



بررسی فرمت‌های مختلف ذخیره‌سازی اطلاعات تخلیه جزئی در دستگاه‌های معمول اندازه‌گیری PD و نقش آن در تشخیص عایقی تجهیزات فشار قوی

کریم میرعلیخانی^۲
Miralikhani@iran-transfo.com

محمد خارزی^۲
m.kharezi@iran-transfo.com

اصغر اکبری^۱
akbari@kntu.ac.ir

حسن رضا میرزایی^{۱،۲}
hr_mirzaei@ee.kntu.ac.ir

^۱ دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
^۲ شرکت ایران ترانسفو

واژه‌های کلیدی: تخلیه جزئی، فرمت ذخیره‌سازی اطلاعات، تشخیص نوع عیب، اطلاعات حوزه فاز.

چکیده

امروزه اندازه‌گیری تخلیه جزئی به عنوان یکی از قدرتمندترین روش‌های تشخیص عایقی، جایگاه ویژه‌ای در زمینه مونتورینگ و بررسی کیفیت سیستم عایقی تجهیزات مختلف فشار قوی پیدا کرده است. دستگاه‌های مختلفی که امروزه برای اندازه‌گیری تخلیه جزئی به کار می‌رود، پارامترهای متفاوتی از آن را آشکارسازی می‌کنند و فرمت ذخیره‌سازی اطلاعات در آنها با یکدیگر متفاوت است. همین موضوع سبب شده است که دستگاه‌های اندازه‌گیری مختلف کارایی متفاوتی در زمینه تعیین عیب تخلیه جزئی داشته باشند. در این مقاله با بررسی فرمت ذخیره‌سازی چند دستگاه مختلف اندازه‌گیری، توانایی هر یک در تولید الگوهای مفید جهت تشخیص انواع عیوب تخلیه جزئی مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. برای این منظور علاوه بر استفاده از اطلاعات موجود در بانک اطلاعاتی این دستگاه‌ها، از نتایج تجربی حاصل از اندازه‌گیری بر روی عیوب مصنوعی نیز بهره گرفته شده است.

۱- مقدمه

تجهیزات فشار قوی شبکه‌های قدرت، بسیار گرانقیمت بوده و بخش عمده‌ای از سرمایه‌گذاری در بخش انتقال انرژی الکتریکی را به خود اختصاص می‌دهند. بنابراین هر اقدامی جهت افزایش عمر مفید آنها، صرفه‌جویی هنگفتی در هزینه‌های سیستم‌های انتقال برق در پی خواهد داشت و کنترل کیفی دقیق آنها پس از تولید و مونتورینگ در حین کار از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است. در این راستا امروزه از روش‌های مختلفی برای تشخیص عایقی بهره برده می‌شود که اندازه‌گیری تخلیه جزئی^۱ (PD) از مهمترین این روش‌ها به شمار می‌رود.

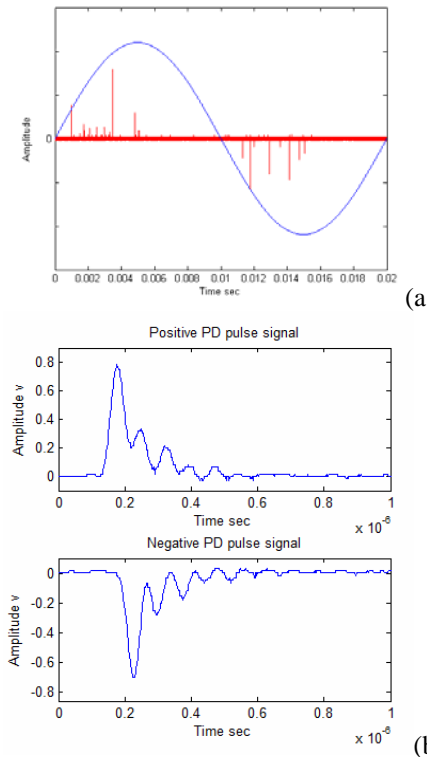
آشکارسازی سیگنال‌های تخلیه جزئی این امکان را فراهم می‌سازد که قبل از تبدیل یک عیب کوچک به خطایی مخرب، نسبت به ترمیم و اصلاح تجهیزات اقدام نمود. همچنین با تعیین درست نوع عیب تخلیه جزئی در تجهیزاتی که در حال کار در شبکه هستند می‌توان درک درستی از میزان سلامت

^۱ Partial Discharge

بیست و سومین کنفرانس بین‌المللی برق

۲- بررسی تخلیه جزئی و دسته بندی فرمت‌های ذخیره-سازی اطلاعات آن

در فعالیت تخلیه جزئی، پالسهای با عرض زمانی بسیار کم (کسری از نانوثانیه) رخ می‌دهند که دارای طیف فرکانسی بسیار وسیعی (در حدود گیگاهرتز) هستند. به عنوان مثال، در شکل ۱ فعالیت PD بر روی پوشینگ ۶۳kV یک ترانسفورماتور در یک سیکل کامل ولتاژ تحریک به همراه تک‌پالسهای مربوطه نشان داده شده است. این تخلیه جزئی بر اثر بالا بودن میدانهای الکتریکی مماسی در روی سطح پوشینگ ایجاد شده است.



شکل ۱ - تخلیه جزئی بر روی سطح یک پوشینگ ۶۳kV

ترانسفورماتور، (a) فعالیت تخلیه جزئی در یک سیکل کامل، (b)

شکل موج تک‌پالسهای مثبت و منفی در حوزه زمان.

