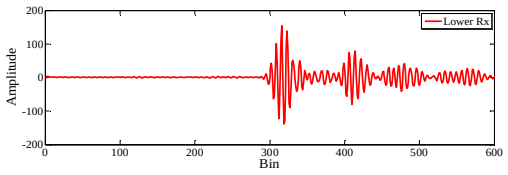


(ب)

شکل 6: سیگنالهای دریافتی در حالت سالم. (الف) آنتن بالا. (ب) آنتن پایین



(الف)



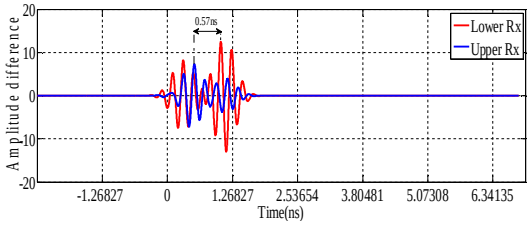
(ب)

شکل 7: سیگنالهای دریافتی در حالت عیب در ناحیه بالای ترانسفورماتور. (الف) آنتن بالا. (ب) آنتن پایین

با پیاده‌سازی روش فیلتر منطبق شده که بر مبنای استفاده از سیگنال ارسالی به عنوان مرجع است، دو سیگنال تفاضل حالت سالم از معیوب در گیرنده‌ها، پس از پردازش و اعمال روش مذکور اختلاف

[1] Matched filter

پیک 0.57ns را نشان می‌دهند. شکل 8 سیگنالهای حاصل نشان می‌دهد.



شکل 8: اختلاف پیک حاصل از استفاده از فیلتر منطبق شده برای عیب ناحیه بالا.

با توجه به اختلاف زمانی بدست آمده اختلاف مکانی از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$x_1 - x_2 = 3\times10^8 \times (0.57) = 17.224$$

با استفاده از معادله (3):

$$2a = x_1 - x_2 = 17.224$$

با مشخص شدن پارامتر a، b و c از رابطه (4) بدست می‌آیند:

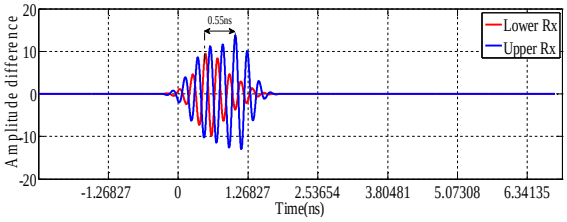
$$b^2 = c^2 = 30^2 - 8.612^2 = 28.73^2$$

در نتیجه معادله هذلولی‌گون به صورت زیر حاصل می‌شود:

$$\frac{z^2}{8.612^2} - \frac{x^2}{28.73^2} - \frac{y^2}{28.73^2} = 1 \qquad (10)$$

به این ترتیب تمام پارامترهای هذلولی‌گون بدست آمدند. با تلاقی مکان هندسی هذلولی‌گون با مکان هندسی مدل ترانسفورماتور دو نقطه $(y=\pm 19.9\ cm)$ حاصل می‌شوند. با توجه به اینکه آنتن بالایی زودتر عیب را تشخیص داده است در نتیجه نقطه $(y=+19.9cm)$ قابل قبول است که کاملا منطقی است.

برای عیب مدل شده در ناحیه پایین، از شکل 9 محاسبه می‌شود اختلاف زمانی بین دو آنتن گیرنده بالا و پایین نسبت به عیب برابر 0.553ns است. این بار مشاهده می‌شود که سیگنال تفاضل مربوط به آنتن پایینی جلوتر اتفاق می‌افتد که نشان دهنده این است که آنتن پایین عیب را زودتر تشخیص داده است.



شکل 9: اختلاف پیک حاصل از استفاده از فیلتر منطبق شده برای عیب ناحیه پایین.

طبق مراحل آزمایش اول معادله هذلولی‌گون در این حالت به شکل زیر بدست می‌آید:

$$\frac{z^2}{8.23^2} - \frac{x^2}{28.85^2} - \frac{y^2}{28.85^2} = 1 \qquad (11)$$

به همین ترتیب در این حالت نیز پس از تلاقی مکان هندسیها دو نقطه $(y=\pm 19.1\ cm)$ حاصل می‌شود که نقطه $(y=-19.1\ cm)$ قابل قبول است.

نتیجه گیری

در این مقاله به منظور افزایش قابلیت اطمینان در ترانسفورماتورهای قدرت یک روش برای مانیتورینگ کامل ارایه شد. این روش برای تشخیص و مکان‌یابی مطمئن و دقیق عیب شعاعی در سیم‌پیچ ترانسفورماتور قدرت به کار گرفته شد. روش تحلیلی استفاده شده بر مبنای آنالیز سیگنالهای الکترومغناطیسی است در حوزه زمان است. به دلیل حساسیت بالای سیگنالهای الکترومغناطیسی، برای آنالیز دقیق آنها فیلترهای منطبق شده با سیگنال ارسالی پیشنهاد شد. و در نهایت روش ارایه شده روی یک مدل آزمایشگاهی پیاده‌سازی شد و کارایی فیلترهای منطبق شده تایید شد.

