مجلة جامعة دمشق للعلوم الهندسية
المجلد41 العدد (3) – 2025: 201-218

Damascus University Journal for engineering sciences
Vo 41 number (3) -2025: 201-218

أداء العوازل البوليميرية في ظروف التلوث الصنعي حسب IEC – 587[1]
– دراسة توتر عالي –

علي عبده السيد*[1]

*[1]. دكتور، مهندس، أستاذ مساعد في قسم هندسة الطاقة الكهربائية– كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية– جامعة دمشق.

(معرف أوركيد https://orcid.org/0000-0003-4577-650X).

تاريخ الايداع: 2023/2/27
تاريخ القبول: 2023/3/30

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

الملخص:

بدأت العديد من الشركات بتصنيع عوازل من مواد بوليميرية عضوية أو سيليكونية كبديل عن العوازل الزجاجية أو البورسلانية المستخدمة في شبكات التوتر العالي والمتوسط ويطلق على هذه العوازل اسم العوازل غير السيراميكية والتي تتمتع بالخفة والمرونة، سهولة النقل والتركيب، عدم قابليتها للكسر، وخاصية رفض الماء والتي تساعد على تحسين أداء هذه العوازل في ظروف التلوث.

إن استخدام هذه العوازل في شبكة ما يفرض أن تكون خواص ومزايا و أداء هذه العوازل على المدى الطويل وفي كافة الظروف بما في ذلك ظروف التلوث البيئي المختلفة ثابتا وجيداً وإلا فإن فشل هذه العوازل بعد تركيبها في الشبكة سيتسبب في خسائر مادية كبيرة وفنية فادحة على مسيرة التنمية والاقتصاد القومي لذلك تم إجراء هذا البحث لتوضيح أبعاد هذه المشكلة وليكون مساعدا في إجراء بعض التوضيحات حول تقادم و اداء هذه العوازل في ظروف التلوث وذلك حسب IEC – 587.

الكلمات المفتاحية: توتر عالي، بوليميرات، مواد عازلة.

ISSN (online): 2789-6854
http://journal.damascusuniversity.edu.sy/index.php/index/index

Performance of Polymeric Insulators under Artificial contamination Conditions as IEC – 587

ALI Abdo ALSAYED[*1]

[*1]. Dr, Assistant Professor in Electric Power Department - Faculty of Mechanical and Electrical Engineering - University of Damascus.
(Orchid ID https://orcid.org/0000-0003-4577-650X)

Received: 27/2/2023
Accepted: 30/3/2023

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

Abstract:

Many companies have started manufacturing insulators from organic polymeric or silicone materials as an alternative to glass or porcelain insulators used in high and medium voltage networks، and these insulators are called non-ceramic insulators, which have the Lightness and flexibility, Ease of transportation and installation, Unbreakable, & Hydrophobicity property, which helps to improve the performance of these insulators in pollution conditions.

The use of these insulators in a network imposes that the properties, advantages and performance of these insulators in the long term and in all circumstances، including the various environmental pollution conditions, be constant and good, otherwise the failure of these insulators after installing them in the network will cause significant material and technical losses on the development process and the national economy, so this research was conducted to clarify the dimensions of this problem and to be an assistant in making some clarifications about the obsolescence of these insulators in pollution conditions This is according to IEC – 587.

Key words: High Voltage, polymers, insulating.

المقدمة:

تعاني شبكات النقل وتوزيع القدرة عموماً من التلوث المتفاقم الذي تتعرض له عوازل التوتر العالي والمتوسط في هذه الشبكات وما ينجم عن هذا التلوث من انهيارات مبكرة وأعطال وخسائر فنية واقتصادية، فقد بدأت سلسلة من الأبحاث الميدانية والمخبرية لدراسة هذه المشكلة والبحث عن حلول لها.

وقد قدمت هذه الأبحاث نتائج علمية وعملية هامة حول أداء وصلاحية النماذج المختلفة من العوازل البورسلانية والزجاجية المستخدمة في شبكات التوتر العالي والمتوسط في سورية. من أهم هذه النتائج التي تم الوصول إليها، أنه لا يمكن تعميم خبرات بلد على بلد آخر في هذا المجال دون مراجعة أو مناقشة.

أن العوازل التي قد تصلح في ظروف التلوث السائدة في بلد (ما) آخر، قد لا تصلح للاستخدام في ذات الظروف في بلد آخر، وربما يكون لها أداء آخر.

وبناء على ذلك فإن المعلومات أو المواصفات المقدمة من الشركات الصانعة حول أداء عوازل معينة في ظروف التلوث يجب تقييمها موضعياً.

يتم التحقق من صلاحيتها ومدى ملاءمتها لظروف العمل والتلوث السائدة في مواقع الاستخدام في الشبكات المحلية.

قدمت العديد من الشركات في السنوات الأخيرة عوازل بوليميرية عضوية أو سيليكونية كبدائل عن العوازل الزجاجية والبورسلانية المستخدمة في شبكات التوتر العالي والمتوسط، وسميت بالعوازل غير السيراميكية لتمييزها عن بقية العوازل. تتمتع هذه العوازل إضافة لمزايا الخفة والمرونة وسهولة النقل والتركيب وعدم القابلية للكسر بخاصة رفض الماء التي تساعد على تحسين أداء هذه العوازل في ظروف التلوث طالما حافظت هذه العوازل على تلك الخاصة. لم يتم التحول إلى استخدام هذه العوازل محلياً بالرغم من مزاياها المشار إليها آنفاً.

منحت هذه المزايا للعوازل غير السيراميكية ونجاح استخدامها في عدد من الشبكات في بلدان متعددة إمكانية تطبيقها في شبكات التوتر العالي المحلية أو استبدال العوازل الزجاجية والبورسلانية المركبة على طول خطوط هذه الشبكات.

يحتاج استخدام مثل هذه العوازل إلى دراسة علمية مبررة حول أفضلية أدائها، على المدى الزمني الطويل، وفي كافة ظروف وشروط التشغيل والاستخدام، بما في ذلك ظروف التلوث البيئي الشديد الذي تتعرض له أجزاء من شبكاتنا[1]. يتسبب فشل أداء هذه العوازل بعد تركيبها في الشبكة في خسائر مادية وخلل فني ينعكس على الاقتصاد الوطني.

تستلزم كثرة الأنواع المعروضة في الأسواق من العوازل غير السيراميكية من مصادر متنوعة إيجاد طرق موضوعية لتقييم نوعية وأداء هذه العوازل قبل البت في استخدامها.

انطلاقاً مما سبق أجري هذا البحث كمساهمة علمية لمتابعة تقادم العوازل غير السيراميكية في ظروف التلوث.

