

تشخیص عیوب عایقی ماشین‌های الکتریکی دوار با اندازه‌گیری و تحلیل جریانهای پلاریزاسیون و دیپلاریزاسیون (مطالعه موردی)

مهدی لاله

نیروگاه گازی ری

غلامرضا سلطانی خسروشاهی

پژوهشگاه نیرو

حمیدرضا اکبری رکن آبادی

پژوهشگاه نیرو

واژه‌های کلیدی: پلاریزاسیون، دیپلاریزاسیون، عایق سیم بندی، ماشینهای دوار

چکیده:

در این مقاله، روش انجام و نحوه تفسیر داده‌های حاصل از تست ثبت جریان‌های پلاریزاسیون و دیپلاریزاسیون برای تشخیص عیوب عایقی ماشین‌های الکتریکی دوار مورد بررسی قرار گرفته است. سپس نتایج آزمون انجام شده بر روی واحد ژنراتور نیروگاه ری مورد تحلیل قرار گرفته و وضعیت عایق ژنراتور، بررسی شده است. اعتبار این تست و نتایج حاصله از آن توسط نتایج اندازه‌گیری on-line تخلیه‌های جزئی نیز مورد تایید قرار گرفته است.

۱- مقدمه

در روند مدیریت عمر ماشین‌های الکتریکی دوار، آنچه که بیشترین اهمیت را دارد، آگاهی از وضعیت کنونی ماشین می‌باشد. چه تمام برنامه‌ریزی‌ها و تمهیداتی که برای مدیریت و افزایش عمر ماشین‌ها اندیشیده می‌شود برپایه شرایط اولیه‌ای است که اگر درست ارزیابی نشود هر برنامه نگهداری به هر میزان که کامل و دقیق باشد به موفقیت منتهی نخواهد شد. در صورتی که نگهداری و تعمیرات یک ماشین به

صورت اصولی انجام گرفته باشد قاعدتا باید سوابق مربوط به ماشین و سیستم عایقی در طول زمان قابل دسترسی باشد که از روی این سوابق و مستندات، ارزیابی وضعیت فعلی سیستم کار چندان دشواری نخواهد بود. اما متأسفانه بویژه در کشور ما، چنین سیستم نگهداری دقیقی برای اکثر ماشین‌ها وجود ندارد و لذا برای آگاهی از وضعیت ماشین باید از روش‌های دیگری بهره جست. یکی از این روش‌ها انجام تست‌های off-line بر روی سیستم عایقی ماشین و تفسیر نتایج آزمایش است که می‌تواند تصویری از وضعیت ماشین و سیستم عایقی را در اختیار ما قرار دهد.

تاکنون تست‌های مختلفی جهت تعیین وضعیت سیستم عایقی ماشین‌های الکتریکی مورد استفاده قرار گرفته‌اند [۱] و [۲] و [۳]. روشی که اخیراً مورد توجه محققین قرار گرفته و تحقیقات زیادی بر روی این روش در حال انجام است، روش اندازه‌گیری و تحلیل جریانهای پلاریزاسیون و دیپلاریزاسیون^۱ (PDCA) می‌باشد. جریانهای پلاریزاسیون و دیپلاریزاسیون

¹ - Polarization and depolarization Current Analysis

$$I_{ch} = C \frac{dv}{dt} \quad (1)$$

ظرفیت C ، بستگی به هندسه هادی‌ها نسبت به هسته (محیط، شکل و فاصله‌گذاری) دارد. در پی اعمال یک ولتاژ پله‌ای، جریان شارژ خازنی در طول چند ثانیه به صورت نهایی به صفر کاهش می‌یابد. جریان شارژ خازنی یک انرژی ذخیره شده قابل برگشت است که در ارزیابی شرایط عایق، در نظر گرفته نمی‌شود [۲].

مؤلفه نشتی جریان عایقی استاتور، یک جریان پیوسته و غیرقابل برگشت می‌باشد که از اعمال ولتاژ به یک عایق ایجاد می‌شود. این جریان ناشی از قابلیت هدایت الکتریکی عایق می‌باشد و برای عایق‌های با کیفیت خوب، کوچک و خطی خواهد بود.

