



بررسی تکنیک های تشخیص تخلیه جزئی برای تجهیزات ولتاژ بالا در سیستم های قدرت

شهاب الدین نیکوخصال^۱، پارسا ثروتی^۲، احمد مرادی^۳

^۱- دانشکده مهندسی برق، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران pes.nikookhesal@gmail.com

^۲- دانشکده مهندسی برق، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران servatiparsa7@gmail.com

^۳- دانشکده مهندسی برق، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران st_ahmad_moradi@azad.ac.ir

چکیده: در سیستم های قدرت مدرن، شرایط بر پایه ی نظارت و تشخیص برای اطمینان از عملکرد مؤثر و قابل اطمینان تجهیزات ولتاژ بالای مختلف ضروری است. در مقایسه با تکنیک های دیگر نظارتی، سنجش تخلیه جزئی به عنوان روش کلیدی برای محاسبه شرایط سلامت عایقی در نظر گرفته میشود. فواید بررسی شرایط تخلیه جزئی از تجهیزات ولتاژ بالا میتواند توسط تشخیص مناسب، شناسایی و تفسیر سیگنال تخلیه جزئی بسط داده شود. میان هردو تکنیک بررسی تخلیه جزئی آنالین و افلاین، نظارت آنالین تخلیه جزئی تکنیک بسیار مفید در سیستم نظارت که به کاهش شکست اجزای سیستم قدرت کمک میکند است. بنابراین برای فهم پیشرفت ها و روندها در تئوری و در عمل، پایه گذاری یک تحلیل جامع تکنیک های نظارتی تخلیه جزئی آنالین جاری برای تجهیزات ولتاژ بالا در سیستم های قدرت ضروری است. این مقاله یک بررسی متون فشرده ای از تکنیک های نظارتی آنالین تخلیه جزئی جاری که برای اجزای الکتریکی ولتاژ بالای مختلف در سیستم های قدرت به کار میرود را فراهم میکند. در آخر، یک تکنیک هوشمند نظارت تخلیه جزئی بر اساس برد سنسور بی سیم ارائه میدهد. چهارچوب هوشمند نظارت تخلیه جزئی ارائه شده میتواند برای به درستی تخمین زدن افت عایقی در تجهیزات ولتاژ بالا و ارتقاء عملکرد کلی سیستم های قدرت بکار رود.

واژه های کلیدی: روش های تشخیص، تجهیزات ولتاژ بالا، اندازه گیری تخلیه جزئی آنالین، نظارت تخلیه جزئی، طبقه بندی تخلیه جزئی

1- مقدمه

در سیستم های قدرت الکتریکی، علت عمده خرابی قطعات مختلف الکتریکی افت عایقی است. در طی عملکرد معمول هر تجهیز الکتریکی، میدان های الکتریکی در سراسر عایق سالم بین الکترودها بصورت یکنواخت توزیع شده است. با این حال، وقتی عایق شامل مقداری عیوب است (ناخالصی ها، فضاهای خالی، حباب هوا، درخت الکتریکی، رطوبت و درخت ابی)، توزیع غیر یکنواخت میدان های الکتریکی سراسر عایق بین الکترودها تولید میشود. این به دلیل اختلاف ویژگی عایق الکتریکی سالم و عایق معیوب است. بسته به نوع و اندازه عیب، تخلیه جزئی در یک سطح خاص ولتاژ اعمال شده اتفاق می افتاد. در حین فعالیت تخلیه جزئی، قدرت میدان الکتریکی به اندازه ای بالاست که میتواند به نیروی بار نفوذ کند. بطور کلی، هر سیستم عایقی تجهیزات الکتریکی عیوب مشخصه را نشان میدهد که به فاکتور های چندگانه که شامل مشخصات عایق های دی الکتریک، ضخامت، مشخصات بار و... است بستگی دارد.

برای نمونه، بار حرارتی روی مواد عایقی جامد حاوی کاغذ اغشته شده به روغن به کهنه شدن ترانسفورماتور غلبه میکند. در ژنراتورها و موتور های الکتریکی، کهنگی به وسیله فرایند های بارگزاری متعدد الکتریکی، حرارتی و مکانیکی تحت تاثیر قرار میگیرد. بطور مشابه، طول عمر تابلو برق تحت تاثیر تضعیف بوشینگ، انتهای کابل، ترانسفورماتور های جریان و ترانسفورماتور های ولتاژ قرار میگیرد. هدف مقاله ارائه تمام اندازه گیری های مهم تخلیه جزئی، تشخیص ها و تکنیک های نظارت و بطور جامع جمع اوری آنها با لیست مقاله های پژوهشی است که برای ارجاع سریع اضافه شده است. چندین موضوع پژوهش های مدرن با تخلیه جزئی شامل تکنیک های اندازه گیری تخلیه جزئی، تجسم کردن سیگنال تخلیه جزئی و تکنیک های حذف نویز، استخراج مشخصه ها و الگوی طبقه بندی تخلیه جزئی مرتبط است که مورد بحث قرار گرفته است. علاوه بر این، مقایسه تکنیک های اندازه گیری تخلیه جزئی، فایده آنها، محدودیت ها، کارایی ها و کاربرد ها ارائه شده است. روند پژوهش های آینده و چالش ها همچنین مورد بحث قرار گرفته است. فهرست کتب جامع اخیر درباره تخلیه جزئی برای خواست مهندسان، اعضای آکادمی و پژوهش گران که در این زمینه کار میکنند کمک کننده است.

یادآوری مقاله سازماندهی شده به عنوان: بخش 2 پدیده تخلیه جزئی را ارائه میدهد. سیستم نظارت بر تخلیه جزئی در بخش 3 شرح داده شده است. بخش 4 تشخیص سیگنال تخلیه جزئی و تکنیک های اندازه گیری، مقایسه و کاربرد های آنها را ارائه میدهد. بخش 5 تجسم سیگنال تخلیه جزئی و تکنیک های نوین زدایی را ارائه میدهد. بخش 6 چندین روش استخراج ویژگی و روش های طبقه بندی الگوی تخلیه جزئی را ارائه میدهد. بخش 7 سیستم های نظارتی تخلیه جزئی هوشمند مطرح شده را ارائه میدهد. در بخش 8 نتیجه گیری ها رسم شده است.

