مجلة جامعة دمشق للعلوم الهندسية
المجلد40 العدد(4) – 2024: 212-221

Damascus University Journal for engineering sciences
Vo 40 number (4) -2024: 212-221

تحسين جودة الزيوت العازلة المعدنية في تجهيزات التوتر العالي باستخدام الزيوت النباتية

مثنى محمد الجاسم*[1]

[1*]مهندس كهرباء– قسم هندسة نظم القدرة الكهربائية– كلية الهندسة الكهربائية والالكترونية– جامعة حلب
mothana2.aljassem@damascusuniversity.edu.sy

تاريخ الايداع: 2022/10/17
تاريخ القبول: 2022/12/20

حقوق النشر: جامعة دمشق – سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب الترخيص CC BY-NC-SA 04

الملخص:

هناك اهتمام عالمي كبير بالأبحاث الموجهة لتحسين أداء محولات القدرة والتجهيزات الكهربائية من خلال تحسين المواصفات الفنية للزيوت العازلة المستخدمة في تجهيزات التوتر العالي. تعتبر المحولات العنصر الأساسي في شبكات التوتر العالي ،حيث أن الأعطال في أغلب المحولات تكلف مبالغا" مالية إما للإصلاح أو للاستبدال. إن الزيوت المعدنية في محولات القدرة الكهربائية هي واحدة من أكثر المواد العازلة السائلة شيوعا المستخدمة في العزل، يرتبط تحسين السوائل العازلة بمعايير متعددة، كالمتطلبات البيئية وعوامل أخرى تتعلق بالسلامة أو الكلفة الاقتصادية. تعد الزيوت النباتية مرشحا" جديدا" ليحل محل الزيوت المعدنية في المستقبل.

يهدف هذا البحث إلى التحقق من:

- إمكانية استخدام الزيت النباتي و مخاليطه مع الزيوت المعدنية كسائل عازل في محولات القدرة الكهربائية.
- التحقق من تأثير درجة الحرارة على توتر انهيار الخلائط الناتجة وعددها ستة خلائط بنسب مختلفة من الزيوت المعدنية / الزيوت النباتية.
- تحديد أفضل نسبة خلط من الزيوت النباتية والمعدنية تحت تأثير درجات حرارة مختلفة و التي تتوافق مع متطلبات المعايير الدولية لاستخدامها في محولات القدرة الكهربائية.

تم إجراء جميع الاختبارات المتعلقة بهذا البحث وفقًا لـ إجراءات الاختبار القياسية العالمية IEC60156. وقد أشارت نتائج هذا البحث إلى أنه يمكن تحسين خصائص محولات القدرة من خلال تحسين خصائص السائل العازل، ما و يمكن استخدام الخلائط من الزيوت النباتية والمعدنية كعازل سائل بديل للزيوت المعدنية في المحولات، وبينت النتائج تأثير تغير درجة الحرارة على قيمة توتر الانهيار للخلائط الناتجة حيث أن أعلى قيمة لتوتر الانهيار كانت عند درجة حرارة80 درجة مئوية، وقد تم اختيار النسبة 25 ٪ من الزيت المعدني المستعمل مع 75 ٪ من الزيت النباتي على أنها أفضل نسبة لخلط للزيوت العازلة النباتية مع المعدنية والتي تحقق لنا العازلية المطلوبة.

الكلمات المفتاحية: التوتر العالي، محولات القدرة، توتر الانهيار، الزيوت المعدنية، الزيوت النباتية.

Improvement the Quality of Mineral Insulating Oil at High Voltage Equipments Using Vegetable Oil

Mothana Mohammed Aljassem[*1]

*[1.] Electrical Engineer, Department of Electrical Power System, Faculty of Electrical & Electronic Engineering, University of Aleppo.

mothana2 aljassem@damascusuniversity.edu.sy.

Received:17/10/2022
Accepted:20/12/2022

Copyright: Damascus University- Syria, The authors retain the copyright under a **CC BY- NC-SA**

Abstract:

There is widespread global interest into research which related to improving the performance of power transformers and electrical equipment by improving the technical specifications of insulating oils used in high voltage equipments. Transformers considered the main part at high voltage networks, where most of the faults in transformers cost money either for repair or replacement. Mineral oil is one of the most common liquid insulating materials used in insulation. The development of the properties of insulating liquids is connected to several factors, such as environmental requirements and other factors related to safety or economic cost. Vegetable oils are considered a new candidate to replace mineral oils in the future.

