

العوازل المستخدمة في شبكات القوى الكهربائية

الأعداد :

رئيس المهندسين

كاروان ابراهيم فقى محمد

العوازل المستخدمة في شبكات القوى الكهربائية

1- مقدمة:

تنقسم العوازل المستخدمة في منظومة القوى الكهربائية الى ثلاثة أنواع هي العوازل الغازية والعوازل السائلة و العوازل الصلبة و لكل نوع اهمية و استخداماته و تطبيقاته في الحياة العملية و سوف نتناول في هذه الوحدة دراسة سريعة لكل من العوازل الغازية والعوازل السائلة بينما سنستقيض في تناول أنواع العوازل الصلبة و التي تستخدم في عزل الخطوط النقل الهوائية عن أبراج النقل.

2- العوازل الغازية :

تستخدم العوازل الغازية بصورة كبيرة في المعدات الكهربائية و أهم هذه الغازات المستعملة هي الهواء وغاز سادس فلوريد الكبريت وبنسبة أقل النيتروجين والفيون وثاني أكسيد الكربون ، وتحدث مختلف الظواهر داخل العوازل الغازية عندما يطبق عبرها جهد كهربائي حيث يسري تيار صغير جدا بين الأقطاب الكهربائية المعزولة بالغاز ، ويستعيد الغاز العازل خصائصه الكهربائية عند فصل المصدر ، على الجانب الآخر اذا كان الجهد كبيرا تزداد شدة المجال الكهربائي Electric Field Intensity ($E=V/D$ kV/cm) ويحدث التاين و من ثم يزداد التيار السارى بين الأقطاب ويسمى أقصى جهد يفقد بعده العازل خاصية العزل بجهد النهيار للغاز العازل.

2- 1 : غاز سادس فلوريد الكبريت Sulfur hexafluoride SF6

غاز سادس فلوريد الكبريت غاز حامل له خصائص جيدة كعازل و كوسط طاقي للشرارة داخل قواطع غاز سادس فلوريد الكبريت وتزداد قوة العزل بزيادة الضغط. ويستخدم الآن غاز سادس فلوريد الكبريت على نطاق واسع داخل المعدات الكهربائية مثل القواطع الكهربائية ، والمكثفات ، ومحولات التيار ، و الكابلات الكهربائية ، والمحطات المغلقة بلغاز و خطوط النقل الكهربائية المغلقة بلغاز ، وأطراف التوصيل وهكذا . و يتحول الغاز الى الصورة السائلة عند قيمة منخفضة لدرجة الحرارة و تعتمد هذه الدرجة على ضغط الغاز.

- **قدرة على الانتقال الحرارى :** قدرة غاز سادس فلوريد الكبريت على الانتقال الحراري تعادل من 2 الى 2.5 مرة القدرة على الانتقال الحرارى للهواء عند نفس الضغط لذلك لنفس حجم الموصل سعة التيار تكون أكبر.

العوازل المستخدمة في شبكات القوى الكهربائية

• الخصائص الكيميائية :

- 1- متزن كيميائيا حتى 500 درجة مئوية .
- 2- خامل وخمول الغاز الكيميائي ميزة كبرى للقواطع الكهربائية حيث لا تتعرض الأجزاء المعدنية و الملامسات للتلف لعدم وجود الأكسدة للمعادن و بالتالي تقل عمليات الصيانة المطلوبة. وتؤثر الرطوبة بشكل فعال على خصائص الغاز ويتكون فلوريد الهيدروجين أثناء الشرارة داخل غاز سالب الكهربائية (Electronegative gas)
- 3- لا يتفاعل مع الأجزاء المعدنية حتى 500 درجة مئوية.
- 4- يتحلل الغاز أثناء اطفاء الشرارة إلى رابع فلوريد الكبريت وثاني فلوريد الكبريت . وتتحد هذه الغازات مرة أخرى بعد اطفاء الشرارة و عملية التبريد لتكون الغاز الأصلي وأية مخلفات أخرى يمكن إزالتها بالمرشحات التي تحتوي على الألومينا (Al_2O_3) . كما أن نتائج التحلل سامة ويمكن أن تهاجم بعض تركيبات المواد.
- 5- الفلورايد المعدني مادة عازلة جيدة لذلك تستخدم بأمان للمعدات الكهربائية .
- 6- احتواء الغاز على أية رطوبة أثناء ضخ الغاز من الخارج يوجد العديد من المشاكل الخطيرة لقواطع غاز سادس فلوريد الكبريت.

• خصائص العزل الكهربائي

1. شدة العزل لغاز سادس فلوريد الكبريت عند الضغط الجوي حوالي 2.35 مرة أعلى من شدة عزل الهواء و أقل حوالي 30% من شدة عزل الزيت المستخدم في القواطع الزيتية.
2. عند الضغط العالي تزداد شدة عزل الغاز و عند ضغط حوالي 3 كجم/سم² تكون شدة عزل الغاز أكبر من شدة عزل الزيت العازل و هذه الخاصية تتيح مسافات أصغر بين الموصلات الكهربائية وحجم أقل للمعدات الكهربائية لنفس الجهد .
3. جهد الانهيار للغاز يعتمد على العديد من العوامل مثل شكل الموصلات الكهربائية ، وخشونة أسطح الموصلات ، وتوزيع المجالات الكهربائية ، وقرب عازلات التثبيت ، و الرطوبة ، وشكل الموجات الكهربائية وهكذا. ويزداد جهد الانهيار للغاز مع زيادة ضغطه ويتبع الغاز قانون باشون (Paschens Law) والذي ينص على أن جهد الانهيار للغاز في مجال كهربائي منتظم يتناسب تناسباً طردياً مع حاصل ضرب الغاز و مسافة الثغرة بين الأقطاب الكهربائية .