با توجه به عدم دسترسی به اطلاعات فیزیکی منبع ایجاد کننده منبع PD و همچنین مشکلات پیش رو در شبیه‌سازی آن، زمان و فاز وقوع هر یک از پالسهای آن و همچنین دامنه آنها کمیتهایی غیر قابل پیش‌بینی هستند. به این علت فرض می‌شود که ترتیب وقوع پالسهای PD و کمیتهای مربوطه دارای مقادیر تصادفی هستند. با این حال بررسیها نشان می‌دهد که مجموعه این پالسها دارای رفتاری ثابت بوده و برای عیوبی با

عایقی آنها بدست آورد و با تخمین شدت و 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 از مدار و اجتناب از صرف هزینه‌های گزاف قطع برق، از وارد شدن آسیب به آنها در اثر خطا نیز جلوگیری به عمل آمده و تعمیر دوباره آنها با هزینه کمتری انجام می‌پذیرد.

از روی پارامترهایی که دستگاههای اندازه‌گیری برای هر فعالیت PD در اختیار قرار می‌دهند، الگوهای مختلفی برای مطالعه رفتار آنها استخراج می‌شود. مشخص شده است که رابطه نزدیکی بین این الگوها و منبع ایجاد کننده تخلیه جزئی وجود دارد و امروزه تلاش‌های فراوانی برای نسبت دادن این الگوها به نوع عیب در حال انجام است.

هر یک از سیستم‌های اندازه‌گیری موجود PD پارامترهای متفاوتی از آن را آشکار کرده و ذخیره می‌نمایند. از آنجا که تولید الگوهای گرافیکی به شدت به پارامترهای اندازه‌گیری شده وابسته است، دقت تشخیص عیب توسط دستگاههای مختلف متفاوت می‌باشد. از این رو لازم است فرمت‌های مختلفی که امروزه برای ذخیره‌سازی اطلاعات تخلیه جزئی مورد استفاده قرار می‌گیرند و همچنین دقت تشخیص عایقی که به کمک آنها حاصل می‌شود، بررسی گردد تا دستگاه اندازه‌گیری تخلیه جزئی طوری انتخاب شود که از یک طرف مناسب با تجهیز فشار قوی مورد نظر باشد و از طرف دیگر کارکرد مورد انتظار از مونیتورینگ PD را برآورده کند.

برای این منظور در این مقاله، با بررسی پارامترهای بدست آمده از چند سیستم اندازه‌گیری مختلف و معرفی فرمت ذخیره‌سازی اطلاعات PD در آنها، به مقایسه توانایی هر یک از این فرمت‌ها در تولید الگوهای مفید در زمینه تشخیص نوع عیب پرداخته شده است. سپس به کمک اندازه‌گیریهای عملی بر روی عیوب مصنوعی PD، کارایی آنها در تعیین نوع عیب به صورت تجربی مورد بحث و بررسی قرار گرفته است.

بیست و سومین کنفرانس بین‌المللی برق

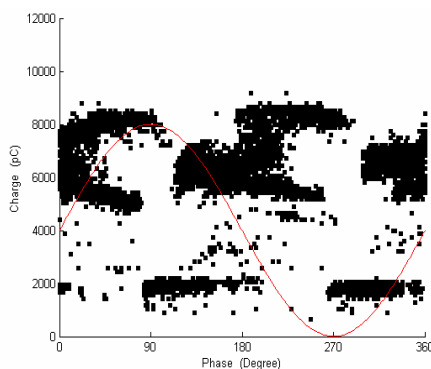
۱-۲ فرمت الگوهای حوزه فاز PD

در فرمت ذخیره‌سازی PRPD، فاز وقوع پالسهای تخلیه جزئی مهمترین کمیتی است که در روند تشخیص عیب مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این بخش نحوه ذخیره‌سازی داده‌ها در دو دستگاه مختلف که از این فرمت اطلاعاتی استفاده می‌کنند تشریح شده است.

۱-۱-۲ فرمت PRPD #1

در این فرمت اطلاعاتی تنها بار ظاهری و فاز وقوع فعالیت PD ذخیره می‌شود. به عبارت دیگر نحوه ذخیره‌سازی داده‌ها فعالیت تخلیه جزئی در این فرمت اطلاعاتی در قالب الگوی $q-\phi$ است. بسیاری از دستگاه‌های اندازه‌گیری که بر روی ژنراتورهای نیروگاه‌های آبی ایران نصب شده‌اند از این نوع فرمت ذخیره‌سازی بهره می‌برند.

توسط این فرمت یک ماتریس 100×100 از داده‌های PD حاصل می‌شود که اندیس ستونها و سطرها آن به ترتیب معرف تقسیمات فاز و بار ظاهری پالسهای PD در الگوی مذکور است. مقدار هر یک از اجزاء این ماتریس به صورت باینری است و بسته به وقوع پالسهایی با بار ظاهری و فاز متناسب با آن جزء، برابر با یک و در غیر این صورت برابر با صفر انتخاب می‌شود. یک نمونه از این الگو در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲- الگوی $q-\phi$ فعالیت PD در یک هیدروژنراتور که با فرمت PRPD #1 ذخیره شده است.

