ترانسفورماتورهای قدرت

بخش اول: تخلیه جزئی

طبق تعریف ارائه شده توسط IEC[1] ، تخلیه جزئی یک نوع تخلیه الکتریکی متمرکز شده است که پل‌های الکتریکی جزئی را در میان الکترودهای رسانا بوجود می‌آورد و ممکن است مجاور هادی باشد و یا نباشد.

دکتر حسین محسنی در کتاب خود تخلیه‌جزئی را اینگونه توصیف می‌کند:

" در مواردی ممکن است شدت میدان الکتریکی در همه‌ی طول بین آند و کاتد یک اندازه نباشد. یعنی ممکن است آند یا کاتد و یا در نقطه‌ای بین آن‌ها، شدت میدان زیاد باشد و شرایط تخلیه در آن قسمت‌ها بوجود بیاید ولی در سایر قسمت‌ها به دلیل کمی شدت میدان الکتریکی شرایط لازم برای تخلیه کامل موجود نباشد. در این حالت تخلیه جزئی در قسمتی یا جزئی از طول عایق انجام می‌شود و شکست کامل عایق انجام نمی‌گیرد. به این نوع تخلیه، تخلیه جزئی یا کرونا می‌گویند."

اهمیت تخلیه جزئی بخاطر تشخیص میزان عمر و میزان سلامتی عایق است. هر نوع حادثه تخلیه باعث تغییر شکل شیمیایی در مواد بوسیله برخورد انرژی دار یون‌های شتاب‌دار و یا الکترون‌های با انرژی بالا می‌گردد. بسیاری از انواع تخلیه‌ها در یک بازه زمانی محدود، وابستگی شدیدی به نوع ولتاژ و میزان دامنه اعمالی دارند.همچنین بدیهی است که فرسایش عایقی به مواد و کیفیت تولید آن‌ها نیز وابسته است.

تخلیه جزئی در عمر عایقی، عایق‌های از نوع ترموپلاستیک مثل پلی اتیلن تأثیر گذار هستند و می‌توانند باعث شکست عایقی در کمتر از چند روز بر روی عایق شوند. از این‌رو هدف نهایی بسیاری از تحقیقات در مورد تخلیه جزئی به عمر عایقی مواد خاصی معطوف می‌گردد.

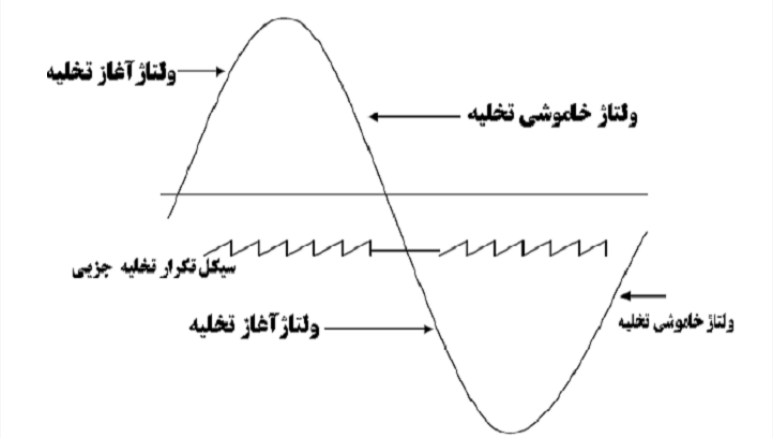
شکست عایقی می‌تواند به چند دلیل رخ دهد. در یک عایق، الکترون اتم‌ها و یا ملکول‌ها، محکم مقید شده‌اند. با اعمال یک میدان الکتریکی ملایم، برخی از الکترون‌ها می‌توانند از مسیرهای قبلی‌شان جدا شوند و برای مدتی با اتم‌ها یا ملکول‌های اطراف خود برخورد داشته باشند. همچنین اگر شدت میدان افزایش پیدا کند، برخوردهای اتفاق افتاده با شدت بیشتر افزایش پیدا کرده، باعث آزاد شدن الکترون‌های بیشتری در اطراف خود می‌شوند و در نتیجه منجر به شکست در هم گسیخته یا اصطلاحاً شکست ذاتی می‌شوند.

در نوع دیگری از شکست الکتریکی، یک مسیر عبوری از سطح عایق منجر به تخریب کربنیزاسیون[2] شده که حتی تخلیه الکتریکی سطحی(خزش) را نیز می‌تواند در پی داشته باشد. در نوع پیچیده‌تری از خرابی عایقی، شکست فرسایشی– تدریجی[3] اتفاق می‌افتد که در آزمایشگاه فشار قوی با اعمال ولتاژ متناوب با فرکانس خط، این آزمایش انجام می‌پذیرد و نتایج حاصله نبایستی از یک محدوده‌ی مشخص تجاوز کند.