4. منطقة الضغط الحرجة : إذا كان المجال الكهربائي غير منتظم فالعلاقة بين جهد الانهيار و ضغط الغاز لا يتبع قانون باشون تماما.
5. تأثير سطح الموصل : خشونة سطح الموصل تقلل من جهد الانهيار للغاز حيث تتكون مجالات كهربائية قوية حول خشونة السطح تبدأ معها عمليات تآكل قوية عند جهود منخفضة مثل التفريغ الهالي (Corona) مما يتسبب في حدوث الانهيار الكلي للغاز مبكرا لذلك لا بد أن تكون أسطح الموصلات ملساء.
6. تأثير عوازل التثبيت على جهد الانهيار : الموصلات الكهربائية داخل المعدات المعزولة بالغاز تثبتت على عوازل من الأيبوكسي أو البورسلين و يمكن حدوث الانهيار على أسطح العوازل ويمكن حدوث ذلك عند جهود قليلة إذا كانت أسطح العوازل مغطاه بالرطوبة و الغبار الموصل لذلك يجب أن تكون العازلات تماما.
7. الأطراف الحادة : الانهيار يبدأ عند الأطراف الحادة للأجزاء الموصلة والتي تتركز عندها المجالات الكهربائية العالية لذلك التنظيم الجيد لتوزيع الجهود الكهربائية مهم جدا للمعدات المعزولة بغاز سادس فلوريد الكبريت ويجب تجنب الأطراف الحادة.

2-2-2: الاعتبارات العملية في استخدامات الغاز لأغراض العزل الكهربائي :

ظهرت في الأعوام القليلة الماضية أعمال كثيرة لتبني غاز معين للاستخدامات العملية ، ولكي يستخدم غاز معين في التطبيقات الكهربائية فإنه لا بد أولا من الإلمم بمعلومات عن الغاز بما في ذلك تركيبه وما هي العوامل التي تؤثر على أدائه. وكلما زادت متطلبات التشغيل ، زادت المتطلبات الكثيرة والعنيفة التي تكون مطلوبة من الغاز العازل.

الخصائص المفضلة المطلوب توفرها في الغاز العازل لتطبيقات الجهد العالي هي :

- 1- شدة عزل عالية.
 - 2- اتزان حراري وعدم نشاط كيميائي تجاه المواد المستخدمة.
 - 3- غير قابل للاشتعال وغير ضار بالصحة العامة.
 - 4- درجة حرارة تكثيف أقل.
 - 5- انتقال حراري جيد.
 - 6- تكلفة اقتصادية متوسطة.
- غاز سادس فلوريد الكبريت له معظم الخصائص السابقة الذكر وقد أخذ الكثير من الاهتمام في السنوات السابقة . كما تستخدم خلائط غاز سادس فلوريد الكربون مع النيتروجين أيضا.

العوازل المستخدمة في شبكات القوى الكهربائية

جدول (1-2) خصائص العازلات الغازية

اسم الغاز	التركيب الكيميائي	الوزن الجزيئي	درجة الانصهار عند 760torr	درجة الغليان عند 760 torr	شدة العزل النسبية N ² =1	ثابت العزل	الجاذبية النوعية الهواء=1	قابلية للاشتعال	سام
Air	...	29	...	-194	1	1.00059	1.00000	no	inactive
Nitrogen	...	28	...	-196	1	1.00058	0.96724	no	no
Hydrogen	N ²	2	-210	-253	..	1.00026	0.06952	yes	no
Carbon tetrafluoride	H ²	88	-259	-128	1.01	1.00060	.....	no	no
Hexafluoro-ethane	CF ₄	138	-183	-78	2.02	1.00200	...	no	no
Perfluoro-propane	C ² F ₆	188	-101	-37	2.2	.....	...	no	no
Perfluoro-butane	C ² F ₅	238	-160	-2	2.6	...	..	no	no
Perfluoro-n-butane	C ₄ F ₁₀	200	-80	+2	3.6	...	...	no	no
Sulfur hexafluoride	C ₄ F ₃	146		-63	62.5	1.00340	..	no	no
30%SF ₆ + 70% Air	SF ₆				2.0	1.00191	7.3323	no	no
Freon-12	CCl ₂ F ₂	121	-158	-30	2.46	1.00160	5.1900	no	*

*خامل (inactive) لمدة ساعتين أو أقل مع تركيز 20%:

2-3 : العوازل السائلة :

تستخدم العوازل السائلة في عزل كيابل الجهد العالي و المكثفات و ملء المحولات و القواطع. وبالإضافة لوظيفتها كعازل ووظائف أخرى مثل وسط ناقل للحرارة في المحولات و كوسط طافئ للشرارة في القواطع. و يعتبر زيت البترول من أكثر الزيوت استخداما كعوازل سائلة و تستخدم زيوت الهيدروكربونات الصناعية و الهيدروكربونات الهالوجينية في التطبيقات. و تستخدم زيوت السليكون و الهيدروكربونات التي تحتوي على الفلوريد للتطبيقات ذات درجات الحرارة العالية. و حديثا تستخدم بعض الزيوت النباتية و الأسترات. العوازل السائلة عادة ما تكون خليطا من الهيدروكربونات اضعيفة الاستقطاب والتي يجب أن تكون خالية من الرطوبة ومنتجات الأكسدة و الموثات الأخرى والتي تؤثر تأثيرا كبيرا على شدة العزل للزيوت العازلة. و من الخصائص الهامة المطلوبة للزيوت العازلة الموصلية الكهربائية و ثابت العزل و شدة العزل. بالإضافة الى ذلك فالخصائص الفيزيائية و الكيميائية مثل اللزوجة و الاتزان الحراري و الجاذبية النوعية هامة أيضا. عمليا يتم اختيار العازل السائل لتطبيق معين على أساس الاتزان الكيميائي.