The aim of this research to verify:

• The possibility of using vegetable oil and its mixtures with mineral oils as insulating oils at power transformers.

• Verification of the effect of temperature on the breakdown voltage of the resulting mixtures, which are six mixtures with different ratios of mineral/vegetable oils.

• Determine the best ratio for mixing under the influence of temperature which fulfills the requirements of international standards for use at power transformers.

All tests related to this research were carried out according to the international standard test procedures IEC60156. The results of this research indicated that an improvement of the characteristics of power transformers could be achieved via the improvement of the insulating liquid characteristics . Using mixtures of vegetable and mineral oils can be considered as an alternative liquid insulator for mineral oils in transformers, and showed the effect of temperature change on the value of the breakdown voltage of the resulting mixtures as ،the highest value of the breakdown voltage was at a temperature of 80°C, and the ratio 25% of the used mineral oil with 75% of the vegetable oil was chosen as the best mixing ratio of the vegetable and mineral insulating oils that achieve the required insulation.

Keywords: High Voltage, Power Transformer, Breakdown voltage, Mineral oil, Vegetable oil.

المقدمة:

يعتمد التشغيل الأمثل للشبكات الكهربائية بشكل أساسي على الدور الذي تقوم به محولات القدرة [3]. حيث لها دوراً هاما في نقل وتوزيع القدرة الكهربائية في شبكات التوتر العالي، لذلك فهي بحاجة لمراقبة دورية من أجل منع أي إمكانية لحدوث أعطال داخل محولات القدرة الكهربائية، إن مراقبة حالة المحولات هي تلك العملية التي يتم من خلالها إدارة ومراقبة البيانات المرتبطة بخصائص المحول والتي يتم عن طريقها كشف الأعطال و اتخاذ احتياطات الحماية والوقاية عن طريق المراقبة المنتظمة للقيم المتوقعة لبارامترات المحول. في ظل غياب الدقة في تشخيص العازلية فإن العديد من المحولات تفشل بالوصول إلى مرحلة التصميم التقني، حيث إن الفشل في أغلب المحولات يكلف مبالغا" مالية إما للإصلاح أو للاستبدال. يرتبط أداء المحول عملياً بعدة عوامل أهمها العازلية فكلما تحققت عازلية جيدة تحققت موثوقية أكثر. تعد الزيوت المعدنية في محولات الجهد العالي واحدة من أكثر المواد العازلة السائلة شيوعا" المستخدمة في العزل، وان فحص عازلية الزيت هو من أكثر الفحوص الشائعة أهمية لتقييم أداء المحول و هو في الخدمة. تتدهور خصائص الزيوت المعدنية في معدات التوتر العالي بسبب مجموعة من العمليات مثل التقادم الحراري والأقواس الكهربائية والأكسدة والإنفراغ الجزئي، وذلك خلال فترات العمل الطويلة تحت الخدمة. [1] ،[2] ،[4] ،[5] .

نظرا" للحاجة إلى إيجاد بدائل عن الزيوت المعدنية فقد تركزت العديد من الأبحاث العالمية على ذلك الموضوع، وفقًا للدراسات الحديثة، فقد اكتسبت الزيوت النباتية والعوازل السائلة القائمة على الإسترات سواء كانت طبيعية أو صناعية (الإسترات هي صنف من المركبات الكيميائية العضوية لأنها تحتوي على الكربون العضوي، والصيغة العامة لها R-COO-R´ تتشكل الإسترات بتفاعل حمض أكسيدي يحتوي على مجموعة (X=O) مع مركب هيدروكسيل مثل الكحول أو الفينول، وتتشكل الإسترات أيضا من الحموض اللاعضوية أو الحموض العضوية).