2- پدیده تخلیه جزئی

مطابق با کمیسیون بین المللی الکترو تکنیکال 60270 استاندارد تکنیکی، تکنیک های تست های ولتاژ و اندازه گیری تخلیه جزئی، تخلیه جزئی به عنوان ((یک تخلیه الکتریکی موضعی است که فقط قسمتی از عایق بودن بین هادیها را پوشش میدهد که ممکن است در مجاورت یک هادی رخ دهد یا ندهد)). اغلب تخلیه جزئی به عنوان پالس های جریان یا ولتاژ که دارای مدت زمان کوتاهی است ظاهر میشود. این پالس ها به ولتاژ اعمال شده، طبیعت مواد الکتریکی و شرایط محیطی بسیار وابسته است. دلایل اصلی تخلیه جزئی عبارت است:

- سطح الودگی و بی نظمی ها در عایق جامد

- خلا های ایجاد شده در مواد عایق جامد در زمان تولید

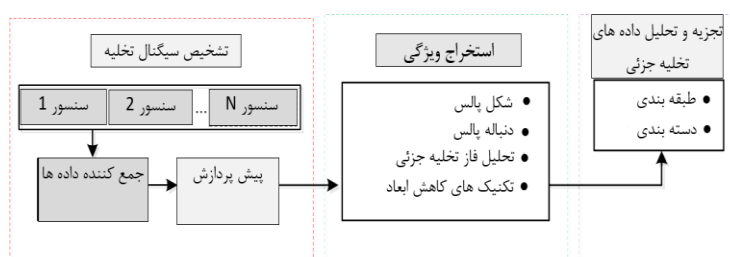
- ترک های ایجاد شده در عایق جامد به دلیل در هم شکستن مکانیکی

برای درک کردن پدیده تخلیه جزئی، لازم است مکانیزم الکتریکی فعالیت تخلیه جزئی و فرمول ریاضیاتی پشت انواع مختلف تخلیه جزئی را فهمید. تخلیه جزئی بطور کلی میتواند به سه دسته از جمله سطح تخلیه، تخلیه داخلی (حفره و ایجاد درخت) و تخلیه کرونا طبقه بندی شود. مشخصه تخلیه جزئی میتواند با استفاده از چندین پارامتر مرتبط با سیگنال تخلیه جزئی ارزیابی شود که اطلاعات در

مورد شدت تخلیه جزئی و شرایط عایقی در تجهیزات ولتاژ بالا فراهم میکند. آنها ولتاژ شروع تخلیه جزئی، شارژ ظاهری جمع شده، عملکرد انرژی انباشته، میانگین جریان تخلیه، قدرت تخلیه و نرخ چهارگانه را شامل میشود.

3- سیستم نظارت بر تخلیه جزئی

فعالیت تخلیه جزئی با استفاده از اختلاف پدیده های قابل اندازه گیری مثل گرما، لرزش، نور، تجزیه گاز و انتشار تشعشعات الکترومغناطیسی میتواند نظارت شود. این پدیده ها با استفاده از انواع آشکار ساز ها از جمله برقی، الکترومغناطیسی، نوری، صوتی و سنسور های شیمیایی و حرارتی میتواند شناسایی شود. قدم های اصلی استفاده شده در تحلیل و بررسی سیگنال های تخلیه جزئی شناسایی سیگنالهای تخلیه جزئی، استخراج ویژگی ها و نمایش سیگنالهای تخلیه جزئی است که در شکل (1) ارائه شده است. هر نوع از ضعف تخلیه جزئی الگو و رفتار جداگانه ای دارد و با بعضی ویژگی های خاص نشان داده میشود. این ویژگی ها با پیش پردازش داده های تخلیه جزئی خام که از سنسور ها بدست آمده استخراج شده است. ویژگی های مهم سیگنالهای تخلیه جزئی خام را به یک دسته از ویژگی های قابل شناسایی تبعیض امیز تبدیل کند. برای شناسایی خطا و تمرکز روی نقطه بخصوصی در تجهیزات ولتاژ بالا، تعریف ویژگی های اماری، زمان صرف شده ویژگی های تخلیه جزئی، ویژگی های حوزه فاز تخلیه جزئی، با پردازش سیگنال تخلیه جزئی از عیوب تخلیه جزئی چندگانه به دست می آید. برای پردازش ویژگی های سیگنالهای تخلیه جزئی، چندین ابزار ریاضیاتی که شامل طبقه بندی کننده واسطه، شبکه عصبی، ماشین بردار پشتیبانی، تحلیل های دنباله پالس، منطق فازی و طبقه بندی کننده های تابع تصمیم گیری هستند. برای تجزیه عیوب تخلیه جزئی در تجهیزات ولتاژ بالا یا با استفاده از خوشه بندی و طبقه بندی استفاده میشوند.



شکل (1): سیستم نظارت تخلیه جزئی تشکیل شده از سه بخش

4- تکنیک های اندازه گیری تخلیه جزئی

علاوه بر روند و بررسی نوع، سنجش و تشخیص تخلیه جزئی نقش حیاتی ای در ارزیابی طول عمر سیستم عایقی ایفا میکند. زمانی که عارضه تخلیه جزئی در سیستم عایقی اتفاق میوفتد، کمیت های قابل تشخیص شامل ولتاژ فرکانس بالا و پالس های جریان، گاز های ساطع شده، درخشش بنفش، صدای خش خش و موج های الکترو مغناطیسی بوجود می آیند. بر اساس مؤلفه های دریافت شده از سنسور تخلیه جزئی، روش های تشخیص تخلیه جزئی به دسته های مختلف تقسیم شده اند. کاربرد هر روش شناسایی تخلیه جزئی بر اساس دامنه شناسایی و کمیت فیزیکی است. جدول (2) تکنیک های اندازه گیری تخلیه جزئی مختلف استفاده شده در سیستم قدرت الکتریکی را ارائه شده.

کمیت های فیزیکی مختلف شامل الگوی تخلیه جزئی و خطی بودن به وسیله هر دو روشهای مرسوم و غیر مرسوم اندازه گیری میشود. تکنیک مرسوم شناسایی تخلیه جزئی بر اساس روش های شناسایی الکتریکی که جریان، مقاومت و فرکانس واکنش سیگنال گرفته شده را اندازه میگیرد است. تکنیک های شناسایی الکتریکی شامل روش خازن کوپلاژ، روش تزویج خازنی پالس و روش مبدل جریان فرکانس بالا است. به واسطه حضور نویز حین اندازه گیری تخلیه جزئی آنلاین، تکنیک مرسوم شناسایی تخلیه جزئی ممکن است حساسیت کمتری از اندازه گیری های آزمایشگاه داشته باشد.