تعتمد الية (ميكانيزم) الانهيار لتلك السوائل على عدة عوامل هامة مثل طبيعة وحالة الأقطاب الكهربائية والخصائص الفيزيائية للسائل والشوائب والغازات المتواجدة بالسائل .

1. وجود شوائب (particles) عند تطبيق جهد عال ينشأ مجال كهربائي بين القطبين شدته E . واذا كانت سماحية الشوائب (ϵ_1 particles permittivity) أكبر من سماحية العازل السائل ϵ_2 تتشا قوة تدفع بالشوائب للمساحة التي يكون فيها المجال الكهربائي أعلى ما يمكن . فاذا كانت الشوائب كروية لها نصف قطر r فان القوة تعطي بالعلاقة التالية $E^2 \nabla (\epsilon_2 - \epsilon_1 / \epsilon_2 + 2\epsilon_1)$. وعندما تتجه هذه الشوائب باتجاه المنطقة التي يكون فيها المجال الكهربائي أعلى ما يمكن فانها تتابع حتى تصل ما بين القطبين مما ينشأ عنه توصيل ثم انهيار كهربائي Breakdown

2. وجود ماء : عند وجود قطرات من الماء في العازل السائل فانها تستطيل في اتجاه المجال الكهربائي مما يؤدي الى التوصيل بين القطبين وحدوث الانهيار كهربائي .

3. وجود فقاعات هوائية : توجد في بعض الأحيان فقاعات غازية في السائل العازل إما نتيجة لوجود شرخ في الإطار الخارجي أو وجود نتوءات في أحد الأقطاب . وعند تطبيق الجهد بين القطبين ينشأ مجال كهربائي شدته $E = V/d$ (Kv/cm) وحيث إن شدة العزل للهواء أقل منه للعازل السائل فإن الوسط الغازي داخل الفقاعة الغازية سينهار مما ينشأ عنه شرارة كهربائية وبخار مما يؤدي إلى توليد المزيد من الفقاعات حتى تملأ الفراغ الموجود بين القطبين مما ينشأ عنه انهيار كامل للوسط العازل بين القطبين الكهربائيين .

العوازل المستخدمة في شبكات القوى الكهربائية

جدول (3-2) خصائص العزل لبعض العوازل السائلة

زيت السيليكون	الأسكرال	زيت المكثفات	زيت الكابلات	زيت المحولات	الخاصية
30-40	20-25	20	30	15	- شدة العزل عند 20 °C على 2.5mm موصلات كروية قياسية (kv/mm)
2-73.0	4.8	2.1	2.3 -2.6	2.2-2.3	- النفاذية النسبية (50Hz)
10 ⁻³	0.60x10 ⁻³	0.25x10 ⁻³	0.002	0.001	- Tan 8 عند 50Hz
10 ⁻⁴	0.50x10 ⁻³	0.10x10 ⁻³	0.0001	0.0005	عند 1kHz
3x10 ¹⁴	2x10 ¹³	10 ¹³ -10 ¹⁴	10 ¹² -10 ¹³	10 ¹² -10 ¹³	- المقاومة النوعية (او.م.سم)
1.0-1.1	1.4	0.88-0.89	0.93	0.89	- الجاذبية النوعية عند 20 °C
10-1000	100-150	30	30	30	- اللزوجة عند 20 °C
Nil	Nil	Nil	Nil	Nil	- القيمة الحامضية (mg/gm of KOH)
1.50-1.60	1.6000	1.4740	1.4700	1.4820	- معامل الانكسار
<0.01	<0.01	0.01	0.01	0.01	- التصين (mg/gm of KOH/gm of oil)
5x10 ⁻⁴ /c°	7x10 ⁻¹ /c°	7x10 ⁻⁴ /c°	7x10 ⁻⁴ /c°	7x10 ⁻⁴ /c°	- التمدد (20-100°C)
<30	<30	50	50	50	- أقصى محتوى مائي مسموح (ppm)
negligible	negligible				

4- العوازل الصلبة المستخدمة في خطوط النقل الهوائية

لمنع تسرب التيار الكهربائي للأرض من نقاط تثبيت خطوط النقل أو التوزيع الكهربائية فإن كل هذه النقاط يجب تأمينها باستخدام عوازل صلبة بين الخطوط الكهربائية وأجسام الأبراج الحاملة لها. لذلك فإن العوازل الكهربائية الصلبة تلعب دوراً هاماً وحيوياً في التشغيل الآمن والناجح لخطوط النقل والتوزيع. المتطلبات الرئيسية للعوازل الصلبة هي:

- لا بد تكون قوية جداً ميكانيكياً.
- يجب ان تكون شدة العزل لها عالية جداً.
- لا بد أن توفر مقاومة عزل عالية جداً ضد تيار التسريب.
- خالية تماماً من الشوائب أو الشروخ الداخلية.
- يجب أن تكون غير مسامية.
- أن تكون مادته غير قابلة لنفاذ الغازات او السوائل ألى داخل المادة.
- لا تتأثر بتغير درجة الحرارة المحيطة .
- أن تكون المادة العازلة مقاومة للانهايار الداخلي (puncture) وكذلك لانهايار السطح الكهربائي (flashover)

العوازل المستخدمة في شبكات القوى الكهربائية

وباستعراض أسباب انهيار العوازل الهوائية الكهربائية , نجد أن السطح هو المسبب الرئيسي لانهايار تلك العوازل .ويمكن أن يحدث هذا الانهيار بين الموصلات الكهربائية لخطوط النقل والأرض (التي هي عبارة عن البرج المعدني الحامل لخطوط النقل)_ أي بين الموصل ومسمار ربط العازل_ كما يحدث نتيجة للحرارة العالية جداً الناتجة عن الشرارة الكهربائية.