أهمية عالية كبديل للزيوت المعدنية [6]. وبينت تلك الدراسات مزاياها إذ أن السوائل العازلة القائمة على الإستر قابلة للتحلل البيولوجي، وصديقة للبيئة ولها خصائص حرارية ممتازة مقارنة بالزيت المعدني [7]. من جهة أخرى وعلى الرغم من أن لها العديد من المزايا، إلا أن ثبات الأكسدة الضعيف واللزوجة العالية والتكلفة العالية تعد من أهم العيوب للعوازل القائمة على الإسترات [8]. يمتلك كل سائل عازل مستخدم في معدات التوتر العالي خصائص كهربائية و فيزيائية و كيميائية، إذ يعد توتر انهيار السائل العازل (Break Down Voltage) أحد أهم الخصائص الكهربائية للسوائل العازلة، حيث يعرف بأنه التوتر الذي يبدأ عنده العازل السائل بالتوصيل كهربائياً. بالتالي يجب أن تكون قيمته عالية بما يكفي لتحسين قوة العزل [9]. و قد ظهرت بهدف تحسين أداء محولات الاستطاعة في شبكات التوتر العالي وإعادة المميزات الكهربائية للمواد العازلة لهذه المحولات إلى قيمتها الاسمية المقبولة، طرائق تقنية وعملية جديدة وأيضاً هناك طرق عديدة لتحسين توتر الانهيار للسوائل العازلة منها طريقة إعادة تأهيل المحولات باستخدام الرش برذاذ من الزيت الساخن ضمن شروط خلخلة متقدمة في جسم المحولة مما يؤدي إلى زيادة المتانة الكهربائية للزيت وخفض قيمة الضياعات في الزيت (tg δoil) [10].

التجهيزات المستخدمة في البحث:

1 – توتر الانهيار Breakdown Voltage:

يتم قياس توتر انهيار العينات وفقًا لمعيار IEC60156 باستخدام جهاز قياس توتر الانهيار (MEGGER) كما هو موضح في الشكل (1). كما و يوضح الجدول (1) نظريات الاختبار لتوتر الانهيار للزيت العازل مع شروط كل منها عالميا". المواصفة:

International Electrotechnical- Commission -IEC

المواصفة: American Society for Testing and Materials –ASTM.

هي عبارة عن معايير دولية مختلفة موصى بها عند إجراء اختبارات تحديد قيمة توتر انهيار العزل الكهربائي للسوائل العازلة. على الرغم من وجود العديد من المعايير في جميع أنحاء العالم، إلا أن معظمها مشتقة من ثلاثة معايير رئيسية:

ASTMD-1816 طريقة لقياس توتر الانهيار للسوائل العازلة باستخدام أقطاب VDE (الولايات المتحدة الأمريكية).

ASTMD-877 طريقة الاختبار القياسية لتوتر الانهيار العازل للسوائل العازلة باستخدام أقطاب القرص (الولايات المتحدة الأمريكية).

IEC-60156 طريقة قياس توتر الانهيار للسوائل العازلة باستخدام أقطاب القرص (أوروبا) وهي المستخدمة في بحثنا هذا.

و يمكن تلخيص الاختلافات فيما بينها كما يلي:

: ASTM D-877

هو معيار قديم نوعًا ما يحدد استخدام أقطاب قرصية مسطحة من مادة نحاسية مصقولة ، بقطر 25.4 مم ، وسماكة 3.18 مم على الأقل، وحواف حادة لا تزيد عن 0.254 مم، وبأوجه ومحاور متوازية في خط أفقي متزامن عند التركيب في جهاز الاختبار. تم تعديل المسافة الفاصلة ما بين القطبين وهي تسمى فجوة الفصل الكهربائي عند 2.54 مم. لا تتطلب هذه المواصفة التحريك السائل عند اختباره ولها معدل ارتفاع سريع نسبيًا للتوتر. نتيجة لهذا، فإن المعيار ليس حساسًا جدًا لوجود الرطوبة، يتم إجراء 5 اختبارات متتالية ويتم أخذ المتوسط الحسابي لتلك الاختبارات كقيمة لتوتر الانهيار للسائل المدروس.