۲-۱-۲ فرمت PRPD #2

در این نوع فرمت از ذخیره‌سازی، علاوه بر فاز وقوع و بار ظاهری، تعداد رخداد پالسهایی که فاز و بار ظاهری مشابه

نوع یکسان دارای مشخصاتی مشابه می‌باشند. لذا در تشخیص نوع عیب، معمولاً یک مجموعه آماری که متشکل از چندین پالس تولید شده در فعالیت PD مربوطه می‌باشد، مورد مطالعه قرار می‌گیرد. بنابراین عملیات ذخیره‌سازی پارامترهای فعالیت PD بایستی برای مدت زمانی برابر با چندین سیکل ولتاژ اعمالی، انجام پذیرد تا همه مشخصات آماری آن استخراج گردد [۴ و ۵].

پس از آشکارسازی PD لازم است اطلاعات بدست آمده برای مطالعات بعدی ذخیره‌سازی گردد تا بعداً با بررسی‌های دقیقتر به تعیین نوع عیب عایقی ایجاد کننده تخلیه جزئی، شدت و تخمین محل وقوع آن در تجهیز مورد تست پرداخته شود. امروزه دستگاه‌های اندازه‌گیری تخلیه جزئی به سیستم‌های نمایش دیجیتال مجهز شده‌اند که آنها را قادر می‌سازد اطلاعات تخلیه جزئی را ذخیره کنند. دستگاه‌های مختلف اندازه‌گیری، ویژگیهای متفاوتی از تخلیه جزئی را ثبت کرده و در اختیار قرار می‌دهند که این امر منجر به تنوع در فرمت ذخیره‌سازی اطلاعات PD می‌گردد. هر یک از این فرمتها قابلیت‌های متفاوتی در زمینه تشخیص عیب دارند. به همین دلیل باید بررسیهایی انجام گیرد تا کارایی هر یک از آنها مشخص گردد.

سیستمهای تجاری اندازه‌گیری الکتریکی PD دارای پهنای باند آشکارسازی محدودی بوده و تنها قادرند چهار پارامتر مهم هر تک پالس PD شامل بار ظاهری، فاز وقوع نسبت به ولتاژ اعمالی، زمان وقوع و مقدار لحظه‌ای ولتاژ اعمالی را اندازه‌گیری کنند [۱-۵]. به این نوع از داده‌های تخلیه جزئی که فاز وقوع پالسها، کلیدیترین پارامتر در تعیین نوع عیب محسوب می‌شود اطلاعات PD در حوزه فاز^۱ (PR) اطلاق می‌گردد. این فرمت اطلاعاتی به نوبه خود به دو بخش مهم دیگر تقسیم می‌شود که امروزه به صورت گسترده‌ای در سیستمهای اندازه‌گیری مورد استفاده قرار می‌گیرند که عبارتند از فرمت الگوهای حوزه فاز تخلیه جزئی^۲ (PRPD) و فرمت الگوهای حوزه فاز پالسهای متوالی تخلیه جزئی^۳ (PRPS). در این بخش به بررسی نحوه ذخیره‌سازی داده‌ها در هر یک از این فرمت‌های اطلاعاتی پرداخته شده است [۱، ۲ و ۵].

¹ Phase Resolved data format

² Phase Resolved PD patterns

³ Phase Resolved Pulse Sequence PD patterns

بیست و سومین کنفرانس بین‌المللی برق

۲-۲- فرمت الگوهای حوزه فاز پالسهای متوالی PD

هر پالس تخلیه جزئی در محل وقوع خود یونها و ذرات پایدار برانگیخته‌ای از خود باقی می‌گذارد که بدلیل هدایت سطحی و حجمی کم عایق در موضع تخلیه، برای مدت زمانی بیشتر از فاصله زمانی متوسط بین پالسهای متوالی، باقی می‌مانند و شرایط فیزیکی برای وقوع پالس بعدی تغییر می‌دهند. بنابراین در پدیده تخلیه جزئی وقوع پالسهای جدید متأثر از پالسهای قبلی است. لذا برای تعبیر فیزیکی درست از نوع PD، باید توالی وقوع پالسها را مد نظر قرار داد [۱، ۲ و ۶].

از آنجا که در فرمت‌های PRPD، اطلاعات تخلیه جزئی به صورت تجمعی و بدون در نظر گرفتن توالی وقوع آنها ذخیره می‌شود، نمی‌تواند درک مناسبی از ماهیت تخلیه جزئی در اختیار قرار دهد. برای رفع این مشکل برخی از دستگاههای اندازه‌گیری، توالی وقوع پالسهای PD را به صورت رشته‌ای از داده‌ها ذخیره می‌کنند که به فرمت ذخیره‌سازی PRPS مشهور است. در این فرمت ذخیره‌سازی، به ازای وقوع هر پالس تخلیه جزئی، عنصری به صورت $q_i(\varphi_i, u_i, n_i)$ به فایل ذخیره‌سازی افزوده می‌شود که در آن q_i ، φ_i ، u_i و n_i به ترتیب برابر با بار ظاهری، فاز، مقدار لحظه‌ای ولتاژ اعمالی و شماره سیکل آن در هنگام وقوع پالس‌های PD هستند [۱، ۲ و ۵].