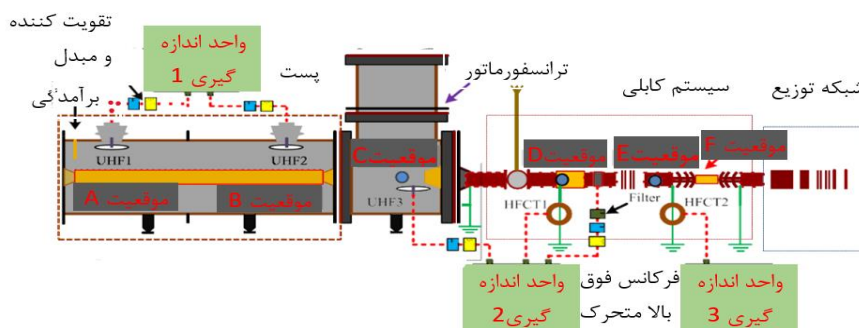
اندازه گیری غیر مرسوم تخلیه جزئی خیلی بیشتر برای اندازه گیری تخلیه جزئی آنلاین و در محل مناسب است که در آن تداخلات خارجی تا حد زیادی سیگنال اندازه گیری شده را تحت تاثیر قرار میدهد. محدوده تشخیص سیگنال تخلیه جزئی با استفاده از تکنیک های تزویج الکتریکی غیر مرسوم افزایش میابد که شامل الکتروود های ورقه فلزی و روش های مبدل جریان است. رایج ترین سیستم برای نظارت مستمر تخلیه جزئی با کمترین تماس فیزیکی بر اساس انواع مختلف سنسور های فرکانس بالا برای کمی سازی تداخل الکترومغناطیسی تولید شده به دلیل فعالیت تخلیه جزئی است. سنسور های تخلیه جزئی بی سیم بر اساس تکنیک های تحلیل و شناسایی فرکانس رادیویی است که یک جایگزین مقرون به صرفه برای سنسور های سیم کشی شده برای تجهیزات ولتاژ بالا ارائه میدهد. گیرنده های رادیویی برای شناسایی و اندازه گیری سیگنال الکترومغناطیسی منتشر شده از پالس جریان 1 تا 1000 نانو ثانیه در طول یک رخداد تخلیه جزئی استفاده میشوند و نیاز به نصب هر سخت افزار اضافی را از بین میبرند. سیگنال تخلیه جزئی الکترومغناطیسی مشابه یک نوسان فروپاشی کلاسیک در یک محدوده ی پهنای باند از 50 تا 1000 مگا هرتز بسته به نوع و ساختار خطا است. اگرچه این معمولا پهنای باند به علت تضعیف سازه های فلزی فرکانس بالا در محیط به 50 تا 800 مگا هرتز محدود است. آنها توانایی فراهم کردن نظارت بی وقفه فعالیت تخلیه جزئی را دارد و میتواند برای تعمیرات قابل پیش بینی مورد استفاده قرار بگیرد. اگرچه کاربرد سنسور های تخلیه جزئی بی سیم در نظارت بر وضعیت بهره مندی سیستم قدرت به دلیل مسائل متعددی مانند تداخل و نویز، دامنه محدود و آسیب پذیر بودن در برابر حملات سایبری همچنان محدود است.

بر اساس نویز و ارتعاش، شناسایی تخلیه جزئی در اجزای مهر و موم شده بدون هیچ گونه باز شدن برای سنسور با استفاده از سنسور های صوتی ساخته شده است. وقوع تخلیه جزئی در گازها باعث فرایند برانگیختگی میشود و یک درخشش بنفش به دلیل یونیزه شدن بوجود می آید که با سنسور نوری قابل شناسایی است. فعالیت تخلیه جزئی در روغن یا شی عایق شده از گاز میتواند واکنش شیمیایی نشان دهد و یک محصول جانبی از واکنش شیمیایی منتشر کند. پیشرفت روش های شیمیایی و نوری برای شناسایی تخلیه جزئی هنوز در حال توسعه است.

1-4- تکنیک اندازه گیری تخلیه جزئی ترکیبی

بطور کلی، تکنیک های شناسایی الکتریکی برای اندازه گیری تخلیه جزئی در شرایط افلاین یا محیط آزمایشگاهی ترجیح داده میشوند، در حالیکه روش های شناسایی الکترومغناطیسی و صوتی را می توان در هر دو شرایط افلاین و آنلاین اعمال کرد. تلاش ها برای ترکیب این دو تکنیک به منظور غلبه بر اشکالات هر روش انجام شده است. بطور خاص، یک راه حل ترکیبی بطور موثر روی ترانسفورماتور و ایستگاه عایق گاز کاربردی است. این نوع رویکرد یکپارچه میتواند وقوع تخلیه جزئی را با دقت و کمیت مقیاس پذیر در یک محیط کم نویز تشخیص دهد.

شکل (3) اندازه گیری تخلیه جزئی آنلاین را با استفاده از هر دو سنسور ترانسفورماتور جریان فرکانس بالا و سنسور فرکانس فوق بالا در ایستگاه عایق گاز با پنج نوع ضعف عایقی ارائه داده است که شامل کرونا در ایستگاه عایق گاز (A)، ضعف های داخلی در ایستگاه عایق گاز (B و C)، کرونا در کابل (D)، پارگی در پایانه کابل (E) و ضعف در انتها.



شکل (3): شناسایی عیوب تخلیه جزئی در سیستم عایق گاز با استفاده از هر دو حسگر های ترانسفورماتور جریان فرکانس بالا و فرکانس فوق بالا

جدول (۱): اختلاف تکنیک های اندازه گیری مرسوم و غیر مرسوم تخلیه جزئی

| سنسور | معایب | مزایا | تکنیک |
|--|--|--|-----------------|
| تزویدج خازنی تزویدج خازنی پالس ترانسفورماتور جریان فرکانس بالا | حساسیت کمتر در هنگام تشخیص انلاین بدلیل سطح بالای نویز اندازه گیری ها تحت تاثیر تداخلات داخلی و خارجی اسیب پذیری در برابر نویز نا سازگاری برای مدت طولانی تر حساس به تغییرات دما | کالیبره مناسب سادگی پیاده سازی بیشترین حساسیت با اندازه گیری کمی در آزمایشگاه تضعیف سیگنال پایین دقت بالا در اندازه گیری ها حداقل سطح نویز به دلیل اثر حفاظتی ترانسفورماتور | الکتریکی |
| القایی خازنی | تداخل الکترو مغناطیسی زیاد است نسبتا گران است برد محدود در هنگام شناسایی بی سیم هیچ تکنیک کالیبره ای در دسترس نیست به دمای محیط حساس تر است | منبع، مکان، نوع، و شدت تخلیه جزئی قابل ارزیابی است راه حل مناسب برای اندازه گیری تخلیه جزئی انلاین پیوسته | الکترو مغناطیسی |
| میکروفون های خازنی مبدل های پیزو الکتریک | شدت سیگنال کم است برای اندازه گیری پیوسته تخلیه جزئی انلاین مناسب نیست حساسیت کم به تخلیه داخلی بیشتر مستعد نویز های محیطی است نسبت به فشار و رطوبت محیط حساس تر است | مصونیت بالای نویز الکتریکی برای محل یابی تخلیه جزئی موثر است نسبتا ارزان تر عملکرد خوب در نظارت به موقع حساسیت تحت تاثیر ظرفیت جسم آزمایشی قرار نمی گیرد. | صوتی |
| | اندازه تخلیه جزئی غیر قابل دسترسی است | مصونیت بالای نویز الکتریکی بسیار حساس است گاهی اوقات برای محل یابی تخلیه جزئی مؤثر است | |

| | | | |
|---|--|--|---------|
| لامپ فتوفزون گر اشکار ساز UV | نسبت به تغییرات فشار و رطوبت حساس تر است | ازمایش وضعیت ولتاژ ضربه امکان پذیر است وزن سبک و اندازه کوچک | نوری |
| سنسور های 6SF سنسور انالیز گاز های محلول | منبع، موقعیت، نوع و شدت تخلیه جزئی غیر قابل دسترسی است گاهی اوقات باعث عدم قطعیت در اندازه گیری میشود | مصونیت بالای نویز الکتریکی اندازه گیری آسان است بسیار حساس است ضبط عالی سیگنال تخلیه جزئی در شرایط آزمایشگاهی اطلاعات مهمی را برای تصمیمات رفتن یا نرفتن ارائه می دهد کمتر تحت تاثیر شرایط محیطی قرار میگیرد | شیمیایی |

