بیست و ششمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و دوازدهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه خوارزمی،
تهران، ایران.
۱۵-۱۶ بهمن ۱۳۹۸

تشخیص تخریب روغن ترانسفورماتور از طریق طیف‌سنجی فلورسانس القایی لیزری

علیرضا آکنده، پرویز پروین*، علی بوالی، زهرا زارع، ستاره ابراهیم نسب، محمدمهدی فانی

دانشکده فیزیک دانشگاه امیرکبیر، 15875-4413 ، تهران، ایران

***parvin@aut.ac.ir**

چکیده – در این مقاله با استفاده از تکنیک طیف‌سنجی فلورسانس القایی لیزری به بررسی اثر تخریب حرارتی و اکسایش دو نوع از روغن‌های عایقی ترانسفورماتور پرداخته شده است. آنچه که در این پژوهش دارای اهمیت است، استفاده از روش طیف سنجی فلورسانس القایی لیزری در تعیین سطح کیفیت و سلامت روغن عایقی می‌باشد. بطور تجربی نشان داده‌ایم که مدت‌زمان حرارت‌دهی سبب جابجایی طیفی قرمز و همچنین کاهش شدت در طیف فلورسانس می‌شود.

کلید واژه- جابجایی طیفی، روغن ترانسفورماتور، طیف‌سنجی فلورسانس القایی لیزری

Effect of Transformer Oli Tempreture on Laser Induced Fluorescence Spectroscopy

Alireza Akande, *Parviz Parvin, Ali Bavali, Zahra Zare, Setareh Ebrahimnasab, Mohammad Mahdi Faani

Physics Dept, Amirkabir University of Technohogy, P.O.Box 15875-44413, Tehran, Iran

***parvin@aut.ac.ir**

Abstract- In this paper, laser induction fluorescence spectroscopy is employed to investigate the thermal degradation and oxadation of two types of transformator oils. What is important in this study is the use if fluorescence spectroscopy in determining the quality and health of insulator oils. It is shown that increasing the heating duratuion leads to decrease in the fluorescence intensity and the corresponding red spectral shift.

Keywords:Laser induced fluorescence spectroscopy, Spectral Shift, Transformer Oil

این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-06-19]

مقدمه

امروزه برق فشارقوی[۱] به‌طور گسترده در ایستگاه‌های توزیع و انتقال برق، خطوط انتقال برق به‌منظور افزایش بازده و کاهش تلفات الکتریکی، نیروگاه‌ها، صنایع مختلف، آزمایشگاه‌های تحقیقاتی در حوزه‌های پژوهش هسته‌ای و یا شتاب‌دهنده‌های ذرات زیراتمی، تجهیزات پرتونگاری صنعتی و پزشکی کاربرد دارد [۱]. براساس تجربه ثابت شده‌است که تلفات عمده‌ای که ترانسفورماتورهای حاوی روغن، با آن‌ها درگیر هستند، به‌طور مکرر رخ می‌دهند. به همین منظور پژوهشی پنج ساله در این راستا انجام شده‌است[2]. روغن ترانسفورماتور که از دسته‌ی روغن‌های معدنی با فرمول $C_nH_{2\times n}$ و $C_nH_{2(n+1)}$ بشمار می‌آیند، ترکیبی از اشکال مولکولی خطی، حلقوی و نیمه‌حلقوی تشکیل شده‌اند. این روغن‌ها در انواع زیادی از ابزارهای توزیع و تولید قدرت بعنوان یک سیال بکار می‌روند. در حالت کلی روغن عایقی بکار رفته در ترانسفورماتورها سه وظیفه مهم و حیاتی را برعهده دارد. از این روغن‌ها به‌عنوان عایق الکتریکی، خنک‌کننده و حمل‌کننده اطلاعات استفاده می‌گردد[3]. گذر زمان و عملکرد دائمی روغن‌های ترانسفورماتور سبب کاهش کیفیت آن‌ها می‌شود که عمدتا ناشی از افزایش دما، رطوبت، اکسید شدن، تخلیه الکتریکی و عوامل دیگر می‌باشد. افزایش اسیدیته روغن در حال سرویس، نشان‌دهنده پیری روغن است. محصولات جانبی اسیدی بر تخریب مواد سلولزی تأثیر می‌گذارند و ممکن است به خوردگی[۲] قطعات فلزی در ترانسفورماتور منجر شوند[3].

