



# PSC 2007

98-F-HVS-601

## اثر حافظه‌ای پالسهای متوالی تخلیه جزئی و کاربرد آن در تعیین نوع عیب عایقی تجهیزات فشار قوی

حسن رضامیرزایی<sup>(۱)</sup> اصغراکبری<sup>(۲)</sup> علی مذهب جعفری<sup>(۳)</sup> محمدخارزی<sup>(۴)</sup>

<sup>(۱)</sup>دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

<sup>(۴)</sup>آزمایشگاه فشار قوی شرکت ایران- ترانسفو

واژه‌های کلیدی: تخلیه جزئی، اثر حافظه‌ای، تعیین عیب عایقی، اختلاف ولتاژ لحظه‌ای.

### چکیده:

امروزه اندازه‌گیری تخلیه‌جزئی یکی از مهمترین روشهای بررسی کیفیت عایقی تجهیزات فشارقوی به شمار می‌رود. با استفاده از دستگاههای اندازه‌گیری موجود، چهار پارامتر مهم هر تک پالس تخلیه‌جزئی مانند بار ظاهری و فاز وقوع آن نسبت به ولتاژ اعمالی اندازه‌گیری و ذخیره می‌شود. برای بررسی رفتار فعالیت PD، الگوهای مختلفی از این پارامترها بدست می‌آید که از آنها می‌توان در زمینه تعیین عیب عایقی تجهیزات فشار قوی استفاده نمود. در این مقاله با معرفی دو الگوی PD که مبتنی بر اختلاف ولتاژ لحظه‌ای پالسهای متوالی هستند، به بررسی قدرت آنها در تعیین عیب عایقی پرداخته شده است. به این منظور با ترتیب دادن آزمایشهایی چند نوع مختلف از عیوب مصنوعی تخلیه‌جزئی ایجاد و پس از ذخیره‌سازی اطلاعات آنها، به بررسی کارایی این الگوها پرداخته شده است. همچنین قابلیت این الگوها در زمینه تعیین عیب عایقی ترانسفورماتورهای قدرتی که در آنها فعالیت

تخلیه‌جزئی مشاهده شده، مورد بحث و بررسی قرار گرفته است.

### ۱ مقدمه

تجهیزات فشار قوی معمولاً بسیار گرانقیمت بوده و بخش عمده‌ای از سرمایه‌گذاری در بخش انتقال انرژی الکتریکی را به خود اختصاص می‌دهند. از این رو مونتورینگ دائمی آنها در حین کار به منظور افزایش طول عمر از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. امروزه اندازه‌گیری میزان بار ظاهری تخلیه‌جزئی به عنوان یکی از مهمترین و مؤثرترین روشهای شناخته شده در زمینه مونتورینگ تجهیزات الکتریکی به خصوص ترانسفورماتورهای قدرت مطرح می‌باشد.

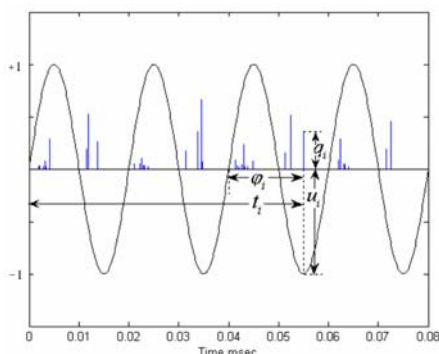
تعیین دقیق و درست نوع عیب تخلیه‌جزئی این تجهیزات از اهمیت بسیار زیادی برای شرکتهای برق و کارخانجات سازنده آنها برخوردار است. با تعیین درست نوع عیب تجهیزاتی که درحال کار در شبکه هستند می‌توان درک درستی از میزان سلامت عایقی آنها بدست آورد و با تخمین شدت و

## ۲ تعیین نوع عیب تخلیه جزئی

تخلیه جزئی به تخلیه‌های موضعی الکتریکی اطلاق می‌شود که فقط محدود به یک قسمت از دی‌الکتریک بوده و به صورت جزئی بین الکترودها پل برقرار می‌کند. در یک نگاه کلی می‌توان تخلیه جزئی را به سه دسته کلی کرونا در نقاط نوک تیز، تخلیه جزئی در سطوح فصل مشترک دو عایق، و تخلیه جزئی در حفرات داخل آن تقسیم نمود [۵].

در صورت وجود نقاط نوک تیز در الکترودهای دارای ولتاژ، هوای اطراف آنها یونیزه شده و موجب بروز کرونا می‌شود. همچنین اگر روی سطح مشترک دو عایق مجاور میدان الکتریکی مماسی وجود داشته باشد، بر روی آن شاهد وقوع تخلیه‌های جزئی از نوع سطحی خواهیم بود. در صورت وجود حفره یا حباب هوا داخل عایقهای جامد و مایع نیز، به دلیل اختلاف ضریب گذردهی الکتریکی دو محیط، میدان الکتریکی در داخل این حفرات یا حبابها به مقداری بیشتر از حد تحمل عایقی آن رسیده و موجب بروز PD در آنها می‌گردد [۵].