أهمية البحث:

تتجلى أهمية البحث بالتأكيد على أن أغلب تجهيزات التوتر العالي في القطر العربي السوري تتعرض الى درجات مختلفة من التلوث حسب مكان الاستخدام لذلك قمنا بإجراء هذا البحث لمعرفة أثر ناقلية طبقة التلوث على هذه العوازل واداؤها تحت ظروف التلوث الصنعي المختلفة، وارتباطها بعدد من القيم المميزة لهذا التلوث.

1- مجال البحث:

سيركز البحث على النقاط التالية:

- اختيار العينات المدروسة.

- تحديد ناقلية طبقة التلوث.
- قياس تيار التسريب.
- التحليل التوافقي لتيار التسريب والذي سوف يكون مؤشراً مناسباً لتحديد شدة التلوث على عوازل خطوط نقل القدرة الخارجية وكمؤشر على قرب حدوث الانهيار.

أهداف البحث

يهدف هذا البحث الى تحديد وقياس تيار التسريب لعينات من مواد عازلة مستخدمة في تجهيزات التوتر العالي وإجراء تحليل فوريه لها لتحديد التوافقيات الخطيرة وأثرها على هذه العوازل.

2 – الأسس النظرية:

تعتبر العوازل أحد المكونات الرئيسية في خطوط وشبكات نقل القدرة، وتتعرض هذه العوازل للإجهادات الكهربائية بسبب توتر التشغيل والتوترات الزائدة الخارجية الناتجة عن العواصف الرعدية والتوترات الزائدة الداخلية بسبب عمليات الفصل والوصل، ويجب أن تتحمل العوازل هذه الاجهادات الكهربائية تحت مختلف الظروف البيئية والجوية والتشغيلية.

تصمم العوازل لتستخدم في الشبكة، وتعمل عند توترات اسمية معينة دون انهيارها. يؤدي تراكم طبقة تلوث على سطوح هذه العوازل وبوجود الرطوبة إلى زيادة احتمالية التأين وارتفاع ناقليتها الكهربائية، وبالتالي احتمالية انهيارها عند توترات أدنى.

أوضحت الخبرات التشغيلية والإحصائية أن الأعطال الناتجة بسبب عدم مقدرة هذه العوازل على تحمل توترات التشغيل الطبيعية تحت ظروف التلوث، تمثل النسبة الأكبر من إجمالي الأعطال في خطوط النقل وقد تصل إلى أكثر من $(80)\%$ في شبكات التوتر العالي. وإن العامل الأهم والذي يحدد تصميم العازل في هذه المناطق هو تحمل العوازل لتوترات التشغيل الكهربائية تحت ظروف التلوث السائدة[2] و[3].

كما أوضحت أن تصميم العوازل تحت ظروف التلوث حسب الخبرات السائدة في مناطق أخرى، ليس هو الحل الأمثل لمواجهة مشكلة تلوث العوازل حيث أن طبيعة وشدة التلوث تختلف من بلد إلى أخر، وقد أدى ذلك في أحيان كثيرة إلى مشاكل تشغيلية حقيقية لشبكات النقل، وتدني مستوى الوثوقية لهذه الشبكات. ولقد أدركت مؤسسة الكهرباء خطورة هذه المشكلة وآثارها الفنية والاقتصادية على النظم الكهربائية فقامت بإجراء العديد من الدراسات والأبحاث المستفيضة في مختلف نواحي المشكلة، واشتملت هذه الأبحاث على دراسات نظرية وعملية واستطاعت التوصل إلى معايير تصميمية وحلول تطبيقية تناسب ظروف وأنواع التلوث السائد في هذه الشبكات.

صنفت العديد من الدراسات المطاط السيليكوني على أنه من أفضل المواد العازلة غير السيراميكية وأكثرها استخداما. وبينت بأن الأداء الكهربائي لعوازل غير سيراميكية جديدة مصنوعة من المطاط السيليكوني أفضل من أداء عوازل مصنوعة من البورسلان أو الزجاج في شبكات التوتر العالي المعرضة للتلوث ويفسر هذا الأداء المتميز بخاصة رفض الماء للمطاط السيليكوني التي تعيق تشكل شريط مائي ناقل متصل على سطح العوازل الملوثة، مما يؤدي إلى الحد من نشوء انهيار زاحف مبكر على هذه العوازل، وبالتالي إلى رفع توتر انهيارها الزاحف ويبن الشكل (1) خاصية رفض الماء Hydrophibicity على العوازل السيلوكنية[4].

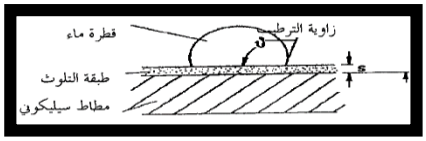
الشكل (1) خاصية رفض الماء على العوازل السيليكونية

لكننا نلاحظ من جهة أخرى أن ذلك قد يحد ولكن لا يمنع، عند استخدام هذه العوازل في شبكات التوتر العالي،من

حدوث انفراغات وأقواس كهربائية جزئية عند الأقطاب بملامسة سطح العازل المطاطي، وذلك بسبب تركز الملوثات الكهربائية وحدوث تشوهات موضعية لشدة الحقل في تلك المواقع نتيجة لعدم انتظام بنية أقطاب العازل، ووجود رؤوس مؤنفة عند حوافها. ويتوقع في هذه الحالة أن تكون البنية البوليميرية لسطوح هذه العوازل غير السيراميكية أكثر عرضة للتغير والتقادم من العوازل السيراميكية غير العضوية، وبالتالي إلى تعرضها للتآكل والتشقق، واحتمال حدوث تراجع واضح في خواصها وبصورة أساسية خاصة رفض الماء مع الزمن.

إن دراسة مشكلة التقادم في العوازل البوليميرية غيرالسيراميكية، وإمكانية حدوث تغير في خاصة رفض الماء مع مرور الزمن، وبالتالي احتمال تغير الأداء الكهربائي لهذه العوازل في ظروف التلوث، تعتبر ذات أهمية كبيرة بالنسبة لمؤسسات الكهرباء عند رغبتها باستخدام عوازل غير سيراميكية على هذه الخطوط، لانعكاس ذلك على موثوقية واقتصادية عمل خطوط شبكات التوتر العالي.

يتم ربط خاصة رفض الماء في المواد العازلة المطاطية السيلكونية مع النسبة توتر التماسك للماء Cohesive – tension بين المادة العازلة المطاطية والماء. Adhesive – tension وتوتر الالتصاق ويتحدد شكل قطرة الماء على سطح المادة العازلة نتيجة لتوازن قوى التماسك والالتصاق والجاذبية. لذلك نعتمد مفهوم زاوية الترطيب بين مماس نقطة ارتكاز قطرة الماء وسطح العازل تحت القطرة كمقياس لظاهرة رفض الماء للمادة العازلة الصلبة ويبين الشكل (2) التعريف زاوية الترطيب.



الشكل (2) زاوية الترطيب.

