

# آلية انهيار العوازل الكهربائية أثناء غسلها تحت التوتر

إعداد المهندس  
محمد ربيع عثمان

## ○ الملخص:

التلوث هو المشكلة الأهم في العزل الهوائي في شبكات نقل القدرة الكهربائية وهناك العديد من الإجراءات قد طبقت للتغلب على هذه المشكلة مثل :

- تطويل سلسلة العزل - استخدام السيليكون الشحومي (الزيتي) على سطوح العوازل
- مسح العوازل بقطعة قماش جافة - استخدام مواد تركيبية جديدة
- وغسيل العوازل أيضاً من إحدى هذه الإجراءات.

سوف ندرس سلوك العوازل الملوثة عند غسلها تحت التوتر وشرح آلية الإنفراج .

## ○ المقدمة:

تمت دراسة نموذجين مختلفين لغسيل العوازل

- النموذج الأول (النموذج الثابت) حيث يتم تثبيت الفوهة للأنبوب على قاعدة خشبية وتوجد مضخة ذات ضغط عالي لضخ الماء باتجاه العازل الكهربائي ، أو أن يتم تثبيت مجموعة من الرشاشات المائية المعلقة بجانب العازل الكهربائي .
- النموذج الثاني (النموذج متنقل) وهو عبارة عن خزان من الماء محمول على سيارة متنقلة كما وتوجد مضخة للماء .

وفي كلا النموذجين يستخدم مولد استطاعة ديزل لتدوير المضخة .

## ○ تحضير عينات الاختبار:

لقد اختيرت نماذج الاختبار من أنواع مستخدمة في الشبكة السورية حيث اختير نموذجين :

1. عازل قضيبى طويل من البورسلان لنظام 66kv والموضح في الشكل (1a) .
2. سلسلة عزل مؤلفة من 19 فنجان من الزجاج والموضح في الشكل (2a) .

تم تحضير العينات للاختبار بوضع طبقة من التلوث من الصعب إزالتها على سطح العازل وكمثال على التلوث القاسي التلوث الناتج عن الصناعات الكيميائية وهو من الأنواع الضارة من التلوث .

Table (1): specifications of test samples.

Insulator Shape	System Voltage kV	Leakage Path	Suspension Length	Shed Diameter
Long rod	66	228 cm	127 cm	17.5 cm.
Cap & pin	220	54 cm.	17 cm.	32 cm

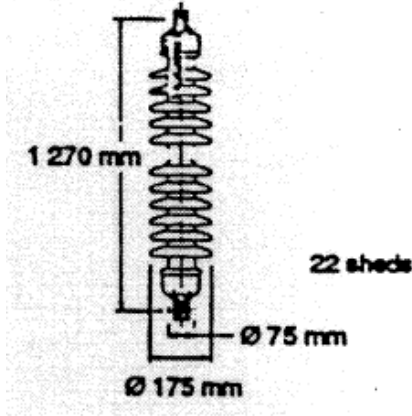


Fig.(1a): Long Rod Procelain Insulator

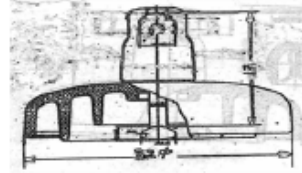


Fig.(1b): Cap and Pin Glass Insulator.

### ○ دائرة القياس :

إن البارامترات المميزة المقاسة في هذا العمل هي :

- التيار التسريبي على سطح العازل.
- التوتر الهابط على فوهة الأنبوب.
- التيار المار عبر الماء المرشوش .

دائرة القياس المستخدمة مبينة في الشكل (2a) .