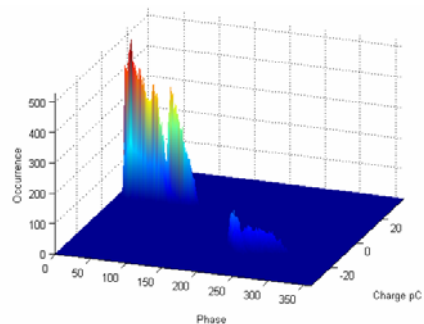
یکی از ویژگیهای بسیار مهمی که به کمک فرمت PRPS قابل حصول است، اختلاف ولتاژ لحظه‌ای پالسهای متوالی تخلیه جزئی است که رابطه نزدیکی با تغییرات بار الکتریکی انتقالی در محل وقوع آن دارد که به صورت زیر محاسبه می‌شود:

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

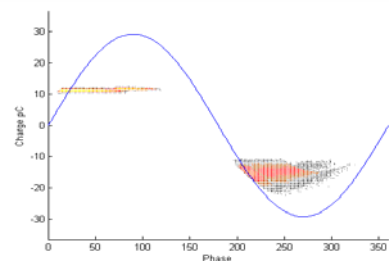
مقایسه توانایی فرمت‌های ذخیره‌سازی PD در تولید الگوهای مفید در تشخیص نوع عیب کارایی فرمت‌های مختلف ذخیره‌سازی اطلاعات تخلیه جزئی را می‌توان از طریق مقایسه الگوهای تولید شده توسط هر یک از آنها بررسی نمود. در زمینه تشخیص نوع عیب PD تا کنون الگوهای مختلفی مورد استفاده قرار گرفته‌اند که از جمله مفیدترین آنها می‌توان به الگوهای $\varphi-q$ ، $\varphi-q_p$ ، $\varphi-n$ ، $\varphi-q-n$ ، $\varphi-q$ اشاره کرد. برای مثال، در شکل ۴ $n-\Delta u$ و $\Delta u_i - \Delta u_{i-1}$

دارند نیز ثبت می‌گردد. به عبارت دیگر می‌توان گفت که این نوع از فرمت PRPD به گونه‌ای است که بتوان از آن یک الگوی گرافیکی سه بعدی پرکاربرد، تحت عنوان الگوی $\varphi-q-n$ را تولید کرد. دستگاههایی که از این فرمت بهره می‌برند، از یک ماتریس $m \times n$ برای ذخیره‌سازی اطلاعات استفاده می‌کنند که در آن m برابر با تعداد تقسیمات فازی و n برابر با تعداد تقسیمات بین مقدار ماکزیمم و مینیمم بار ظاهری قابل اندازه‌گیری است. به عنوان مثال، یک دستگاه تجاری که امروزه به طور گسترده‌ای برای اندازه‌گیری PD به کار می‌رود دارای یک ماتریس ذخیره‌سازی 256×256 است. هر یک از اجزای این ماتریس برابر با تعداد وقوع پالسهای است که دارای فاز وقوع و بار ظاهری مشابه، متناسب با موقعیت آن جزء در ماتریس، هستند.

الگوی $\varphi-q-n$ یک ژنراتور که به دلیل وجود حفره در ساختمان عایقی آن رخ داده، و در قالب این فرمت ذخیره شده در شکل ۳-a نمایش داده شده است. در این الگو، بعد سوم برابر با تعداد وقوع پالسهای مشابه می‌باشد. همانگونه که در شکل ۳-b نشان داده شده، بعد سوم الگوی مذکور را می‌توان به صورت رنگ در الگوی دو بعدی $\varphi-q$ نیز نشان داد که به این نمودار در اصطلاح توپوگرام گفته می‌شود.



(a)



(b)

شکل ۳- (a) الگوی $\varphi-q-n$ و (b) توپوگرام $\varphi-q$ برای فعالیت PD در حفره موجود در عایق ژنراتور که با فرمت PRPD #2 ذخیره شده است.

بیست و سومین کنفرانس بین‌المللی برق

با توجه به مطالب بخش قبل به وضوح مشخص است که فرمت PRPS جامع‌تر از فرمت‌های PRPD بوده و علاوه بر همه اطلاعاتی که در آنها موجود می‌باشد، قادر است اطلاعات بیشتری را در اختیار بگذارد. از این رو می‌توان گفت که توانایی فرمت PRPS در تولید الگوهای مختلف بسیار بیشتر از فرمت‌های PRPD است. همچنین فرمت #2 PRPD از فرمت #1 PRPD کاملتر بوده و حاوی اطلاعات بیشتری نسبت به آن می‌باشد و لذا می‌تواند الگوهای بیشتری را نسبت به آن تولید کند.

در جدول ۱ امکان تولید هر یک از الگوهای فوق‌الذکر با توجه به فرمت ذخیره‌سازی داده‌های PD نشان داده شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود که با فرمت PRPS می‌توان همه الگوهای مذکور را ایجاد کرد در حالی که با فرمت‌های PRPD #1 و #2، امکان تولید الگوهای محدودی وجود دارد. لازم به ذکر است که الگوهای تولید شده توسط PRPS بسیار بیشتر از الگوهای موجود در جدول ۱ است، ولی برای رعایت اختصار تنها چند مورد از مهمترین آنها ذکر شده است [۵].