مدار آشکارسازی سیستمهای معمول اندازه‌گیری الکتریکی تخلیه جزئی طبق استاندارد IEC 60270 [۶]، دارای پهنای بانندی برابر با  $400\text{ kHz}$  می‌باشد. این دستگاهها در صورت مجهز بودن به سیستمهای دیجیتال ذخیره‌سازی، قادرند چهار پارامتر مهم هر پالس PD شامل بار ظاهری ( $q_i$ )، فاز وقوع PD نسبت به ولتاژ اعمالی ( $\varphi_i$ )، ولتاژ لحظه‌ای ( $u_i$ ) و زمان وقوع ( $t_i$ ) را اندازه‌گیری نمایند (شکل ۱).



شکل ۱- پالسهای تخلیه جزئی ونحوه تعیین چهار پارامتر مهم آنها.

با استفاده از این پارامترهای اندازه‌گیری شده می‌توان الگوهای مختلفی را بدست آورده و از آنها در تعیین نوع عیب PD

سختی نوع عیب، نسبت به خروج برنامه‌ریزی شده آنها از شبکه به منظور تعمیر یا جایگزینی اقدام نمود. در این صورت علاوه بر عدم خروج ناخواسته تجهیزات فشار قوی از مدار و صرف هزینه‌های گزاف قطع برق، از وارد آمدن آسیب جدی به آنها در اثر خطا نیز جلوگیری به عمل آمده و تعمیر دوباره آنها با صرف هزینه‌های کمتری انجام می‌پذیرد.

با استفاده از سیستم‌های معمول اندازه‌گیری PD که دارای پهنای باند پهنی هستند، چهار ویژگی مهم هر تک‌پالس PD شامل بار ظاهری، مقدار لحظه‌ای ولتاژ اعمالی، فاز وقوع نسبت به ولتاژ و زمان وقوع آن را می‌توان اندازه‌گیری و ذخیره نمود. از روی این ویژگیهای ذخیره شده برای مجموع پالسهای آشکارسازی شده یک فعالیت PD، الگوهای مختلفی به منظور مطالعه رفتار آن می‌توان بدست آورد [۲].

از آنجا که بارهای فضایی و سطحی بجا مانده از پالسهای PD، شرایط الکترومغناطیسی محل وقوع آن را تغییر می‌دهند، وقوع هر پالس، متأثر از پالسهای قبلی آن می‌باشد. در نتیجه الگوهایی که توالی وقوع پالسهای PD را در نظر می‌گیرند درک بهتری را از فیزیک محل وقوع آن در اختیار گذاشته و از قدرت بیشتری در زمینه تعیین نوع عیب برخوردار هستند. به همین دلیل الگوهایی مانند الگوی  $q-\varphi$  که امروزه به طور گسترده‌ای در تعیین نوع عیب تخلیه جزئی به کار می‌روند و حاوی اطلاعات کمی از توالی پالسهای PD هستند، دارای قابلیت اطمینان کمتری در تعیین نوع عیب تخلیه جزئی می‌باشند [۲]. از این رو در روند تعیین عیب عایقی بایستی از الگوهایی استفاده شود که حاوی اطلاعاتی از توالی وقوع پالسهای PD باشند.

در این مقاله با معرفی دو الگوی مبتنی بر اختلاف ولتاژ لحظه‌ای پالسهای متوالی تخلیه جزئی، به بررسی کاربرد آنها در زمینه شناسایی نوع PD در عیوب مصنوعی ایجاد شده توسط آرایش دو الکترودی و همچنین ترانسفورماتورهای قدرت پرداخته شده است.

همانگونه که در شکل ۲ نیز ملاحظه می‌شود شناسایی دو عیب تخلیه سطحی و تخلیه در حفره با استفاده از الگوهای  $\varphi - q - n$  و  $\varphi - q$  با مشکلات زیادی مواجه بوده و تفکیک دقیق آنها از یکدیگر به سختی مقدور می‌باشد. این موضوع بیشتر به دلیل عدم استفاده مناسب از توالی وقوع پالسهای PD در این الگوها قابل توجه است. از این رو بهتر است در روند تعیین عیب، از الگوهای استفاده شود که در آنها توالی وقوع پالسها در نظر گرفته شده باشد. به این منظور در بخش بعدی اقدام به معرفی دو الگوی PD، که مبتنی بر توالی وقوع پالسها هستند، و بررسی کاربرد آنها در زمینه تعیین عیب شده است.