امروزه مراقبت از ترانسفورماتورها از اهمیت زیادی برخوردار است که این مراقبت‌ها شامل انواع روش‌های حفاظتی، نگهداری، بازدارندگی و تشخیص عیوب خطاها می‌باشد. لذا استفاده از روشی که بتواند نظارت انجام دهد، حائز اهمیت است. در این راستا روش LIF در شناسایی مؤلفه‌های هیدروکربی کاربرد شاخصی دارد که شامل نظارت مستقیم آب دریا به منظور تشخیص مواد نفتی و مشتقات آن‌ها، بررسی کیفیت و پایداری گرمایی و میزان تخریب و کیفیت سوخت‌ها و پایش خاک‌های محیط به منظور تشخیص روغن‌های بیولوژی و هیدرولیکی قبلا گزارش شده‌است[4]. از مزایای روش LIF می‌توان به سرعت تحلیل نمونه، هزینه نسبتاً پایین و قابل حمل بودن اشاره کرد. هدف از این مطالعه، بررسی طیف فلورسانس القایی روغن عایقی تخریب‌شده است.

نظریه LIF

طیف‌سنجی LIF شامل تحریک اتم یا مولکول به کمک لیزر و انتقال به ترازهای کوانتومی برانگیخته و سپس گسیل خودبخودی تابش گذار از تراز تحریکی به تراز پایه است. در این روش لیزر با طول‌موج مشخص به نمونه تابیده شده و انرژی موردنیاز جهت جذب توسط فلوفور و برانگیختگی آن تأمین می‌گردد. طیف گسیلی از نمونه به‌طور همزمان بیانگر نوع و غلظت فلوفور می‌باشد.

آزمایش‌ها و نتایج

با توجه به این‌که کیفیت روغن بکار رفته در ترانسفورماتورها و تشخیص سالم و سوخته بودن این روغن‌ها از اهمیت زیادی برخوردار است، به منظور بررسی روغن تخریب‌شده از طیف‌سنجی LIF استفاده شده‌است. افزایش مدت‌زمان سرویس‌دهی و اکسیدشدن از عوامل اصلی تخریب روغن هستند. نتایج برای روغن ترانسفورماتور با کد اختصاصی

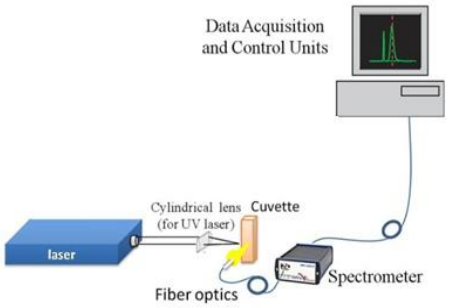
[۱] High Voltage

[۲] Corrosion

این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

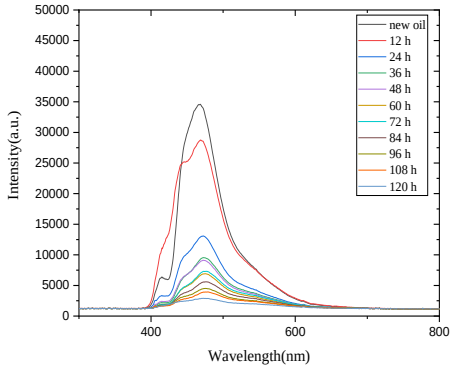
[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-06-19]

ZA02 بدست آمده‌است. در این پژوهش پرتودهی با لیزر دیودی ۴۰۵ نانومتر با توان عملی ۱۲۰میلی‌وات انجام شد و سپس طیف فلورسانس با استفاده از طیف‌سنج نوری avaspec_2048 بهره‌گیری شد. با این روش، تأثیر مستقیم قرارگیری طولانی‌مدت در معرض حرارت بر سلامت روغن در دمای سرویس‌دهی یعنی ۹۰ درجه سانتی‌گراد، اندازه‌گیری شد. حرارت‌دهی با استفاده از سیستم گرمایشی صفحه‌ای(هات پلیت) صورت گرفته‌است. چیدمان آزمایشگاهی مورد استفاده در شکل (۱) قابل مشاهده است. همچنین این آزمون‌ها در آرایه زاویه قائم انجام پذیرفته‌اند.



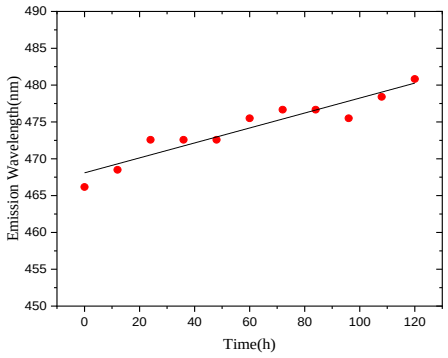
شکل ۱: چیدمان آرایه زاویه قائم برای طیف‌سنجی LIF.

