بحث مخبري حول سلوكية الانفراغات المنزلقة في تجهيزات التوتر العالي الحاوية على ثغرات هوائية

د.م. علي السيد*

الملخص

نواجه في الحياة العملية مشكلة نشوء الانفراغات المنزلقة على عدد من تجهيزات العزل الحاوية على سـطوح فاصـلة مائلة كما هو الحال في عوازل العبور وعلب النهاية للكابلات الكهربائية.

وقد قدمت البحوث المنشورة مجموعة من النتائج المهمة عن العلاقة التي تـربط بـين التـوترات المطبقـة وامتـداد الانفراغات الجزئية في حال وجود نظم ذات سعات عرضانية كبيرة. لكن الدراسات عن نظـم العـزل ذات الـسعات العرضانية الصغيرة أو تلك الحاوية على ثغرات هوائية بقيت محدودة، لاعتبارات كثيرة منها أن آلية الانفـراغ لتلـك الحالات مشابهة لآلية الانفراغات في المواد ذات السطوح الفاصلة الطولانية.

إن التوصل إلى معطيات وعلاقات دقيقة لمثل هذه النظم وإيجاد سلوكية الانفراغ الفعلية ذو مردود علمي وتطبيقي مهـم بالنسبة إلى تصميم تجهيزات التوتر العالي، وخاصة عند تطبيق توترات عالية ومتغيرة زمنياً كالتوتر المتناوب والتوتر النبضي البرقي.

الكلمات المفتاحية: انفراغات منزلقة، عوازل عبور، علب نهايات كابلات التوتر العالي

* مدرس في قسم هندسة الطاقة الكهربائية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية- جامعة دمشق.

1- المقدمة:

نصادف في بعض تجهيزات التوتر العالي وجـود نظـم عزل تشكل فيها خطوط الحقل زاوية حادة مع المنطقـة الفاصلة بين العوازل الصلبة والوسط الغازي المحـيط، كما هو الحال في عوازل العبور ونهايات الكابلات، وفي حال وجود مسرى إبري على صفيحة عازلـة، سـوف تحدث في هذه النظم انفراغات منزلقة.

إن لهذه الإنفراغات آثاراً ومضار خطيرة في نظم العزل المذكورة، ومما يزيد في خطورتها أنهـا تنمـو فجـأة وبسرعة كبيرة نحو المسرى المقابل مما يؤدي إلى انهيار مبكر وتخريب العازل، لذا كان من الـضروري إيجـاد طرائق لتحديد توتر بـدء هـذه الانفراغـات المنزلقـة ومميزات نموها. لذلك أُجري بحث مخبري هـدفَ إلـى إيجاد العلاقة التي تربط بين توتر الانفراغ ومسافة نمـو الانفراغات الناتجة لدى تطبيق توترات متناوبة ونبـضية برقية (توترات متغيرة زمنياً)، على نظم عزل مختلفـة ذات سطوح فاصلة مائلة، وبـسماكات ومـواد عازلـة مختلفة، ومن دون وجود ثغرات هوائية ومعها، ومناقشة النتائج التي تم التوصل إليها.

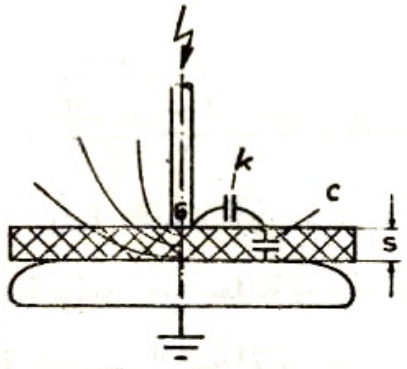
2- الأسس النظرية[1] و[2]:

توجد -في أغلب الأحيان- فضلاً عن الثغـرة الهوائيـة العازلة بين المساري مواد عازلة صلبة وبحسب وضعية السطح الفاصل بين المواد العازلة المختلفة نميـز بـين سطوح فاصلة عرضانية أو سطوح فاصلة طولانيـة أو مائلة.

نلاحظ عند وجود سطوح فاصلة مائلة وتطبيق تـوترات عالية متغيرة زمنياً تظهر آلية جديدة للانهيار الـسطحي تسمى الانفراغات المنزلقة. ولتعرف هذه الآلية درسـنا تطور هذه الانفراغات على نظام عزل ذي سطح فاصل مائل كعوازل العبور. ويمكن تمثيل هذه العـوازل عنـد تعرضها لإجهاد بتوتر عالٍ متناوب بداره مكافئة مكونـة من شبكة مكثفات حاوية على:

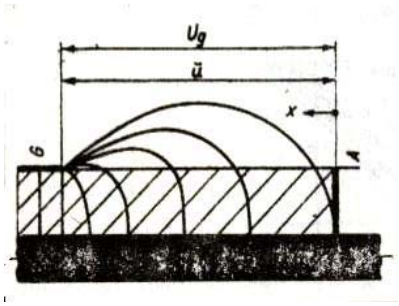
أ – مجموعة من السعات العرضانية العنصرية C التـي تقع بين سطح العازل وناقل التوتر العالي.