## ۲-۲. الگوها مبتنی بر اختلاف ولتاژ لحظه‌ای

### پالسهای متوالی PD

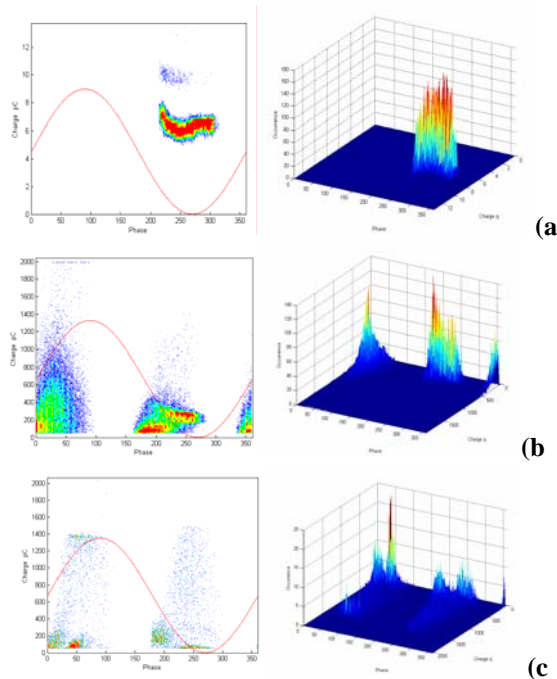
از آنجا که هر پالس PD در محل وقوع خود، یونها و ذرات بارانگیزته‌ای را به صورت بارهای فضایی و سطحی باقی می‌گذارد و همچنین هدایت سطحی و فضایی محل وقوع PD به گونه‌ای است که زمان لازم برای ترکیب مجدد این ذرات با بارهای غیر همنام و خنثی شدن آنها معمولاً بیشتر از زمان متوسط بین دو پالس متوالی است، لذا شرایط الکترومغناطیسی حاکم بر محل وقوع PD، متأثر از بارهای به جا مانده از پالسهای قبلی خواهد بود [۱، ۳ و ۴]. از این رو می‌توان نتیجه گرفت که در فعالیت PD نوعی حافظه وجود دارد که وقوع پالسهای جدید را وابسته به پالسهای قبلی می‌نماید. از طرفی، شرایط فیزیکی محل وقوع PD نیز با تحت تأثیر قرار دادن عواملی چون زمان لازم برای ترکیب مجدد ذرات باردار، ولتاژ شروع تخلیه و ... بر نحوه رفتار آن مؤثر است. لذا زمان و فاز وقوع پالسهای PD علاوه بر بار ظاهری انتقال یافته در طی پالسهای قبلی، به فیزیک محل وقوع آن نیز بستگی دارد. از این رو می‌توان نتیجه گرفت که تعیین نوع عیب با بهره‌گیری از الگوهای که توالی وقوع پالسهای PD را در نظر می‌گیرند از دقت بسیار بیشتری برخوردار خواهد بود.

استفاده نمود. در این بخش به معرفی مهمترین این الگوها و کاربرد آنها در تعیین عیب پرداخته خواهد شد.

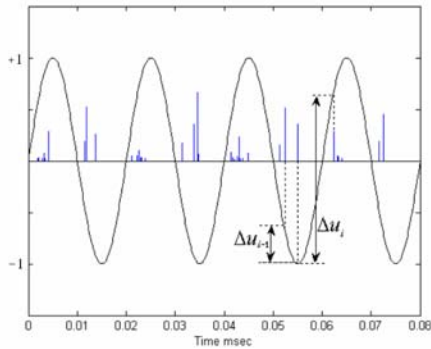
## ۲-۱. الگوهای حوزه فاز

یکی از الگوهای که در زمینه تعیین نوع عیب، کاربرد گسترده‌ای یافته است، الگوهای دو بعدی و سه بعدی  $\varphi - q$  می‌باشد. در الگوهای دو بعدی، هر پالس PD در صفحه  $\varphi - q$  با یک نقطه نمایش داده می‌شود.

در الگوهای سه بعدی  $\varphi - q - n$  محور سوم برابر با تعداد وقوع پالسهایی که بار ظاهری و فاز وقوع مشابهی دارند در نظر گرفته می‌شود. همچنین تعداد وقوع را می‌توان با استفاده از رنگ، به صورت بعد سوم در الگوهای دو بعدی  $\varphi - q$  به نمایش گذاشت [۲]. در نمودارهای حاصله که توپوگرام نامیده می‌شود هر پالس PD با توجه به تعداد وقوع پالسهایی که بار ظاهری و فاز وقوع مشابهی دارند، با رنگ خاصی به نمایش در می‌آید. در شکل ۲ الگوهای فوق برای سه نوع عیب کرونا، تخلیه جزئی سطحی و تخلیه جزئی در حفره نشان داده شده است.



شکل ۲- الگوهای سه‌بعدی و دو بعدی  $\varphi - q$  برای عیوب: (a) کرونا (b) تخلیه سطحی و (c) تخلیه در حفره.



شکل ۳- محاسبه ویژگی  $\Delta u_i$  برای پالس  $i$ ام تخلیه جزئی.

در ادامه به بررسی دو الگوی مبتنی بر اختلاف ولتاژ لحظه‌ای پالسهای PD و کاربرد آنها در تعیین نوع عیب می‌پردازیم:

### ۱-۲-۲. الگوی $\Delta u_n - \Delta u_{n-1}$

در این الگو، هر تک‌پالس PD با یک نقطه در صفحه دو بعدی نمایش داده می‌شود. مختصات محور افقی این صفحه برابر با اختلاف ولتاژ لحظه‌ای خود تک‌پالس و مختصات محور عمودی آن برابر با اختلاف ولتاژ لحظه‌ای تک‌پالس قبلی می‌باشد. بدین ترتیب و با نمایش همه نقاط مربوط به پالسهای PD که در حین فعالیت آن ایجاد شده‌اند، الگوی  $\Delta u_n - \Delta u_{n-1}$  حاصل می‌گردد [۳ و ۴].