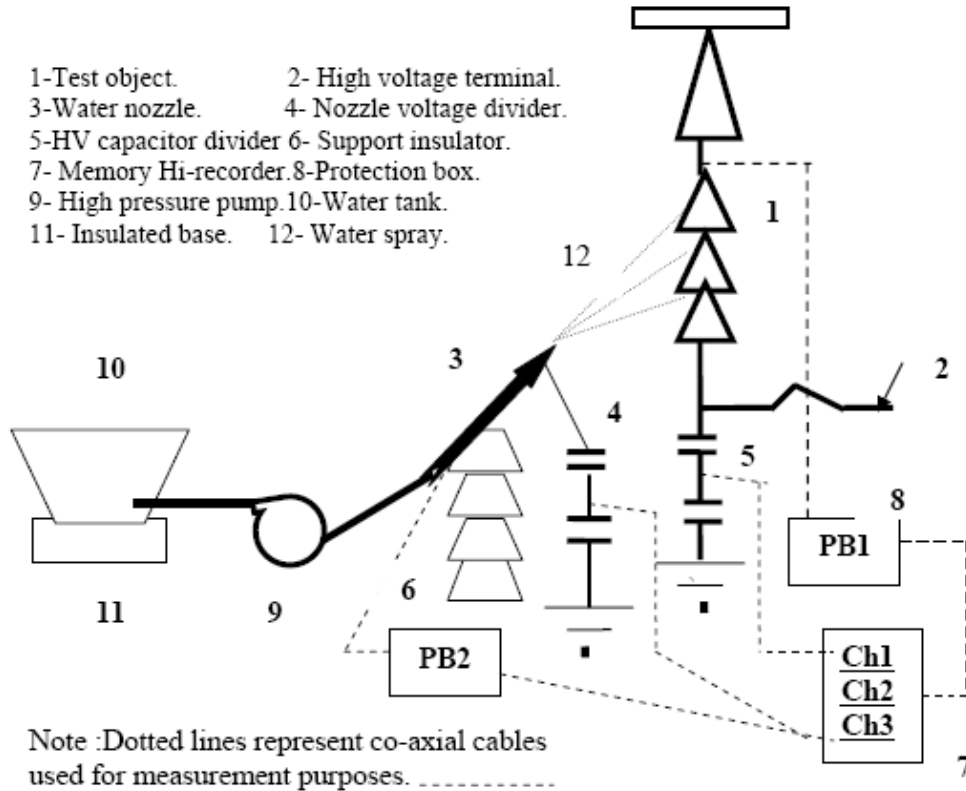


Fig.(2a): Testing Arrangement.

الذاكرة HI ذات الرقم 7 تستخدم لقياس تلك البارامترات .

يستخدم صندوق الحماية BP ومقسم الجهد لقياس كل من التيار والتوتر على التوالي .

نستخدم مقسم جهد سعوي (5) لقياس التوتر المتناوب المطبق على عينة الاختبار ومقسم آخر (4) لقياس التوتر الهابط عند فوهة الماء المائلة .

صندوق الحماية هو عبارة عن مقسم أومي ولأجل معرفة قيمة تيار التسريب وشكله ندخل التوتر V2 الهابط على المقاومة R3 إلى مسجل الذواكر HI .

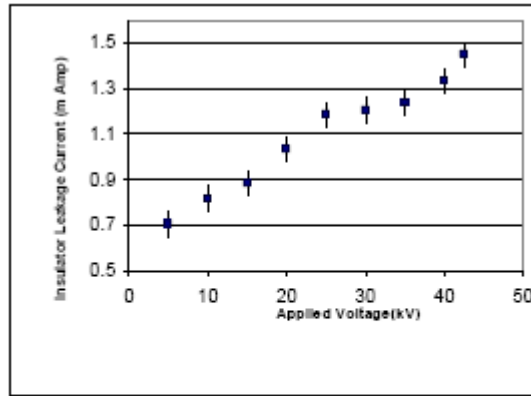
### ○ دراسة تأثير التوترات المتناوبة 50HZ :

✓ سلسلة العزل 66KV :

تم استخدام دائرة الاختبار الموصوفة في الشكل (2a) وتم تغطية السلسلة بمادة تلوث قاسية .

يبين الشكل (3) العلاقة ما بين تيار التسريب للعازل مع التوتر المتناوب المطبق حيث يلاحظ أنه عند توترات منخفضة يتزايد تيار التسريب ببطئ وبشكل ناعم لكن عند توترات أعلى من 15kv تكون زيادة التيار شديدة .