: ASTM D-1816

هو المعيار الأكثر استخدامًا في أمريكا الشمالية. الأقطاب الكهربائية على شكل نصف دائرة ومصنوعة من النحاس المصقول وتلتزم بالمواصفات الواردة في معيار VDE، وهو منظمة معايير ألمانية. يكون التحريك ثابتًا أثناء الاختبار، حتى خلال الفترات الفاصلة بين قياسات الانهيار و يمكن اختيار فاصلين مختلفين لفجوة القطب – إما 1 أو 2 مم. بشكل عام، إذا تعذر تحقيق الانهيار عند 2 مم، فيجب تقليل الفجوة إلى 1 مم. يتم إجراء 5 اختبارات متتالية ويتم أخذ المتوسط الحسابي لتلك الاختبارات كقيمة لتوتر الانهيار للسائل المدروس.

: IEC 60156

هو معيار دولي يتضمن استخدام أقطاب الكرة النحاسية أو أقطاب VDE النحاسية (تمامًا مثل ASTM D1816). يتم استخدام أقطاب VDE بشكل أكثر شيوعًا والفرق الرئيسي في ASTM D1816 هو أن فجوة الفصل الكهربائي ثابتة عند 2.5 مم. تحريك السائل اختياري أثناء الاختبار و تطلب هذه المواصفة القياسية إجراء 6 اختبارات متتابعة بحيث يكون المتوسط الحسابي لتلك الاختبارات هو قيمة توتر الانهيار للسائل المدروس.

الجدول (1) نظريات الاختبار لتوتر الانهيار للزيت العازل مع شروط كل منها

Standards		ASTM D1816	ASTM D 877		IEC 60156
			Procedure A	Procedure B	
Origin		USA	USA	USA	Europe
Electrodes	Shape				
	Gap size	2 mm or 1 mm*	2.54 mm	2.54 mm	2.5 mm
Oil sample stirring	Impeller	yes	not stirred	not stirred	optional
	Magnetic bead	no option			optional
Laboratory test temperature	Liquid	At ambient - must record	20 - 30 °C must record temperature as collected and when tested	20 - 30 °C must record temperature as collected and when tested	15 - 25 °C for referee tests
	Ambient	20 - 30 °C	Must record	Must record	Within 5 °C of oil sample
Outside test temperature	Liquid	At ambient - must record	Must record	Must record	15 - 25 °C
	Ambient	Referee tests 20 - 30 °C	Must record	Must record	Within 5 °C of oil sample
Test voltage	Rise rate	0.5 kV/s	3 kV/s	3 kV/s	2 kV/s
	Frequency	45 - 65	45 - 65	45 - 65	45 - 62
Breakdowns	Definition	<100 V	<100 V	<100 V	4 mA for 5 ms
	Number in sequence	5**	5*	1 - 5 different samples	6
	Time between breakdown	1 to 1.5 min	1 min	n/a	2 min
Test voltage switch off time following breakdown	Normal (e.g. mineral oil)	Not specified	Not specified	Not specified	<10 ms
	Silicon oil	Not specified	Not specified	Not specified	<1 ms
Time between filling and start of test		3 - 5 min	2 - 3 min	2 - 3 min	2 min
Equivalent standards (adopted into)		None	None	None	BS EN 60156 CEI EN 60156 IRAM 2341 UNE-EN 60156 FN EN 6056 SANS EN 60156 VDE0370 part 5 AS1767.2.1 PA SEV EN 60156 NBS 079-1* I56729*
Notes on testing silicon oil		Can be used provided discharge energy in sample <20 mj		Can be used if modified in accordance with D2225 if procedure A cannot be used	OK if test instrument can comply with voltage switch off time requirements
Special conditions		* If breakdown does not occur at 2 mm, reduce gap to 1 mm ** Tests must be repeated if range of BD voltages recorded are more than 120% of mean with 1 mm electrode gap and 92% of mean with 2 mm electrode gap	*Tests must be repeated if range of BD voltages recorded are more than 92% of mean. If range of 10 BD voltages is more than 151% investigate why		Expected range of standard deviation/ mean ratio as a function of the mean provided as a chart
Comments		Test vessel requires cover or baffle to prevent air from contacting circulating oil	Used if any insoluble breakdown products in oil completely settle between breakdown tests	Used if any insoluble breakdown products do not settle between breakdown tests	*With some stand/str timing differences. Test cell/vessel must be transparent. Reconditioned/reclaimed oil to BS148 is tested to IEC60156 following update in 2009.