شکل ۴، برای هر یک از سه گروه (نوع عیب) مختلف PD، دو نمونه از الگوی مذکور را نشان می‌دهد. در این شکل ملاحظه می‌شود برای هر یک از سه نوع عیب، تعداد خوشه‌ها در صفحه  $\Delta u_n - \Delta u_{n-1}$ ، محل قرار گرفتن آنها و چگالی نسبی هر یک منحصر به فرد می‌باشد. با در نظر گرفتن این سه مشخصه، تشخیص نوع عیب با استفاده از این الگو توسط یک فرد خبره به راحتی قابل انجام است.

یکی دیگر از کاربردهای این الگو، تشخیص وجود دو یا چند عیب همزمان تخلیه جزئی می‌باشد. همانگونه که در شکل ۴ دیده می‌شود در الگوی  $\Delta u_n - \Delta u_{n-1}$  مربوط به عیوب کرونا و تخلیه جزئی سطحی، تراکم نسبی زیادی در مبدأ مشاهده می‌شود. دلیل تراکم نقاط در مبدأ، وقوع پالسهای متوالی با فواصل زمانی بسیار کم است. در این صورت اختلاف ولتاژ لحظه‌ای با مقادیر نزدیک به صفر، به وفور ایجاد می‌شود که منجر به تراکم زیاد نقاط در مبدأ صفحه

با توجه به مطالب ذکر شده می‌توان به این نتیجه رسید که هر یک از دو عامل ذکر شده (فیزیک محل وقوع PD و بارهای فضایی) با تحت تأثیر قرار دادن میدان الکتریکی در محل وقوع، بر توالی پالسها نیز اثر می‌گذارند. از این رو با مطالعه میدان الکتریکی در محل وقوع PD می‌توان درک دقیقتری از نوع عیب بدست آورد.

میدان الکتریکی در محل وقوع را می‌توان به صورت مجموع مؤلفه حاصل از بارهای فضایی و مؤلفه ناشی از ولتاژ اعمالی خارجی در نظر گرفت [۱، ۳ و ۴]:

$$E = E_q + E_{app} \quad (2)$$

با نوسان ولتاژ اعمالی (ولتاژ سینوسی با فرکانس ۵۰Hz)، میدان الکتریکی در محل PD نیز نوسان خواهد نمود. هر گاه مقدار مطلق این میدان برابر با مقدار مورد نیاز برای شروع PD ( $E_{inc}$ ) شود یک پالس روی خواهد داد. با توجه به اینکه مقدار  $E_{app}$  وابسته به ولتاژ اعمالی است و با فرض ثابت بودن  $E_{inc}$ ، می‌توان نتیجه گرفت که مقدار ولتاژ اعمالی در لحظه‌ای وقوع پالسها متناسب با بارهای فضایی به جا مانده در محل وقوع می‌باشد. بنابراین ولتاژ لحظه‌ای وقوع پالسهای متوالی PD از اهمیت بسیار زیادی برخوردار بوده و می‌تواند در تعیین عیب عایقی به کار رود.

همانگونه که ذکر شد برای هر پالس PD مقدار ولتاژ لحظه‌ای آن نیز ذخیره می‌شود. اختلاف ولتاژ لحظه‌ای پالسهای متوالی می‌تواند معیاری از نحوه تغییرات بارهای فضایی در محل وقوع تخلیه جزئی در حین فعالیت آن باشد. با استفاده از این موضوع به نوع دیگری از الگوهای PD می‌توان دست یافت که دارای قدرت فراوانی در زمینه تعیین عیب عایقی هستند. بدین ترتیب با استفاده از تفاضل ولتاژ لحظه‌ای پالسهای متوالی PD می‌توان ویژگی جدیدی بدست آورد و از آن در تعیین نوع عیب استفاده نمود. این ویژگی از طریق رابطه زیر قابل حصول است:

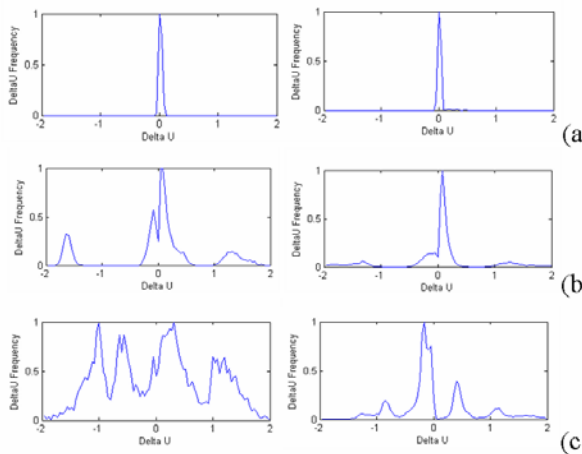
$$\Delta u_i = (u_i - u_{i-1}) / u_m$$

$$-2 \leq \Delta u_i \leq 2$$

شکل ۳ نحوه محاسبه این ویژگی جدید را برای دو پالس متوالی تخلیه سطحی نشان می‌دهد.