إن الجزيئات صغيرة الوزن الجزيئي الموجودة على سطح المادة العازلة هي المسئولة عن خاصة رفض الماء.فإن هذا يعني أن حدوث نقص في عدد هذه الجزيئات نتيجة لنشاط الأقواس الابتدائية مثلا في ظروف التلوث سيعني حدوث تغير دائم في خاصة رفض الماء لهذه العوازل إذ أن زوالها من على سطح المادة العازلة سيجعل الملوثات الشرهة للرطوبة وجزيئات المادة المالئة تمتص الماء،وتكون طبقة مائية متصلة وسميكة.مما يؤدي بالتالي إلى ازدياد في ناقلية الطبقة السطحية وتيار التسريب في مواد المطاط السيكوني المتقادمة بالمقارنة مع المواد الجديدة.

3 – السلوكية الكهربائية للعوازل في ظروف التلوث [5]:

للحكم على مدى ملائمة عازل ما للاستخدام في مجال من المجالات الكهربائية لابد من معرفة السلوكية الكهربائية لهذا العازل في ظروف العمل الفعلية تحت التوتر وتأثره وبالتالي تغير سلوكيته بالمؤثرات السائدة.

وبماأن: الانفراغات الجزئية والانهيارات السطحية المطرية والزاحفة في حالات المطر أو الرطوبة والتلوث هي من أهم وأخطر الظواهر المميزة لسلوكية عازل ما والتي يمكن بنفس الوقت إن تغير خواص هذه العوازل العضوية مع مرور الزمن كان لابد من معرفة آلية هذه الانفراغات والانهيارات ومدى مشاركة مادة العازل من هذه العملية عند استخدام العوازل العضوية بالمقارنة مع العوازل غير العضوية كالزجاج والبورسلان مثلا ووضع تصنيف نموذجي يمكننا من تقييم نتائج بحثنا المخبري على أسس علمية سليمة

ونظرا لإمكانية نشوء الانفراغات على سطوح العوازل عند توترات منخفضة جدا في ظروف التلوث ونظر لإمكانية تأثير هذه الانفراغات الجزئية على مادة العازل في تعجيل حدوث الانهيار السطحي الزاحف فان لابد من دراسة كيفية واثر نشوء الانفراغات والانهيار السطحي الزاحف عند استخدام النماذج المختلفة من العوازل العضوية وغير العضوية.

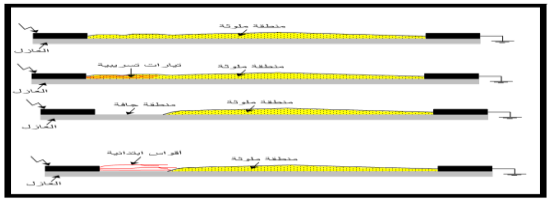
هناك ثلاثة نماذج مختلفة من آليات الانهيار السطحي الزاحف في حالة الرطوبة والتلوث على العوازل العضوية وغير العضوية وهي:

3– 1: الانهيار على العوازل غير العضوية

(النموذج الأول):

لنفترض وجود عازل قضيبي مثلا وقد تكونت على سطحه طبقة تلوث شبه متجانسة حيث يتم نشر (فرد) السطح بين المسريين فإننا نلاحظ أن الانهيار السطحي الزاحف في هذه الحالة يتم نتيجة لنشوء قوس كهربائي ابتدائي في المناطق الجافة من طبقة التلوث على سطح العازل ونمو وتحرك هذا القوس نحو القطب المقابل.

ليس لسطح العازل الذي يجري علية الانهيار السطحي في هذه الحالة أي تأثير عملي على نشوء وتطور هذا الانهيار. كما أن قيمة الانهيار لاتتعلق إلا بالقيم المميزة لطبقة التلوث كناقليه طبقة التلوث مثلا كما أن المناطق التي حدث عليها انفراغات سطحية سابقة لا تؤثر على عملية الانهيار السطحي وكذلك لا تظهر على سطح المادة العازلة السطحية أية أثار تقادم ويبين الشكل (3) آلية حدوث الانهيار على هذا النموذج.



الشكل (3) آلية حدوث الانهيار

3– 2 الانهيار على العوازل العضوية القابلة للتآكل

(النموذج الثاني):

ونلاحظ هنا أن الطبقة السطحية للمادة العازلة العضوية والتي كانت في الأصل ملساء ومقاومة للماء لتجمع الماء عليها كسطح العوازل المصنوعة من الأيبوكسيد الرانتجي مثلا ستتغير وتتآكل للانفراغات الجزئية الجارية المناطق الجافة من طبقة التلوث على سطح العازل ويصبح بذلك سطح العازل أكثر قابلية لتجمع الماء والشوائب عليه. فنلاحظ في العوازل المصنوعة من الأيبوكسيد الراتنجي المخلوط مع الطحين الرملي "الكوارتزي" مثلا.

إن الانفراغات الجزئية تحلل جزيئات الأيبوكسيد الراتنجي ويصبح سطح العازل خشنا نتيجة لظهور حبيبات الكوارتز ويأخذ لونا أبيضا أو رماديا وتتكون عليه مناطق متصلة ناقلة رطبة عند تواجد جو رطب أو ندى مثلا. ونتيجة لذلك سوف يتغير شكل توضع طبقة التلوث الموجودة على سطح العازل، ويتكون في المنطقة الجافة أصلا، طبقة تلوث جديدة وهذه الطبقة أكثر ناقلية من طبقة التلوث السابقة وذلك لأنها قابلة لامتصاص الرطوبة والتبلل أكثر من الطبقة القديمة، ولوجود مركبات الآزوت والأوكسجين المنحلة فيها والقابلة للتحلل والناتجة عن الانفراغات الجزئية الناشئة على السطح في هذه المنطقة، لذلك تزداد قيمة شدة التيار المار في الانفراغات الجزئية الجارية على السطح مما قد يؤدي لنشوء قوس كهربائي ابتدائي، وهذا قد يؤدي بدوره إما إلى إنهيار سطحي نتيجة لحركة وتقدم نقطة ارتكاز القوس الكهربائي الابتدائي أو إلى انهيار سطحي أو إلى تغير طبيعة سطح العازل بصورة تزيد من نشوء طبقات تلوث أكثر ناقليه عليه. ويمكن لهذه العملية أن تتم بسرعة أو ببطء شديد وقد تستمر على مدى أعوام. ويصنف ضمن هذه المجموعة أيضا العوازل السيليكونية التي تظهر قابلية أقل للتآكل ومتانة أكبر تجاه الشرارات الزاحفة وكذلك راتنجات البولي استر غير المشبعة والمحشوة بمواد مانعة غير عضوية. ويبن الشكل (4) مادة عازلة مصنوعة من الايبوكسيد الراتنجي يظهر على التآكل.