2 - 4 - 1 : مواد العوازل الكهربائية :

المواد التي تستخدم في تصنيع العوازل الكهربائية الصلبة لها متطلبات وخصائص معينة يجب أن تتوفر فيها ومن هذه المواد البورسلين .فالبورسلين(الخزف)هو المادة شائعة الاستعمال لكن بالإضافة للبورسلين يستخدم الزجاج الملدن والاسيتايت كما تستخدم أيضاً العوازل المصنوعة من الدائن البيتروكيميائية. وسنستعرض عوازل البورسلين والزجاج الملدن والاسيتايت نظراً لكثرة استخدامها مقارنة بعوازل الدائن.

(أ)عوازل البورسلين: شدة المجال الكهربائي التي يتحملها العازل دون انهيار في حدود 60kv/cm

وقوة الضغط والشد الميكانيكي له في حدود 70.000kg/cm^2 و 500kg/cm^2 .

(ب) العوازل الزجاجية: العوازل الزجاجية تستخدم في عمليات العزل الكهربائي حتى الجهود المتوسطة ويصبح الزجاج قاسياً بتقسية المادة حرارياً (annealing) ويكون له الميزات التالية :

1- شدة عزل عالية جداً في حدود 140kv/cm من سمك المادة.

2- يصبح المادة مقاومة عالية جداً عندما تتقسى جيداً.

3- يكون له معامل تمدد حراري منخفض.

4- رخيص السعر مقارنة بالبورسلين.

(ج) عوازل الاسيتايت: الاسيتايت هو سيليكات المغنسيوم الموجودة بنسب مختلفة لاوكسيد المغنسيوم والسيليكا في اجزاء كثيرة من العالم .وللاسياتيت قوة شد ميكانيكية عالية بالمقارنة بعازل البورسلين ويمكن استعمالها بكفاءة في ابراج الشد والتي تكون عند الدورانات الحادة للخط الكهربائي .

2.4.2: انواع عوازل خطوط النقل الهوائية:

1- العوازل المسماوية .

2- عوازل التعليق.

3- عازل الاجهاد .

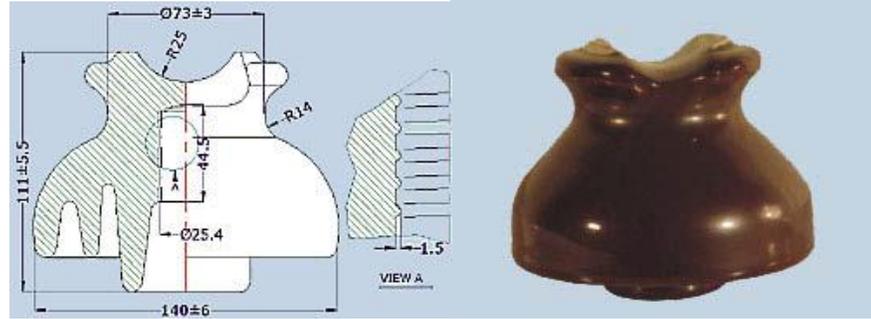
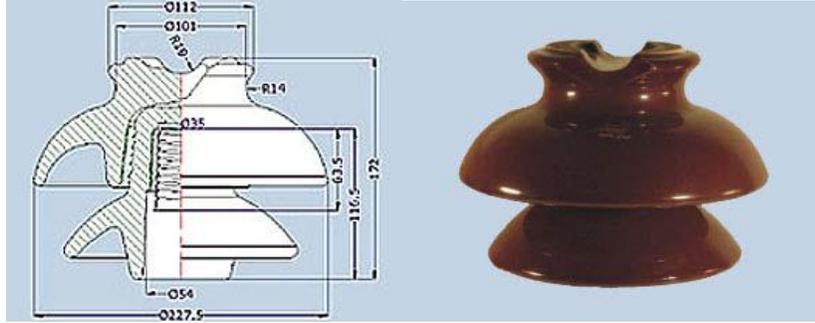
4- عوازل الدعم .

5- عوازل البكرة او القعد .

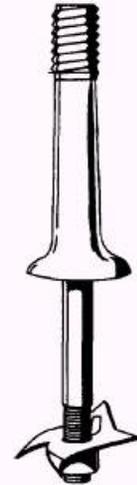
العوازل المستخدمة في شبكات القوى الكهربائية

أولاً:- العوازل المسارية (pin type insulator) :

إن تصميم هذا النوع من العوازل و المستخدم لتثبيت موصلات الخط قديم جدا ويوضح الشكل قطعتين من العازل ومسمار التسرب على سطح العازل ، ولزيادة طول مسار التسرب يتم عمل مظلة (تجويف) أمطار واحدة أو اثنين أو ثلاثة بالعازل .



