ترانسفورماتورهای قدرت

روش‌های ردیابی و مانیتورینگ تخلیه جزئی

در اکثر مواقع شکست الکتریکی در ادوات فشار قوی بخاطر تنش‌های حرارتی، مکانیکی و یا الکتریکی صورت می‌پذیرد. چون تخلیه جزئی هم علامتی برای شکست عایقی و هم علامتی برای آسیب دیدن بیشتر عایق است. لذا آشکارسازی تخلیه جزئی وضعیت عایقی و مسائل مربوط به تشخیص آن را در عایق‌های فشار قوی بر عهده دارد.

از حدود ۴۰ سال پیش، روش‌های مختلفی برای آشکارسازی تخلیه جزئی در ادوات فشار قوی گسترش یافته‌است. می‌توان این روش‌ها را در ۴ گروه بر اساس مبنای آشکارسازی تخلیه جزئی تقسیم‌بندی نمود: ۱) شیمیایی ۲) الکتریکی ۳) آکوستیکی ۴) نوری

البته آشکارسازی نوری استفاده‌ی گسترده‌ای در ترانسفورماتورها به‌علت ماهیت غیر شفاف روغن معدنی آن‌ها، ندارد.

آشکارسازی شیمیایی:

تخلیه جزئی به روش شیمیایی می‌تواند آشکارسازی گردد، چراکه هنگام عبور جریان از حباب در حین تخلیه جزئی، روغن اطراف حباب به مؤلفه‌های شیمیایی مختلفی تجزیه می‌شود. دو روش ابتدایی و عمده که امروزه انجام می‌گیرد عبارتند از: ۱) آزمون گازهای حل شده **(DGA)**[1] و ۲) کراماتوگرافی[2]

آزمون آنالیز گازهای حل شده، سطوح گازها را که در روغن ترانسفورماتور بر اثر تجزیه تولید شده، تشخیص می‌دهد و مقدار آن‌را می‌سنجد. معمولاً گازهای تجزیه شده شامل: استیلن، متان، هیدروژن، دی‌اکسیدکربن و اتیلن می‌باشد. آزمون آنالیز گازهای حل شده می‌تواند وجود تخلیه جزئی را در ترانسفورماتور تشخیص دهد، همچنین با گسترش و تکمیل این روش اطلاعات تشخیصی اضافه‌ای نیز هم اکنون از درون این آزمون می‌توان استخراج نمود که با توجه به جداول آماری بسیار توسعه یافته برای روش و سطح گازهای تولید شده، شدت تخلیه جزئی را نیز تا حدی می‌توان حدس زد. اما هنوز هم برخی از کارشناسان در مورد غلظت مقدار این گازها برای تشخیص نوع و مقدار خطا بحث می‌کنند.

آزمون کروماتوگرافی بر مبنای اندازه‌گیری شکست عایقی روی جاده‌ی ترانسفورماتور صورت می‌پذیرد. چون سطح جاده‌ی ترانسفورماتورها توسط کاغذهای مخصوصی عایق شده‌است، شکست عایقی، گلوکز و یا مؤلفه‌های تجزیه شده‌ی آن را در پی خواهد داشت. آزمون روی مقداری از روغن ترانسفورماتور که از داخل ترانسفورماتور نمونه‌برداری شده در آزمایشگاه مورد

[1] Dissolved Gas Analysis
[2] High Performance Liquid Chromatography (HPLC)

ارزیابی قرار می گیرد. این روش نیز مانند روش آنالیز گازی با موانعی همراه است. به عنوان مثال سطح گلوکز در داخل روغن به علت قابلیت حل شدن پایین آن در روغن، بسیار کم است. لذا این تست نیز با خطا همراه است.

آشکارسازی تخلیه جزئی به روش شیمیایی محدودیت‌های بسیاری دارد. نخست اینکه، این روش به هیچ عنوان اطلاعاتی را در مورد مکان تخلیه جزئی ارائه نمی‌کند. مشکل دوم اینکه، روش‌های شیمیایی در ارائه‌ی اطلاعات درباره وسعت و میزان تخلیه جزئی ناتوان هستند. با این حال تحقیقات زیادی در رابطه با اضافه نمودن برچسب‌های شیمیایی به عایق ترانسفورماتور صورت پذیرفته که در هنگام تخلیه جزئی این مؤلفه‌ها خود را در روغن ترانسفورماتور رها می‌کنند و باعث شناسایی راحت‌تر و بهتر تخلیه جزئی توسط این روش می‌شود. اگر این برچسب‌ها تولید شوند و در عایق ترانسفورماتورهای جدید به کار گرفته شوند، روش کروماتوگرافی با عملکرد بالا، اطلاعات دقیق‌تری را در مورد خطای تخلیه جزئی در اختیارمان قرار خواهد داد. مشکل سوم در مورد روش‌های شیمیایی این است که، در هنگام روشن بودن و فعالیت ترانسفورماتور این آزمون‌ها قابل انجام نمی‌باشد.