ب – مجموعة من الـسعات الطولانيـة العنـصرية K المتوزعة بانتظام على سطح المادة العازلة الصلبة فـي الهواء وعلى طول طريق الانهيار السطحي كما هو مبين في الشكل (1):



الشكل (1) النظام المكافئ لحقل عازل العبور

إن توزع الكمون على طول سطح العـازل هـو غيـر خطي، ونلاحظ في الشكل أن المسافة التي يقطعها خـط الحقل الكهربائي تمر بمنطقتين، منطقة هوائية ومنطقـة بورسلانية كما في الشكل(2):



الشكل(2) خطوط الحقل في عازل العبور

نتيجة لذلك سوف يتوزع الكمون بين المـسريين علـى هاتين المسافتين الجزئيتين أي كأنه سعتان على التسلسل .تمثلان مقسم كمونٍ سعوياً. ويتوزع التوتر على السعات بشكل يتناسب عكساً مع سعتها. أي إن هبـوط التـوتر

يكون أكبر على السعة الصغرى. ونظراً إلى أن السعات الهوائية K هي أصغر من السعات العرضانية في المـادة العازلة، وأن متانة الهواء أقل من متانة المادة العازلـة، وأن الإجهاد الكهربائي الأكبر يقع على المسافة الهوائيـة مما يؤدي إلى حدوث انهيار جزئي للسعات العنـصرية الطولانية الواقعة أمام القطب الأرضـي علـى صـورة انفراغات وميضية منزلقة مبكرة علـى سـطح العـازل ومترافقة بانتـشار غـاز الأوزون. لـذا تـسمى هـذه الانفراعات بانفراغات كورونا المنزلقة ويسمى التـوتر الذي تبدأ عنده هذه الانفراغات بـالظهور بتـوتر بـدء الانفراغات المنزلقة.

إن تيار الإزاحة الناتج عن هذه الانفراغات يمـر عبـر السعات السطحية C التي تصلها هذه الانفراغات (شـحن هذه السعات) ونظراً إلى أن التوتر المطبق يتغيـر مـع الزمن فإن تيار الانفراغات الجزئيـة المنزلقـة يتحـدد بالزمن الذي يحدث فيـه انهيـار الـسعات الطولانيـة العنصرية الأولى أمام القطب الأرضي وبقيمـة الـسعة الـسطحية العرضـانية المواف ـق C أو بـصورة أدق بالعلاقة(1) الآتية:

$$i = C (du / dt) + u (dc / dt) \qquad (1)$$

ومن ثَم فإن التيار المار في الانفراغات المنزلقة يكـون كبيراً جزئياً؛ وذلك لأن انهيار السعات الجزئية الطولانية يجري بسرعة كبيرة. تـزداد شـدة هـذه الانفراغـات وامتدادها بزيادة التوتر المطبق زيادة ضئيلة، وكذلك من ثَم شدة التيار المار فيها. ونتيجة لمرور مثل هذا التيـار الكبير نسبياً عبر أقنية انفراغات كورونا المنزلقة سيحدث فجأة تأين حراري فيهاعلى شكل شـرارات ذات ضـوء ساطع أزرق مائل للبياض وحرارة عاليـة (انفراغـات ليدر منزلقة) تنمو بسرعة كبيرة جداً وباحتيـاج تـوتر منخفض لا يتجاوز (1kv\cm) نحو المسرى المقابل.

وبهذه الطريقة يمكن بزيادة التوتر المطبق زيادة طفيفـة أن تنزلق أقنية الانفراغ إلى مسافات كبيرة نـسبياً إذْ إن توتر الانهيار السطحي لمثل هذه العوازل يكون أصـغر بكثير من توتر الخرق لمسريين إبـريين لهمـا مـسافة الانهيار نفسها؛ لذلك يسمى هذا الشكل من الانفراغـات بالشرارات المنزلقة.

ولهذا السبب يمكن عد الانفراغات المنزلقة شـكلاً مـن أشكال انفراغات الليدر وتنشأ عندما:

1- يتم تجاوز توتر البدء.
2- إذا كان التوتر المطبق متغيراً زمنياً.
3- إذا كان نظام العزل الموجود حاوياً علـى سـطوح فاصلة مائلة، وكانت نسبة الـسعات العرضـانية إلـى السعات الطولانية كبيرة.

3- الاختبارات العملية: [3]

عند تصميم تجهيزات العزل المستخدمة في التوتر العالي يجب معرفة شدة الحقل العظمى السائدة في الحقل العائد لهذه التجهيزات، وكذلك معرفة شدة الحقل العظمى التـي تتحملها المادة العازلة المستخدمة دون أن تنهار.