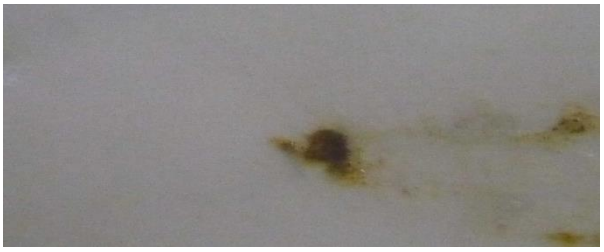
الشكل (4) تآكل مادة عازلة من الايبوكسيد الراتنجي

3– 3 الانهيار على العوازل العضوية التي تنفذ عبرها الشوائب (النموذج الثالث):

عند استخدام مواد عازلة تنفذ فيها مواد شائبة "كالماء مثلا"وحتى الطبقات الداخلية فإن خطورة الانهيار السطحي الزاحف تزداد بصورة كبيرة إذ أنه ينشأ بالإضافة للمسار عبر طبقة التلوث أيضا مسارا آخر للتيار تحت الطبقة السطحية للعازل عبر ما يسمى بالطبقة الذاتية وتحدث عملية "نفوذ" الماء والشوائب هذه والتي تسبب تقادم العازل في حالة عدم تطبيق التوتر أيضا ويمكن أن تزداد كثافة شدة التيار المار في الطبقة الذاتية "تحت تأثير ناقليتها التي تتعلق بدرجة الحرارة ومرور التيار عبر طبقة التلوث المربوطة معها على التفرع" إلى قيمة كبيرة كافية لحدوث "خرق حراري جزئي". عبر هذه المنطقة وبنفس الوقت يمكن للانفراغات الجزئية على السطوح الحدية أن تتسبب في تلف الطبقات السطحية للعازل المستخدم ويظهر هذا التلف والخراب الذي يصيب المادة العازلة في هذه الحالة على شكل" آثار زاحفة " متضخمة خيطية تصل بين المسريين وتتسبب في نشوء أقواس كهربائية سطحية تؤدي إلى انهيار سطحي كامل.

ونلاحظ هذه الآلية بصورة خاصة على سطوح المواد العازلة العضوية الشرهة لامتصاص الماء "كالورق المقوى وpvc وأيضا البولي ستيرول.

ويجدر التنويه هنا إلى أنه من غير الممكن دائما وضع تصنيف واضح وغير متداخل للمواد العازلة العضوية وفق نماذج آليات الانهيار السطحي الزاحف المبينة. إذ أننا نجد العديد من العوامل الأخرى التي تلعب دورا هاما في عملية حدوث الانهيار كقيمة الاجهادات الكهربائية المطبقة وشدة التلوث ورطوبة طبقات التلوث مثلا كما أن تآكل الطبقة السطحية للعازل " النموذج الثاني " لا يؤدي فقط إلى زيادة إمكانية تجمع الشوائب إنما قد يؤدي أيضا إلى التسبب في نشوء آثار زاحفة متفحمة [5] والشكل (5) يبين مادة عازلة من pvc يظهر عليها التآكل.



الشكل (5) يبين مادة عازلة من pvc

4 - مصادر التلوث

من وجهة النظر الكهربائية تعتبر جميع الشوائب المحمولة في الهواء على أنها ملوثات سواءً كانت أملاحاً بحرية أو غازات أو أبخرة أو رمال أو غبار وبناءً على ذلك فإنه يمكن تقسيم مصادر التلوث إلى:

- التلوث البحري.
- التلوث الصناعي.
- التلوث الزراعي.
- التلوث الصحراوي.

تعد مشكلة التلوث في القطر العربي السوري مشكلة كبيرة وخاصة، بعد الانتقال إلى سويات توتر أعلى، وبعد توسع الشبكات الكهربائية إلى مناطق معرضة لمثل هذا التلوث الصناعي أو البحري أو الصحراوي، اكتسبت هذه المشكلة أهمية خاصة بعد أن تركزت بعض محطات التوليد الرئيسية في هذه المناطق، تجدر الإشارة إلى زيادة احتمالية حدوث انقطاعات في خطوط التوتر وهالتي تشكل مشكلة حقيقية لخطوط التوتر العالي.

5– الدراسة المخبرية

يؤدي تلوث سطح العوازل غير السيراميكية إلى نشوء انهيارات زاحفة مبكرة، مما يؤدي إلى مرور تيارات ناقلية زاحفة وحدوث ضياعات حرارية وعليه ستكون عرضة للتقادم أكثر من مثيلاتها الزجاجية والبورسلانية.

ستتعرض بذلك للتآكل والتشقق واحتمالية التراجع الملحوظ في خواص مقاومتها كتابع للزمن. يتطلب تقييم أداء مثل هذه العوازل وملاءمتها للاستخدام على المدى الطويل دراسة السلوك الكهربائي لها في ظروف العمل الطبيعي. تشكل الانفراغات الجزئية والانهيارات السطحية المطرية والزاحفة من أهم الظواهر المميزة لسلوك العازل والتي يجب متابعتها، وعليه أجريت هذه الاختبارات على عينات مختلفة من مواد عازلة غير سيراميكية المستخدمة في تجهيزات التوتر العالي. أنجزت جميع الاختبارات وفق توصيات النظم الهندسية الكهربائية العالمية IEC - 587.

5-1 عينات الاختبار:

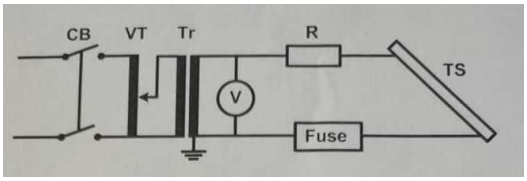
تم تصنيع عدة عينات من مادة البولي ايتيلن PE ومادة PVC وهذه المواد هي مواد عازلة بوليمرية مستخدمة في شبكات التوتر العالي حيث تستخدم أو كمواد عازلة في الكابلات الكهربائية أو تستخدم كمواد عازلة لصنع سلاسل التعليق. ويبين الشكل (6) أبعاد العينة المستخدمة في عملية الاختبار.

الشكل (6) أبعاد العينة

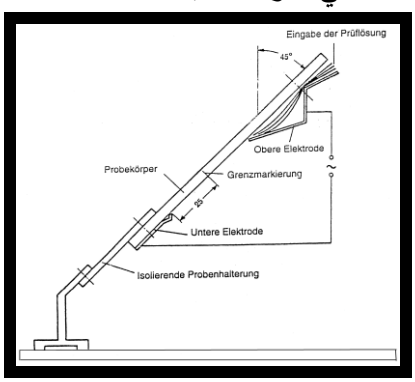
تم تصنيع 6 عينات ثلاث منها من مادة PE والأخرى من مادة PVC بأبعاد يفرضه الجهاز المصمم للأختبار

5-2 دارة الاختبار بموجب النظم الهندسية الكهربائية IEC 587 – [6]:

يبين الشكل (7) دارة الاختبار بموجب النظم الهندسية الكهربائية IEC – 587.



ويبين الشكل التالي مكونات العينة TS.