با توجه به آن‌چه که اشاره شد، می‌توان چنین تصور کرد که در شکست‌های فرسایشی، تخلیه جزئی عامل اصلی این پدیده می‌باشد و در دراز مدت بر روی عایق تأثیر می‌گذارد. وجود تخلیه جزئی در داخل عایق باعث ایجاد گاز، حفره، و یا حتی حباب می‌شود که در افزایش روند شکست فرسایشی تأثیرگذار می‌باشد. هنگامی‌که ولتاژ بزرگی بر عایق یک تجهیز اعمال می‌شود، آن تجهیز شروع به تولید تخلیه جزئی می‌کند که اثر آن در یک سطح ولتاژ مشخص قابل مشاهده می‌باشد. به محض اینکه فرآیند تخلیه جزئی آغاز می‌شود، سطح ولتاژ باید تا مقدار کمتر از ولتاژ بحرانی شروع تخلیه، کاهش یابد که به این دو ولتاژ، ولتاژ روشن شدن و ولتاژ خاموشی تخلیه می‌گویند. شکل زیر این اثر را نمایش می‌دهد. به محض شروع ولتاژ، فرکانس تخلیه جزئی افزایش پیدا می‌کند و وقتی که به

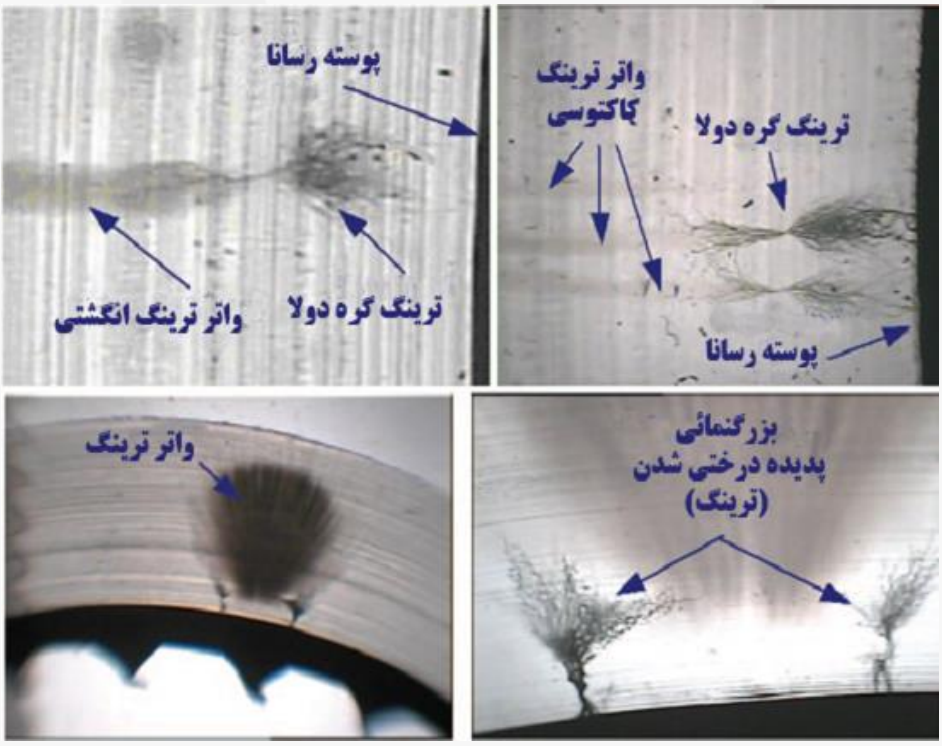
[1] International Electrotechnical Commission
[2] Carbonization
[3] Erosion Breakdown

نقطه پیک خود رسید، فرکانس تخلیه جزئی به بیشترین مقدار خود می‌رسد. هنگامی‌که ولتاژ خط به مقدار صفر خود می‌رسد، تخلیه جزئی نیز خاموش می‌شود.



تغییرات تخلیه جزئی به همراه ولتاژ آزمایشی از نوع متناوب

تخلیه جزئی در آزمایش با ولتاژ متناوب دارای سیگنال‌هایی است که در یک دوره تناوبی آن، این پدیده می‌تواند چندین بار اتفاق بیفتد. در کاربردهای عملی، اگر این حالت با دامنه کافی در طول بازه زمانی مشخصی رخ دهد، به مرور زمان جرقه‌های داخل حباب، خاصیت عایقی تجهیز را کاهش می‌دهد که در نهایت الگویی شبیه به یک درخت را در داخل عایق بوجود می‌آورد و باعث از بین رفتن خاصیت عایقی تجهیز می‌گردد، به این پدیده درختی شدن می‌گویند. شکل زیر چند نمونه از این پدیده را نشان می‌دهد.