پاسخ جریان جذب به یک ولتاژ پله‌ای، مشابه جریان شارژ خازنی است، با این تفاوت که این جریان نوعاً چند دقیقه تا چند ساعت طول می‌کشد تا به مقدار قابل چشم‌پوشی تنزل کند. در این مرحله، دو قطبها^۱ ایجاد می‌شوند و یا دوقطبیهای موجود در عایق در جهت میدان، قرار می‌گیرند. یک رابطه تجربی برای جریان جذب برحسب ولتاژ و زمان بدست آمده است که به صورت زیر می‌باشد [۸].

$$I_{pol} = KC.V.t^{-n} \quad (2)$$

در رابطه (۲)، C : ظرفیت خازنی سیم‌پیچ (فاراد)، K : ثابت که توسط نوع، ابعاد و دمای نمونه تحت تست مشخص می‌شود، V : ولتاژ پله اعمال شده، n : توان جذب نمونه (بین ۰/۵ تا ۰/۹) و t : مدت زمان اعمال ولتاژ پله می‌باشد.

شکل (۱)، نحوه تغییرات این سه جریان هنگام اعمال ولتاژ پله را نشان می‌دهد [۸].

پس از آن که یک عایق در میدان الکتریکی پلاریزه شد، اگر آن را از میدان الکتریکی خارج کنیم، دوقطبی‌ها مجدداً ترکیب شده و این نیز به معنای جریان الکتریکی می‌باشد. برگشتن دوقطبی به حالت اول یعنی عکس پدیده پلاریزاسیون را دیپلاریزاسیون گویند. بنابراین اگر دوسر یک عایق که قبلاً در

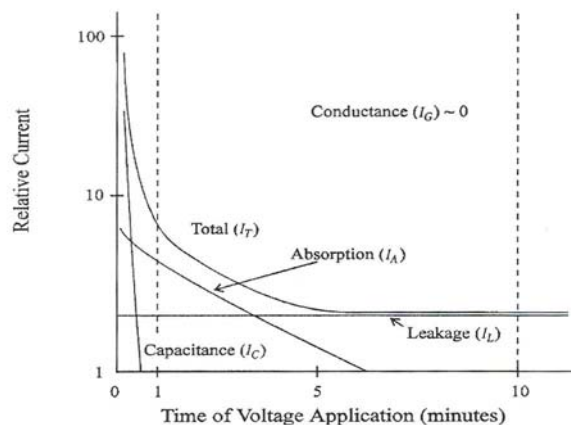
به جنس، کیفیت و ابعاد عایق و شرایط محیطی از جمله دما بستگی دارد. اما برای یک عایق مشخص و با شرایط استاندارد و از پیش تعیین شده و با نرمالیزه کردن جریانهای اندازه‌گیری شده، نحوه تغییر جریانهای پلاریزاسیون و دیپلاریزاسیون فقط به کیفیت عایق بستگی دارد. بنابراین با تحلیل این جریانها می‌توان وضعیت عایق را بررسی کرد. این روش برای بررسی وضعیت عایقی کابل‌های زیرزمینی [۴]، ترانسهای قدرت [۵] و ماشین‌های الکتریکی دوار [۶] مورد استفاده قرار گرفته است.

در این مقاله، ابتدا مؤلفه‌های جریان عایقی در آزمایشهای ولتاژ بالای DC، بررسی شده است. سپس روش انجام آزمایش ارائه شده است. نتایج آزمون انجام شده بر روی ژنراتور نیروگاه ری نیز مورد تحلیل قرار گرفته و وضعیت عایق بررسی شده است. در پایان نتایج این آزمایش با نتایج حاصله از اندازه‌گیری on-line تخلیه‌های جزئی مقایسه شده است.

۲- جریانهای عایقی در تست ولتاژ بالای DC

در تستهای فشارقوی، سه مؤلفه از جریان عایقی مورد توجه می‌باشد. جریان شارژ خازنی، جریان پلاریزاسیون و جریان نشتی یا هدایت [۷].

جریان شارژ خازنی را می‌توان به ظرفیت خازنی سیم‌پیچ نسبت داد که طبق رابطه (۱) برابر است با حاصل ضرب مقدار ظرفیت خازنی در نرخ تغییرات ولتاژ اعمالی.