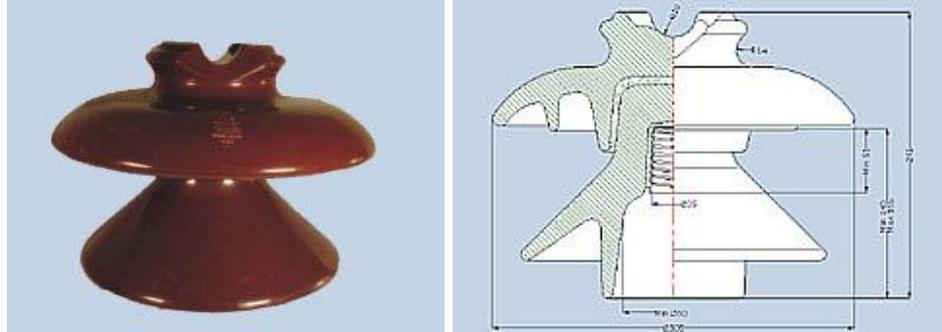
قطعة عازل مسماري جهد 11 كيلو فولت



مسمار تثبيت من الحديد المجلفن

العوازل المستخدمة في شبكات القوى الكهربائية

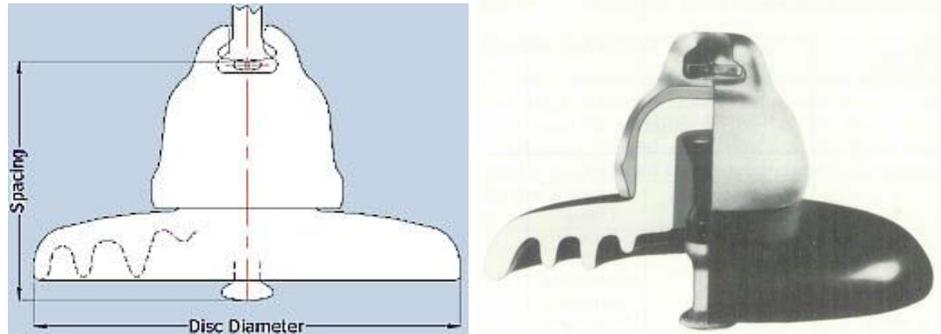
تتم قلوطة العازل المساري ويتم ربطه بواسطة مسامير من الحديد المجلفن. تزداد سمك المادة سمك المادة المطلوبة لأغراض العزل عند الجهد العالي، ولذلك نستخدم أجزاء متعددة من العازل المساري عند الجهود العالية باستخدام الإسمنت البوتلاندي و يوضح الشكل أحد العوازل متعددة الأجزاء



عازل مسماري من جزأين جهد 33 كيلو فولت

ثانيا : - عوازل التعليق (Suspension type insulator)

مع زيادة الجهد يصبح العازل المسماري ثقيلًا و معقدًا في التركيب و تزداد تكلفته و أيضا يكون تغير القطع التالفة مكلفًا جدا ، لذلك العازل المساري غير اقتصادي للجهود العالية ، فعند الجهود العالية نستخدم عوازل التعليق ويربط عدد منها على التوالي برابط معدني لتكوين سلسلة و تعليق موصلات الخط الكهربائي في نهاية سلسلة العوازل ، ويوضح الشكل وحدة من النوع المستخدم للغطاء الإسمنتي و المستخدمة بكثرة لتعليق موصلات خطوط النقل الكهربائية .



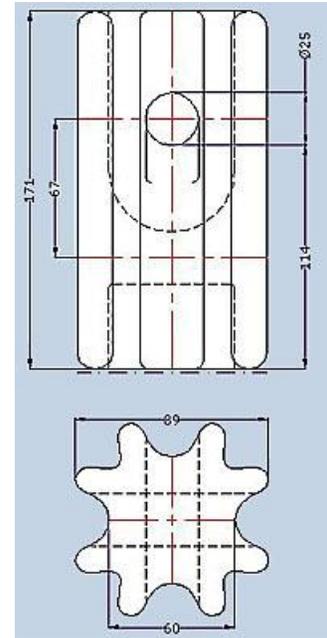
العوازل المستخدمة في شبكات القوى الكهربائية

ثالثا :- عوازل الإجهاد :

عند طرف نهاية الخطوط الكهربائية أو وجود دوارنات للخط أو منحى حاد للخط الكهربائي أو عبور الخط الكهربائي لنهر أو ما شابه يتعرض الخط لإجهاد ميكانيكي عال جدا. ففي الجهود المنخفضة يمكن استخدام عوازل القيد أو البكرة أما في خطوط الجهد العالي فنستخدم عوازل الإجهاد والتي تتكون من عوازل تعليق و هي عبارة عن خطين أو ثلاثة من عوازل التعليق متوازيين و مرتبطين ببعضها.

رابعا :- عوازل الدعم :

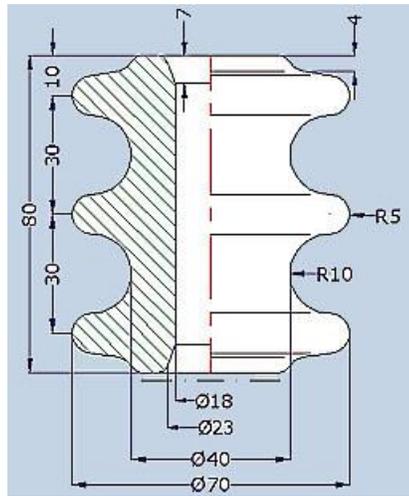
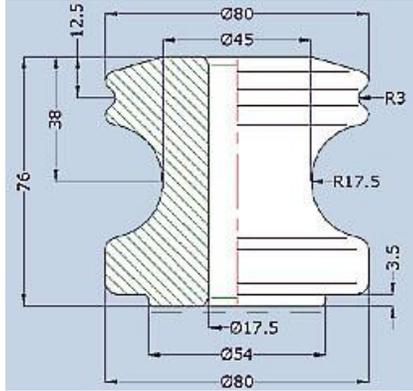
في جهود النخفضة تعزل شدات الأسلاك عن الأرض على ارتفاع أكبر من 13 مترا عن الأرض و يسمى العازل المستخدم في سلك الشد عازل الدعم من البورسلين و يصمم بحيث إنه في حالة انهيار العازل لا يسقط سلك التثبيت على الأرض