الشكل(1) جهاز قياس توتر الانهيار للعينات المدروسة.

يتألف هذا الجهاز من بطارية شحن باستطاعة 12A و مكثف يتم شحن المكثف عن طريق البطارية ثم يقوم المكثف بالتفريغ عن طريق الوميض بين القطبين حيث المسافة بينهما 2.5mm. يتم إعطاء ومضة هي نقطة انهيار عازلية الزيت. فتؤخذ عينة من الزيت وتوضع في كوب خماسي الأبعاد بين إلكترودين داخل جهاز الفحص بينهما مسافة قياسية أيضا وبعد سكون حركة الزيت في الوعاء الفاحص يطبق على الكرتين الجهد الكهربائي تدريجيا بمعدل 2-5 Kv/sec مع ملاحظة القيم من خلال جهاز الفولتيميتر ويستمر رفع الجهد حتى انهيار عزل الزيت وعندها تفصل الدارة الكهربائية تلقائيا ويسجل توتر انهيار العزل ويعاد الاختبار أكثر من مرة بعد تغيير الكوب ووضع كمية أخرى من الزيت المأخوذ من نفس العينة (العينة تكفي لعدة أكواب). حسابيا يتم إعطاء قيمة جهد الانهيار للعينات المدروسة حسب المعادلة (1).

$$U = Um/6 \quad (1)$$

U :القيمة الوسطية لتوتر الانهيار

Um:القيمة المقاسة لتوتر الانهيار

m:عدد مرات القياس من m=1 حتى m=6

2-2 الرطوبة Water Content:

تعتبر الرطوبة في الزيوت العازلة من أهم العوامل المؤثرة على عازليتها، والتي ترتبط ارتباطا وثيقا" بشروط التخزين والأدوات المستخدمة لحفظ عينات العازل الزيتي خلال فترة إجراء التجارب، حيث تتم هذه التجربة باستخدام فرن تجفيف وميزان الكتروني الشكل(2) و الشكل (3)، يجب وزن البيشر بدقة ثم نضع فيه كمية الزيت حتى مستوى معين ويوضع البيشر في فرن التجفيف تحت درجة الحرارة المطلوبة لمدة 24 ساعة، الفرق في الوزن قبل وبعد التجفيف يعبر عن المحتوى المائي للعينة المدروسة.

الشكل(2) فرن التجفيف المستخدم.

الشكل(3) ميزان الكتروني.

الشكل(4) جهاز المزج المستخدم في البحث.

2-3 تحضير العينات:

تحسين جودة الزيوت العازلة المعدنية في تجهيزات التوتر العالي .....

تم مزج العينات باستخدام جهاز خاص بمزج السوائل كما هو مبين في الشكل (4). زيوت المحولات تتكون بشكل أساسي من الهيدروكربونات المشبعة والتي تعرف بالبارفينات والتي صيغتها الجزيئية CnH2n+2 حيث يتراوح مجال ال n بين ال20 وال40 وإنها تتضمن أيضا مواد عازلة سيللوزية والتي هي خلاصة البوليمرات والتي صيغتها الجزيئية [C12H14O4(OH)6]n حيث تتفاوت قيمة ال n بين ال300 وال750. بشكل عام هناك نوعان لزيوت المحولات زيوت محولات بارافينية وزيوت محولات نافيثينية. في بلداننا عموما الزيوت البارافينية هي المستخدمة، و الفرق بين هذان النوعان هو أن الزيوت النافيثينية قابلة للأكسدة أكثر من غيرها. فبسبب الأكسدة تتشكل رواسب تنحل بسهولة أكثر من الزيوت البارافينية. وهناك بعض المساوئ الأخرى مثل أن الزيوت البارافينية قيمة نقطة الاشتعال لها عالية وذلك بسبب المحتوى الشمعي. العينات المدروسة في حالتنا هي زيت محولات مستعمل بارافيني و الزيت النباتي هو زيت نباتي إنتاج محلي و يوضح الجدول (2) مواصفات العينات المدروسة و الشكل (5) لتلك العينات.