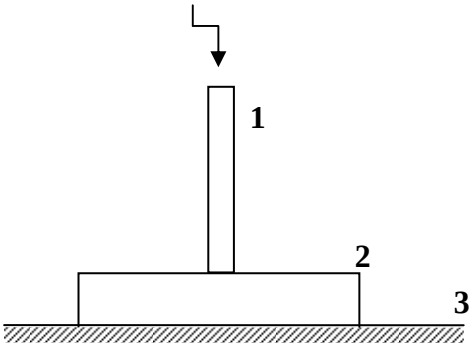
ونظراً إلى أنه توجد -في أغلب الأحيان- في العـوازل العملية فضلاً عن الثغرة الهوائية العازلة بين المـساري مواد عازلة صلبة. ونظراً إلى أنه تظهـر عنـد وجـود السطوح الفاصلة المائلة وتطبيق توترات متغيرة زمنيـاً آلية جديدة للانهيار السطحي تسمى الانفراغات المنزلقة ، ثم السعي لإجراء تجارب تهدف إلى :

1- إيجاد منحنيات توتر الخرق كتابع لمسافة الخرق عند حدوث انفراغات منزلقة.
2-تعرف أثر التوتر المطبق ونوعه (متناوب أو نبضي) في مميزات الخرق وآليته.

3- تعرف دور سعة العازل وسماكة المادة العازلة في تغير آلية الانهيار.

3-1: نظام الاختبار:

يبين الشكل (3) النظام المستخدم في هذه الاختبارات الذي يتألف من مسرى قضيبي يطبق عليه التوتر (1)، ومسرى صفيحي مؤرض (3) توضع بينهما المادة العازلة (2)، إذْ يمثل هذا النظام سطوحاً فاصلةً مائلةً. وهذا النظام قابل للتعميم على النظم المتناظرة دورانياً كالكابلات وعوازل العبور.



الشكل(3) النظام المستخدم في الاختبارات

3-2: تجهيزات دارة الاختبار [4]:

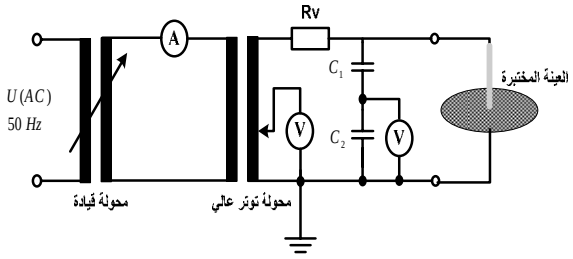
أجريت الاختبارات باستخدام كل من التوتر المتناوب والتوتر النبضي البرقي .

3-2-1: دارة الاختبار بالتوتر المتناوب:

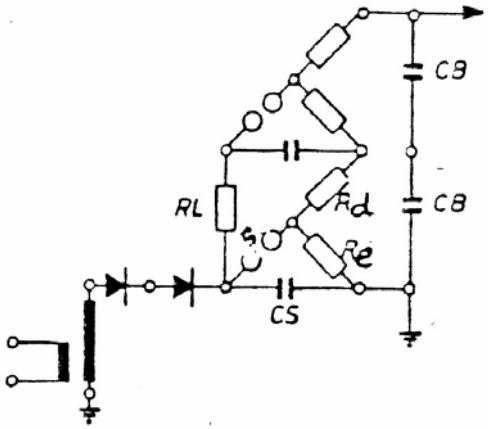
يمثل الشكل (4) دارة الاختبار بالتوتر العالي المتناوب المستخدمة إذْ يجري توليد توتر الاختبار المتناوب بواسطة محول اختبار بتوتر خرج 100KV. ويقاس التوتر بمقياس فولت ذي قيمة فعالة. كما تُقاس القيمة العظمى للتوتر باستخدام مقسم توتر سعوي ومقياس قيمه عظمى. وتُربطُ العينات المختبرة بالمحول عن طريق مقاومة إخماد $\mathbf{R_V}$.

3-2-2: دارة الاختبار بالتوتر النبضي:

يبين الشكل (5) دارة الاختبار بالتوتر العالي النبضي، وتتألف الدارة من محول توتر عالٍ متناوب 100kV مقوم مع مكثف وثغرة هوائية. تضبط ثغرة المولد S بواسطة محرك على القيمة نفسها لكلتا المرحلتين، يحول التوتر المتناوب إلى توتر مستمر عن طريق التقويم، ومن ثم يرفع التوتر المستمر ويشحن المكثفات C_S حتى قيمة توتر الانهيار، وعند حدوث انهيار ثغرات المولد تفرغ المكثفات C_S على التسلسل لتشحن المكثف CB حتى القيمة العظمى U_{max} للتوتر النبضي المراد توليده ثم يفرغ المكثف CB عن طريق مقاومات التفريغ R_e إلى الأرض.



الشكل (4) دارة الاختبار بالتوتر العالي المتناوب



الشكل (5) دارة الاختبار بالتوتر النبضي

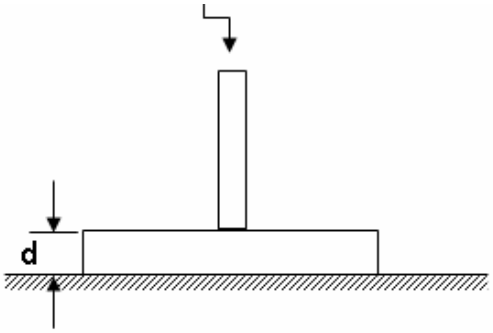
3- 3: العينات المختبرة [3]:

أجريت الاختبارات على نظامي عزل استخدم فيهما مادتان عازلتان. إحدى المادتين العازلتين هي صفائح من الورق المقوى، والثانية من الزجاج وقد صنعتْ هاتان المادتان على شكل قرص دائري قطرها D.