شکل (۱): مؤلفه‌های جریان عبوری از عایق، هنگام اعمال ولتاژ پله به

عایق

^۱ - Dipole

شده فقط جریان دیپلاریزاسیون می‌باشد. دمای محیط و ظرفیت خازنی سیم‌پیچی باید اندازه‌گیری شده و ثبت شوند. جریانهای پلاریزاسیون و دیپلاریزاسیون اندازه‌گیری شده به نوع، ابعاد، درجه حرارت و کیفیت عایق بستگی دارد. برای این که نتایج آزمایش بر روی یک نوع عایق با ابعاد مختلف و در دماهای مختلف را بتوان با یکدیگر مقایسه کرد باید جریانهای اندازه‌گیری شده نسبت به ظرفیت خازنی سیم‌پیچ و درجه حرارت نرمالیزه شوند. در این صورت تغییرات جریانهای پلاریزاسیون و دیپلاریزاسیون فقط به کیفیت عایق و شرایط عایق (رطوبت و آلودگی) بستگی دارد. بنابراین با تحلیل این جریانها با یکدیگر در زمانهای مختلف می‌توان پیرشدن عایق بر اثر مرور زمان را تشخیص داد.

۳-۲- نرمالیزه کردن جریانهای اندازه‌گیری شده

الف: نسبت به ظرفیت خازنی سیم‌پیچ

برای نرمالیزه کردن جریانهای پلاریزاسیون و دیپلاریزاسیون نسبت به ظرفیت خازنی، کافی است جریانهای اندازه‌گیری شده بر ظرفیت خازنی سیم‌پیچ تقسیم کرد. شکل (۲) جریان نرمالیزه شده حاصل از آزمایش بر روی دو عایق آسفالت-میکا و اپکسی-میکا را نشان می‌دهد [۶].
ظرفیت خازنی برای اپکسی و آسفالت به ترتیب ۲/۶۳ و ۲/۱۶ نانوفاراد می‌باشد.

ب: نسبت به دما

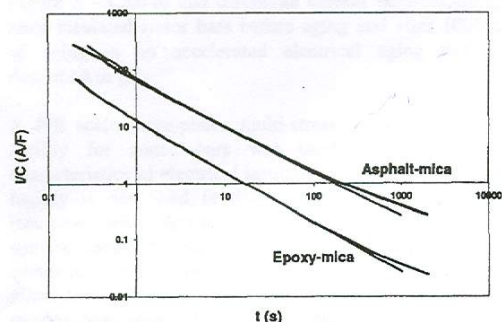
جریان عایق با درجه حرارت عایق تغییر می‌کند. با افزایش دمای عایق، انرژی گرمایی بیشتری به عایق می‌رسد، این انرژی باعث می‌شود که حامل‌های بار الکتریکی بیشتری آزاد شوند در نتیجه جریان عبوری از عایق افزایش یابد. افزایش دمای عایق باعث افزایش تمام مولفه‌های جریان عایق به غیر از جریان خازنی می‌شود [۸]. شکل (۳) تغییرات جریان پلاریزاسیون برای یک عایق در دماهای مختلف را نشان می‌دهد [۶]. همانطور که مشاهده می‌شود این جریان به دما بسیار حساس است. بنابراین برای اینکه نتایج تستهای مختلف

میدان الکتریکی قرار داشته است، به هم متصل شود جریان بسیار کمی در مدار جاری می‌شود که همان جریان دیپلاریزاسیون می‌باشد. البته در لحظه اول اتصال کوتاه، جریان دشارژ خازنی نیز وجود دارد که پس از چند ثانیه به صفر می‌رسد.

۳- روش انجام آزمایش

۳-۱- اندازه‌گیری جریانهای پلاریزاسیون و دیپلاریزاسیون

برای انجام این تست به منبع ولتاژ بالای DC قابل برنامه‌ریزی، رله‌های حفاظتی و سیستم اندازه‌گیری کامپیوتری نیاز می‌باشد. در این تست ولتاژ DC به اندازه ۰/۲ تا ۲ کیلوولت بر میلیمتر، ضخامت عایق، در مدت زمان معین به عایق اعمال می‌شود. مدت زمان اعمال ولتاژ در حدی است که نرخ تغییرات جریان، کاهش یابد (معمولاً ۲۰۰۰ ثانیه). بعد از اعمال ولتاژ DC به عایق باید چند ثانیه صبر کرد تا جریان خازنی به صفر کاهش یابد. سپس جریان را اندازه‌گیری کرد. نکته مهمی که در اندازه‌گیری جریان پلاریزاسیون باید رعایت شود این است که ولتاژ اعمالی به عایق باید کاملاً ثابت باشد. در غیر اینصورت با توجه به رابطه (۱) به دلیل تغییر ولتاژ، جریانی از مدار عبور می‌کند که ربطی به جریان پلاریزاسیون ندارد و باعث خطای اندازه‌گیری می‌شود.