يتم في هذه المرحلة تحديد النسب التي سيتم مزج العينات المدروسة فيها و توضح تلك النسب من خلال الجدول (3)

الجدول (2) مواصفات العينات المدروسة

اسم العينة	وصف العينة
العينة A	زيت عازل معدني مستعمل من محولة قيد الخدمة 0.4-20 Kv
العينة B	زيت زيتون إنتاج محلي – سوريا

نسبة العينة B	نسبة العينة A
%15	%85
%25	%75
%35	%65
%50	%50
%55	%45

الجاسم

%25	%75

الجدول (3) نسب مزج العينات المدروسة

الشكل(5) العينات المدروسة.

3- مناقشة النتائج:

تعتمد قيمة توتر الانهيار على عدة عوامل كالحموضة واللزوجة والمحتوى المائي للسائل العازل المدروس [11]. يبين الجدول(4) قيمة توتر الانهيار في الحالات الستة المدروسة بنسب مختلفة للخلط للعينات المدروسة تحت تأثير:

درجات الحرارة مختلفة ابتداء من 30 درجة مئوية حتى 120 درجة مئوية. كما ويبين لنا الشكل (6) أعلى قيمة وصل إليها توتر الانهيار عند كل درجات الحرارة المدروسة وتبين ذلك عند درجة حرارة 80 درجة مئوية حيث بلغت قيمته 51 Kv وهو ما يعد مطابق للمواصفات القياسية العالمية IEC60156.

جدول (4) قيم توتر الانهيار عند درجات حرارة مختلفة

الحالة	درجة الحرارة (T)					
	30	40	60	80	100	120
	توتر الانهيار (Kv)					
1	15	30	34	43	37	32
2	15	29	35	44	38	33
3	14	29	34	46	39	36
4	13	28	35	47	38	34
5	14	27	36	48	32	33
6	16	32	38	51	39	37

نستعرض الحالات المدروسة في هذا البحث كما يلي:

3-1 **الحالة الأولى:** عند نسبة خلط 85% زيت معدني مع 15% زيت نباتي كانت قيمة توتر الانهيار عند درجات حرارة متغيرة ابتداء من 30 درجة مئوية حتى 120 درجة مئوية حيث كانت أعلى قيمة لتوتر الانهيار عند درجة حرارة 80 مئوية هي 43 Kv.

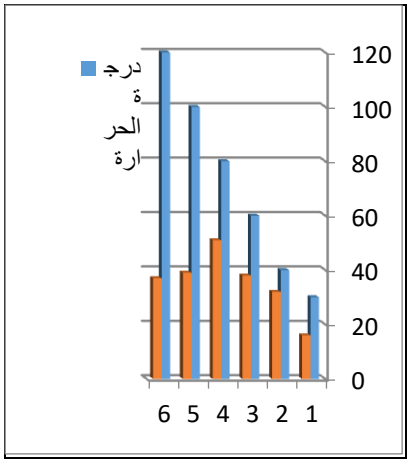
3-2 **الحالة الثانية:** عند نسبة خلط75%. زيت معدني مع 25% زيت نباتي كانت قيمة توتر الانهيار عند درجات حرارة متغيرة ابتداء من 30 درجة مئوية حتى 120 درجة مئوية. حيث كانت أعلى قيمة لتوتر الانهيار عند درجة حرارة 80 مئوية هي 44 Kv.

3-3**الحالة الثالثة:** عند نسبة خلط 65% زيت معدني مع 35% زيت نباتي كانت قيمة توتر الانهيار عند درجات حرارة متغيرة ابتداء من 30 درجة مئوية حتى 120 درجة مئوية . حيث كانت أعلى قيمة لتوتر الانهيار عند درجة حرارة 80 مئوية هي 46 Kv.

3-4**الحالة الرابعة:** عند نسبة خلط 50% زيت معدني مع 50% زيت نباتي كانت قيمة توتر الانهيار عند درجات حرارة متغيرة ابتداء من 30 درجة مئوية حتى 120 درجة مئوية . حيث كانت أعلى قيمة لتوتر الانهيار عند درجة حرارة 80 مئوية هي 47 Kv.