استُخْدم نموذجان من تجهيزات الاختبار في إجراء التجارب وهما:

النموذج الأول: صفيحة من دون ثغرة هوائية:

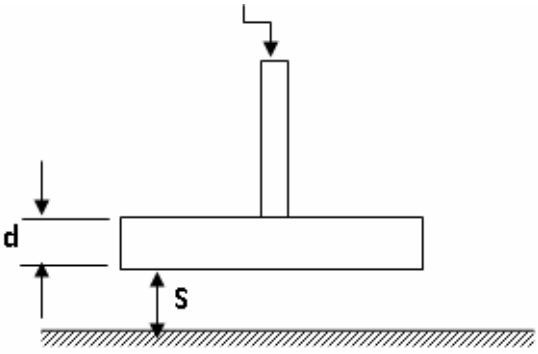
تُطَبقُ التوتر المتناوب U~ والتوتر النبضي Uss على المسرى القضيبي، وتستخدم صفائح عازلة موضعة على الصفيحة المؤرضة مباشرة وبسماكات مختلفة، وهي **d = 0.2 cm أو d = 1cm** كما في الشكل (6).



الشكل (6) النموذج الأول للاختبار

النموذج الثاني: صفيحة مع ثغرة هوائية:

يطَبقُ التوتر المتناوب U~ والتوتر النبضي Uss على المسرى القضيبي، وترفع المادة العازلة عن الصفيحة المؤرضة بمسافات هوائية مختلفة **S = [2, 4, 8, 10] cm** كما في الشكل (7).



الشكل (7) النموذج الثاني للاختبار

4- نتائج الاختبار:

في بداية الاختبار يغَطى سطح المادة العازلة بطبقة غبارية لقياس امتداد الانفراغات.ثم نقوم برفع التوتر على مراحل سواء كان التوتر المطبق توتراً متناوباً U~ أو توتراً نبضياً Uss. ثم تُقْرأ قيمة التوتر المطبق، ويقاس طول امتداد مسافة الانفراغ L وحتى حدوث الانهيار الكامل، وذلك للحالات المختلفة من تغير سماكة المادة العازلة مع الثغرات الهوائية ومن دونها.

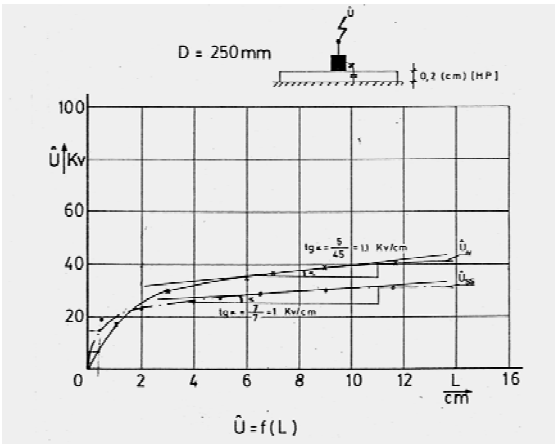
وقد حصلنا على النتائج الآتية:

4-1: علاقة التوتر المتناوب والنبضي بمسافة امتداد الانفراغات المنزلقة لنظم عزل من دون ثغرة هوائية:

يبين الشكل (8) علاقة توتر الانفراغات بمسافة الانفراغ من أجل صفيحة عازلة من الورق المقوى قطرها D، وسماكة **d=0.2cm**. عند تطبيق توتر متناوب أو نبضي برقي على المسرى القضيبي نجد أن مسافة امتداد الانفراغ تزداد مع زيادة التوتر المطبق، ويكون ميل المنحني بالبداية بحدود **25(kV/cm)** للنبضي، **16(kV/cm)** للمتناوب. ومن ثم وبصورة فجائية بعد وصول طول الانفراغ إلى حدود cm(1-2) للنبضي و 1.5 Cm للمتناوب يزداد طول الانفراغات المنزلقة ازدياداً كبيراً جداً مع أي تغيير طفيف في قيم التوتر ويصبح ميل المنحنيات بحدود **1(kV/cm)** للتوتر النبضي البرقي و**1.1(kV/cm)** للتوتر المتناوب؛ ويمكن تفسير هذه السلوكية العامة المتشابهة في الحالتين بآلية نشوء الانفراغات المنزلقة التي كنا قد تحدثنا عنها في الأسس النظرية0

أما الاختلاف بين القيم والميول للانفراغات الناجمة عن تطبيق التوتر المتناوب والنبضي الذي تميز في المنطقة الأولى بتأخر نمو الانفراغات المنزلقة في حال تطبيق التوتر النبضي عن المتناوب. وهي منطقة انفراغات سحب التكاثر والستريمر، فالسبب هو عدم توافر الوقت الكافي لتوافر إلكترون بدء ولتكون الانفراغات في حال تطبيق التوتر النبضي بزمن جبهي قصير جداً بحدود **1µS** الذي يراوح في حدود أقل أو يساوي المدة اللازمة