الشكل (7) جهاز الاختبار المستخدم حسب IEC ومكونات العينة TS

يتم تغذية العينة المختبرة المثبتة على حامل خاص بزاوية 45^0 بالتوتر المتناوب عن طريق محول توتر عالي بخرج متغير من kv (100÷ 0) وبغزارة السائل الملوث 0.6 mL/min وعند درجات ناقلية مختلفة.

وقد تم تطبيق توتر قدره (4kv) لمدة ست ساعات وتم وضع مقاومة على التسلسل قيمتها 10KΩ من اجل قياس تيار التسريب على العينات ومشاهدتها على راسم الإشارة.

وقد نفذت اختبارات التقادم الاصطناعي بتطبيق التوتر العالي وبوجود ملوثات اصطناعية وفق بنود نظم الهندسة الكهربائية العالمية IEC-587

5-3 نتائج الاختبار:

تم اختبار العينات التالية المبينة بالجدول (1)

الجدول (1) يبين نوع المادة العازلة وقيمة ناقلية طبقة التلوث اختبار العينات

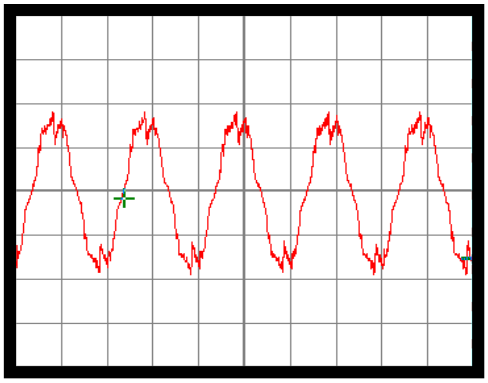
العينة الأولى	PE	$\chi = 0$ µS
العينة الثانية	PE	χ = 965 µS
العينة الثالثة	PE	χ =1153 µS
العينة الرابعة	PVC	$\chi = 0$ µS
العينة الخامسة	PVC	χ = 965 µS
العينة السادسة	PV	χ =1153 µS

تـم قيـاس التيـار التسـريبي وخواصـه الزمنيـة بواسـطة راسـم الإشـارة وربطـه مـع الحاسـوب لتخزينـه وإظهـاره ومعالجتـه وإجـراء تحليـل فوريـه لـه وحصـلنا علـى النتـائج المبينـة بالأشكال (8-9-10-11-12-13).

وكانت نتائج قياس التيار التسريبي كما يلي:

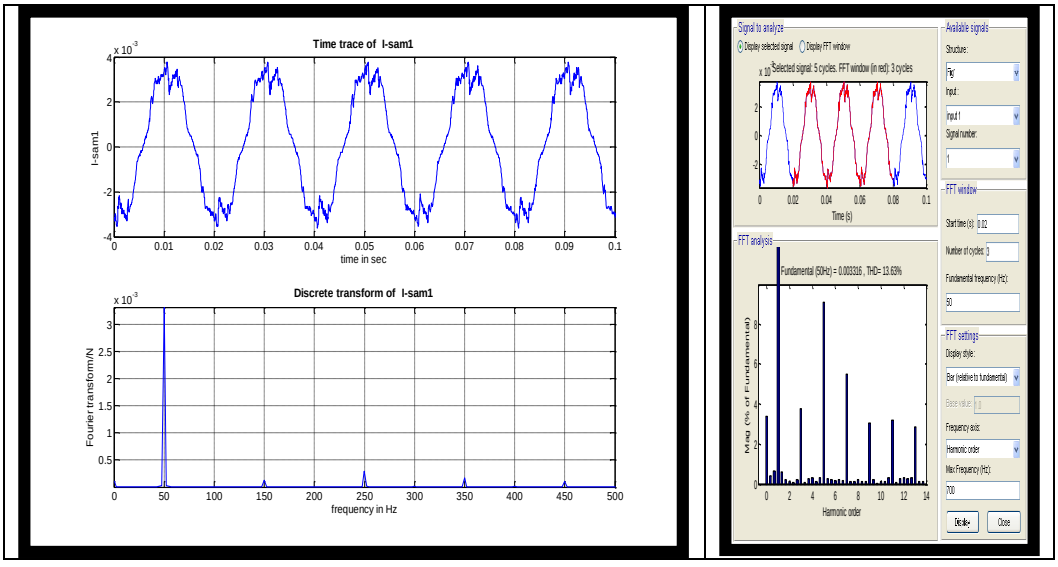
نتائج اختبر العينة الأولى

مادة عازلة مصنوعة من PE و $\chi = 0\ \mu S$ و مقياس الرسم 2 mv – $R = 10\ K\Omega$



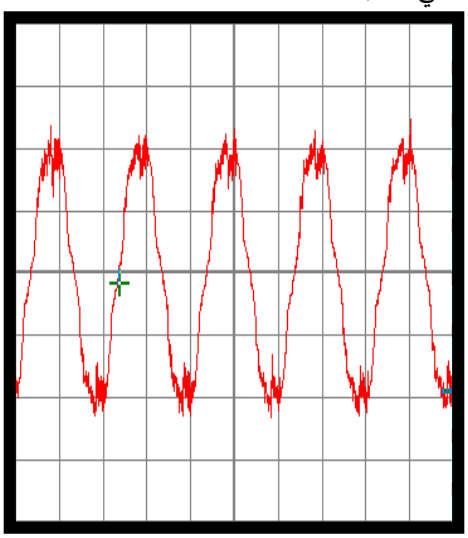
$$I = \frac{1.8 \times 2 \times 10^{-3}}{10 \times 10^{3}} = 0.36\ \mu A$$