4-2- تکنیک های اندازه گیری تخلیه جزئی مرسوم در مقابل غیر مرسوم

مطابق با IEC 60270 و روش های غیر مرسوم، سیستم های اندازه گیری تخلیه جزئی در حال اندازه گیری کمیت های متفاوت شامل شارژ ظاهری، موج های الکترومغناطیسی، سیگنال صوتی، سیگنال نوری و.. هستند تا زمانی که آنها از همان منبع می آیند.

4-3- سیستم اندازه گیری تخلیه جزئی افلاین در مقابل آنلاین

هر دو تست های تشخیصی تخلیه جزئی افلاین و آنلاین که برای ارزیابی کردن شرایط داخلی تجهیزات ولتاژ بالا استفاده میشوند مزایا و معایب خود را دارند، بنابراین مکمل هم هستند. ویژگی های اصلی هر دو اندازه گیری های تخلیه جزئی افلاین و آنلاین در جدول (3) ارائه شده است.

جدول (3): مقایسه تکنیک های اندازه گیری تخلیه جزئی افلاین و آنلاین

| ویژگی ها | افلاین | انلاین |
|----------|---|---|
| مزایا | اندازه گیری تخلیه جزئی زمانی که جسم آزمایشی از شبکه قدرت جدا است ارزیابی نصب و آزمایش تجهیزات ولتاژ بالای جدید ولتاژ شروع و خاموشی را می توان پیدا کرد صلاحیت سریع قابلیت اطمینان بالا دقت و حساسیت بالا به دلیل نویز زمینه کم امکان انرژی دهی همزمان تمام فاز ها نرخ کم مثبت های کاذب به علت نویز کم مناسب برای کنترل کیفیت تجهیزات جدید | اندازه گیری تخلیه جزئی زمانی که جسم آزمایشی در حالت عادی است نظارت مستمر تخلیه جزئی (قابل روند) نصب دائمی دستگاه تزویج تخلیه جزئی بدون هیچ منبع ولتاژ دیگری به جز توان عملیاتی از شبکه نیاز به تعمیر و نگهداری کمتر تحت شرایط مشابه مانند شرایط عملیاتی معمولی مثل دما، فشار، رطوبت و الودگی ساده و کم هزینه است |

| | | |
|--|---|-------|
| قابلیت اطمینان پایین دقت پایین خطر بالای علامت های مثبت یا منفی کاذب ، نویز و مکانیزم تشخیص خطای نا درست | وقوع تخلیه جزئی مشکل ساز را نمی توان تشخیص داد زیرا آزمایش در شرایط متفاوت از وضعیت واقعی انجام می شود کالیبره مکرر مورد نیاز است گران بودن به دلیل قطع شدن منبع ولتاژ تست مورد نیاز است | معایب |
|--|---|-------|

5- تجسم و نویز گیری سیگنال تخلیه جزئی

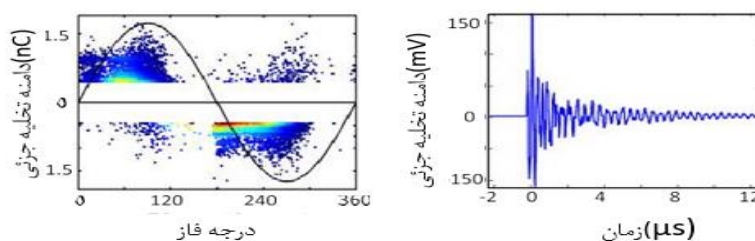
5-1- نظارت بصری تخلیه جزئی

برای تحلیل سیگنال تخلیه جزئی، یک الگوی نمایش مناسب برای تجسم سیگنال تخلیه جزئی بسیار مهم است. روند تحلیل های تخلیه جزئی مبتنی بر راه حل های کامپیوتری است. الگوی تخلیه جزئی را می توان با استفاده از چندین تکنیک شامل فاز مقرر شده تخلیه جزئی، مدت مقرر شده تخلیه جزئی و نمودار رابطه دامنه سه فاز تجسم کرد.

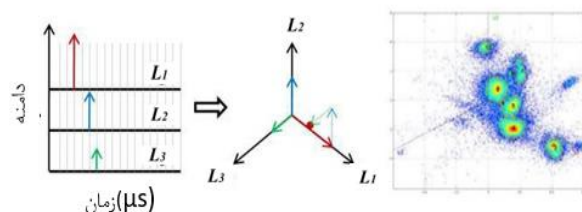
فاز مقرر شده تخلیه جزئی در اواخر دهه 1970 مطرح شد. این روش تقریباً در بین تمام سیستم های اندازه گیری تخلیه جزئی تجاری محبوب ترین است و ثابت کرده است که یکی از قدرتمند ترین ابزار های تفسیر سیگنال تخلیه جزئی است. همانطور که از نام آن پیداست، سیگنال تخلیه جزئی با توجه به ولتاژ آزمایش به عنوان نقطه مقرر شده فاز ارائه شده است، همانطور که در شکل (4) نشان داده شده است. مرتبط ترین اطلاعات نشان داده شده در فاز مقرر شده تخلیه جزئی سیگنال تخلیه جزئی اندازه گیری شده با بزرگی پالس، زاویه فازی که تخلیه جزئی در آن رخ میدهد و عدد چگالی است. زیرا فاز مقرر شده تخلیه جزئی به سادگی مرتبط ترین مقادیر تخلیه جزئی، تحلیل های فاز مقرر شده تخلیه جزئی هر اندازه گیری را نشان می دهد که نقش مهمی را در شناسایی انواع خطا های احتمالی روی اشیاء آزمایشی اندازه گیری شده ایفا کرده است.