3-5**الحالة الخامسة:** عند نسبة خلط 45% زيت معدني مع 55% زيت نباتي كانت قيمة توتر الانهيار عند درجات حرارة متغيرة ابتداء من 30 درجة مئوية حتى 120 درجة مئوية. حيث كانت أعلى قيمة لتوتر الانهيار عند درجة حرارة 80 مئوية هي 48 Kv

3-6**الحالة السادسة:** عند نسبة خلط 25% زيت معدني مع 75% زيت نباتي كانت قيمة توتر الانهيار عند درجات حرارة متغيرة ابتداء من 30 درجة مئوية حتى 120 درجة مئوية. حيث كانت أعلى قيمة لتوتر الانهيار عند درجة حرارة 80 مئوية هي 51 Kv.



الشكل(6) أعلى قيمة لجهد الانهيار عند درجات حرارة مختلفة.

يتبين لدينا من خلال النتائج المشار إليها أعلاه الاختلافات في تأثير تغير درجة الحرارة على قيمة توتر الانهيار لمزيج من الزيت النباتي والزيت المعدني، بشكل عام فانه لها نفس الأثر على الزيوت المعدنية بدون خلط. أما فيما يتعلق بتوتر الانهيار فيظهر لدينا أن هناك علاقة مباشرة بين درجة الحرارة و خصائص العزل الكهربائي للسائل المختلط المدروس، حيث لا يزال الزيت المعدني أفضل خيار لمستوى درجة الحرارة حتى 80 درجة مئوية، ومع ذلك يبدو أن إضافة الزيت النباتي يزيد من توتر انهيار السائل العازل في المحول نظرًا لأن الزيوت النباتية تتمتع بتوتر انهيار أعلى من الزيوت المعدنية. كما نلاحظ أنه بدأ توتر الانهيار للخليط في الانخفاض بعد مستوى حرارة 80 درجة مئوية وأصبح في أعلى قيمة له حيث وصلت إلى 51 Kv ذلك عند نسبة خلط 25% زيت معدني مع75% زيت نباتي العينة رقم 6. ويفسر ذلك بأن زيادة درجة الحرارة أدت إلى انخفاض كبير في المحتوى المائي النسبي للزيت وبالتالي، ارتفع توتر انهيار الزيت حيث يؤثر وجود الماء على توتر انهيار الزيت، عن طريق امتصاصه بواسطة جزيئات ينتج عنها جزيئات موصلة تشكل مجموعات مائية داخل السائل العازل.

أما في درجات الحرارة المنخفضة حيث يكون محتوى الماء النسبي مرتفعًا جدًا فان المحتوى المائي (الرطوبة) يكون له دورًا مهمًا في تقليل توتر انهيار العازل السائل. أظهرت النتائج التجريبية على تلك المخاليط أن الزيت مر بهذه المرحلة، حيث بدأت قيمة توتر انهياره في الانخفاض بعد مستوى درجة حرارة 80 درجة مئوية وصولا" إلى درجة حرارة 120درجة مئوية.

4- الأثر الاقتصادي لمزج الزيوت المعدنية مع الزيوت النباتية:

إن الزيت المعدني المدروس في هذا البحث هو زيت مستعمل مأخوذ من محولة تعمل على توتر Kv (0.4-20) باستطاعة 400 KVA بالتالي فانه من الضروري التأكيد على أن عملية خلط الزيوت المعدنية المستخدمة في المحولات المركبة / قيد الخدمة/ مع الزيوت النباتية بإتباع منهجية علمية تؤدي إلى فوائد فنية واقتصادية مهمة بغية تحسين المواصفات الفنية للزيت ضمن المحول حيث تتمثل هذه المنهجية بما يلي:

- يجب معرفة المواصفات الفنية للزيت المعدني الموجود ضمن المحول وذلك من خلال أخذ عينة وإجراء الاختبارات اللازمة لها وعلى أساس تلك الاختبارات يجب اختيار الزيت النباتي الواجب إضافته .
- يجب تحديد كمية الزيت النباتي الواجب إضافته.
- فإذا كان الزيت المعدني المستخدم في المحولة بمواصفات فنية مقبولة بالحدود الدنيا يجب إضافة زيت نباتي بمواصفات فنية عالية أعلى من المواصفات الفنية للزيت المستخدم.

5-نتائج البحث:

يعد قياس توتر انهيار الزيوت العازلة المستخدمة في عزل وتبريد المحولات عاملاً أساسيًا لتقييم قوة العزل الكهربائي لهذه الزيوت.