تيار التسريب للعينة الأولى

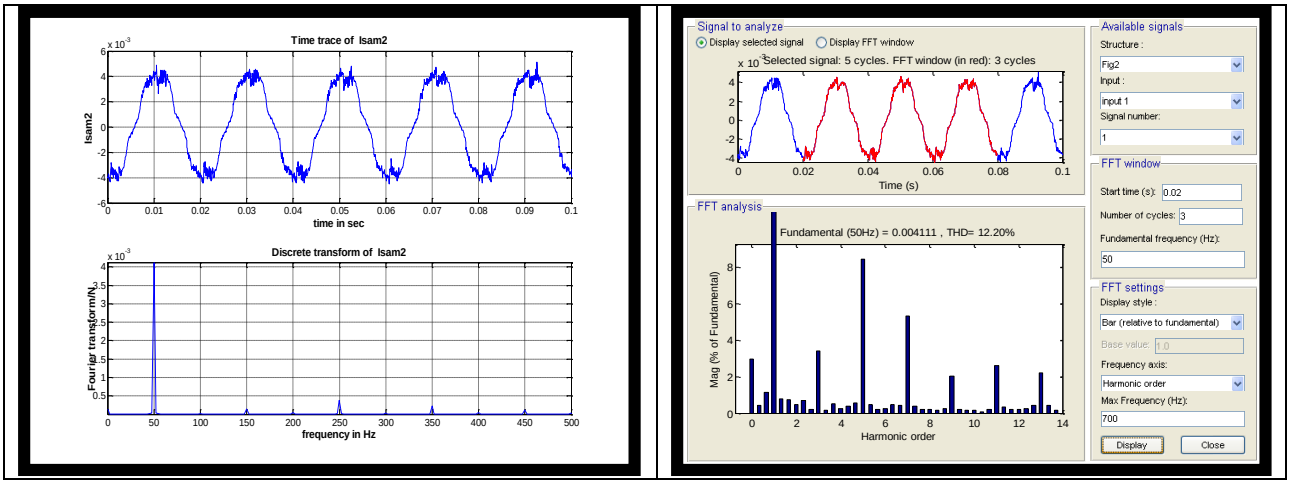


الشكل (8) تيار التسريب وتحليل فوريه للعينة الأولى

العينة الثانية: مادة عازلة مصنوعة من PE و $\chi = 965\ \mu S$

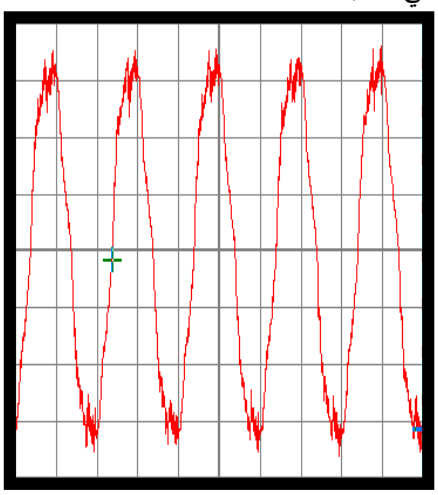


$$\mathbf{I} = \frac{\mathbf{2.2 \times 2 \times 10^{-3}}}{\mathbf{10 \times 10^{3}}} = \mathbf{0.44\ \mu A}$$

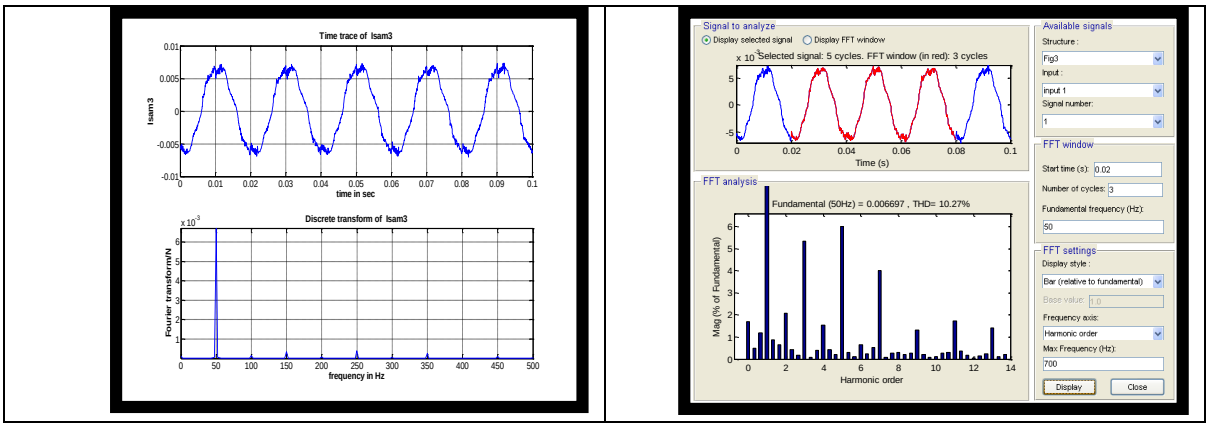


الشكل (9) تيار التسريب و تحليل فوريه للعينة الثانية

العينة الثالثة: مادة عازلة مصنوعة من PE و χ = 1156 µS

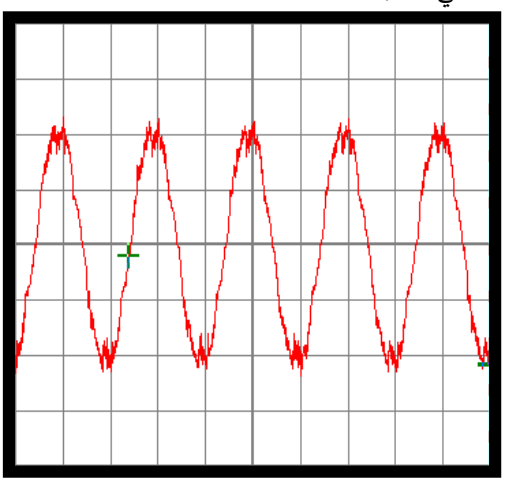


$$\mathbf{I} = \frac{\mathbf{3.4 \times 2 \times 10^{-3}}}{\mathbf{10 \times 10^{3}}} = \mathbf{0.68\mu A}$$