بیست و دومین کنفرانس بین‌المللی برق

نشانه‌دهنده تعداد رخداد پالسهای با اختلاف ولتاژ لحظه‌ای مربوطه می‌باشد. شکل ۵ برای هر یک از سه نوع عیب مختلف تخلیه جزئی دو الگوی  $\Delta u - n$  را که نسبت به مقدار ماکزیمم خود نرمالیزه شده‌اند نشان می‌دهد. همانگونه که در این شکل دیده می‌شود، این الگو نیز برای عیوب مختلف، متفاوت بوده و دارای قدرت تفکیک کنندگی مناسبی است و از آن می‌توان برای تعیین نوع عیب تخلیه جزئی استفاده کرد.

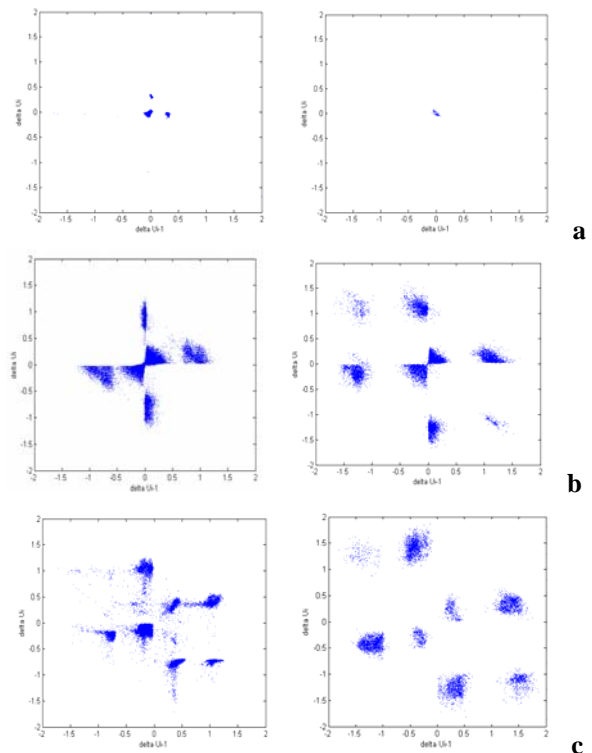


شکل ۵ - الگوی نرمالیزه شده  $\Delta u - n$  برای عیوب: (a) کرونا (b) تخلیه سطحی و (c) تخلیه در حفره.

۲-۳. اتوماسیون روند عیب‌یابی

امروزه برای تعیین عیب عایقی با استفاده از الگوهای PD علاوه بر استفاده از افراد خبره، از روشهای هوشمند کامپیوتری نیز بهره گرفته می‌شود. در این مقاله برای خودکار نمودن این روند، از یک شبکه عصبی رقابتی استفاده شده است. این شبکه از سه لایه ورودی، لایه رقابتی و لایه خروجی تشکیل می‌شود که توسط شاخه‌های وزن‌دار به یکدیگر وصل می‌شوند (شکل ۶). ورودی این شبکه بردار توزیع یک بعدی الگوی  $\Delta u - n$  با ۱۰۰ عنصر می‌باشد. به همین دلیل شبکه رقابتی فوق نیز دارای ۱۰۰ نرون در لایه ورودی خواهد بود. به دلیل تقسیم نوع عیب PD به سه گروه کرونا، تخلیه سطحی و تخلیه در حفره، لایه خروجی این شبکه دارای ۳ نرون می‌باشد. تعداد نرون لایه در لایه رقابتی نیز ۱۰ عدد در نظر گرفته شده است.

$\Delta u_n - \Delta u_{n-1}$  خواهد شد. علت وقوع این پدیده در عیوب کرونا و تخلیه سطحی وجود مسیرهای مختلف برای شکست جزئی الکتریکی است. در این صورت پالسهای تخلیه جزئی متوالی در مسیرهای مختلف، مستقل از هم روی خواهند داد. این امر موجب وقوع پالسهای می‌شود که فاصله زمانی کمی از یکدیگر دارند و بنابراین پالسهای متوالی اختلاف ولتاژ لحظه‌ای نزدیک به صفر به وفور ایجاد خواهد شد. در حالی که اگر وقوع تخلیه جزئی منحصر به یک مسیر یکتا بود، بارهای فضایی به جا مانده موجب تأخیر در ایجاد پالسهای بعدی شده و اختلاف ولتاژ لحظه‌ای آنها نیز زیاد می‌شد. به این ترتیب با دقت در تراکم نسبی نقاط در مبدأ الگوی  $\Delta u_n - \Delta u_{n-1}$  می‌توان به وجود دو یا چند منبع همزمان PD در تجهیز مورد تست پی برد.