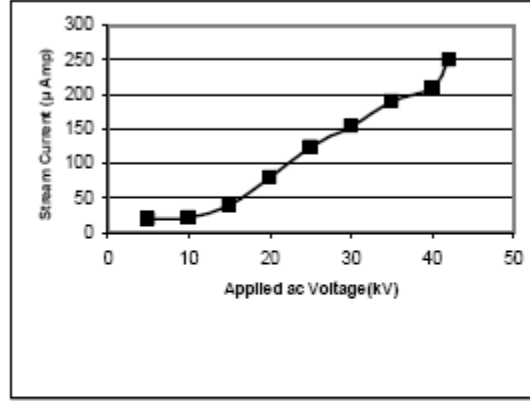
يستنتج من ذلك أنه عند التوترات العالية يكون الحقل الكهربائي كبير بشكل كافي لتأيين الهواء وتدفق تيار تسريب أكبر .



**Fig. (3) Relation Between AC applied voltage and insulator leakage current at distance 150 cm and water conductivity 400  $\mu$  Siemens.**

وبين الشكل (4) العلاقة ما بين التيار المتدفق عبر رذاذ الماء والتوتر المطبق حيث يلاحظ عند توترات منخفضة أقل من 15kv التيار تقريباً ثابت بينما عند توترات أعلى من ذلك يتزايد التيار ببطئ .

هذا يعني أن التوتر الناشئ على فوهة خرطوم الماء يعود إلى الحقل الكهربائي للتوتر المطبق والذي يرتفع بشكل كافٍ للتغلب على مقاومة السيل للماء . stream resistance



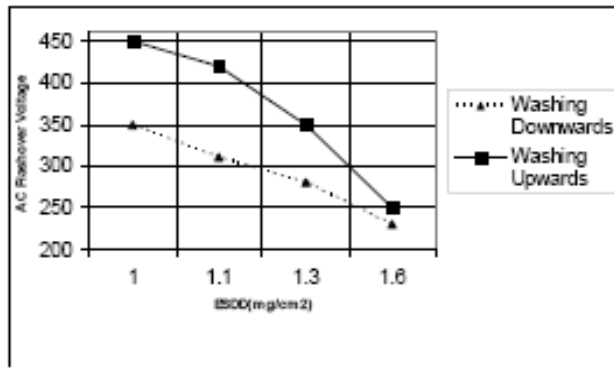
**Fig.(4): Variation of stream against applied voltage at water conductivity  $400 \mu$  Siemens and distance of 150cm.**

✓ سلسلة العزل 220kv :

تمت دراسة تأثير تطبيق التوتر المتناوب على سلسلة عزل مؤلفة من 19 فئجان زجاجي واستخدام النظام الثابت لغسيل العوازل .

يبين الشكل (5) العلاقة ما بين توتر الانهيار وكثافة الراسب الملحي المكافئة لطبقة التلوث .

يلاحظ من الشكل أن توتر الانهيار يتناقص مع زيادة كثافة الراسب الملحي وأن توتر الانهيار المتناوب عند غسيل العوازل باتجاه الأعلى أكبر منه عند غسيل العوازل باتجاه الأسفل حيث القيم المتوسطة لتوترات الانهيار هي: 368kv و 291kv على التوالي عند استخدام ماء ذو ناقلية  $100[\mu S/cm]$ .



**Fig.(5): Variation of AC flashover voltage (kV) and the Equivalent Salt Deposit Density (mg/cm²).**

## ○ تأثير موجات التوتر النبضي البرقي [1.2/250]µ sec :

### 1- سلسلة العزل 66kv :

لقد تم دراسة سلوك هذه العوازل في حال تطبيق موجات نبضية برقية قياسية [2/250]µsec.

حيث تم تطبيق عشر نبضات ذات قطبية سالبة وموجبة .

تبين أنه عند تطبيق نبضات برقية سالبة يتغير توتر الانهيار حوالي 10% في كل مرة والزمن حتى الانهيار يتغير بمقدار 20% في كل مرة .