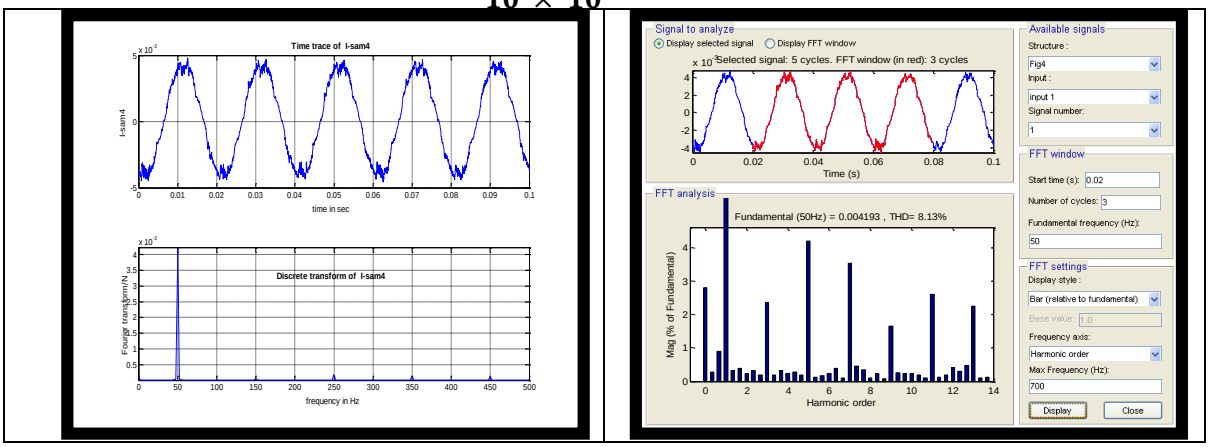


الشكل (10) تيار التسريب و تحليل فوريه للعينة الثالثة

العينة الرابعة: مادة عازلة مصنوعة من PVC و $\chi = 0\ \mu S$

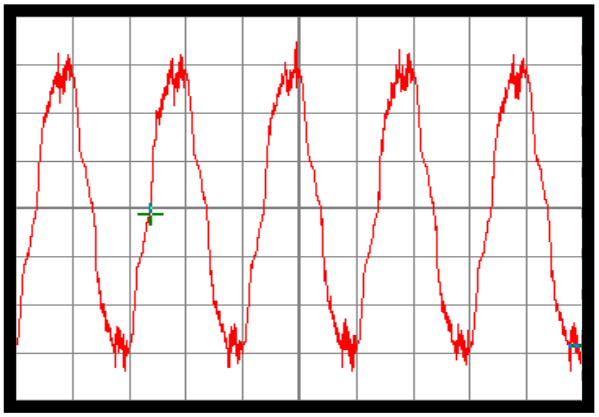


$$\mathbf{I = \frac{2.1 \times 2 \times 10^{-3}}{10 \times 10^{3}} = 0.42\ \mu A}$$

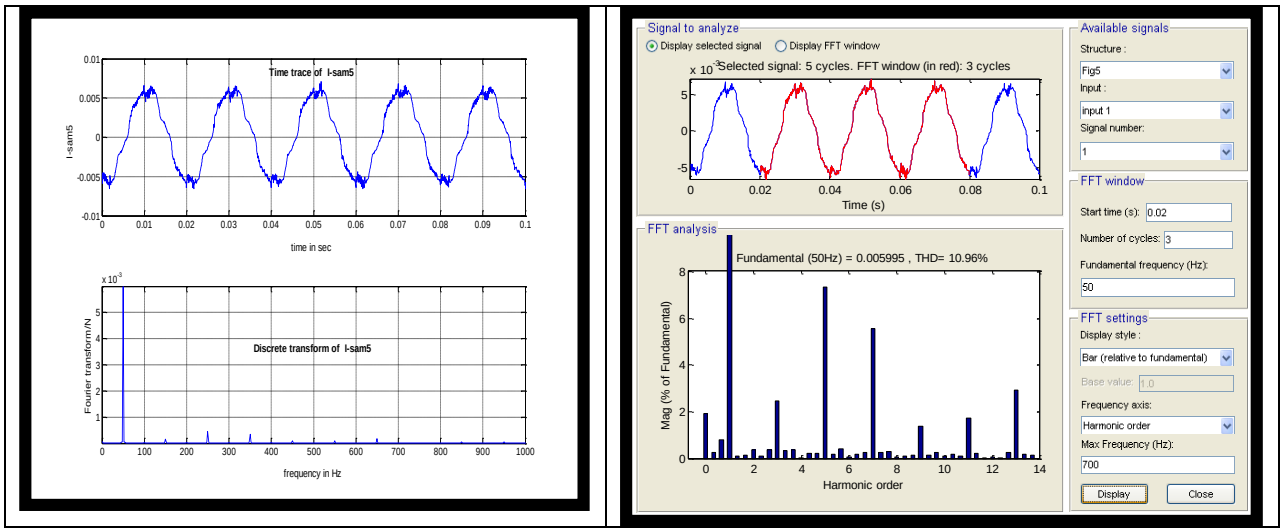


الشكل (11) تيار التسريب و تحليل فوريه للعينة الرابعة

العينة الخامسة: مادة عازلة مصنوعة من PVC و χ = 965 µS

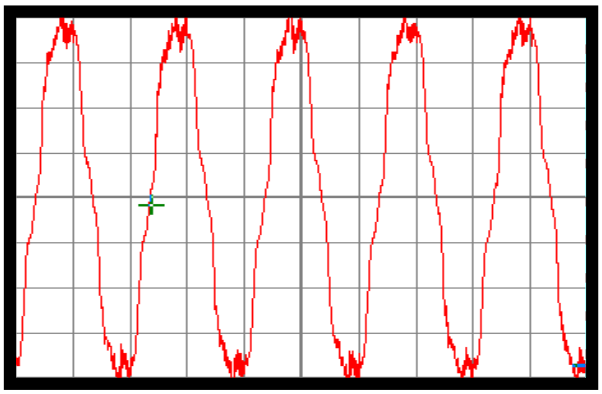


$$\mathbf{I} = \frac{\mathbf{3.2 \times 2 \times 10^{-3}}}{\mathbf{10 \times 10^{3}}} = \mathbf{0.64}\ \boldsymbol{\mu A}$$

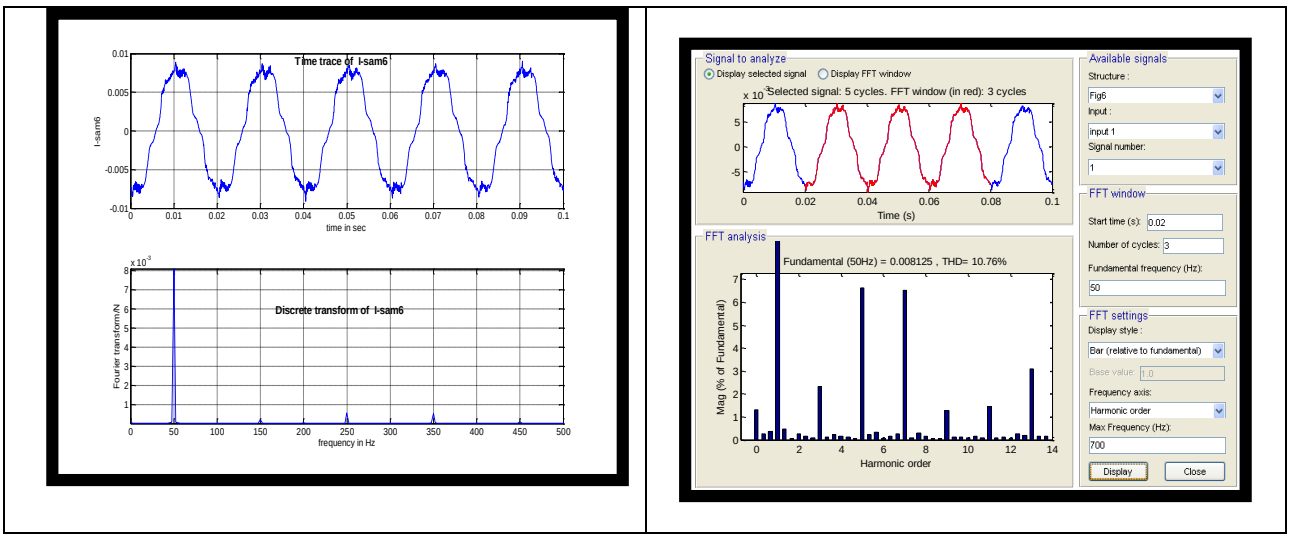


الشكل (12) تيار التسريب و تحليل فوريه للعينة الخامسة

العينة السادسة: مادة عازلة مصنوعة من PVC و $\chi = 1156\ \mu S$



$$I = \frac{4 \times 2 \times 10^{-3}}{10 \times 10^{3}} = 0.8\ \mu A$$



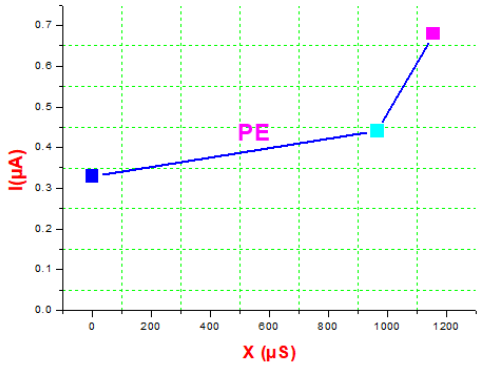
الشكل (13) تيار التسريب و تحليل فوريه للعينة السادسة