شکل ۶ - الگوی  $\Delta u_n - \Delta u_{n-1}$  برای عیوب: (a) کرونا (b) تخلیه سطحی و (c) تخلیه در حفره.

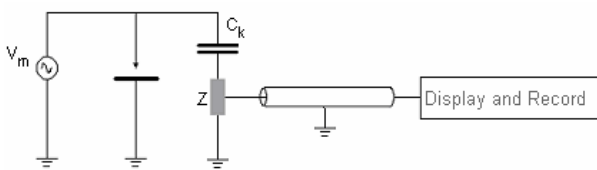
۲-۲-۲. الگوی  $\Delta u - n$

این الگو نیز به صورت یک صفحه دو بعدی است که محور افقی آن برابر با اختلاف ولتاژ لحظه‌ای و محور عمودی آن

### ۳-۱-۳. عیوب مصنوعی

#### ۳-۱-۱-۳. سیستم اندازه‌گیری و مدار آزمایش

به منظور بررسی رفتار فعالیت PD، توسط یک سیستم دو الکترونی اقدام به تولید و اندازه‌گیری تخلیه‌های جزئی با عیوب مصنوعی نموده‌ایم (شکل ۷). پالسهای PD که در این دو الکترونی تولید می‌شوند با عبور از خازن کوپلاژ در کوادروپل آشکارسازی شده و توسط یک سیستم اندازه‌گیری باند پهن ذخیره می‌شوند.

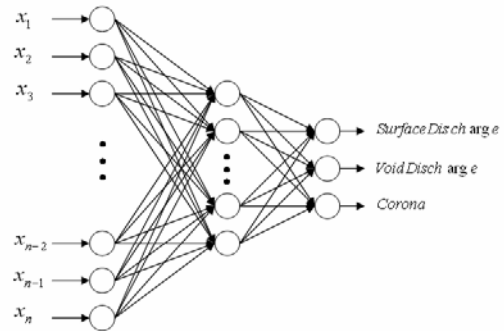


شکل ۷- مدار آزمایش دو الکترونی جهت تولید عیوب مصنوعی PD.

از آنجا که بار ظاهری سیگنالهای PD واقعی در ابتدا نامعلوم است، قبل از اعمال ولتاژ، توسط یک کالیبراتور سیگنالهایی با بار ظاهری  $50 \text{ pC}$  به دو سر الکترونها اعمال می‌گردد تا نسبت تبدیل دامنه پالسهای اندازه‌گیری شده به بار ظاهری انتقال یافته بین آن دو بدست آید. از این نسبت برای تعیین بار ظاهری پالسهای واقعی PD استفاده می‌شود.

#### ۳-۱-۲-۳. تولید کرونا

برای ایجاد کرونا از دو الکترونی سوزن و صفحه استفاده شده است. با تنظیم فاصله بین دو الکترونی در  $2 \text{ mm}$ ، با اعمال ولتاژ  $3 \text{ kV}$  شاهد ظهور پالسهای PD کرونا در اطراف پیک منفی ولتاژ بودیم که الگوهای آن در شکل ۸ دیده می‌شود. همانطور که ملاحظه می‌شود، تعیین نوع عیب کرونا با استفاده از همه الگوهای معرفی شده به راحتی مقدور می‌باشد. شبکه عصبی ارائه شده در بخش ۳-۲ نیز به راحتی قادر به تعیین این نوع عیب بود.



شکل ۶- شبکه عصبی رقابتی.

برای آموزش این شبکه، از الگوهای موجود در بانک اطلاعاتی یک دستگاه اندازه‌گیری باند پهن به نام LDS-6 که به ترتیب دارای ۵، ۵ و ۴ الگوی  $\Delta u - n$  برای هر یک از عیوب کرونا، تخلیه سطحی و تخلیه در حفره بود، استفاده شده است. برای بررسی میزان کارایی و دقت شبکه عصبی رقابتی آموزش یافته فوق، با ترتیب دادن آزمایشهایی علاوه بر تولید و اندازه‌گیری عیوب مصنوعی PD با استفاده از یک سیستم دو الکترونی، از الگوهای واقعی تخلیه‌جزئی نیز که در ترانسفورماتورهای قدرت تولید شده‌اند کمک گرفته شده است که در بخش بعدی به آن پرداخته می‌شود.

### ۳ نتایج عملی

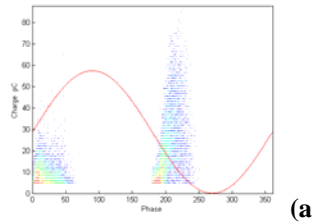
استانداردهای جدید، انجام تست تخلیه‌جزئی را برای بررسی کیفیت عایقی تجهیزات فشار قوی توصیه کرده‌اند. از این رو عیب‌یابی این تجهیزات با استفاده از الگوهای PD از اهمیت زیادی برخوردار شده است. امروزه تلاشهای فراوانی برای بررسی رفتار PD از روی الگوهای آن در حال انجام است. در این بخش با ترتیب دادن آزمایشهایی توسط یک آرایش دو الکترونی، اقدام به تولید عیوب مصنوعی کرونا و تخلیه سطحی شده است که در ادامه نتایج آنها مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد.