شکل (۲) تأثیر مدت‌زمان حرارت‌دهی و اکسیداسیون بر شدت طیف فلورسانس گسیلی ثبت‌شده برای روغن عایقی ZA02 به کمک لیزر بنفش را نشان می‌دهد. حرارت دهی به‌صورت مداوم اعمال‌شده و نمونه‌ها به مدت ۱۲۰ ساعت بدون وقفه در معرض حرارت قرارگرفته‌اند. در این گام به‌منظور دخالت‌دادن اکسیداسیون، در تمام مدت حرارت‌دهی درب ظروف مک-کارتی باز نگه‌داشته شده‌اند تا امکان تبادل اکسیژن وجود داشته باشد. مطابق این شکل، با افزایش مدت‌زمان حرارت‌دهی، علاوه بر مشاهده جابجایی طیفی قرمز در طیف فلورسانس، شدت فلورسانس نیز با کاهش چشمگیری همراه می‌باشد.

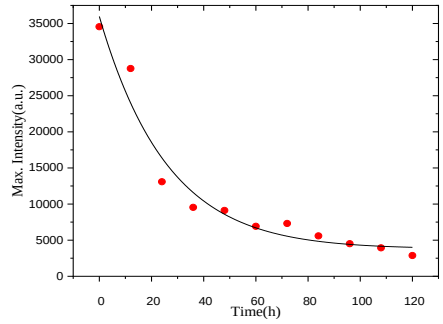


شکل ۲: تغییرات طیف فلورسانس برای نمونه ZA02 با مدت‌زمان حرارت‌دهی و اکسایش متفاوت.

منحنی تغییرات طول‌موج انتشار روغن ZA02 در شکل (۳) قابل مشاهده‌است. همچنین در شکل‌های (۴) بیشینه شدت طیف فلورسانس القایی برای این روغن قابل مشاهده‌است.



شکل ۳: تغییرات طول موج انتشار روغن ZA02 با مدت‌زمان حرارت‌دهی و اکسایش مختلف.



شکل ۴: تغییرات شدت بیشینه طیف فلورسانس روغن ZA02 در مدت زمان حرارت‌دهی و اکسایش مختلف.

این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-06-19]

با افزایش مدت‌زمان سرویس‌دهی، شاهد جابجایی طیفی قرمز و کاهش شدت در طیف فلورسانس هستیم. یکی از عوامل این نتیجه وجود ترکیبات هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای است. افزایش این ترکیبات موجب جابجایی طیف جذب و گسیل از ناحیه فرابنفش برای روغن عایقی نو به ناحیه مرئی برای روغن‌های کارکرده، می‌گردد؛ هرچه میزان زمان کارکرد روغن عایقی بیشتر باشد شاهد جابجایی بیشتری خواهیم بود. همچنین موجب کاهش طول جذب لیزر در محیط روغن می‌گردد، بدان معنا که با افزایش تعداد گونه‌های جاذب، تعداد بسیار زیادی از فوتون‌های فرودی در ابتدای محیط جذب‌شده و به همین سبب ماکزیمم مسافتی که بیم فرودی طی می‌کند تا شدت آن 1/e گردد، کاهش می‌یابد. عامل دیگر حضور اکسیژن در اکثر فرآیندهای تشریح شده اکسایش روغن عایقی است. با افزایش مولکول‌های اکسیدشده فلورسانس گسیلی از فلوروفورهای موجود در محیط پیش از آنکه مجال باز جذب توسط مولکول‌های نرمال روغن را پیدا کنند، توسط همین مولکول‌های اکسیدشده، باز جذب می‌شوند و ناحیه باز جذب‌های جدیدی را نسبت به گذشته ایجاد کنند و همچنین حضور اکسیژن آزاد در محیط به‌عنوان یک فرونشان قوی شناخته می‌شود.

نتیجه‌گیری

در این مقاله و با توجه به نتایج ارائه شده، با بهره‌گیری از روش طیف‌سنجی فلورسانس القایی لیزری به بررسی اثر تخریب حرارتی و اکسایش روغن ترانسفورماتور پرداخته شده‌است. بنابراین روش طیف‌سنجی فلورسانس القایی لیزری، روشی کارآمد برای رصد حضور هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقه و اکسیژن و درنهایت تعیین سطح کیفیت و سلامت روغن عایقی، می‌باشد.

مرجع‌ها

[۱] ثقفی، مهدی. و هوشمند، رحمت‌الله. عایق‌ها و فشارقوی (۱۳۸۶). اهواز: دانشگاه شهید چمران.

[2] William H. Bartley, HSB, Analysis of Transformer Failures, Proceedings of the Thirty-Six Annual. International Association of Engineering Insurers Conference, Stockholm, 2003.

[3] Eklund, M., Jarman, P., Newesely, G., Pahlavanpour, B., Sundkvist, K. (2009). Transformer oil handbook (Second ed.). Sweden: Nynas AB.

[4] Amann,H., Phys.Sc,68-78,1998.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-06-19]

این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.