شکل (۲): جریان نرمالیزه شده برای دو عایق آسفالت-میکا و اپکسی - میکا

بعد از این مرحله سیم‌پیچی استاتور، اتصال کوتاه می‌شود. ابتدا باید چند ثانیه صبر کرد تا جریان دشارژ خازنی به صفر برسد. سپس جریان را اندازه‌گیری کرد. جریان اندازه‌گیری

$f(t)$: تابع پاسخ دی الکتریک عایق، C : ظرفیت خازنی و δ : قابلیت هدایت الکتریکی عایق می‌باشد.

در عمل مدت زمان اعمال ولتاژ را نمی‌توان خیلی زیاد در نظر گرفت. برای این که تاثیر زمان محدود شارژ بر روی جریان اتصال کوتاه عایق حذف شود باید به صورت زیر عمل کرد.

$$f(t) = At^{-n} \quad (5)$$

تابع پاسخ دی الکتریک به صورت رابطه (5) فرض می‌شود.

این تابع با نتایج عملی که بر روی عایق‌های آسفالت - میکا و اپکسی - میکا انجام شده، مطابقت دارد [۱۰].

پارامترهای A و n از تغییرات جریان دشارژ اندازه‌گیری شده بین ۱۰ و ۱۰۰ ثانیه بدست می‌آیند. جریان اتصال کوتاه سیم‌پیچ با استفاده از رابطه زیر اصلاح شده و جریان دشارژ اصلاح شده به دست می‌آید.

$$i_{real}(t) = i_{meas}(t) - VCf(t+t_c) \quad (6)$$

t_c مدت زمان اعمال ولتاژ پله به عایق می‌باشد.

بنابراین جریان دشارژی که در مختصات لگاریتمی رسم می‌شود به صورت زیر می‌باشد:

$$i_{disch} = -VC(\delta(t) + f(t) - f(t+t_c)) \quad (7)$$

با توجه به رابطه (6) در حالت ایده‌آل که t_c به سمت بی‌نهایت میل می‌کند داریم:

$$f(t+t_c) = 0 \quad (8)$$

در نتیجه:

$$i_{real}(t) = i_{meas}(t) \quad (9)$$

اما در عمل چون زمان اعمال ولتاژ، محدود است باید از رابطه (6)، برای تصحیح جریان دشارژ اندازه‌گیری شده استفاده کرد.

۴- تحلیل نتایج آزمایش انجام شده بر روی ژنراتور نیروگاه ری

در این بخش نتایج آزمون انجام شده بر روی ژنراتور نیروگاه ری مورد بررسی قرار می‌گیرد. در آزمایش انجام شده،

بر روی یک عایق را بتوانیم به درستی تفسیر کنیم باید اثر دما در آزمایش حذف شود. در نتیجه باید آزمایشها را در یک دمای معین انجام داد. اما در بسیاری از موارد دمای عایق را از یک تست تا تست دیگر نمی‌توان کنترل کرد و ثابت نگه داشت. در این شرایط، توصیه می‌شود که جریانهای اندازه‌گیری شده در هر دمایی نسبت به دمای ۴۰ درجه سانتیگراد نرمالیزه شوند تا اثر دما بر روی جریان حذف شود. در این صورت نتایج آزمایش در دماهای مختلف، با حذف اثر دما، قابل مقایسه‌اند.

$$R_C = K_T \cdot R_T \quad (2)$$

R_C : مقاومت اصلاح شده عایق در دمای ۴۰ درجه (مگا اهم).

K_T : ضریب حرارتی مقاومت عایق در دمای T درجه.

R_T : مقاومت اندازه‌گیری شده عایق در دمای T درجه (مگا اهم)

$$(73 - T)/43 \quad (3)$$

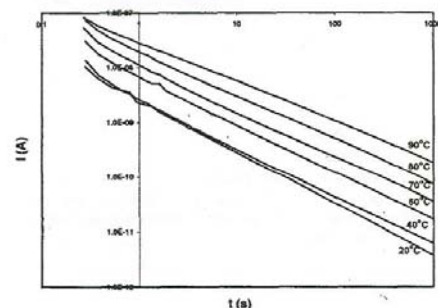
$$K_T = (3/8)$$

مشاهده می‌شود که به ازای هر ۱۰ درجه سانتیگراد افزایش دما، مقاومت عایق، نصف و جریان آن دو برابر می‌شود.