بطور مشابه، نمایش تخلیه جزئی بر اساس اندازه گیری زمان است که به عنوان مدت مقرر شده داده تخلیه جزئی شناخته میشود، همانطور که در شکل (4) نشان داده شده است. از آن جایی که این تجسم روی بیشتر روی زمان وقوع تخلیه جزئی تمرکز دارد، داده های تفکیک شده با زمان میتواند به جای اندازه تخلیه جزئی اطلاعات درباره محل یابی تخلیه جزئی با چندین سنسور که در نقاط مختلف قرار داده شده اند را ارائه دهند. کاربرد های دیگر داده های وابسته به زمان یک نمودار Q-T است که از زمان بین دو تخلیه متوالی استفاده میکند. تحلیل زمان در مقابل فرکانس (نقشه TF) روش تحلیلی بر اساس اندازه گیری تخلیه جزئی مبتنی بر زمان است که توسط یک طبقه بندی کننده منطق فازی که توسط شرکت techimp محقق شده است دسته بندی شده است.

نمودار رابطه دامنه سه فاز یا یک نمودار ستاره، بحث مقابل بین بیش از یک فاز روی هر اندازه گیری است. به اصلاح اندازه گیری چند ترمینال، اندازه گیری سه فاز با سه تزویج، میتواند داده های تخلیه جزئی همزمان را برای هر سه فاز جسم آزمایشی مانند ترانسفورماتور سه فاز یا ایستگاه عایق گاز را بدست آورد. این روش مقایسه میزان وقوع تخلیه جزئی در هر فاز را امکان پذیر، به یافتن منبع تخلیه جزئی که شاید در یکی از سه فاز رخ دهد و نویز خارجی را از بین ببرد. نمودار رابطه دامنه سه فاز یک نمودار با تغییر فاز 120 درجه از محور سه فاز است، همانطور که در شکل 5 نشان داده شده است. این روش توسط دانشگاه فنی برلین توسعه داده می شود.



شکل (4): الگوی تخلیه جزئی حوزه فاز، الگوی تخلیه جزئی حوزه زمان



شکل (5): نمودار رابطه دامنه فاز مقایسه اندازه تخلیه جزئی در هر فاز

5-1- نويز گيری سيگنال تخلیه جزئی

مسئله مهم در هنگام اندازه گیری تخلیه جزئی وجود نویز است. به خصوص، در هنگام اندازه گیری تخلیه جزئی آنلاین، سیگنال های نویز سطح بالایی وجود دارند که می توانند یک سیگنال تخلیه جزئی واقعی را پوشش دهند. بنابراین، ارزیابی ویژگی های تخلیه جزئی واقعی از سیگنال های تشخیص داده شده برای شناسایی تخلیه جزئی و طبقه بندی انواع مختلف عیوب دشوار است. فرایند حذف نویز را می توان با درک ویژگی های نویز و حذف آنها از سیگنال تخلیه جزئی واقعی بدست آورد. نویز معمولی در طول اندازه گیری تخلیه جزئی را می توان به نویز سینوسی، نویز نوع پالس (تکراری یا تصادفی) و نویز سفید طبقه بندی کرد. سیگنال های نویز را می توان با موفقیت ضبط و با چندین تکنیک حذف نویز کاهش داد که در جدول (3) ارائه شده است.

جدول (3): تکنیک های نویز گیری سیگنال تخلیه جزئی

| ویژگی ها | تکنیک نویز گیری |
|--|----------------------|
| عمدتا نویز سینوسی را حذف کنید. دو نوع دارد: تبدیل فوری سریع استاندارد ثابت و تبدیل فوری سریع استاندارد وابسته به فرکانس | تبدیل فوری سریع |
| یک تکنیک تحلیل فرکانس زمانی درجه دوم؛ سیگنال به بلوک ها تقسیم می شود | توضیح ویگنر وایل |
| یک روش جستجوی گرادینان تطبیقی تکراری؛ هزینه محاسباتی کم و کارایی کمتر. دو نوع دارد: کمترین مربعات آزمایشی، کمترین مربعات بریده شده و کمترین مربعات عادی سازی شده | کمترین مربعات |
| تکنیک ویژگی گرا برای از بین بردن نویز سفید | فیلتر های ظاهر شناسی |
| دسته های مختلف تبدیل کننده موجک از جمله تبدیل کننده موجک استاندارد و الگوریتم تبدیل کننده موجک سریع | تبدیل کننده موجک |
| تکنیک های مختلف ماشین لرنینگ از جمله طبقه بندی کننده فازی، شبکه عصبی مصنوعی و... | ماشین لرنینگ |
| حذف نویز سینوسی و سفید | تجزیه مقدار منفرد |
| تجزیه سیگنال تخلیه جزئی به تک مؤلفه ها، بدون نیاز به انتخاب دستی موجک | تجزیه حالت تجربی |
| برای شناسایی نویز، تعیین مشخصات پالس ها در فرکانس بالا | دسته بندی توان طیفی |
| تخمین طیف فرکانس پالس های تخلیه جزئی و تمایز سیگنال نویز از پالس های تخلیه جزئی | انطباقی |
| حذف نویز های الکتریکی و مکانیکی با استفاده از اشکار ساز های اولترا سونیک | میان گذر |
| عمدتا نویز سینوسی را از بین می برد. دو نوع دارد: فیلتر مستقیم و شبکه ای | فیلتر شکاف |

6- استخراج ویژگی های تخلیه جزئی و طبقه بندی الگو

استخراج ویژگی تخلیه جزئی روند شناسایی درستی داده تخلیه جزئی برای برای بدست آوردن ویژگی های تخلیه جزئی است و احتمالا توسط یک فرایند طبقه بندی به عنوان نقص های مختلف طبقه بندی میشود. به عبارت دیگر، هدف از استخراج ویژگی کاهش ابعاد

الگوی تخلیه جزئی واقعی با محاسبه برخی خواص الگو است. چندین ابزار مؤثر برای استخراج ویژگی های مهم از داده های تخلیه جزئی استفاده می شود. پارامتر های آماری و تابع انرژی تجمعی برای بررسی ویژگی های حوزه زمان و فرکانس سیگنال تخلیه جزئی استفاده می شوند. همچنین، ویژگی های سیگنال تخلیه جزئی با استفاده از تکنیک های مختلف پردازش تصویر و پردازش سیگنال استخراج می شوند. علاوه بر این، ویژگی های فراکتال، طیف موجک متقاطع، ضریب متقاطع، طرح تحلیل بر حسب زمان و فرکانس و تحلیل شکل پالس تخلیه جزئی برای استخراج ویژگی های مهم سیگنال تخلیه جزئی استفاده می شوند.