أما عند تطبيق نبضات برقية موجبة يتغير توتر الانهيار بمقدار 8% في كل مرة وتغير الزمن حتى الانهيار حوالي 250% .

وهذا الاختلاف في النسب المئوية يعود إلى أن توتر الانهيار عند تطبيق نبضات موجبة هو أقل منه عند تطبيق نبضات سالبة .

### 2- سلسلة العزل 220kv :

يبين الجدول (2) والجدول (3) قيم كل من توتر الانهيار وزمن الانهيار لسلسلة العزل 220kv عند تطبيق نبضات برقية موجبة وسالبة في حالتين عند غسل العوازل باتجاه الأعلى وعند غسلها باتجاه الأسفل .

Table (2): Test Results of Positive Polarity Lightning Impulse Flashover voltage on 220 Kv insulator string.

Shot Number	Impulse Flashover Voltage (KV)	Time to Breakdown (µ Sec.)	Direction Of Washing
1	1524	5.9	Upwards
2	1530	6.3	Upwards
3	1527	6.3	Upwards
4	1515	5.7	Downwards
5	1514	5.6	Downwards

Table (3): Test Results of Negative Polarity Lightning Impulse flashover voltage on 220 kv Insulator string.

Shot Number	Impulse Flashover Voltage (KV)	Time to Breakdown (µ Sec.)	Direction Of Washing
1	1631	4.9	Upwards
2	1656	6.6	Upwards
3	1654	6.8	Upwards
4	1632	5.2	Downwards
5	1649	7.4	Downwards

## ○ آلية الإنفراغ أثناء غسيل العوازل تحت التوتر:

### 1- عازل قضيبى طويل 66kv ملوث :

تم اختبار هذا العازل بتوتر 42kv (توتر الطور الأعظمى لشبكة 66kv) وتم غسله بماء ذو موصلية 100 مايكرو ثانية لكل سم .

تم تلخيص الحوادث الجارية كما يلي :

- (1) في الشكل (6,1) الماء بدء يتبخر وتم ملاحظة قوس كهربائي بالقرب من النهاية العلوية للعازل (القطب الأرضي) .
- (2) في الشكل (6,2) يلاحظ قوس كهربائي في وسط العازل .
- (3) في الشكل (6,3) ينشأ قوس كهربائي على الطرف السفلي .
- (4) في الشكل (6,4) القوس الكهربائي ينتشر على طول العازل ويؤدي إلى انهيار كامل في العازل .
- (5) في الشكل (6,5) الماء قد تبخر وسطح العازل قد جف ويبدأ القوس في التلاشي والانهيار ينقبض .

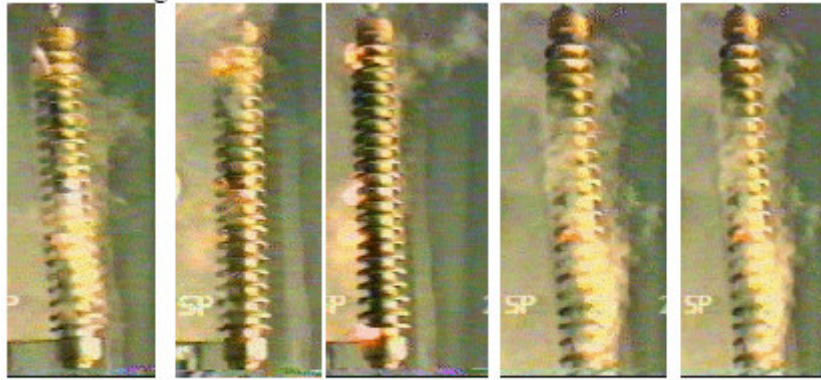


Fig.(6): Discharge Development On Long Rod 66 kV Insulator.