تشکر و قدردانی

مولفین مقاله از حمایت پژوهش حاضر تحت قرارداد شماره 87/4 مورخ 87/12/24 توسط شرکت برق منطقه‌ای تهران تشکر می‌نمایند.

مراجع

[1] K. Ragavan, L. Satish, " Localization of Changes in a Model Winding Based on Terminal Measurements: Experimental Study , " *IEEE Trans. Power Del.*, vol. 22, no. 3, pp. 1557-1565, Jul. 2007.

[2] L. Satish, S. K. Sahoo, " Locating faults in a transformer winding: An experimental study," *J. Elect. Power Syst. Res.*, vol. 79, no. 1, pp. 89-97, Jan. 2009.

[3] S. Pramanik, L. Satish, " Localisation of discrete change in a transformer winding: a network-function-loci approach," *IET Electr., Power. Appl.*, vol. 5, no. 6, pp.540–548, Jul. 2011.

[4] P. Karimifard, G. B. Gharehpetian, "A New Algorithm for Localization of Radial Deformation and Determination of Deformation Extent in Transformer Windings," *J. Elect. Power Syst. Res.*, vol. 78, no. 10, pp. 1701-1711, Oct. 2008.

[5] M. A. Hejazi, G. B. Gharehpetian, G. Moradi, H. A. Alehosseini, and M. Mohammad, "On-line monitoring of transformer winding axial displacement and its extent using scattering parameters and k-nearest neighbor method," *IET Gen., Transm. Distrib.*, vol. 5, no. 8, pp.824–832, Oct. 2011.

[6] M. A. Hejazi, G. B. Gharehpetian, R. Faraji-Dana, G. Moradi, M. Mohammadi, H. Alehosseiny; "A New On-line Monitoring Method of Transformer Winding Axial Displacement Based on Measurement of Scattering Parameters and

Decision Tree," *J. Expert Syst. Appl.*, vol. 38 , no. 7 , PP. 8886 _ 8893 , Jul. 2011.

[7] 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 J.*, vol. 12, no. 6, PP. 1649 - 1659, Jun. 2012.

[8] M. S. Golsorkhi1, M. A. Hejazi, G. B. Gharehpetian, M. Dehmollaian, "A Feasibility Study on Application of Radar Imaging for Detection of Transformer Winding Radial Deformation," *IEEE Trans. Power Del.*, vol. 27, no. 4, pp. 2113-2121, Oct. 2012.

[9]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.

[10] م.اخوان حجازی ، گ.قره پتیان ، ع.محمدی" ارائه یک روش نوین جهت تشخیص جابجایی محوری سیم‌پیچ‌ترانسفورماتور به کمک امواج الکترومغناطیسی" PSC 2006، آبان ماه 1385، تهران ، ایران.

[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 1385 ،تهران، ایران.

[12] 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.

[13]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 اندازه‌گیری‌های انجام شده توسط سنسورهای فراپهن باند" PSC 2010، تهران، ایران.

[14]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.

[15] حسام رهبری مقام، مریم السادات اخوان حجازی ، مهدی صلای نادری، گئورگ قره‌پتیان " تعیین محل عیب تغییر شکل شعاعی در راستای ارتفاع سیم‌پیچ ترانسفورماتور قدرت توسط آنتنهای ساکن فراپهن باند و روش هذلولی‌گون " PSC 2012، تهران، ایران.

[16] H. Rahbari Magham, M.S. Naderi, G.B. Gharehpetian, M.A. Hejazi and H. Karami Porzani, "A Novel Method for Exact Determination to Localize Radial Deformation along the Transformer Winding Height", *4th Conference on Thermal Power Plants (Gas, Combined Cycle, and Steam), Dec. 18-19, 2012, Tehran, Iran.*

[17] M. Z. Win, R. A. Scholts, "On the Energy Capture of Ultrawide Bandwidth Signals in Dense Multipath Environments," *IEEE Communications Letters, vol. 2, no. 9, pp. 245-247, Sept. 1998.*

[18] S. Cui; K. C. Teh; K. H. Li; Y. L. Guan; C. L. Law, "Performance analysis of transmitted-reference UWB systems with narrowband interference suppression," *Wireless Communications and Mobile Computing., vol. 9, no. 8, pp. 1081-1088, 2009.*

[19] G. L. Turin, "An introduction to matched filters," *IRE Transactions on Information Theory, vol. 6, no. 3, pp. 311-329, Jun. 1960.*