۳-۳- تاثیر زمان محدود اعمال ولتاژ

جریان عبوری از عایق بعد از اعمال ولتاژ برابر است با [۹]:

$$i_{ch}(t) = VC \left(\delta(t) + f(t) + \frac{\delta}{\epsilon_3} \right) \quad (4)$$



شکل (۳): جریان پلاریزاسیون برحسب زمان در دماهای مختلف

با مقایسه شکل‌های (۶-الف) و (۵-ج) مشاهده می‌شود که جریان پلاریزاسیون (۶-الف) بیشتر از (۵-ج) است. این اختلاف مربوط به جریان نشتی مابین فاز R و فازهای S و T می‌باشد. قبلا هم همین نتیجه حاصل شده بود و مشاهده شد که جریان نشتی فاز S، بسیار زیاد است. اختلاف جریانهای پلاریزاسیون در دو حالت را می‌توان، بیشتر مربوط به جریان نشتی بین فاز R و S دانست.

با مقایسه شکل‌های (۵-الف) و (۶-ب) مشاهده می‌شود که در این حالت نیز جریان‌های دیپلاریزاسیون باهم برابرند و جریان پلاریزاسیون اختلاف کمی دارند. این اختلاف ناشی از جریان سطحی بین فاز S و فازهای R و T می‌باشد. با مقایسه شکل‌های (۵-ب) و (۵-ج) مشخص شد که جریان سطحی و آلودگی فاز T بیشتر از R است. بنابراین اختلاف مشاهده شده در منحنی‌های (۵-الف) و (۶-ب) را می‌توان ناشی از جریان نشتی بین فاز S و T دانست.

جریانهای پلاریزاسیون فاز R در دو حالتی که دو فاز دیگر زمین شده و زمین نشده‌اند (شکل‌های (۵-ج) و (۶-الف))، بیشترین اختلاف را با یکدیگر دارند. با توجه به پایین بودن جریان پلاریزاسیون در حالتی که دو فاز دیگر ایزوله بوده و زمین نشده‌اند و با توجه به اینکه وجود آلودگی بسیار کم در این فاز ثابت شده است، می‌توان با قاطعیت نتیجه گرفت که اختلاف این دو جریان ناشی از جریان نشتی بین فاز R و فازهای T و S می‌باشد.

۵- مقایسه نتایج آزمایش با نتایج اندازه‌گیری online تخلیه جزئی

برای اطمینان از صحت عملکرد این تست، نتایج حاصل از اندازه‌گیری تخلیه‌های جزئی (PD) بر روی این واحد مورد بررسی قرار گرفته است. شکل (۷) دیاگرام Pulse Height مربوط به سه فاز S، R و T این ژنراتور را نشان می‌دهد. چنانکه از شکل (۷-الف) ملاحظه می‌شود پالس‌های منفی و مثبت تخلیه‌های جزئی در فاز R تقریباً بر روی هم منطبق بوده و نشان از تخلیه‌های با دامنه متوسط و مربوط به حفره‌های داخل عایق می‌باشد. شکل‌های (۷-ب) و (۷-ج)

جریانهای شارژ و دشارژ سیم‌پیچ برای هر فاز در دو حالت اندازه‌گیری شده‌اند. حالت اول هنگامی است که هنگام اعمال ولتاژ به یک فاز، دو فاز دیگر زمین شده‌اند و حالت دوم عکس حالت اول می‌باشد که در آن فازهای غیر از فاز مورد تست، زمین نشده رها شده‌اند. جریانهای اندازه‌گیری شده ابتدا نسبت به دما و ظرفیت خازنی سیم‌پیچ نرمالیزه شده و اثر زمان محدود شارژ به جریانهای دشارژ اعمال شده است. سپس در مختصات لگاریتمی رسم شده‌اند.

با مقایسه جریانهای پلاریزاسیون و دیپلاریزاسیون در دو حالت برای فازهای مختلف با یکدیگر و همچنین مقایسه آنها با یک نمونه سالم می‌توان وضعیت عایق تمام فازها را بررسی کرد.