### 2- سلسلة عزل 220kv ملوثة :

يبين الشكل (7) تطور الحوادث الجارية ونمو القوس الكهربائي على السلسلة عند رفع التوتر المتناوب المطبق بمعدل 10kv في الثانية ويمكن تلخيصها كالاتي :

- (a) عند 250kv يبدأ تشكل القوس الكهربائي بالقرب من الطرف الأرضي .
- (b) عند 300kv فإن القوس الكهربائي يمتد باتجاه طرف التوتر العالي .
- (c) بين القيمتين (400 و 350) kv يبدأ القوس الكهربائي بالظهور في أماكن أخرى على طول سلسلة العزل .
- (d) لأجل قيم توتر أكثر من 400kv يكتمل القوس ويحدث الانهيار .

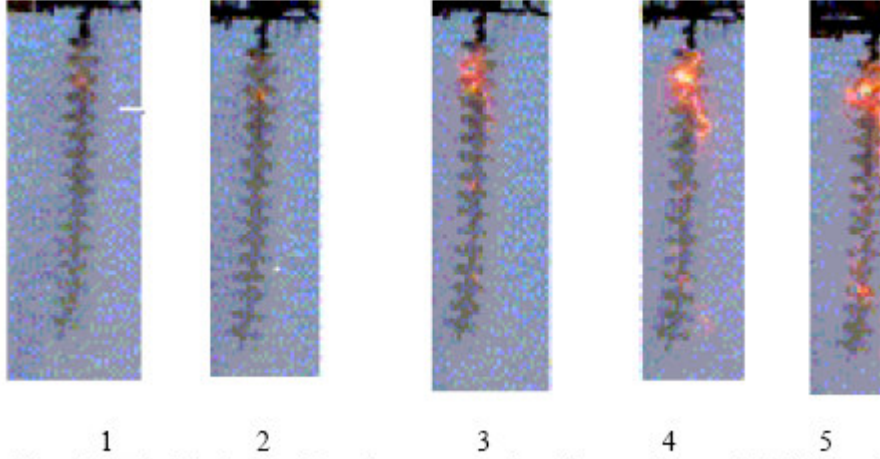


Fig. (7): The Discharge Development during live washing of 220 kV string.

### ○ آلية الإنفراغ :

العديد من الباحثين قد درسوا آلية الانهيار للعوازل الملوثة وهي بحالة رطبة ويمكن تشكيل الرطوبة على العوازل من خلال الضباب أو من خلال رش الماء على العازل .

في عملنا هذا تمت دراسة آلية الانهيار في الحالة الرطبة من خلال رش الماء ويمكن تقسيم هذه الآلية إلى أطوار مختلفة كالآتي :

#### 1- طور الرطوبة :

في هذا الطور فإن رش الماء يرطب سطح العازل وتنحل الأملاح القابلة للانحلال الموجودة في طبقة التلوث ويشكل المحلول الناتج طبقة ناقلة على سطح العازل .

#### 2- طور التسخين :

يدفع التوتر بتيار تسريبي صغير عبر طبقة التلوث عالية المقاومة وبوجود الرطوبة والسائل الكهرليتي الذي له معامل حراري سالب لذلك فإن المقاومة لطبقة التلوث سوف تتناقص ببطء بسبب التسخين .

#### 3- طور تشكل الحزام الجاف :

مرور التيار الكهربائي عبر السائل الكهرليتي يؤدي إلى التسخين والذي يؤدي إلى تبخر الماء من السطح وتصبح المنطقة ذات جفاف أكثر .

#### 4- تأثير الحقل الكهربائي على قطيرات الماء :

وجود الرطوبة باستمرار تزيد من كثافة قطيرات الماء وتقلل من المسافة بينها ويؤثر الحقل الكهربائي المتناوب على هذه القطيرات بقوة والتي تجعلها مسطحة وطويلة .

عندما المسافة الفاصلة صغيرة فإن القطيرات المتجاورة تندمج مع بعضها لتشكل خيوط من الماء لتصبح هذه المنطقة ناقلة وتحيط هذه المنطقة الناقلة بمناطق ذات مقاومة عالية (غير ناقلة) .