خامسا :- عوازل البكرة والعقد :

وتستخدم عادة في خطوط التوزيع الكهربائية ذات الجهود المنخفضة و تستخدم مثل هذه العوازل فيالوضع الأفقى أو الوضع الرأسي و تثبيت الموصلات الكهربائية للخط الكهربائي في تجويف العازل بمساعدة سلك ناعم مرن.

العوازل المستخدمة في شبكات القوى الكهربائية

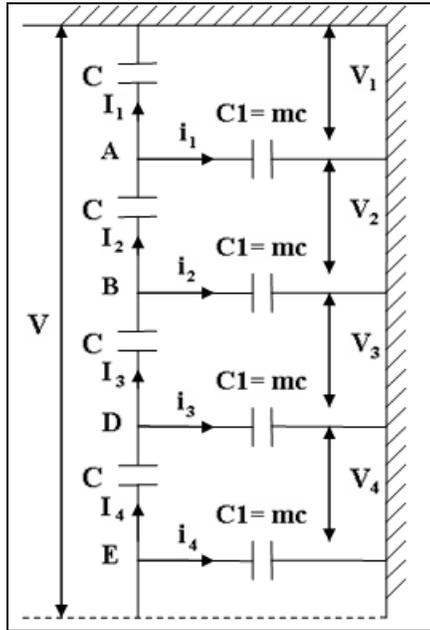


2-4-4 : أسباب انهيار عوازل المستخدمة في خطوط النقل الهوائية :

إن من أسباب انهيار العوازل المستخدمة في خطوط النقل الهوائية ما يلي :

1. كسر العازل : السبب الرئيسي لكسر العازل هو الإجهادات الناتجة في عازل البورسلين من خلال التمدد غير المتساوي و الانكماش الناتج في الإسمنت والبورسلين والصلب والذي تسبب فيه الحرارة الموسمية والبرودة والجاف وتسخين العازل. ولتجنب مثل هذا الكسر أدخلت تحسينات كثيرة على العازل أحيانت بوضوح وسادة بين الطبقات ومسمار التثبيت الصلب للسماح بمثل ذلك التمدد .
2. عيوب مادة العزل : إذا كان بمادة العزل أي عيب ، مثل وجود فراغات أو شوائب ، بأي مكان بها فإن هذا العيب يؤدي لكسر هذا العازل .

3. مسامية مادة : لو صنعت مادة البورسلين للعازل تحت درجات حرارة منخفضة فإن البورسلين يصبح مساميا ونتيجة لهذا يمتص الرطوبة من الهواء ومن الإسمنت وتقل بصورة خطيرة شدة عزله ويبدأ تيار التسريب في السريان خلال العازل مما يؤدي لانهييار المادة العازلة .
4. الصقل غير الكافي : إذا لم يتم صقل العازل بصورة كافية فإن الماء المتبقي على سطح العازل نتيجة الأمطار أو الندى يمكن أن يؤدي لتراكم الغبار على السطح مكونا مناطق موصلة كهربائية تتسبب في خفض مسافة شرارة السطح للعازل والتي تتسبب في انهيار العازل .
5. شرارة سطح : لو حدثت شرارة على سطح العازل فإنها يمكن أن تؤدي إلى تسخين العازل تسخيناً زائداً وبالتالي تؤدي لانهيياره.
6. الإجهاد الميكانيكي : في بعض الأحيان يمكن أن يؤدي شد العازل إلى إجهاد العازل ميكانيكياً إذا كانت مادة بها عيوب وبالتالي تؤدي إلى كسره .
7. القصر : أحيانا تتسبب الطيور الضخمة في حدوث شرارة ومن ثم يمكن أن يؤدي ذلك لانهييار العازل (هذا محتمل فقط إذا كانت المسافة بين الموصلات قليلة) .
- 2- 5: توزيع الجهد على سلسلة العوازل المعلقة :
- نفرض أن هناك سلسلة من العوازل المعلقة تحتوي على خمس وحدات عزل ، جزء البورسلين ينحصر بين معدني الربط لذلك فهي تكون مكثف سعته C فاراد و تسمى السعة المتبادلة . بالإضافة لهذه السعة هناك سعة بين كل معدن ربط و الذراع المعدني للبرج أي إن بين معدن ربط العوازل و الأرض وفي هذا المكثف يكون الهواء هو العازل . وهنا أيضا سعة بين معدن الربط موصل الخط ولكن قيمتها صغيرة جدا ويمكن إهمالها .