في هذا العمل، تم قياس هذا التوتر لخلائط الزيت تحت تأثير درجة الحرارة ، والتي تفي بمعيار IEC 60156. كان الغرض من هذه المساهمة هو التأكيد على تأثير درجة الحرارة على توتر الانهيار للمحولة المدروسة Kv (0.4-20). من هذه النتائج، يمكن استخلاص الاستنتاجات التالية:

1- يمكن تحسين خصائص محولات القدرة من خلال تحسين خصائص السائل العازل.

2-في ضوء نتائجنا يمكن اقتراح أن النتائج أشارت إلى أن توتر الانهيار له قيمة عالية تحت 80 درجة مئوية.

3- لوحظ أن انخفاض توتر الانهيار لزيت للخلائط المدروسة عند درجات الحرارة المنخفضة كان نتيجة لارتفاع نسبة الماء الموجودة فيه.

4- أدت الزيادة الإضافية في درجة الحرارة إلى تقليل كمية المياه التي تمتصها الجزيئات مما أدى إلى زيادة ملحوظة في توتر انهيار الزيت حتى درجة حرارة 80 درجة مئوية.

5- وجدنا أن النسبة 25٪ زيت معدني مستعمل مع 75٪ زيت نباتي هي أفضل نسبة خلط للزيت النباتي مع الزيت المعدني المستخدم في المحولات مما يعطينا قيم مقبولة لتوتر الانهيار عند درجات حرارة تتراوح بين 40 درجة مئوية إلى 120 درجة مئوية.

6- يمكن استخدام الخلائط من الزيوت النباتية والمعدنية كسائل عازل بديل في محولات القدرة بدلاً من الزيوت المعدنية.

التمويل: هذا البحث ممول من جامعة دمشق وفق رقم التمويل (501100020595).

References:

[1]- S. Karmakar, N.K. Roy, P. Kumbhakar, "Detection of partial discharges in high voltage equipment". J. Electr. Eng. 9(2), pp. 26–31 (2009).

[2] −S. Karmakar, N.K. Roy, P. Kumbhakar, "Monitoring of high voltage power transformer using direct optical partial discharges detection technique", J. Opt. 38(4), pp. 207–215 (2009).

[3]- Madavan R, Saroja S (2020) Decision making on the state of transformers based on insulation condition using AHP and TOPSIS
methods. IET Sci Meas Technol 14(2):137–145

[4]- Muhammad Arsad and Syed M. Islam, "Power transformer condition monitoring and assessment for strategic benefits", Curtin University of Technology, Department of Electrical &Computer, Australia 2003

[5]- T. O. Rouse, "Mineral insulating oil in transformers", IEEE Electr. Insul. Mag.Vol. 14, No. 3, pp. 6-16(1998).

[6]- Rengaraj M, Subburaj RMSK (2020) Evaluating critical characteristics of vegetable oil as a biodegradable insulating oil for transformer. Int J Emerg Electr Power Syst 21(5):1–9

[7]- Balaraman S, Madavan R (2017) Comparison of antioxidant influence
on mineral oil and natural ester properties under
accelerated aging conditions. IEEE Trans Dielectr Electr Insul 24(5):2800–2808

[8]- Madavan R, Senthil Kumar S, Willuice Iruthayarajan M (2018) A.
comparative investigation on effects of nanoparticles on characteristics.
of natural esters-based nanofluids. Colloids Surf A 556:30–36.

[9]- Senthilkumar S, Karthick A, Madavan R, Moshi AAM, Bharathi SS, Saroja S, Dhanalakshmi CS (2021) Optimization of transformer oil.
blended with natural ester oils using Taguchi-based grey relational.
analysis. Fuel 288:119629.

[10]- تقنية حديثة لإعادة تأهيل عازلية محولات الاستطاعة في محطات التحويل في الشبكات الكهربائية السورية .مجلة جامعة دمشق للعلوم الهندسية– المجلد السادس والعشرون – العدد الثاني– 2010 ساعاتي– الجابي

[11]- ASTM D93 Standard test methods for flash point by Pensky-Martens closed cup tester, Annual book of ASTM standards, 2006.