## 5- طور الإنفراغ الموضوعي :

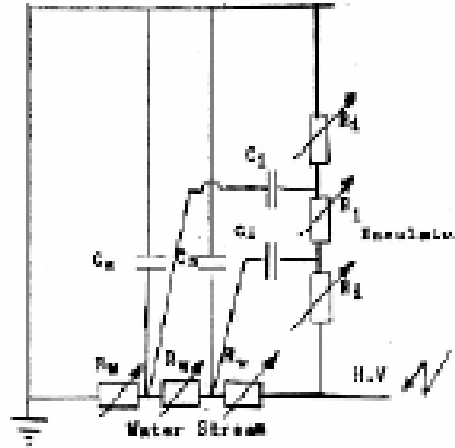
وجود الخيوط المائية المتجاورة يؤدي إلى زيادة الحقل الكهربائي بينها ليؤدي ذلك إلى نشوء إنفراغ موضعي ويتشكل حزام جاف بالقرب من القطب الكهربائي وفي مناطق الحقل الشديد . مع زيادة شدة الحقل الكهربائي ينتج القوس الكهربائي .

## 6- طور الانهيار :

ينتشر القوس الكهربائي ويحدث الانهيار عندما تكون شدة الحقل الكهربائي في القوس أكبر منها في طبقة التلوث .

## ○ نموذج الانفراغ :

تم اقتراح نموذج الانفراغ المبين في الشكل :



**Fig. (8): The Discharge Model.**

يمثل العازل في هذا النموذج بسلسلة من المقاومات المتغيرة ( $R_i$ ) وسعات فرعية ( $C_i$ ) .  
يمثل تيار الماء بسلسلة من المقاومات المتغيرة ( $R_w$ ) كما وتوجد سعات عرضانية بين تيار الماء والأرض تمثل بالسعة ( $C_s$ ) .

## النتيجة :

يمكن تلخيص نتائج الدراسة كما يلي :

1. مع زيادة الموصلية للماء يؤدي لزيادة في التوتر على فوهة خرطوم الماء وزيادة التيار التسريبي للعازل .
2. يتناقص التيار التسريبي للعازل مع زيادة المسافة الفاصلة ما بين العازل وفوهة الماء وذلك عند توتر مطبق ثابت على العازل وموصلية ثابتة للماء .



3. في حال تطبيق نبضات موجبة على العازل يحدث الانهيار أولاً في عمود الهواء المحيط بالعازل، ومع انتشار الحزام الجاف يؤدي لتسريع عملية الانهيار .
4. في حال تطبيق نبضات سالبة على العازل يحدث الانهيار أولاً على سطح العازل بعدها يحدث في الهواء المحيط بالعازل لذلك فإن الطوق الجاف له تأثير سلبي على زيادة توتر الانهيار (توتر الانهيار السالب أكبر من توتر الانهيار الموجب) .
5. زيادة ضغط الماء يؤدي لزيادة فعالية الغسيل .
6. يمكن تقسيم آلية الانفراغ إلى الأطوار الست المتعاقبة التالية :

- طور الرطوبة : وفيه تنحل الأملاح القابلة للانحلال الموجودة بطبقة التلوث في الماء .
- طور التسخين : عندما يمر التيار في السائل الكهربائي ومع وجود التوتر يبدأ التسخين على السطوح الرطبة .
- طور تشكل الحزام الجاف : التسخين يجفف الطبقة منخفضة المقاومة (الطبقة الناقلة الرطبة) ويبخر الماء ويتشكل حزام جاف في هذا الطور وتتركز المناطق الجافة حول القضيب العازل على السطح السفلي وحول الفججان على السطح العلوي أيضاً يعمل الحقل الكهربائي للتوتر المطبق على تشريد جزيئات الماء .
- طور الانفراغ الموضعي : بعد تشكيل الطوق الجاف في الطور السابق يبدأ تشكل القوس الكهربائي الأولي والذي يقود إلى تشكل إنفراغ موضعي .
- طور الانهيار : وجود الرطوبة بشكل مستمر وتأيين الهواء وتشارد جزيئات الماء كل ذلك يساعد على انتشار القوس الكهربائي ويحدث الانهيار عندما يكتمل القوس الكهربائي .