توزيع الجهود على وحدات سلسلة العوازل

نفرض أن سعة وحدة العزل هي C

ونفرض أن السعة ما بين الرابط المعدني و الأرض (السعة للأرض) هي C1
m هي النسبة ما بين السعة للأرض إلى سعة الوحدة.

$$\therefore m = \frac{C1}{C} \rightarrow \therefore C1 = mC$$

$$Xc = 1/\omega c$$

المانعة السعوية لوحدة العزل هي

$$Xmc = 1/\omega mc$$

المانعة السعوية للسعة للأرض هي

• عند نقطة A بتطبيق قانون كيرشوف

$$I_2 = I_1 + i_1$$

(2.1)

و يمكن الحصول على تيار كما يلي

$$\begin{aligned} I_2 &= V_2/Xc = V_2/(1/\omega c) = \omega c V_2 \\ I_1 &= V_1/Xc = V_2/(1/\omega c) = \omega c V_1 \\ i_1 &= V_1/Xmc = V_1/(1/\omega mc) = \omega c V_1 \end{aligned}$$

وبالتعويض في المعادلة رقم (2.1)

$$\therefore \omega c V_2 = \omega c V_1 + \omega mc V_1$$

$$\omega c V_2 = \omega c V_1(1+m)$$

$$V_2 = V_1(1+m)$$

$$V_2 = V_1(1+m)$$

و بنفس الطريقة يمكن الحصول على V_3

* عند نقطة B و بتطبيق قانون كيرشوف للتيارات
(2.2)

$$I_3 = I_2 + i_2$$

العوازل المستخدمة في شبكات القوى الكهربائية

ويمكن الحصول على قيمة كل تيار كما يلي

□

$$I_3 = V_3 / X = V_3 / (1/\omega c) = \omega c V_3$$

$$I_2 = V_2 / X_c = V_2 / (1/\omega c) = \omega c V_2$$

$$I_2 = (V_1 + V_2) / X_{mc} = (V_1 + V_2) / (1/\omega mc) = \omega mc (V_1 + V_2)$$

وبالتعويض في المعادلة رقم (2.2)

$$\therefore \omega c V_3 = \omega c V_2 + \omega mc (V_1 + V_2)$$

$$\omega c V_3 = \omega c V_1 (1+m) + \omega mc V_1 + \omega mc V_2$$

$$V_3 = V_1 (1+m) + m V_1 + m V_1 (1+m)$$

$$V_3 = V_1 (1+3m+m^2)$$

وبنفس الطريقة يمكن الحصول على كل من V_4, V_5 كما يلي :

$$V_4 = V_1 (1+6m+5m^2+m^3)$$

$$V_5 = V_1 (1+10m+15m^2+7m^3+m^4)$$

وبناء على ذلك يمكن حساب الجهد الكلي على السلسلة كما يلي :

$$v = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5$$

وبالتعويض عن قيم كل الجهود يمكن الحصول على الجهد الخط كما يلي :

$$v = V_1 (5+20m+21m^2+8m^3+m^4)$$

مع ملاحظة أن

$=V$ جهد الوجه وبالتالي يمكن الحصول على جهد الخط كما يلي :

$$\therefore \text{جهد الخط} = V_2 = V\sqrt{3}$$

مثال 1 إذا كانت سلسلة العوازل مكونة من خمسة عوازل وبفرض أن $m=0.1$ أوجد توزيع الجهود على

وحدات السلسلة من الجهد الكلي :

العوازل المستخدمة في شبكات القوى الكهربائية

$$\begin{aligned}V &= V_1(5+20m+21m^2+8m^3+m^4) \\V &= V_1(5+20(0.1)+21(0.1)^2+8(0.1)^3+(0.1)^4) \\V &= V_1(5+2+0.21+8 \times 10^{-3}+1 \times 10^{-4}) \\ \therefore V &= V_1(7.2181) \\ \therefore V_1 &= 0.1386V \\ V_2 &= V_1(1+m) \\ V_2 &= 0.1386(1+0.1) \\ V_2 &= 0.1386 \times 1.1 \\ \therefore V_2 &= 0.15246 V \\ V_3 &= V_1(1+3m+m^2) \\ V_3 &= 0.1386(1+3(0.1)+(0.1)^2) \\ V_3 &= 0.1386 \times 1.31 \\ \therefore V_3 &= 0.1815V \\ V_4 &= V_1(1+6m+5m^2+m^3) \\ V_4 &= 0.1386(1+6(0.1)+5(0.1)^2+(0.1)^3) \\ V_4 &= 0.1386 \times 1.651 \\ \therefore V_4 &= 0.2288V \\ V_5 &= V_1(1+10m+15m^2+7m^3+m^4) \\ V_5 &= 0.1386(1+10(0.1)+15(0.1)^2+7(0.1)^3+(0.1)^4) \\ V_5 &= 0.1386 \times 2.1571 \\ \therefore V_5 &= 0.2987V\end{aligned}$$

2-6: كفاءة السلسلة :

وحدة العازل في السلسلة المجاورة للموصل الكهربائي يقع عليها أكبر فرق جهد و بالتالي فهي معرضة للإجهاد الكهربائي العالي والذي يمكن أن يؤدي إلى انهيارها .

الجهد الواقع على السلسلة

$$\text{كفاءة السلسلة} = \frac{\text{الجهد الواقع على وحدة العزل الملاصقة للخط}}{\text{الجهد الواقع على وحدة العزل الملاصقة للخط}} * n$$