ويوضح الجدول (2) قيم تيار التسريب وعامل التشويه الكلي THD مع تغير ناقلية طبقة التلوث لمادتي البولي اتلين PE والبولي فينول كلورايد PVC .

الجدول (2) تيار التسريب وعامل التشويه الكلي THD مع تغير ناقلية طبقة التلوث

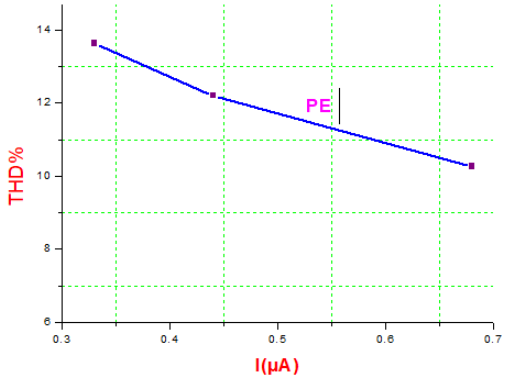
رقم العينة	قيمة التيار	الناقلية		THD%
الاولى	Aμ 0.36	PE	$\chi = 0$ μS	13.63%
الثانية	Aμ0.44	PE	$\chi = 965$ μS	12.20%
الثالثة	Aμ68 0.	PE	$\chi = 1153$ μS	10.27%
الرابعة	Aμ42 0.	PVC	$\chi = 0$ μS	8.13%
الخامسة	Aμ64 0.	PVC	$\chi = 965$ μS	10.7%
السادسة	Aμ80 0.	PVC	$\chi = 1153$ μS	10.9%

ويبين الشكل (14) تيار التسريب لمادة البولي اثلين كتابع لناقلية طبقة التلوث



الشكل (14) تيار التسريب لمادة البولي اثلين كتابع لناقلية طبقة التلوث

ويبين الشكل (15)عامل التشويه الكلي THD كتابع لتيار التسريب لمادة البولي اثلين.



الشكل (15)عامل التشويه الكلي THD كتابع لتيار التسريب

مناقشة النتائج:

1- نتائج الاختبارات السابقة أن الطبقة السطحية للمادة العازلة العضوية والتي كانت بالاصل ملساء قد تغيرت وتآكلت بشكل متفاوت نتيجة الانفراغات الجزئية والاقواس الكهربائية.

تغيرت سماكة الطبقة السطحية الخشنة وتفاوتت في درجة خشونتها تبعاً لناقلية طبقة التلوث وشدة تيار التسريب خاصة عند مسرى التوتر العالي وقد كانت هذه التغيرات اما على شكل تآكل او أخاديد على طول العازل.

يلاحظ أيضاً بقاء سطوح العينة الأولى والرابعة ملساء وازدياد خشونتها عند تعرضها إلى التلوث (نشوء تيار تسريبي اكبر على سطحها) كما في العينة الثانية والخامسة. تزايدت درجة الخشونة في العينة الثالثة والسادسة عند زيادة ناقلية مادة التلوث.

2- تقييم النتائج:

- تم قياس التيارات التسريبية ورسم منحنياتها الزمنية وإجراء تحليلات فوريه لها شكل ذلك أساساً لتقييم أثرها على المادة العازلة وتقادمها وتآكلها.

- يتغير شكل تيار التسريب المار وتزداد قيمته عند زيادة ناقلية طبقة التلوث لمادة البولي اثلين والبولي فينول كلورايد.
- يزداد مطال التوافقية الثالثة والخامسة بشكل واضح مع زيادة الناقلية ويتناقص عند الناقلية العالية مع تناقص عامل التشويه الكلي THD وهذا يشير إلى قرب حدوث الانهيار، بالنسبة لبقية التوافقيات فإن لها مطالات غير ثابتة وبالتالي لا يمكن أن تعتمد كمؤشر على قرب حدوث الانهيار.
- يؤدي زيادة الناقلية إلى زيادة ناقلية الطبقة السطحية وزيادة تيار التسريب المار في طبقة التلوث وتصبح آلية مرور التيار في المقاومة الأومية لطبقة التلوث هي الغالبة، مما يؤدي إلى جعل موجة التيار قريبة من الشكل الجيبي، وانخفاض نسبة التشوه الكلي (THD).
- إن تيارات التسريب على سطح المادة العازلة لل PVC قد ارتفعت وازدادت عما هي عليه في مادة PE مما يدل ذلك على تخريب هذا السطح و تفكك الروابط بين جزيئاته فأصبح هشاً أكثر من مادة البولي اتلين.

الخاتمة:

1. تتعرض المواد العازلة العضوية للتآكل والتقادم الزمني بصورة متفاوتة عند استخدامها في تجهيزات التوتر العالي وتعرضها للتلوث المختلف.
2. تؤكد هذه الدراسة حدوث تآكل المواد العازلة العضوية حسب نوعيتها وتركيبها، ويتفاوت ذلك بين ظهور خشونة على طول مسار الانفراغ أو نشوء أخاديد وتشققات متفحمة.
3. تؤدي ازدياد درجة التلوث يؤدي الى حدوث شرارات وانفراغات على سطح المادة العازلة، يقود ذلك إلى تفعيل وزيادة التآكل سطح المادة العازلة.

نؤكد بناءً على ماسبق ضرورة إجراء اختبارات تحمل المادة العازلة للتيارات التسريبية والانفراغات الكهربائية، وذلك قبل وضعها في الاستثمار.

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

References:

[1]: " بحث مخبري حول تقادم عوازل التوتر العالي غير السيراميكية في ظروف التلوث " د . محمد نضال الريس.

[2] ": Polymer Engineering" Robats B.E NewYork،1975 " .

[3] " :Hall c .Landon ، 1988" Materials Polymer "

[4] " :Michael A. Gropper MD، PhD، in Miller's Anesthesia، 2020" .

[5]" :Schnabel W. New York ،1981 Polymer Degradation "" .

[6] " : IEC – 587 "