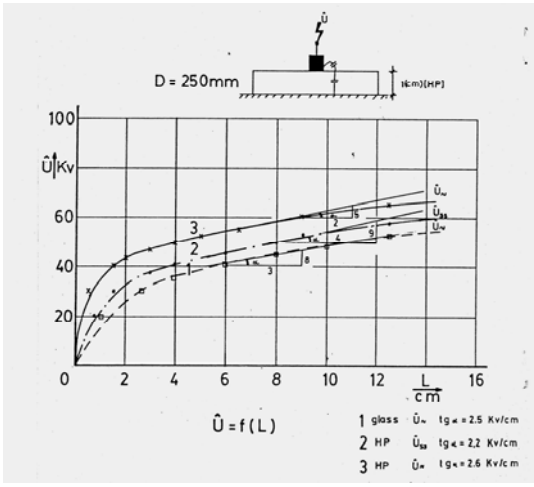
لتوافر الكترون بدء الانفراغ أو نموه بالمقارنة بزمن تطبيق التوتر المتناوب بزمن نصف الموجه **10mS** أي بزمن يبلغ على الأقل 10 آلاف ضعف من الزمن للموجة النبضية. أما في المنطقة الثانية وهي منطقة نشوء انفراغات الليدر المنزلقة التي نلاحظ فيها بدء انفراغات الليدر بصورة أبكر في حال تطبيق التوتر النبضي البرقي ونمو هذه الانفراغات بصورة أسرع فيمكن إرجاع هذه الآلية إلى دور التغير السريع في قيمة التوتر وقيمة السعة مع الزمن في زيادة تيار الانفراغ الذي نُعطى معادلته وفق المعادلة (1). وتسريع عملية التأين الحراري في حال تطبيق التوتر النبضي بالمقارنة بالتوتر المتناوب. وبناء على ذلك عند تصميم العوازل المعرضة للانفراغات المنزلقة المتناوبة والنبضية يجب أن يجري انطلاقاً من سلوكيتها في حال التوتر النبضي وإلاّ فقد تتعرض للانهيار على الرغم من تحملها التوتر المتناوب.



الشكل (8) علاقة توتر الانفراغات بمسافة الانفراغ من أجل صفيحة عازلة من الورق المقوى بسماكة d=0.2cm

4-2: علاقة التوتر المتناوب والنبضي المطبق بمسافة امتداد الانفراغات المنزلقة لنظم عزل من الورق D المقوى من دون ثغرة هوائية بسماكات مختلفة:

يبين الشكل (9) أيضاً علاقة توتر الانفراغ بطول الانفراغ، ولكن سماكة الصفيحة العازلة هي d = 1cm إذْ نلاحظ أنه بازدياد السماكة تتناقص سعة النظام ويقل نمو الانفراغات المنزلقة مع تزايد التوتر بالمقارنة بالشكل (8). بالنسبة إلى كل من التوتر النبضي والمتناوب يمكن تفسير هذه السلوكية كما يأتي: مع تزايد السماكة للطبقة العازلة تتناقص سعة النظام العرضانية في الحالتين وتتناقص من ثَم قيمة تيار الانفراغات المنزلقة، مما يؤخر نمو انفراغات الليدر المنزلقة وبالتوافق مع العلاقة السابقة. كما يبين الشكل (10) من ناحية ثانية أن ميل منحنيات U=f(L) تتزايد من 1(kV/cm) لتصبح بحدود 2.5(kV/cm) أي إنها تقارب ميول الانفراغات الهوائية غير المنزلقة مما يعني أنه عندما تزداد السماكة إلى قيم حدية فإن آلية انفراغات الليدر المنزلقة تضعف بسبب انخفاض السعة العرضانية.



الشكل(9) علاقة توتر الانفراغات بمسافة الانفراغ من أجل صفيحة عازلة من الورق المقوى بسماكة d=1cm

4-3: علاقة التوتر المتناوب المطبق بمسافة امتداد الانفراغات المنزلقة لنظم عزل من الورق المقوى والزجاج من دون ثغرة هوائية:

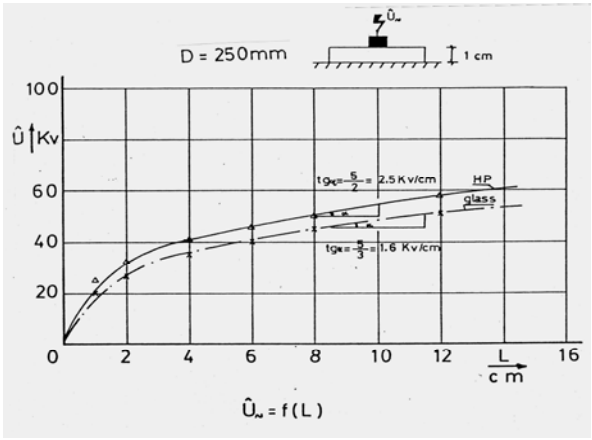
يبين الشكل (10) توتر الانفراغ كتابع لمسافة الانفراغ عند تطبيق توتر متناوب على صفيحة عازلة من الورق المقوى مرة ومن الزجاج مرة ثانية.