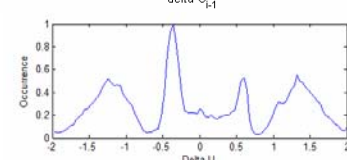
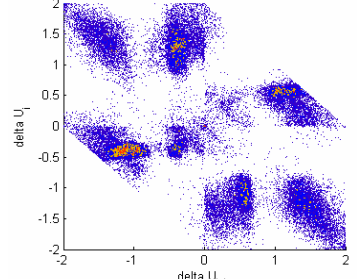
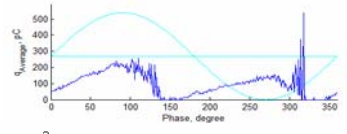
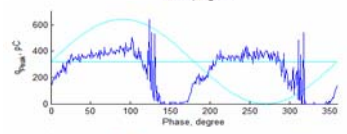
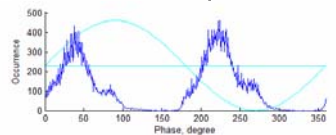
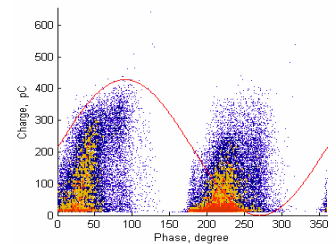
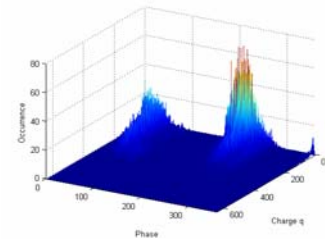
جدول ۱- توانایی فرمت‌های اطلاعاتی مختلف

در تولید الگوهای PD.

	PRPD #1	PRPD #2	PRPS
$\varphi-q$	✓	✓	✓
$\varphi-q-n$		✓	✓
$\varphi-n$		✓	✓
$\varphi-q_p$	✓	✓	✓
$\varphi-q_a$		✓	✓
$\Delta u_i - \Delta u_{i-1}$			✓
$n - \Delta u$			✓

همانگونه که در مراجع [۱، ۲ و ۶] اشاره شده است، با توجه به این که الگوهای مبتنی بر فاز، توالی وقوع پالسها را در نظر نمی‌گیرند انتظار می‌رود از توانایی کمتری برای تعیین نوع عیب برخوردار باشند. ولی از آنجا که الگوهای $\Delta u_i - \Delta u_{i-1}$ و $n - \Delta u$ بر مبنای اختلاف و تناژ لحظه‌ای پالسهای متوالی

الگوهای فعالیت تخلیه جزئی در یک ترانسفورماتور قدرت ۲۰MVA، ۱۳۲kV/۳۳kV نشان داده شده است که با فرمت PRPS ذخیره شده است.



شکل ۴- الگوهای مهم تخلیه جزئی در یک ترانسفورماتور. (a) الگوی $\varphi-q-n$ ، (b) توپوگرام $\varphi-q$ ، (c) الگوی $\varphi-n$ ، (d) الگوی $\varphi-q_p$ ، (e) الگوی $\varphi-q_a$ ، (f) الگوی $\Delta u_i - \Delta u_{i-1}$ و (g) الگوی $n - \Delta u$.

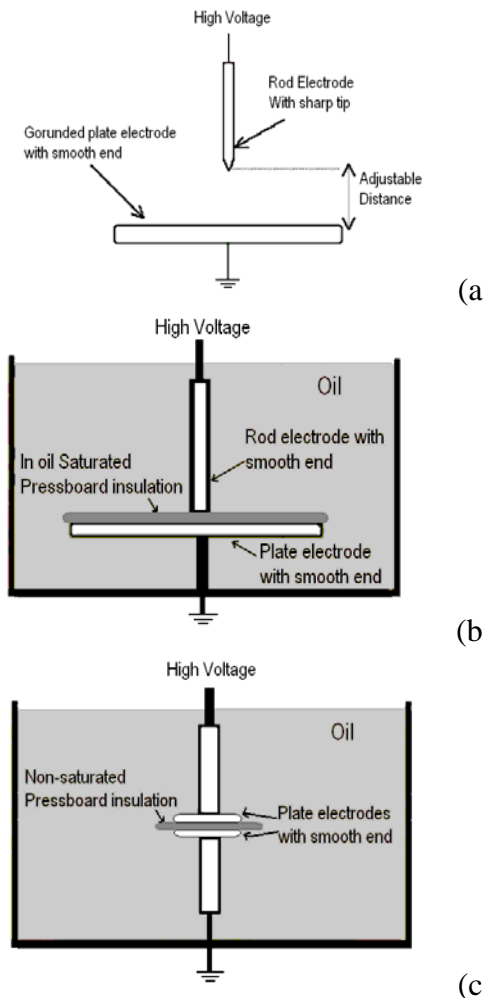
بیست و سومین کنفرانس بین‌المللی برق

برای شبیه‌سازی کرونا در هوا از الکترودهای سوزن-صفحه استفاده شد (شکل ۵-۵a). به این ترتیب با اعمال ولتاژ به این الکترودها، شاهد وقوع کرونا در الکتروود سوزنی شکل بودیم. همچنین با قرار دادن یک عایق پرس‌برد اشباع شده در روغن بین الکترودهای استوانه‌ای-صفحه‌ای شکل و ایجاد میدان الکتریکی مماسی بر روی سطح آن، تخلیه سطحی ایجاد گردید (شکل ۵-۵b). برای ایجاد تخلیه جزئی از نوع تخلیه در حفره نیز، طبق شکل ۵-۵c با قرار دادن عایق پرس‌برد اشباع نشده از روغن بین دو الکتروود صفحه‌ای شکل، ولتاژ فشار قوی به آن دو اعمال گردید. الگوهای مختلف هر یک از این سه نوع تخلیه جزئی در شکل ۶ نمایش داده شده است.

تخلیه جزئی استوار هستند، توانایی بیشتری در این زمینه دارند.