شکل (۵-الف) جریانهای پلاریزاسیون و دیپلاریزاسیون را برای فاز S، وقتی که دو فاز دیگر زمین نشده‌اند نشان می‌دهد. با مقایسه این شکل با (شکل ۴) [۱۱] که مربوط به عایق سالم خشک می‌باشد مشاهده می‌شود که تنها تفاوت این دو منحنی مربوط به میزان اختلاف جریانهای پلاریزاسیون و دیپلاریزاسیون می‌باشد. در شکل (۴) این دو جریان تقریباً برهم منطبق‌اند. اختلاف جریان در شکل (۵-الف) ناشی از جریان سطحی فاز S نسبت به زمین می‌باشد که هنگام اتصال کوتاه سیم‌پیچ وجود ندارد، و باعث اختلاف جریانهای شارژ و دشارژ می‌شود. این اختلاف قابل توجه جریانهای پلاریزاسیون و دیپلاریزاسیون در نتیجه آلودگی سطحی فاز S می‌باشد.

شکل (۵-ب) جریانهای پلاریزاسیون و دیپلاریزاسیون را برای فاز T، وقتی که دو فاز S، R، زمین نشده‌اند را نشان می‌دهد، مشاهده می‌شود که در این حالت نیز جریان سطحی در عایق وجود دارد اما نسبت به فاز S کمتر است.

شکل (۵-ج) نیز جریانهای پلاریزاسیون و دیپلاریزاسیون را برای فاز R وقتی که دو فاز S و T زمین نشده‌اند را نشان می‌دهد. در این حالت، اختلاف این دو جریان بسیار کم است و الگوی آن بسیار شبیه الگوی مربوط به عایق سالم تمیز می‌باشد. بنابراین آلودگی سطحی ناچیزی بر روی سطح فاز R وجود دارد.

مراجع

- [1] D.G.Watterson, M.Bradford and w.prescott, "In service dielect testing of the winding insulation of HV motors and generators", ERA Report 90-0060, May 1990.
- [2] L.M.Rux, "High Voltage DC tests for evaluating stator winding insulation: uniform step. Graded step and ramped test methods", IEEE Conf.on electrical insulation and dielectric phenomena, Oct 1997.
- [3] ANSI/IEEE Std. 43-2000, "Recommended practice for testing insulation resistance of rotating machinery.
- [4] P.werelius, P Tharning, R.Eirsson, B.Holmgren, U.Gafvert, "Dielectric spectroscopy for diagnosis of water tree deterioration in XLPE Cables", IEEE Trans. On Dielectric and Electrical insulation, Vol.8, pp.27-42, 2001.
- [5] S.M.Gubanski et al., "Dielectric response methodes for diagnostics of Power transformers", IEEE Electr. Ins.Mag., Vol.19, pp.12-18, 2003.
- [6] E.David, L.Lamarre, D.N.Nguyen, "The use of time domain spectroscopy as a diagnostic tool for ratating machine winding", ISEI, pp.506-507, 2002.
- [7] IEEE Std. 95-2002, IEEE Recommended practice for insulation testing of AC electric machinery (2300V and above), with high direct Voltage.
- [8] IEEE Std. 43-2000, IEEE recommended practice for testing insulation resistance of rotating machinery.
- [9] E.David, R.Thaghizad, L.Lamarre, D.N.Nguyen, "Investigation on the low frequency dielectric response of ground-wall insulation of rotating machine winding", 2003 Anndall report Conference on electrical insulation and dielectric Phenomena, Canada 2003.
- [10] E.David, L.Lamarrem, "Influence of rise time on the dielectric parameters extracted from time domain spectroscopy", Submitted to IEEE Trans. Electer. Ins. And Dielectr.
- [11] E.David, L.Lamarre, D.N.Nguyen, "Low frequency dielectric response of asphalt bonded insulation"

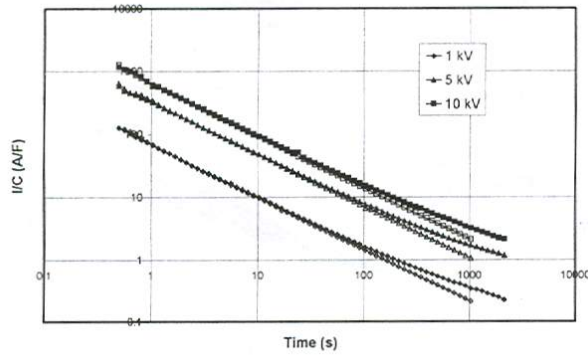
نیز دیاگرام Pulse-Height مربوط به فازهای S و T را به نمایش گذاشته است. چنانکه از این شکل‌ها ملاحظه می‌شود پالس‌های مثبت در این فازها برتری چشمگیری نسبت به پالس‌های منفی دارند که این نشانه آشکاری از تخلیه‌های سطحی در اثر آلودگی است. همچنین با مقایسه دیاگرام‌های مربوط به فازهای S و T برتری کلی تخلیه‌های فاز S در مقایسه با فاز T کاملاً مشهود می‌باشد. این نتایج با نتایج بدست آمده از تست PDCA که در آن S و T فازهای آلوده و فاز R با کمترین آلودگی تشخیص داده شده بود، کاملاً همخوانی دارد.