استخراج ویژگی ها از طریق پارامتر های آماری برای شناسایی سریع و کارآمد مجموعه داده های تخلیه جزئی بزرگ مناسب است. با این حال، نتایج ممکن است تحت تاثیر نویز و سایر عوامل باشد. تکنیک های پردازش تصویر و پردازش سیگنال ویژگی های سیگنال های تخلیه جزئی را با دقت و درستی بالا استخراج می کنند. با این حال، این تکنیک ها به سیگنال های تخلیه جزئی با کیفیت بالا و مقدار زیادی توان محاسباتی نیاز دارند که میتواند گران و زمان بر باشد. تبدیل S نمایش دقیق تری از سیگنال را در هر دو حوزه زمان و فرکانس ارائه می دهد. دقت نمایش سیگنال به انتخاب پارامتر های مورد استفاده در تبدیل S بستگی دارد که تعیین ان می تواند دشوار باشد. ویژگی های فراکتال می توانند اشکال پیچیده و پدیده های طبیعی را که نمی توانند به اندازه کافی با روش های ریاضی موجود نشان دهند، مدل سازی کنند. ویژگی های فراکتال نسبت به مقیاس بندی، جا به جایی و چرخش سیگنال ثابت هستند، که آنها را برای تحلیل سیگنال تخلیه جزئی مناسب میکند. با این حال، ویژگی های فراکتال به انتخاب پارامتر ها حساس هستند و تنظیم و بهینه سازی آنها را برای یک برنامه خاص دشوار می سازد. از طیف موجک متقاطع می توان برای مکان یابی مناطقی که دامنه فرکانس-زمان در آن دو سیگنال مقدار زیادی توان را به اشتراک می گذارند استفاده کرد. ضریب موجک قادر است همبستگی های غیر خطی بین اجزای فرکانس مختلف را ثبت کند. با این حال، تفسیر نتایج به دلیل پیچیدگی تبدیل موجک می تواند دشوار باشد. تکنیک تحلیل دوگانه زمان و فرکانس در استخراج ویژگی ها و روش پیش پردازش در کاربرد های مختلف مانند پردازش سیگنال ردیاب آوایی و تشخیص گفتار مؤثر است. اجرای طرح تحلیل دو گانه زمان و فرکانس نسبتا آسان است و به الگوریتم های پردازش سیگنال پیچیده نیاز ندارد.

طبقه بندی الگوی داده های تخلیه جزئی برای شناسایی و جدا سازی عیوب تخلیه جزئی در سیستم عایقی استفاده می شود. برای این منظور، روش های مختلفی از جمله شبکه عصبی مصنوعی، منطق فازی، الگوریتم ژنتیک و ماشین بردار پشتیبانی معرفی شده اند. عمده ترین روش ها به دانش قبلی در رابطه با بردار های ویژگی اندازه گیری تخلیه جزئی نیاز دارند.

شبکه های انتشار شمارنده برای محاسبه تقریبی یک تابع بر اساس مجموعه ای از جفت های ورودی-خروجی مطلوب و رابطه معکوس آنها استفاده می شود. یک شبکه عصبی احتمالی از یک تابع چگالی احتمال و یادگیری رقابتی بر اساس اصل برنده همه چیز را می گیرد، با پایه و اساس از توضیح احتمال چند متغیره استفاده می کند. گسترش شبکه عصبی یک شبکه عصبی جدید است که شبکه عصبی و نظریه گسترش را ترکیب می کند تا اندازه گیری فاصله منحصر به فردی را برای تشخیص الگو و استفاده از محاسبات موازی و قابلیت های یادگیری فراهم کند. شبکه های عصبی مصنوعی نیز مستعد تناسب بیش از حد هستند. منطق فازی یک روش غیر انحصاری برای طبقه بندی ارائه می کند که به هر الگو امکان می دهد که به چندین دسته که هر کدام دارای درجه عضویت مرتبط هستند اختصاص یابد. این برای نظارت بر خطای کابل بسیار مفید است، زیرا اجازه می دهد تا تصمیمات انعطاف پذیری تری گرفته شود که به ترتیب خاص نتیجه طبقه بندی فازی بستگی دارد. ماشین بردار پشتیبانی یک ماشین یادگیری تحت نظارت است که قادر به مقابله با مشکلات طبقه بندی الگوی پیچیده است. ماشین بردار پشتیبانی از یک طبقه بندی خطی برای نگاشت داده ها به فضای ابعاد بالاتر استفاده می کند و به ویژه برای اندازه های نمونه کوچک، داده های ابعادی بالا و وظایف تشخیص الگوی غیر خطی مفید است.

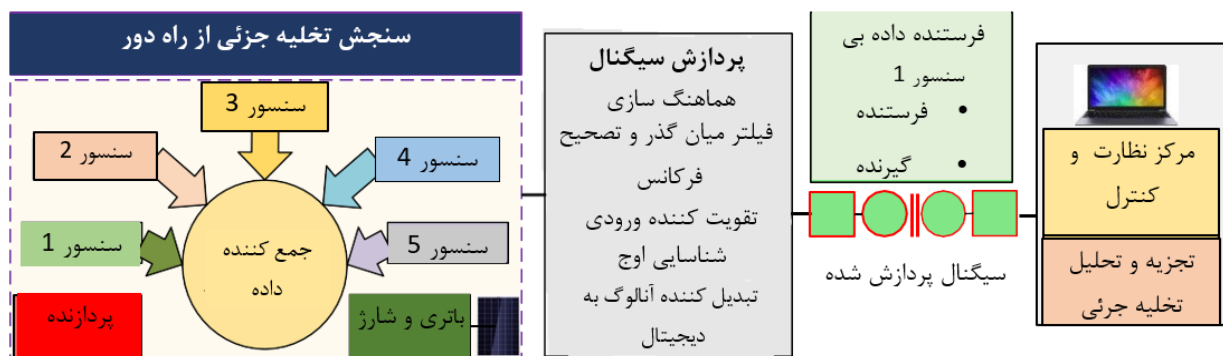
7- سیستم پیشنهادی نظارت هوشمند تخلیه جزئی

برای عملکرد قابل اطمینان سیستم های قدرت پیش رفته، سنجش شرایط سلامت عایقی برای ارزیابی طول عمر و احتمال خطای تجهیزات ولتاژ بالا حائز اهمیت است. با افزودن مقدار مفهوم شبکه هوشمند، یک رویکرد برای به کار بردن سیستم حسی و نظارتی تخلیه جزئی هوشمند برای تجهیزات ولتاژ بالای نصب شده در مکان های دور دست ضروری است. ولتاژ تخلیه جزئی یا پالس های جریان با استفاده از تزویج خازنی، ترانسفورماتور جریان فرکانس بالا، یا تزویج الکترومغناطیسی در اتصال با سیستم انتقال اندازه گیری می شوند. سیستم نظارتی تخلیه جزئی می تواند توسط سنسور های بی سیم تخلیه جزئی برای نظارت شرایط هوشمند و سرویس کاربرد تجهیزات ولتاژ بالا ارتقا پیدا کند. علاوه بر این، تلفن های هوشمند ممکن است برای محاسبات توسط به دست آوردن داده های

تخلیه جزئی از تجهیزات ولتاژ بالا توسط سنسور های بی سیم از طریق یک ارتباط داخلی سازگار در سیستم قدرت به کار برود. این سنسور ها با یک باتری پشتیبان ممکن است در اجزای مختلف میدان سیستم قدرت الکتریکی به تنهایی نصب شوند یا به عنوان شبکه عمل کنند. همچنین تلفیق سنسور های تخلیه جزئی با سایر دستگاه های نظارت شرایط برای استفاده کمیت های الکتریکی اندازه گیری شده حائز اهمیت است، بنابراین کاهش زمان و هزینه برای اجرای سنجش های میدانی الزامی است. برای شناسایی دقیق معایب تخلیه جزئی، نرخ تبدیل داده های سرعت بالا ضروری هستند. اگرچه، استفاده از تبدیل داده های سریع موجب افزایش هزینه، اتلاف بالای قدرت و راندمان ضعیف سنسور ها می شود. بنابراین، طراحی سنسور هایی با راندمان بالا و مصرف پایین انرژی حائز اهمیت است.