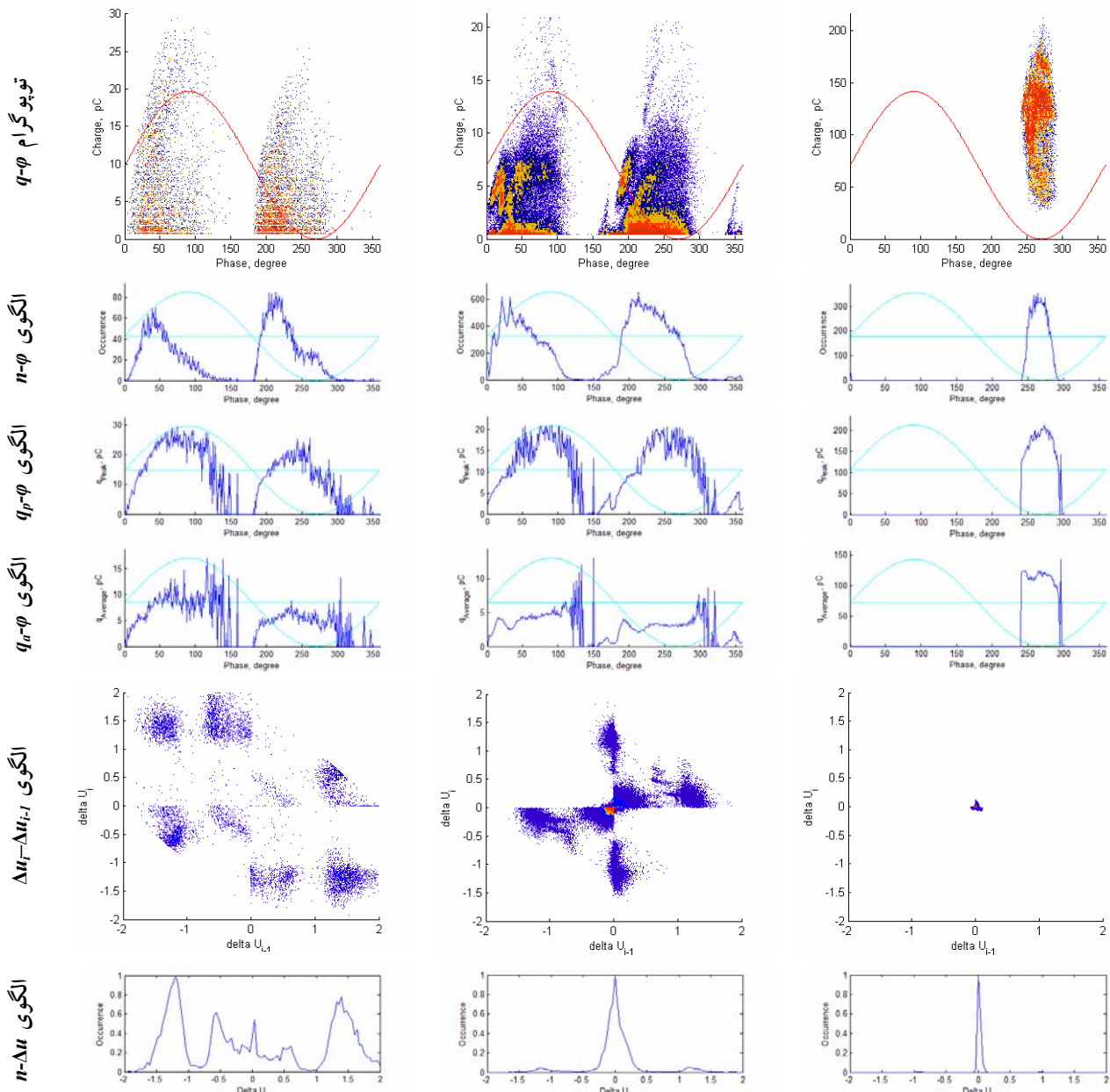
۳- نتایج آزمایشگاهی

سه نوع مهم از انواع عیوب PD که ممکن است در تجهیزات فشار قوی روی دهند عبارتند از کرونا، تخلیه سطحی و تخلیه در حفرات داخل عایق. برای بررسی کارایی الگوهای مختلف در تشخیص و تفکیک این عیوب، به کمک مدار آزمایش دو الکتروودی اقدام به تولید عیوب مصنوعی تخلیه جزئی شده و اطلاعات هر یک از آنها ذخیره گردید (شکل ۵).



شکل ۵- آرایشهای مختلف مدار آزمایش دو الکتروودی برای ایجاد عیوب مصنوعی تخلیه جزئی: (a) کرونا در هوا، (b) تخلیه سطحی بر روی پرس‌برد و (c) تخلیه جزئی در حفرات و حبابهای داخل پرس‌برد.

بیست و سومین کنفرانس بین‌المللی برق



شکل ۶- الگوهای مهم عیوب مصنوعی تخلیه جزئی. ستون راست: الگوهای کرونا ،

ستون وسط: الگوهای تخلیه سطحی و ستون چپ: الگوهای تخلیه جزئی در حفرات و حبابهای داخل پرس‌برد.