آشکارسازی الکتریکی

آشکارسازی تخلیه جزئی توسط این روش بر روی بدست آوردن پالس‌های الکتریکی ناشی از عبور جریان در حباب‌ها تمرکز می‌کند. این پالس‌ها که چند نانو ثانیه بیشتر طول نمی‌کشد قابل اندازه‌گیری با مؤلفه‌های فرکانسی بزرگتر از **MHz** ۱ می‌باشد. شکل پالس‌ها به مکان فاز در سیکل متناوب خود ترانسفورماتور نیز بستگی دارد. در این نوع آشکارسازی، بزرگی سیگنال پالس، اطلاعاتی را در مورد نوع خطای تخلیه جزئی و شدت آسیب عایقی در اختیارمان قرار می‌دهد.

روش آشکارسازی الکتریکی در ۲ گروه دسته‌بندی می‌شود:

۱- کاوش مستقیم[3]

۲- گسیل فرکانس رادیویی[4]

روش کاوش مستقیم به کوپل کننده‌های فازی نیاز دارد که به خروجی فازهای ترانسفورماتور وصل می‌شود. روش دوم، یعنی آزمون گسیل **RF** با قراردادن یک آنتن در ناحیه‌ای که ترانسفورماتور قرار دارد، صورت می‌پذیرد که خود به ۲ روش تقسیم‌بندی می‌گردد:

الف- **VHF**: این روش امواج رادیویی در محدوده‌ی ۳۰۰-۳۰ مگاهرتز را از طریق یک آنتن هوایی، اندازه‌گیری می‌کند. میرایی سیگنال و کاهش نویز شبیه ولی کمتر از فرکانس **UHF** است.

ب- **UHF**: در این روش امواج رادیویی در محدوده‌ی ۳۰۰ مگاهرتز تا ۳ گیگاهرتز توسط دریافت کننده‌های پنجره‌ای، اندازه‌گیری می‌شود.سیگنال‌های **PD** به شدت زمانی‌که از بوش‌ها می‌گذرند یا مسافت زیادی را در داخل روغن طی می‌کنند،

[3] Direct Probing
[4] Radio Frequency(RF)

به شدت میرا می‌شوند. عملکرد موبایل و ایستگاه‌های تلویزیونی در پهنای باند **UHF** ممکن است سبب تولید نویزهای شدید گردد.

روش‌های آشکارسازی الکتریکی به وسیله‌ای برای ثبت محدوده‌ی زمانی جهت ردیابی سیگنال‌های **PD** نیاز دارند. این امر با استفاده از پردازش سیگنال دیجیتال محقق می‌گردد. روش‌های پردازش سیگنال می‌توانند آشکارسازی الکتریکی تخلیه جزئی را بصورت آنلاین فراهم سازند چرا که توانایی سنجش وضعیت زمانی سیستم فشار قوی را دارا می‌باشد.

همانند روش آشکارسازی شیمیایی، روش آشکارسازی الکتریکی نیز محدودیت‌هایی دارد. اولین محدودیت آزمون الکتریکی، در معرض خطر بودن آشکارسازی توسط نویز می‌باشد. محیط پیرامون ترانسفورماتور فشار قوی شامل سطوحی از نویزهای الکتریکی است و پهنای باند کوچک تخلیه جزئی و نویز باعث تداخل و ارائه‌ی اطلاعات درست می‌شود. در بعضی شرایط تمایز بین تخلیه جزئی و نویز بخاطر کوچک بودن عرض پالس تخلیه جزئی بسیار سخت است. برای حل این مشکل، ترانسفورماتور می‌تواند از حالت آنلاین خارج شده و به یک منبع آزمون برای حذف برخی از نویزها متصل گردد. اما خارج کردن ترانسفورماتور از خط می‌تواند صدها هزار دلار در هر روز برای شبکه‌های برق ایجاد هزینه نماید.

مشکل دیگر آشکارسازی الکتریکی این است که دریافت مشخصه‌های پالسی، وابستگی زیادی به شکل هندسی ترانسفورماتور دارد. اجزای متفاوت ترانسفورماتور می‌تواند باعث کج شدن شکل پالس مورد نیاز برای مشخص سازی نوع خطای تخلیه جزئی گردد. همچنین این مشکل می‌تواند باعث آشکارسازی نادرست گردد. اگرچه آشکارسازی الکتریکی مشکلات فراوانی دارد، اما این مدل آشکارسازی نیز کاربرد گسترده‌ای در سیستم‌های قدرت در سراسر دنیا به جهت ارائه‌ی اطلاعات با ارزش برای مدیران دارد.