داده های تخلیه جزئی اجزای میدان در نظر گرفته شده با سنسور هوشمند ممکن است ذخیره شود و به مرکز نظارت و کنترل از طریق سیستم انتقال بی سیم انتقال پیدا کند. گرچه، ارتباط حجم وسیعی از داده ها کار سختی است. محقق ساختن تکنیک های پردازش سیگنال پیشرفته می تواند برای حل مشکلات در سنسور های بی سیم یعنی ظرفیت محاسبات محدود و محدودیت های انرژی تعبیه شود. ما باید انرژی تخلیه جزئی را در پهنای باند خاصی در یک بازه زمانی طولانی بدست آوریم. این انرژی تخلیه جزئی با سنسور برای شناسایی شدت تخلیه جزئی حس خواهد شد. رویکرد پیشنهادی برای سیستم نظارت تخلیه جزئی هوشمند در شکل (6) ارائه شده است. چهارچوب نظارتی تخلیه جزئی هوشمند پیشنهادی ممکن است برای تخمین صحیح تحلیل عایق در تجهیزات ولتاژ بالا و ارتقا عملکرد کلی سیستم های قدرت به کار روند.

در آینده، این سیستم ممکن است در یک ایستگاه برای امتحان میدان آنلاین اجرا شود، و قادر به تحلیل و عیب یابی لگاریتم همانطوری که آنها ثبت شده اند، خواهند بود. علاوه بر این، این ممکن است اطلاعات مربوط به مدیریت دارایی در مواقع ضروری را گزارش کند. علاوه بر این، تلفیق موج یاب تخلیه جزئی با یک سیستم اصلاح و بهبود انرژی ساخته خواهد شد، که به دستگاه اجازه می دهد خود کفا از محیط پست برق باشد.



شکل (6): سیستم پیشنهادی نظارت هوشمند تخلیه جزئی

8- نتیجه

در شرکت های برق، مهم است که با شناسایی مؤثر عیوب عایق، قابلیت اطمینان بالای تجهیزات ولتاژ بالا را تضمین کنیم. همانطور که در این مقاله مشخص شد، نظارت تخلیه جزئی می تواند ابزار بسیار قدرتمندی برای ارزیابی وضعیت عایق تجهیزات ولتاژ بالا در سیستم های قدرت در نظر گرفته شود. علاوه بر این، تست های تشخیصی تخلیه جزئی بطور گسترده برای راه اندازی و نصب تجهیزات جدید برای چندین دهه استفاده می شود. نظارت آنلاین بر روی اجزای سیستم قدرت با استفاده از اندازه گیری تخلیه جزئی، نظارت مؤثر تجهیزات ولتاژ بالا مبتنی بر شرایط را افزایش می دهد. مهم ترین مزایای ارائه شده توسط نظارت مستمر تخلیه جزئی آنلاین عبارت اند از:

- روند وضعیت عایقی به موقع
- نظارت تجهیزات ولتاژ بالا زمانی که اجزای سیستم در حال عمل هستند

- نظارت تحت شرایط عملیاتی واقعی
- اطلاعات خاص مکان در مورد وضعیت عایقی و انواع خطاهای احتمالی
- نظارت بر تخلیه جزئی را می توان برای انواع تجهیزات ولتاژ بالا اعمال کرد

تحلیل معتبر تخلیه جزئی و نظارت آنلاین، تجهیزات الکتریکی را به یک راه حل تعمیر و نگهداری کم برای شرکت های برق برای عملیات طولانی مدت بدون خرابی تبدیل می کند. تشخیص دقیق ضعف و عیب یابی در مراحل اولیه، عملکرد سیستم تعمیر و نگهداری را تنظیم میکند. با این حال، نصب عملی سیستم نظارت بر وضعیت آنلاین برای تجهیزات ولتاژ بالا هنوز یک منطقه در حال توسعه است که به تحقیق و تجربه بیشتری نیاز دارد. افزودن سنسور های اندازه گیری تخلیه جزئی در پنل های حفاظتی فعلی و سیستم های نظارت کنترل و اکتساب داده ها، سیستم کلی را بسیار گران می کند. علاوه بر این، مقدار عمده ای از اکتساب داده از چنین سیگنال های فرکانس بالا برای تجزیه و تحلیل تخلیه جزئی برای تعیین برنامه نگهداری قبلی مورد نیاز است. این چالش ها باید در تحقیقات آینده مورد توجه قرار گیرند.