نجد أن الاختلاف بين منحنيات الزجاج والورق المقوى يمكن تفسيرها بارتفاع قيمة ثابت العازلية للزجاج الذي يراوح بين (5÷7) في حين يبلغ للورق المقوى (2) إذْ بازدياده تزداد قيمة السعة **C** ومن ثَم تزداد قيمة تيار الانفراغات المنزلقة بحسب المعادلة (1)، مما يسرع نمو انفراغات الليدر المنزلقة ومن ثَم تقل قيمة التوتر.

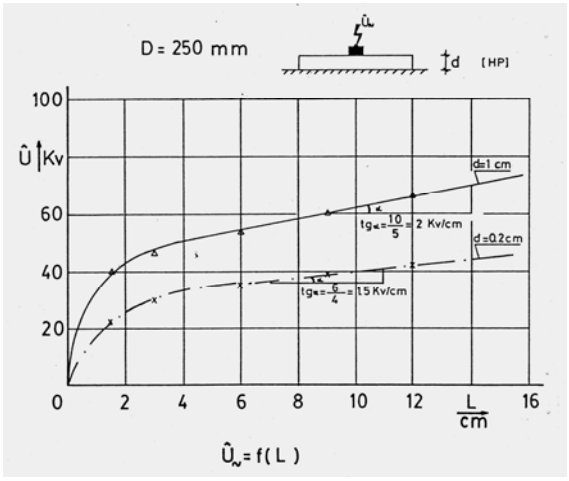
4-4: علاقة التوتر المتناوب المطبق بمسافة امتداد الانفراغات المنزلقة لنظم عزل من الورق المقوى بسماكات مختلفة من دون ثغرة هوائية:

يبين الشكل (11) توتر الانفراغ كتابع لمسافة الانفراغ عندما نطبق توتراً متناوباً فقط وعندما تكون سماكة الصفيحة العازلة من الورق المقوى مختلفة وهي **d = 0.2 cm أو d = 1cm**.

إذ نلاحظ مع تزايد السماكة للطبقة العازلة تتناقص سعة النظام العرضانية؛ مما يؤدي إلى تناقص قيمة تيار الانفراغات المنزلقة، وهذا يؤدي إلى تأخير انفراغات الليدر المنزلقة ومن ثَم يزداد توتر الانفراغ.



الشكل(10) توتر الانفراغ كتابع لمسافة الانفراغ عند تطبيق توتر متناوب على صفيحة عازلة من الورق المقوى وأخرى الزجاج



الشكل(11) توتر الانفراغ كتابع لمسافة الانفراغ عندما نطبق توتر متناوب (عند قيم مختلفة لسماكة الصفيحة العازلة من الورق المقوى d = 0.2 cm أو d = 1cm)

5-4: علاقة التوتر النبضي المطبق بمسافة امتداد الانفراغات المنزلقة لنظم عزل من الورق المقوى بسماكات مختلفة من دون ثغرة هوائية:

يبين الشكل (12) توتر الانفراغ كتابع لمسافة الانفراغ عندما نطبق توتراً نبضياً برقياً فقط للسماكات نفسها من الصفيحة العازلة من الورق المقوى وهي **d = 0.2 cm و d = 1cm**.

إذ نلاحظ مع تزايد السماكة للطبقة العازلة تناقص سعة النظام العرضانية؛ مما يؤدي إلى تناقص قيمة تيار الانفراغات المنزلقة، وهذا يؤدي إلى تأخير انفراغات الليدر المنزلقة ومن ثَم يزداد توتر الانفراغ .

6-4: علاقة التوتر المتناوب والنبضي المطبق بمسافة امتداد الانفراغات المنزلقة لنظم عزل من الورق المقوى بوجود ثغرة هوائية:

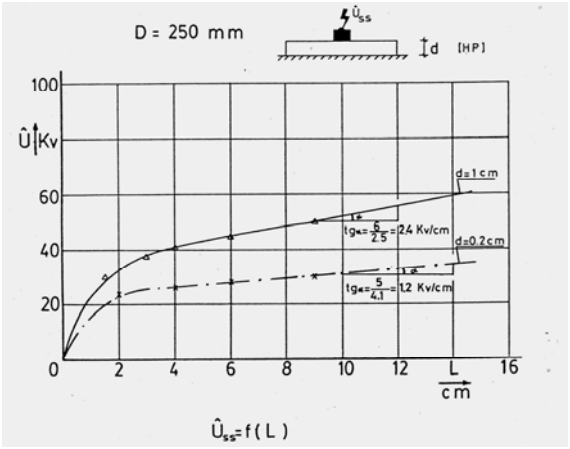
يبين الشكل (13) منحنيات **$U_d = f(L)$** وهي علاقة التوتر المتناوب U~ والنبضي Uss المطبق بمسافة امتداد الانفراغات المنزلقة L لنظم عزل من الورق المقوى قطرها D بوجود ثغرة هوائية، وتبين هذه المنحنيات سلوكية متميزة تجمع بين بعض ميزات الانفراغات المنزلقة لنظم ذات سطوح فاصلة مائلة والانفراغات