همچنین طبق استاندارد IEC60076 تست تخلیه‌جزئی برای ترانسفورماتورهای قدرت در کارخانجات سازنده آنها به صورت یک تست روتین انجام می‌شود. در این بخش به مطالعه الگوهای تخلیه‌جزئی واقعی تولید شده در آنها نیز پرداخته می‌شود.

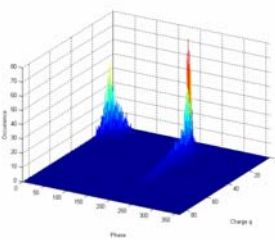
۳-۱-۲. تولید تخلیه سطحی

با قرار دادن یک عایق کاغذی به ضخامت ۱mm بین دو الکتروود سوزن و صفحه فوق، تخلیه سطحی تولید شد که ولتاژ شروع آن با این ترکیب الکتروودی برابر با ۵kV بود. (الگوهای شکل ۹).

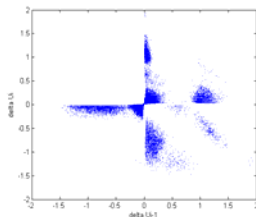
دیگر نیازی به استفاده از خازن کوپلاژ خارجی وجود ندارد و با اتصال کوادروپل به آن می‌توان PD را آشکارسازی نمود. در خط تولید ترانسفورماتور، پس از نصب درپوش و بوشینگ‌های آن و قبل از تزریق روغن، با ایجاد خلأ در تانک ترانسفورماتور، هوای داخل آن به بیرون انتقال می‌شود.



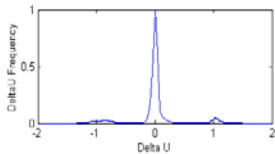
(a)



(b)

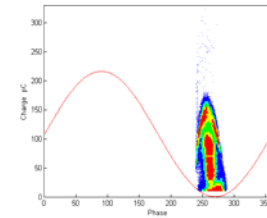


(c)

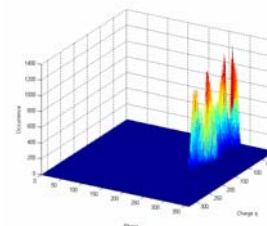


(d)

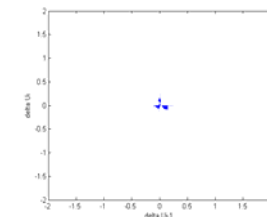
شکل ۹- الگوهای (a)  $\varphi - q$  (b)  $\varphi - q - n$  (c)  $\Delta u_n - \Delta u_{n-1}$  و (d)  $\Delta u - n$  برای فعالیت تخلیه سطحی.



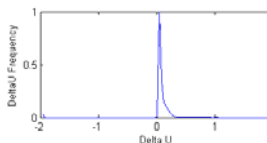
(a)



(b)



(c)



(d)

شکل ۱۰- الگوهای (a)  $\varphi - q$  (b)  $\varphi - q - n$  (c)  $\Delta u_n - \Delta u_{n-1}$  و (d)  $\Delta u - n$  برای فعالیت تخلیه جزئی از نوع کرونا.

ولی از آنجا که امکان ایجاد خلأ واقعی به ویژه در محیط‌های صنعتی وجود ندارد، پس از تزریق روغن شاهد ظهور حبابهای کوچک هوا در زیر درپوش و بوشینگ‌ها خواهیم بود. در صورت اعمال ولتاژ به ترانسفورماتورهایی که دارای چنین حبابهایی باشند، در آنها فعالیت تخلیه جزئی مشاهده خواهد شد. شکل ۱۰ الگوهای تخلیه جزئی در حبابهای هوای به جا مانده در یک ترانسفورماتور ۱۳۲/۳۳kV را نشان می‌دهد. با یک هواگیری ساده از طریق پیچهای مخصوصی که برای همین منظور روی درپوش نصب شده‌اند براحتی می‌توان اقدام به رفع این نوع از تخلیه جزئی نمود.

در این مورد مشاهده می‌شود تعیین نوع عیب از طریق الگوهای حوزه فاز به سختی امکان پذیر می‌باشد در حالی که این کار با استفاده از الگوهای مبتنی بر اختلاف ولتاژ لحظه‌ای پالسهای متوالی PD به راحتی قابل انجام است. همچنین شبکه عصبی آموزش یافته فوق در این مورد نیز نوع عیب را به درستی تشخیص داد.