آشکارسازی آکوستیکی (AE):

این روش نیز همانند روش الکتریکی بر روی اکتساب داده‌ها و ثبت سیگنال‌های تولیدشده از تخلیه جزئی تمرکز دارد. با این حال به جای بدست‌آوردن سیگنال‌های الکتریکی، این روش در طول مدتی که تخلیه جزئی اتفاق می‌افتد، سعی در درک نمودن سیگنال‌های **AE** و ثبت آن‌ها دارد. این سیگنال‌ها به دلیل عبور جریان‌های بسیار کوتاه مدت از داخل حباب به‌وجود می‌آیند، عبور جریان باعث ایجاد حرارت به صورت نوارهای باریکی می‌شود که باعث بخارشدن مواد پیرامون حباب می‌گردد. این بخارها همچنین باعث ایجاد یک نوع انفجار انرژی جنبشی می‌شوند که به صورت انتشار سیگنال‌های **AE** در داخل مخزن و انتقال به دیواره‌ی آن نمایان می‌گردد. با اتصال سنسورها روی دیواره خارجی مخزن روغن، این سیگنال‌ها دریافت شده و مکان آن تعیین می‌گردد.

مزیت اولیه این روش نسبت به روش‌های الکتریکی و شیمیایی، اطلاعات موقعیت و مکان تخلیه جزئی است که این روش به راحتی با قراردادن چند سنسور در اختیارمان قرار می‌دهد.چنین اطلاعاتی از موقعیت **PD** می‌تواند ما را در تشخیص نوع آن به همراه شدت آسیب عایقی در محل خطا کمک کند. اطلاعات موقعیت و مکان تخلیه جزئی می‌تواند به تکنسین‌ها در تعمیر

نقطه آسیب عایقی به جهت اطلاعات دقیقی که در مورد مکان تخلیه جزئی در اختیارشان قرار می‌دهد کمک نماید. مزیت دیگر این آزمون، مصونیتی است که از عدم تداخل الکترومغناطیسی[5] می‌توانیم داشته باشیم. مزیت مصونیت از عدم تداخل الکترومغناطیسی به ما این امکان را می‌دهد که آشکارسازی تخلیه جزئی را به‌صورت آنلاین دنبال نماییم. چرا که نسبت نویز به سیگنال[6] بهتری نسبت به پالس‌های الکتریکی در محیط‌های با نویز بالا داریم و این امر باعث می‌شود که سیگنال‌های **AE** کمتر اطلاعات غلط بدهند. با این حال مصونیت از عدم تداخل الکترومغناطیسی این معنی را نمی-دهد که سیگنال‌های **AE** در سیستم دچار هیچ نویزی نمی‌شوند. لرزش‌های مکانیکی در هسته ترانسفورماتور منبعی برای تولید نویزهای آکوستیکی است ولی خوشبختانه محتوای فرکانسی این لرزش‌ها بقدر کافی کمتر از محتوای فرکانسی سیگنال‌های **AE** می‌باشد.

این روش نیز مانند سایر روش‌ها دارای محدودیت‌هایی می‌باشد. اولین مسئله، ماهیت پیچیده‌ی انتشار آکوستیکی انتشار موج **AE** است. از آنجایی که ترانسفورماتورهای قدرت شکل ناهمگنی دارند، لذا موج‌های منتشر شده بصورت کامل در یک محیط کروی سیر نمی‌کنند. منشاء و منبع تولید سیگنال **AE** متأثر از موضوع بازتاب و انعکاس در داخل مخزن و نویزپذیری در مسیرهای چندگانه‌ی انتشار و همچنین آشفتگی و پراکندگی و جذب در روغن، باعث می‌شود که دامنه‌ی سیگنال‌ها تضعیف گردد.

مقایسه‌ای مابین مزیت‌ها و محدودیت‌های ۳ روش اشاره شده فوق.

Possibilities	Method		
	DGA	UHF	AE
Detection	Yes	Yes	Yes
Detection sensitivity	High (~10pC, depending on time of PD activity)	High (~1-10pC, depending on distance and location of the PD source)	Moderate (> 300 pC, depending on location of the PD source)
Intensity measurement	No	Limited	Limited
Identification	No	Yes	Yes
Location	Limited	Limited	Yes
Installation difficulty	Moderate (transformer must be turned off)	Moderate (through oil valve, transformer under load / through dielectric window, transformer must be turned off and opened)	Low (transformer under load)
Sensors	1 (due to high costs)	limited by number of oil valves or dielectric windows	open structure, typically 1-16

[5] Electromagnetic Interference(EMI)
[6] Signal to Noise Ratio(SNR)