الطولانية من جهة، كما تختلف عن كل منها من جهة أخرى 0

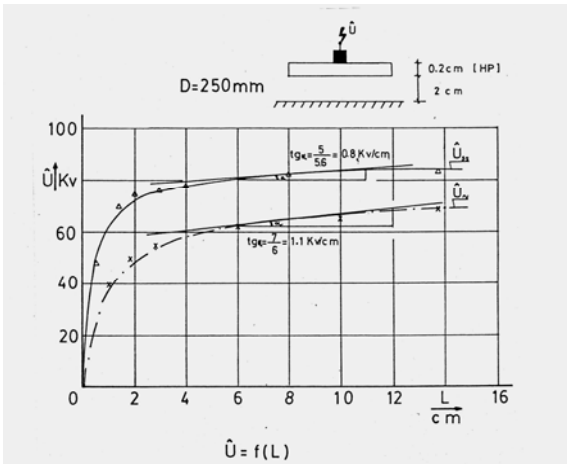
فمن جهة تشبه هذه المنحنيات المسار العام للانفراغات المنزلقة في حال عدم وجود مسافة هوائية، لكن توترات بدء الانفراغات المنزلقة تبدأ عند قيم أعلى من تلك غير الحاوية على ثغرات هوائية. إذ تبين هذه المنحنيات وجود منطقة أولى تصل فيها الانفراغات حتى عدة سنتمترات فقط بميل بحدود **(25/30)kV/cm**، ثم انفراغات بميل الليدر بحدود **(0.8/1,1)kV/cm** عند قيم توترات بدء انفراغ الليدر بحدود **60kV** في التوترات المتناوبة بالمقارنة مع **30kV** في حال عدم وجود ثغرة هوائية. وإلى حدود **80kV** عند تطبيق التوترات النبضية بالمقارنة مع **22kV** في حال عدم وجود ثغرة هوائية في النظام0

ويفسر هذا الاختلاف بدور الثغرة الهوائية في رفع توتر الانهيار الكلي للنظام، وذلك **40kV** لثغرة هوائية **2cm** أي بحدود **20(kV/cm)** التي تتوافق مع احتياج توتر يقارب احتياجات توتر انفراغات سحب التكاثر **25(kV/cm)**. أما انخفاض هذه القيمة بحدود **5(kV/cm)** فيمكن إرجاعه إلى ظاهرة الانفراغات المتواكبة على الجزء الأسفل من الصفيحة العازلة التي تسرع في عملية الانهيار.

كما نلاحظ في هذه المنحنيات أن ميل انفراغات الليدر قد انخفضت **(0.8–1.1)kV/cm** بالمقارنة بالنظام الحاوي على صفائح سميكة ومن دون ثغرة هوائية **(2.2-2.6)KV/Cm** على الرغم من أن السعة الكلية للنظام قد انخفضت؛ ويفسر ذلك بدور الانفراغات المتواكبة في تقييد نشوء الانفراغات وإجبارها على النمو على سطحي الصفيحة على شكل انفراغات منزلقة متواكبة بشحنات متعاكسة وليس على شكل انفراغات هوائية طولانية .



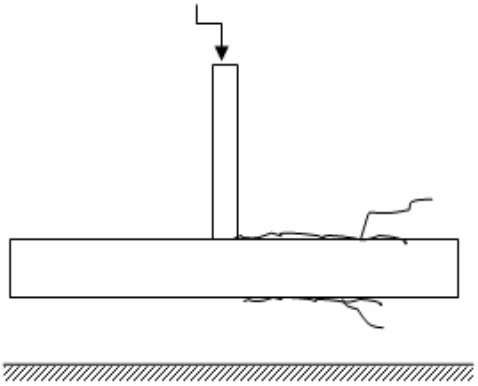
الشكل (12) توتر الانفراغ كتابع لمسافة الانفراغ عندما نطبق توتر نبضي برقي للسماكات نفسها من الصفيحة العازلة وهي d = 1cm أو d = 0.2 cm



الشكل (13) منحنيات $U_d = f(L)$ وهي علاقة التوتر المتناوب U~ والنبضي Uss

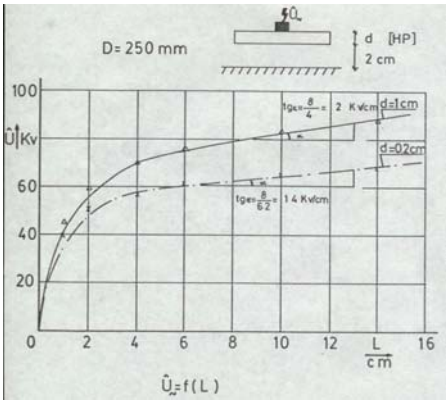
المطبق بمسافة امتداد الانفراغات المنزلقة L لنظم عزل من الورق المقوى قطرها D بوجود ثغرة هوائية تبين هذه المنحنيات أن طول الانفراغ في حال تطبيق توتر متناوب تكون أكبر منها في حال تطبيق التوتر النبضي؛ وذلك بعكس ما تعرفنا آلية في حال عدم وجود ثغرة هوائية، ويفسر ذلك أيضاً بدور الانفراغات المتواكبة التي يتطلب نموها على وجهي الصفيحة زمناً أكبر من الزمن المتوافر في حال تطبيق توتر نبضي إذ إن عملية تواكب نشوء الانفراغات تتطلب نشوء الانفراغ المنزلق على السطح العلوي، ثم تجميع شحنات فراغية على هذا