۳-۲. PD در ترانسفورماتورهای قدرت

در ترانسفورماتورهای قدرت به دلیل استفاده از بوشینگهای خازنی و در دسترس بودن آخرین لایه خازنی (بوشینگ‌تپ)،

با توجه به اینکه هر پالس PD از خود بارهای الکتریکی فضایی به جای می‌گذارد و شرایط الکترومغناطیسی محل وقوع آن را تغییر می‌دهد، استفاده از الگوهای مانند الگوی  $q - \varphi$ ، که در آنها اثرات کمتری از توالی وقوع پالسهای PD مشاهده می‌شود، در تعیین نوع عیب PD با مشکلاتی همراه خواهد بود. در عوض الگوهای مانند الگوهای  $\Delta u_n - n$  و  $\Delta u_n - \Delta u_{n-1}$  که بر اختلاف ولتاژ لحظه‌ای پالسهای متوالی PD استوار هستند، نتایج خوبی در زمینه تعیین عیب از خود به نمایش می‌گذارند. همانطور که ملاحظه شد، با توجه به محل و چگالی نسبی خوشه‌های تشکیل شده در الگوی  $\Delta u_n - \Delta u_{n-1}$ ، به راحتی می‌توان توسط یک فرد خبره به تعیین نوع عیب پرداخت. همچنین نشان داده شد که با استفاده از الگوی  $\Delta u - n$  به عنوان ورودی یک شبکه عصبی رقابتی می‌توان روند تعیین عیب را به صورت اتوماتیک انجام داد.

همچنین ملاحظه شد که کاربرد دو الگوی پیشنهادی و شبکه عصبی ارائه شده، نتایج رضایت بخشی را در روند تعیین عیب عایقی عیوب مصنوعی PD و عیوب واقعی ترانسفورماتورهای قدرت به همراه داشتند.

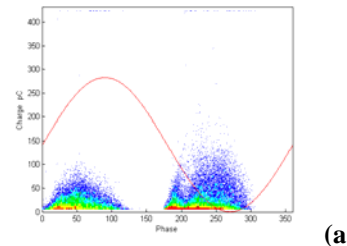
## ۵ مراجع

[1] D. Benzerouk, J. Menzel and R. Patsch, "The Role of Accumulated Charges in Partial Discharge Processes", 2007 International Conference on Solid Dielectrics, Winchester, UK, July 8-13, 2007.

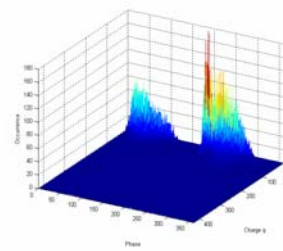
[2] A. Lapp, H. G. Kranz, "The Use of the CIGRE Data Format for PD Diagnosis Applications", IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation Vol. 7, No. 1, February 2000.

[3] M. Hoof and R. Patsch, "Voltage Difference Analysis, A Tool for Partial Discharge Source Identification", Conference Record of the IEEE International Symposium on Electrical Insulation, Montreal, Canada, June 1996.

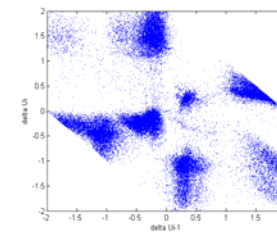
در این مورد نیز کار تعیین عیب با استفاده از الگوهای مبتنی بر اختلاف ولتاژ لحظه‌ای نسبت به الگوهای حوزه فاز با سهولت بیشتری امکان پذیر می‌باشد. مشاهده گردید شبکه عصبی آموزش یافته شکل ۶، در این مورد نیز قادر به تشخیص صحیح نوع عیب می‌باشد.



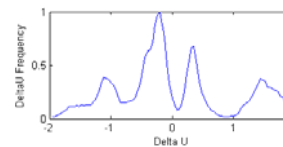
(a)



(b)



(c)



(d)

شکل ۱۰- الگوهای (a)  $q - \varphi$ ، (b)  $q - \varphi - n$ ، (c)  $\Delta u_n - \Delta u_{n-1}$  و (d)  $\Delta u - n$  برای تخلیه در حبابهای به جا مانده در ترانسفورماتور قدرت.

## ۴ نتیجه گیری

یکی از روشهای اندازه‌گیری تخلیه جزئی، استفاده از مدار آشکارسازی الکتریکی با باندپهن می‌باشد. در این روش چهار مشخصه مهم هر پالس PD شامل بار ظاهری، ولتاژ لحظه‌ای اعمالی، فاز وقوع نسبت به ولتاژ اعمالی و زمان وقوع آن برای هر تک پالس PD قابل آشکارسازی می‌باشند. الگوهای مختلفی با استفاده از این چهار پارامتر برای بررسی رفتار PD و تعیین نوع عیب قابل حصول هستند.

بیست و دومین کنفرانس بین‌المللی برق

[4] R. Patsch, M. Hoof, "Physical Modelling of Partial Discharge Patterns", 1998 IEEE International Conference on Conduction and Breakdown in Solid Dielectrics, Jan-25, 1998, Vasteras, Sweden.

[5] F. H. Kreuger, E. Gulski, A. Krivda, "Classification of Partial Discharges", IEEE Transactions on Electrical Insulation, Vol. 28, No. 6, December 1993.

[6] IEC 60270, "High-voltage test techniques - Partial discharge measurements", Ed. 2000.

[7] IEC 60076, "power Transformers", Ed. 2000.