۶- نتیجه‌گیری

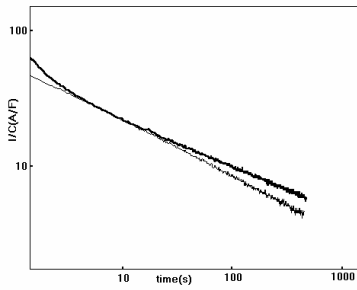
دامنه و نرخ تغییرات جریانهای پلاریزاسیون و دیپلاریزاسیون به اندازه و لثاژ اعمالی به عایق، شرایط محیطی، نوع، ابعاد و درجه حرارت عایق بستگی دارد. با نرمالیزه کردن جریان نسبت به ظرفیت خازنی سیم‌پیچ و درجه حرارت و همچنین انجام آزمایش با ولتاژهای یکسان و از پیش تعیین شده، جریانهای پلاریزاسیون و دیپلاریزاسیون فقط به وضعیت عایق بستگی خواهد داشت. در نتیجه با تحلیل جریانهای پلاریزاسیون و دیپلاریزاسیون می‌توان وضعیت عایق را بررسی کرد. البته بعضی از خطاها نظیر وجود حفره در عایق تاکنون با استفاده از این روش تشخیص داده نشده‌اند. تحقیقات زیادی برای تفسیر رفتارهای غیرطبیعی جریانهای پلاریزاسیون و دیپلاریزاسیون و تشخیص انواع خطا در عایق با استفاده از این روش در حال انجام است.

بررسی نتایج تست انجام شده بر روی ژنراتور نیروگاه ری نشان داد که آلودگی سطحی بر روی سیم‌پیچ فاز S بسیار زیاد است. سیم‌پیچ فاز T نیز آلودگی دارد اما نسبت به فاز S کمتر است. سیم‌پیچ فاز R نیز کمترین آلودگی نسبت به دو سیم‌پیچ دیگر دارد.

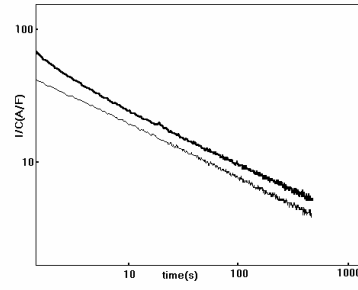
این نتایج با بررسی نتایج حاصل از اندازه‌گیری تخلیه جزئی که به صورت on-line صورت گرفته است مورد تایید قرار گرفت و موثر بودن تست PDCA را مورد تاکید قرار داد.



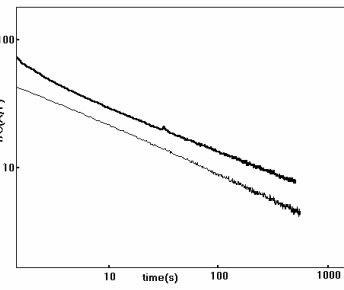
شکل (۴) جریانهای پلاریزاسیون و دیپلاریزاسیون، برای یک نمونه عایق سالم خشک از جنس اپکسی - میکا به ازای ولتاژهای مختلف



ج



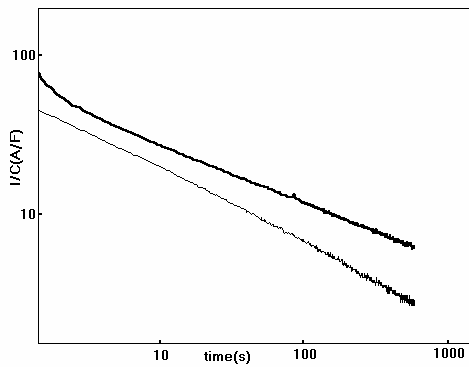
ب



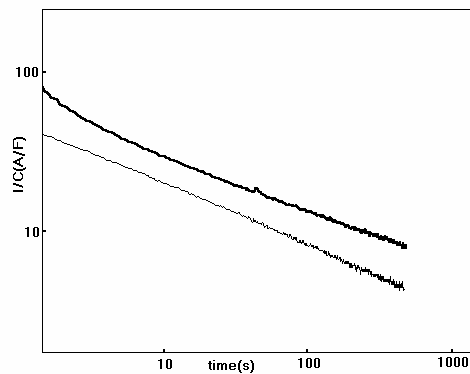
الف

شکل (۵): جریانهای پلاریزاسیون و دیپلاریزاسیون برای فازهای S, T و R و تئیکه دو فاز دیگر رها شده‌اند.