۴- بررسی کارایی الگوهای مختلف در تعیین عیب

تشخیص نوع عیب تخلیه جزئی را می‌توان به دو طریق مختلف انجام داد، از طریق افراد خبره یا روشهای کامپیوتری. در این بخش کارایی الگوهای مختلف در تعیین نوع عیب توسط هر یک از این دو روش بررسی شده است. لازم به ذکر است که همه فایل‌های اطلاعاتی PD که در این بخش مورد استفاده قرار گرفته‌اند در قالب فرمت PRPS

ذخیره شده‌اند. با این حال با مقایسه الگوهای $\varphi-q$ و $\varphi-q_p$ این فایل‌های اطلاعاتی می‌توان به کارایی فرمت #1 PRPD پی برد. همچنین برای بررسی میزان کارایی فرمت #2 PRPD، می‌توان به مقایسه الگوهای $\varphi-q$ ، $\varphi-q_p$ ، $\varphi-n$ ، $\varphi-q-n$ فایل‌های اطلاعاتی PD پرداخت. برای تعیین کارایی فرمت PRPS نیز الگوهای $\Delta u_i - \Delta u_{i-1}$ و $n - \Delta u$ که تنها توسط این فرمت بدست می‌آیند، مقایسه می‌شوند. البته باید در نظر

بیست و سومین کنفرانس بین‌المللی برق

۴-۲- تشخیص عیب توسط برنامه‌های کامپیوتری

مهمترین کاربرد الگوهای $\varphi-n$, $\varphi-q_p$, $\varphi-q_a$ و استخراج مشخصه‌های آماری از توزیع‌های دوبعدی آنها است که در تعیین اتوماتیک عیب توسط برنامه‌های کامپیوتری کاربرد دارد [۴ و ۵]. مهمترین مشخصه‌های آماری که تا کنون در این زمینه مورد استفاده قرار گرفته‌اند عبارتند از مقدار ماکزیمم، مقدار میانگین، انحراف معیار، ضریب همبستگی بین دو نیم سیکل منفی و مثبت و ... [۴]. به مجموعه مشخصه‌های آماری استخراج شده از این الگوها، بردار ویژگی آنها اطلاق می‌شود. همچنین اخیراً از توزیع (الگوی) $n-\Delta u$ در تعیین نرم‌افزاری نوع عیب استفاده شده است [۶]. در شکل ۶ مشاهده می‌شود که الگوهای $n-\Delta u$ برای عیوب مختلف کاملاً متفاوت بوده و دارای قدرت تفکیک‌کنندگی بالایی بین عیوب مختلف است. این الگو نیز که مبتنی بر توالی وقوع پالسهای PD است فقط به وسیله فرمت PRPS بدست می‌آید. در مرجع [۶] از عناصر توزیع $n-\Delta u$ به عنوان بردار ویژگی در تشخیص نرم-افزاری نوع PD استفاده شده است.

اساس تعیین اتوماتیک نوع عیب فعالیت تخلیه جزئی ناشناخته، بر مقایسه بردار ویژگی آن با بردارهای ویژگی فعالیت‌های تخلیه جزئی تجربه شده قبلی، که نوع آنها قبلاً مشخص شده است، استوار می‌باشد. به این دسته از فعالیت‌های شناخته شده PD، بانک اطلاعاتی گفته می‌شود. در این صورت نوع عیب تخلیه جزئی جدید با نوع عیب فعالیت تخلیه جزئی موجود در بانک اطلاعاتی که دارای کمترین فاصله با یکدیگر هستند، یکسان در نظر گرفته می‌شود. در اینجا برای مقایسه دو فعالیت PD، از روش محاسبه فاصله اقلیدسی بردار ویژگی آنها استفاده شده است [۴]:

$$(۲) \quad d(X, Y) = \sqrt{\sum_{i=1}^M (x_i - y_i)^2}$$

که در آن X و Y بردارهای ویژگی دو عیب PD و M برابر با تعداد عناصر هر یک از این بردارها است.

برای بررسی میزان کارایی هر یک از فرمت‌های ذخیره‌سازی اطلاعات، علاوه بر نتایج آزمایش‌های تجربی انجام شده، از بانک اطلاعاتی یک دستگاه تجاری اندازه‌گیری PD نیز

داشت از آنجا که همه الگوهای ذکر شده توسط فرمت PRPS قابل تولید هستند، این فرمت اطلاعاتی همه مزایای فرمت‌های PRPD را نیز خواهد داشت، در حالی که عکس این مطلب صحیح نیست. به این ترتیب برای بررسی توانایی هر یک از فرمت‌ها به بررسی قابلیت الگوهای آن در تعیین نوع عیب پرداخته می‌شود و برای مقایسه دو فرمت اطلاعاتی نیز قابلیت الگوهایی که فقط توسط یکی از آن دو تولید می‌شوند بررسی می‌گردد.

۴-۱- تشخیص عیب توسط فرد خبره

امروزه الگوی $\varphi-q-n$ بیشترین کاربرد را در زمینه تشخیص عیب توسط فرد خبره داراست [۳ و ۴]. از مهمترین مشخصات این الگو که در زمینه تشخیص نوع عیب کاربرد دارد می‌توان به پارامترهایی چون فاز شروع و پایان خوشه‌های PD در دو نیم سیکل، چگالی نسبی وقوع پالسهای PD، مقایسه شکل کلی خوشه‌های PD در دو نیم سیکل منفی و مثبت و لثاژ اعمالی و ... اشاره کرد. همانطور که ملاحظه می‌شود شناسایی کرونا به کمک این پارامترها به راحتی قابل انجام است ولی تشخیص دو عیب تخلیه سطحی و تخلیه در حفره از یکدیگر به سختی امکان‌پذیر است.