السطح، ومن ثم تكون شحنات فراغية معاكسة على السطح الكلي المقابل التي تؤدي إلى تشوه موضعي في الحقل ونشوء انفراغات مواكبة لتلك على السطح العلوي كما في الشكل (14). كما يمكن ملاحظة أنه مع ازدياد سماكة المادة العازلة تنقص سعة النظام ومن ثّم تقل قيمة تيار الانفراغات المنزلقة؛ مما يؤخر في نمو الانفراغات المنزلقة ومن ثّم يزداد توتر الانهيار كما في الشكل(15).



الشكل (14) نشوء الانفراغات المتواكبة

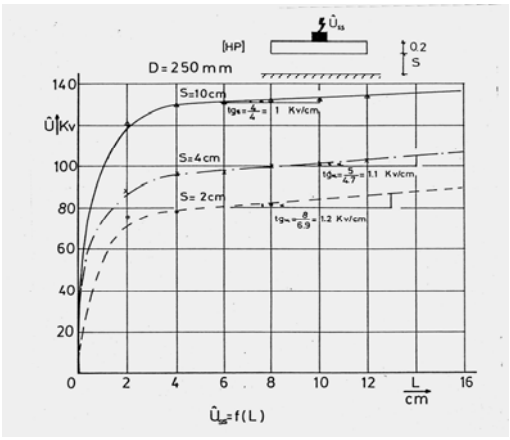
كما نلاحظ أنه في حال تغير الصفيحة العازلة من ورق مقوى إلى زجاج فإن ثابت العازلية ε_r يؤدي الدور الأساسي، وهو للزجاج أكبر منه في حالة الورق ومن ثّم تزداد السعة وتزداد قيمة تيار الانفراغ ومن ثّم تنمو الانفراغات بشكل أسرع.



الشكل (15) دور تغير سماكة المادة العازلة على توتر الانهيار بوجود ثغرة هوائية

4-7: علاقة التوتر النبضي المطبق بمسافة امتداد الانفراغات المنزلقة لنظم عزل من الورق المقوى بوجود ثغرة هوائية مختلفة:

يبين الشكل (16) أنه في حال ازدياد مسافة الثغرة الهوائية تنقص قيمة تيار الانفراغات المنزلقة بحسب العلاقة(1)، مما يؤدي إلى تأخر نمو هذه الانفراغات وارتفاع قيمة توتر الانهيار ويعود ذلك إلى نقص سعة النظام.



الشكل(16) توتر الانهيار عند قيم مختلفة للثغرة الهوائية

5- ملخص النتائج:

أُجري بحث مخبري هدفَ إلى إيجاد العلاقة التي تربط بين توتر الانفراغ ومسافة الانفراغات الناتجة لدى تطبيق توترات متناوبة ونبضية برقية (توترات متغيرة زمنياً)على نظم عزل مختلفة ذات سطوح فاصلة مائلة، وبسماكات ومواد عازلة مختلفة، ومن دون وجود ثغرات هوائية ومعها.

إن النتائج التي تم التوصل إليها لها انعكاسات تصميمية على تصنيع نظم عزل التوترات العالية في حال وجود ثغرات هوائية إذْ لاحظنا أن الثغرة الهوائية تحقق من جهة زيادة في قيم توتر الانهيار، لكنها من جهة أخرى لا تلغي الانفراغات المنزلقة. وأن زيادة سماكة طبقة العزل بوجود ثغرة هوائية تساعد على رفع توتر الانهيار وتقليل الانفراغات المنزلقة المتواكبة.

References[*]

[1] A. Kuchler, Hochspannungs technik, Springer 2004.

[2] M. Beyer, W. Bocet, K. Moller, W. Zaengl; Hochspannungs technik; Springer-verlag, Berlin-Heidelberg, 1986.

[3] Y. Julliard, R. Badent, A. J. Schwab; Behavior of Multiple Barrier Insulation Systems under Impulse conditions;IEEE2001.

[4] الدكتور محمد نضال الريس والدكتور محمد حـازم الصابوني: هندسة التوتر العالي (1+3) كلية الهندسة اليكانيكية والكهربائية، جامعة دمشق 2005.

[5] Rayes, M. N. Untersuchungen an Ueberschlagsanordungen in luft mit Teilstrcken von unterschiedlichem Entladungsverhalten bei Wechselspannung. Diss, TU Braunschweig, 1987.

تاريخ ورود البحث إلى مجلة جامعة دمشق 2013/11/3