العوازل المستخدمة في شبكات القوى الكهربائية

حيث إن ال $n =$ عدد وحدات العازل في السلسلة

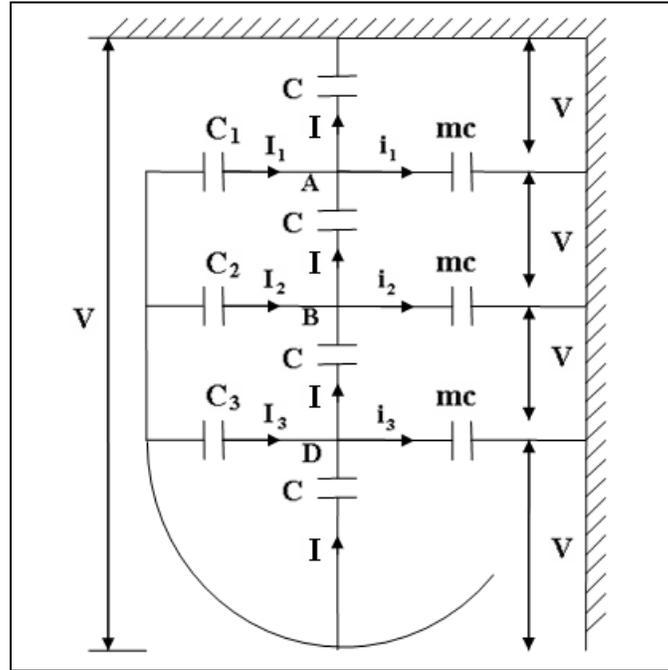
إذا كان $n=5$

$$\frac{V}{V_{5*5}} = \text{كفاءة السلسلة}$$

7-2 : طرق زيادة كفاءة سلسلة العوازل :

هناك ثلاث طرق لزيادة كفاءة السلسلة هي :

1. تقليل قيمة m
2. بتدرج العوازل .
3. باستخدام حلقة الحماية Guard ring



استخدام حلقة الحماية لمساواة الجهود على وحدات السلسلة العازلة

$$I + I_1 = I + i_1 \quad \text{عند النقطة A}$$

$$\therefore I_1 = i_1 \rightarrow 1$$

العوازل المستخدمة في شبكات القوى الكهربائية

$$i_1 = V / (X_{mc}) = \omega mc V$$

$$I_1 = (3V / X_{c1}) - \omega c_1 (3V)$$

• بالتعويض في (1)

$$\therefore \omega c_1 (3V) = \omega mc v$$

$$3C_1 = mc$$

$$\therefore C_1 = (1/3)mc$$

$$I + I_2 = I + i_2$$

$$\therefore I_2 = i_2 \rightarrow 2$$

$$I_2 = 2V / X_{c2} = \omega c_2 (2V)$$

$$i_2 = 2V / X_{mc} = \omega mc (2V)$$

عند النقطة B

• بالتعويض في 2

$$\therefore \omega c_2 (2V) = \omega mc (2V)$$

$$\therefore C_2 = mc$$

$$I + I_3 = I + i_3$$

$$\therefore I_3 = i_3 \rightarrow 3$$

$$I_3 = V / X_{c3} = \omega c_3 V$$

$$i_3 = 3V / X_{mc} = \omega mc (3V)$$

عند النقطة D

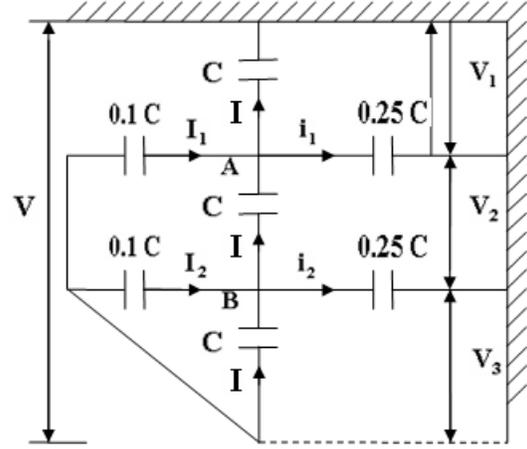
• بالتعويض في 3

$$\therefore \omega c_3 V = \omega mc (3V)$$

$$\therefore C_3 = 3mc$$

العوازل المستخدمة في شبكات القوى الكهربائية

- مثال 1 : سلسلة من العوازل مكونة من 3 وحدات احسب :
 أ- الجهد على وحدة منسوبا إلى جهد الوجة للخط الكهربائي .
 ب- كفاءة السلسلة .



$$\begin{aligned} \therefore I_1 &= V_1 \omega C \\ i_1 &= 0.25 V_1 \omega C \\ i_x &= 0.1(V_1 + V_2) \omega C \\ \therefore I_2 &= V_2 \omega C \\ i_2 &= 0.25(V_1 + V_2) \omega C \\ I_y &= 0.1 V_3 \omega C \\ \therefore I_3 &= V_3 \omega C \end{aligned}$$

وبتطبيق قانون كيرشوف عند النقطة A فإن :

$$\begin{aligned} \therefore I_2 + i_x &= I_1 + i_1 \\ \therefore I_2 &= 0.1 \omega C (V_1 + V_2) = V_1 \omega C + 0.25 V_1 \omega C \end{aligned}$$

أو

$$\begin{aligned} \therefore V_2 \omega C + 0.1 \omega C (V_1 + V_2) &= V_1 \omega C + 0.25 V_1 \omega C \\ \therefore V_2 + 0.1 V_2 + 0.1 V_3 &= 1.25 V_1 \\ 1.25 V_1 - 1.1 V_2 - 0.1 V_3 &= 0 \end{aligned}$$

وبتطبيق قانون كيرشوف عند النقطة B فإن :

$$\begin{aligned} \therefore I_3 + i_y &= I_2 + i_2 \\ V_2 \omega C + 0.1 V_3 \omega C &= V_2 \omega C + 0.25(V_1 + V_2) \omega C \\ 1.1 V_3 &= 0.25 V_1 + 1.25 V_2 \\ 0.25 V_1 + 1.25 V_2 - 1.1 V_3 &= 0 \end{aligned}$$

بضرب المعادلة

$$13.75 V_1 - 12.1 V_2 - 1.1 V_3 = 0$$