از آنجا که در الگوی $\varphi-q$ حاصل از فرمت PRPD #1، چگالی نسبی نقاط مشخص نیست، وظیفه تشخیص عیب توسط آن کار بسیار دشواری خواهد بود و لذا فرمت PRPD #2 که تعداد وقوع پالسها را در اختیار می‌گذارد، نتایج بهتری را نسبت به PRPD #1 در پی خواهد داشت.

یکی دیگر از الگوهایی که اخیراً در زمینه تشخیص عیب توسط افراد خبره کاربرد یافته است، الگوی $\Delta u_i - \Delta u_{i-1}$ می‌باشد که تنها به کمک فرمت PRPS قابل حصول است. همانگونه که در شکل ۶ ملاحظه می‌شود برای هر یک از انواع عیوب، تعداد خوشه‌های موجود در این الگو، محل قرار گرفتن آنها و چگالی نسبی هر یک منحصر به فرد می‌باشد. با در نظر گرفتن این مشخصات، تشخیص نوع عیب با استفاده از این الگو به راحتی قابل انجام است.

بیست و سومین کنفرانس بین‌المللی برق

الگوهای هر یک مطالعه شد. مشخص گردید که فرمت PRPS نسبت به فرمت #2 PRPD، و همچنین فرمت #2 PRPD نیز نسبت به فرمت #1 PRPD جامع‌تر بوده و اطلاعات و الگوهای بیشتری را جهت تعیین نوع عیب تخلیه جزئی در اختیار قرار می‌دهند.

همچنین برای بررسی عملی کارایی هر یک از الگوهای PD، طی آزمایشهایی اقدام به تولید عیوب مصنوعی از نوع کرونا، تخلیه سطحی و تخلیه در حفره گردید. با مقایسه الگوهای تولید شده توسط سه فرمت مذکور، معلوم گردید که تشخیص نوع عیب PD به کمک همه این الگوها امکان‌پذیر است. با این حال مشخص گردید که فرمت PRPS نه تنها به دلیل امکان تولید الگوهای بیشتر، بلکه به دلیل کیفیت بالای الگوهای مبتنی بر توالی وقوع پالسهای PD که تنها بوسیله این فرمت قابلیت ایجاد دارند، بهترین کارایی را در زمینه تشخیص نوع تخلیه جزئی را دارد.

مراجع

1. H. R. Mirzaei, A. Akbari, M. Kharezi, A. M. Jafari, "Experimental Investigation of PD Diagnosis Based on Consecutive Pulses Data", International Conference on Condition Monitoring and Diagnosis, Beijing, China, April 2008.
2. حسن رضا میرزایی، اصغر اکبری، علی مذهب‌جعفری و محمد خارزی، "اثر حافظه‌ای پالسهای متوالی تخلیه جزئی و کاربرد آن در تعیین نوع عیب عایقی تجهیزات فشار قوی"، بیست و دومین کنفرانس بین‌المللی برق، تهران، ایران، ۱۳۸۶.
3. IEC 60270, "High-voltage test techniques-Partial discharge measurements", Ed. 2000.
4. N. C. Sahoo, M. A. Salama, "Trends in Partial Discharge Pattern Classification: A Survey", IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 12, No. 2, April 2005
5. 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. 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.

استفاده گردید. سپس فایل‌های اطلاعاتی تخلیه جزئی گردآوری شده در دو گروه تقسیم بندی شدند. در گروه اول که به عنوان بانک اطلاعاتی مورد استفاده قرار گرفت، از هر یک از عیوب کرونا، تخلیه سطحی و تخلیه جزئی در حفره به ترتیب ۸، ۵ و ۵ فایل اطلاعاتی قرار داده شد. گروه دوم نیز که برای سنجش میزان کارایی الگوها به کار گرفته شد، به ترتیب شامل ۷، ۵ و ۵ فایل اطلاعاتی از هر یک از عیوب فوق‌الذکر بود. به این ترتیب، با مقایسه فایل‌های اطلاعاتی گروه دوم به عنوان عیوب ناشناخته PD با فایل‌های اطلاعاتی گروه اول و قیاس نوع عیب تخمین زده شده با نوع عیب واقعی آنها، معیاری از کارایی هر یک از این الگوها بدست آمد که نتایج آن در جدول ۲ آمده است.

جدول ۲- درصد تشخیص درست نوع عیب با استفاده از الگوهای مختلف.

تخلیه در حفره	الگوهای مختلف	
	تخلیه سطحی	کرونا
۶۰٪	۶۰٪	۱۰۰٪
۸۰٪	۶۰٪	۱۰۰٪
۸۰٪	۱۰۰٪	۱۰۰٪

همانطور که در جدول فوق مشاهده می‌شود دقت تشخیص به کمک الگوی $n-\Delta u$ بسیار بیشتر از الگوهای دیگر است. در نتیجه فرمت ذخیره‌سازی PRPS که فقط به کمک آن امکان تولید این الگو وجود دارد بهترین کارایی را در زمینه تعیین نوع عیب تخلیه جزئی خواهد داشت. همچنین ملاحظه می‌شود که فرمت #1 PRPD کمترین دقت را در تشخیص PD دارد.

نتیجه‌گیری

به منظور بررسی تأثیر فرمت‌های مختلف اطلاعات PD در تعیین و تشخیص نوع عیب، فرمت ذخیره‌سازی سه دستگاه اندازه‌گیری تجاری که امروزه به طور گسترده‌ای در مونتورینگ تخلیه جزئی مورد استفاده قرار می‌گیرند معرفی و