پدیده‌ی درختی شدن در عایق

رطوبت به عنوان یکی از عوامل مخرب، نقش مهمی در کاهش عمر عایقی ترانسفورماتور دارد. عمر عایقی کاغذ متناسب با مقدار رطوبت آن است به طوریکه اگر مقدار رطوبت کاغذ ۲ برابر شود، عمر آن به نصف کاهش می‌یابد. از طرف دیگر افزایش رطوبت در نواحی با شدت میدان الکتریکی بالا موجب کاهش آستانه شروع تخلیه جزئی و افزایش شدت آن و در نهایت باعث وارد شدن خسارات جدی به ترانسفورماتور می‌شود.

به‌طور کلی می‌توان علل تولید رطوبت در ترانسفورماتور را به صورت زیر دسته‌بندی نمود:

۱ – ورود مستقیم رطوبت از هوا، که منبع اصلی رطوبت در عایق ترانسفورماتور است و ممکن است طی نصب و یا تعمیر، هنگامی‌که عایق در تماس مستقیم با هوا قرار دارد، رخ دهد.

۲ – ورود رطوبت به‌علت آب‌بندی ضعیف

۳– انتقال رطوبت از طریق هواگیرها

۴– ورود رطوبت در شکل مولکولی ناشی از اختلاف تجمع رطوبت در هوا و روغن موجود در تانک ترانسفورماتور

رطوبت پسماند در عایق کاغذ می‌تواند منجر به تولید حباب‌های گاز شود. این حالت یک تهدید جدی برای سلامت عایقی سیستم به شمار می‌آید. حباب‌های گاز واقع شده در نواحی با استرس بالا می‌توانند منجر به شکست عایق اصلی شوند. شکل‌گیری حباب در حالت‌های اضافه بار ترانسفورماتور به خاطر امکان ایجاد خرابی عایقی، یک نگرانی عمده به شمار می‌آید. تشکیل حباب‌های بخار گاز به علت دارا بودن ضریب نفوذپذیری کمتر نسبت به روغن یا کاغذ، موجب می‌شود که میدان‌های الکتریکی در این حباب‌ها نسبت به کاغذ شدیدتر بوده و موجب ایجاد تخلیه الکتریکی در درون این حباب‌ها شود. مولکول‌های روغن انرژی آزاد شده از این تخلیه‌های الکتریکی را جذب کرده و به هیدروکربن‌ها و هیدروژن تجزیه می‌شوند. اگر روغن از گاز اشباع شده باشد، ممکن است حباب‌های هیدروزن بیشتری تولید شود که مسیرهای تخلیه بیشتری در طول عایق ایجاد می‌کند. بنابراین ولتاژ شکست عایق به مرور زمان کاهش می‌یابد. همچنین تخلیه‌های ایجاد شده در حفره‌های عایق کاغذ، ذرات کربنی رسانایی را تولید می‌کنند.

با توجه به مطالب ارائه شده، دلایلی را که باعث بروز تخلیه جزئی می‌شوند را می‌توان به سه گروه عمده تقسیم‌بندی نمود:

۱ – مؤلفه‌های شناور

۲ – کروناها

۳– حباب‌ها (فضای خالی هوا در عایق و مخصوصاً روغن معدنی ترانسفورماتورها)

همانطور که گفته شده نقاطی از عایق که حباب‌های گاز در آن‌جا به‌وجود می‌آیند، دی‌الکتریک کوچک‌تری نسبت به عایق دارند و همین امر باعث بروز خاصیت خازنی در آن مناطق می‌گردد. تخلیه جزئی می‌تواند در حباب‌ها هنگامی‌که شدت میدان الکتریکی از یک مقدار مجاز فراتر می‌رود، رخ دهد [۲].

عموماً آشکارسازی و اندازه‌گیری تخلیه جزئی بر مبنای میزان تبادل انرژی در طول وقوع حادثه تخلیه جزئی می‌باشد که بعضی از انواع آن عبارتند از:

۱ – جریان پالس‌های الکتریکی

۲ – تلفات عایق

۳– تابشی

۴– استفاده از آزمون فراصوت (آکوستیک امیشن)

۵– افزایش فشار و نوع گاز

۶– فعالیت‌های شیمیایی

در بین انواع روش‌های آشکارسازی تخلیه جزئی، آشکار سازی با آزمون آکوستیک امیشن هم اکنون حجم بالایی از تحقیقات را به خود اختصاص داده‌است. مزیت این روش در آشکارسازی سریع، آنلاین و مهم‌تر از همه مکان‌یابی تخلیه جزئی می‌باشد.این آزمون تنها روشی است که می‌تواند موقعیت تخلیه جزئی را نیز بدست آورد.