مراجع

- [1] Moradi, A., Hosseini, S. M. H. Partial discharge detection by using combined VHF and AE sensors in XLPE power cables. *Signal Processing and Renewable Energy*, 2019; 3(3): 5s1-71. (2019) doi:20.1001.1.[25887327.2019.3.3.4.3](https://doi.org/10.25887327.2019.3.3.4.3)
- [2] moradi, ahmad and mortazi, mohammad and nadi polkhabi alireza,1396,ANALYSIS AND DE-NOISING OF PARTIAL DISCHARGE SIGNALS IN MEDIUM VOLTAGE XLPE CABLES,International Conference on New Horizons in Engineering Sciences.
- [3] W. Hassan, G. A. Hussain, F. Mahmood, S. Amin, and M. Lehtonen, “Effects of environmental factors on partial discharge activity and estimation of insulation lifetime in electrical machines,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 108491–108502, 2020.
- [4] Minaee, Iman and Hosseini, Seyyed Mohammad Hassan and Moradi, Ahmad,1400,Comparison of Ultra-High Frequency Sensors and Capacitive Coupler in Detecting the Partial Discharge of Power Cables,Fourth International Conference on Electrical, Computer and Mechanical Engineering,Tehran.
- [5] moradi, ahmad and mortazi, mohammad and nadi polkhabi alireza,1396,Partial Discharge Field Testing and Analysis by UHF and HFCT Signals in power cables,International Conference on New Horizons in Engineering Sciences,<https://civilica.com/doc/781213>
- [6] Hosseini, Seyed Mohammad Hassan and Peyman Rezaei Baravati. “Transformer Winding Modeling based on Multi-Conductor Transmission Line Model for Partial Discharge Study.” *Journal of Electrical Engineering & Technology* 9 (2014): 154-161.
- [7] Hosseini, Seyed Mohammad Hassan and Peyman Rezaei Baravati "Partial discharge localization based on detailed models of transformer and wavelet transform techniques" *Journal of Electrical Engineering and Technology*, 10 (3), pp. 1093-1101, 2015.
- [8] C. Xia, M. Ren, R. Chen, J. Yu, C. Li, Y. Chen, K. Wang, S. Wang, and M. Dong, “Multispectral optical partial discharge detection, recognition, and assessment,” *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. 71, pp. 1–11, 2022.
- [9] سید محمد حسن، سید محمد حسن و مرادی، احمد و مینایی، ایمان،1396،عیب یابی بهینه تخلیه جزئی PD در کابل های فشار قوی با استفاده از سنسورهای فرکانس بالا،کنفرانس ملی رویکردهای نوین در صنعت برق،تهران،
<https://civilica.com/doc/829086>
- [10] حسینی، سیدمحمدحسن و مینایی، ایمان و مرادی، احمد،1396،طرح اولیه و پیشنهادی کوپلرخازنی پهن باند به منظور کاربرد در تست های تخلیه جزئی در کابل قدرت،کنفرانس ملی رویکردهای نوین در صنعت برق،تهران
<https://civilica.com/doc/829086>
- [11] W. Hassan, F. Mahmood, G. A. Hussain, S. Amin, and J. A. Kay, “Feature extraction of partial discharges during multiple simultaneous defects in low-voltage electric machines,” *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. 70, pp. 1–10, 2021.

- [12] Murugan, R.; Ramasamy, R. Understanding the power transformer component failures for health index-based maintenance planning in electric utilities. *Eng. Fail. Anal.* 2019, 96, 274–288.
- [13] Neuhold, S.M.; Brugger, T.; Behrmann, G.; Schlemper, H.D.; Riechert, U.; Muller, P.; Lehner, M.; Schneider, E.; Sigrist, P. Return of experience: The CIGRE UHF PD sensitivity verification and on-site detection of critical defects. In *Proceedings of the CIGRE, Paris, France*, 26–31 August 2018.
- [14] Beura, C.P.; Beltle, M.; Wenger, P.; Tenbohlen, S. Experimental Analysis of Ultra-High-Frequency Signal Propagation Paths in Power Transformers. *Energies* 2022, 15, 2766.
- [15] E. Kantar and S. Hvidsten, "A deterministic breakdown model for dielectric interfaces subjected to tangential electric field," *Journal of Physics D-Applied Physics*. vol. 54, no. 29, 2021.
- [16] Q. Khan, S. S. Refaat, H. Abu-Rub, and H. A. Toliyat, "Partial discharge detection and diagnosis in gas insulated switchgear: State of the art," *IEEE Elect. Insul. Mag.*, vol. 35, no. 4, pp. 16–33, Jul. 2019.
- [17] Koziol, M.; Nagi, Ł.; Kunicki, M.; Urbaniec, I. Radiation in the Optical and UHF Range Emitted by Partial Discharges. *Energies* 2019, 12, 4334.
- [18] Tenbohlen, S.; Coenen, S.; Siegel, M.; Linn, T.; Markalous, S.; Mraz, P.; Beltle, M.; Naderian, A.; Schmidt, V.; Fuhr, J.; et al. Improvements to PD Measurements for Factory and Site Acceptance Tests of Power Transformers. *Cigre Technical Brochure* 861. 2022.
- [19] W. Hassan, F. Mahmood, G. A. Hussain, and S. Amin, "Risk assessment of low voltage motors based on PD measurements and insulation diagnostics," *Measurement*, vol. 176, May 2021, Art. no. 109151.
- [20] IEC 60840, "Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages above 30 kV ($U_m = 36$ kV) up to 150 kV ($U_m = 170$ kV) - Test methods and requirements", 2020.
- [21] X. Peng et al., "Random forest based optimal feature selection for partial discharge pattern recognition in HV Cables," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 34, no. 4, pp. 1715-1724, 2019.
- [22] C. Pan, G. Chen, J. Tang and K. Wu, "Numerical modeling of partial discharges in a solid dielectric-bounded cavity: A review," *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 26, no. 3, pp. 981-1000, June 2019
- [23] A. Darwish, S. S. Refaat, H. A. Toliyat, and H. Abu-Rub, "On the electromagnetic wave behavior due to partial discharge in gas insulated switchgears: State-of-art review," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 75822–75836, 2019.
- [24] Z. Li, K. Zhou, P. Meng, H. Yuan, Z. Wang, Y. Chen, Y. Li, and G. Zhu, "Morphology evolution and breakdown mechanism of cross-linked polyethylene (XLPE)–silicone rubber (SiR) interface induced by silicone grease diffusion. *High Voltage*, 1– 10 ,2021
- [25] M. A. Hamdan, J. A. Pilgrim and P. L. Lewin, "Thermo-mechanical analysis of solid interfaces in HVAC cable joints," *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 26, no. 6, pp. 1779-1787, 2019

Examination of techniques for detecting partial discharges in high voltage equipment within power systems analyse study

Shahab aldin Nikookhesal¹, Parsa Servati², Ahmad Moradi³

Instructor of Department of Electrical Engineering, South Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran, pes.nikookhesal@gmail.com

Instructor of Department of Electrical Engineering, South Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran, servatiparsa7@gmail.com

Instructor of Department of Electrical Engineering, South Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran, st_ahmad_moradi@azad.ac.ir

Abstract: In contemporary power systems, it is imperative to utilize monitoring and diagnostic conditions to ensure the efficient and dependable operation of different high voltage equipment. Partial discharge measurement is considered a crucial method for assessing insulation health conditions compared to other monitoring techniques. By properly diagnosing, identifying, and interpreting the partial discharge signal, the advantages of investigating the partial discharge condition of high voltage equipment can be maximized. Online partial discharge monitoring, among both online and offline techniques, plays a significant role in the monitoring system by helping to minimize power system component failures. Therefore, a comprehensive analysis is essential to comprehend the advancements and patterns in theory and practice. Online partial discharge current monitoring techniques are vital for high voltage equipment in power systems. This study offers an extensive literature review of online partial current discharge monitoring techniques applied to various high voltage electrical components in power systems. Lastly, an intelligent technique that utilizes a wireless sensor board for partial discharge monitoring is presented. This intelligent framework for partial discharge monitoring can accurately estimate insulation loss in high voltage equipment and enhance the overall performance of power systems.

Keywords: Detection methods, high voltage equipment (HVE), online partial discharges (PD) measurement, PD monitoring, PD classification