الف: S ب: T ج: R



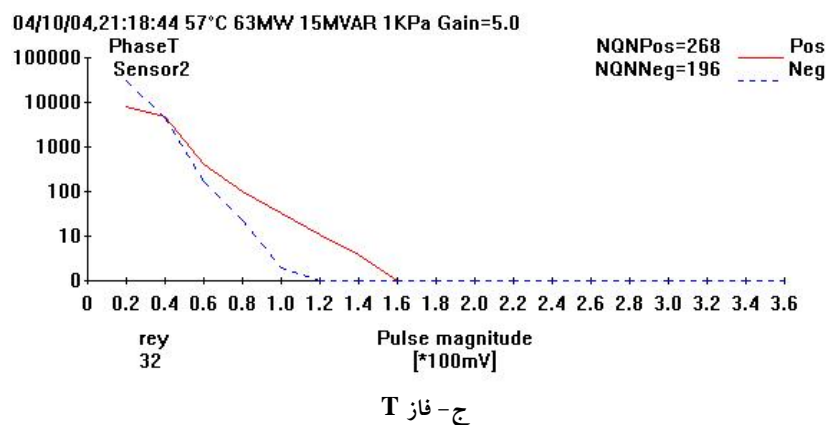
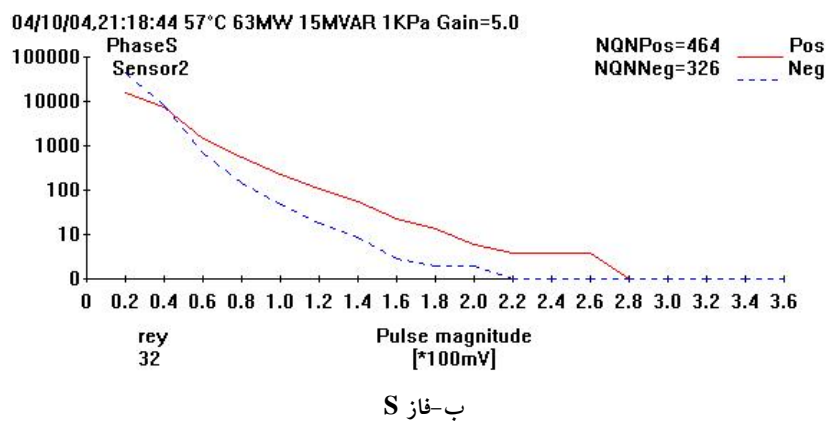
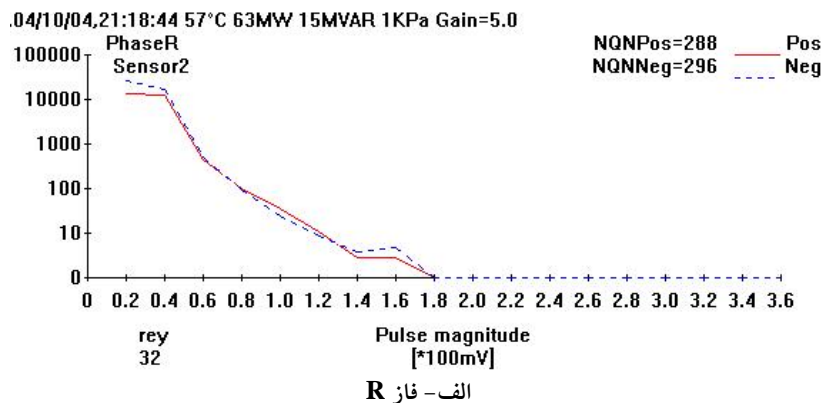
ب



الف

شکل (۶): جریانهای پلاریزاسیون و دیپلاریزاسیون برای فازهای S و R، در حالیکه دو فاز دیگر زمین شده‌اند.

الف: R ب: S



شکل (۷)-دیاگرام Pulse-Height فازهای واحد ۳۲ نیروگاه گازی ری