

شبكات النقل الكهربائية

العوازل المستخدمة في شبكات القوى الكهربائية

الجدارة:**الأهداف:**

عندما تكتمل هذه الوحدة يكون المتدرب قادرا على:

٣. التعرف على الأنواع المختلفة للعوازل الكهربائية المستخدمة في منظومة القوى الكهربائية.
٤. التعرف على أنواع عوازل خطوط النقل الهوائية.
٣. كيفية حساب توزيع الجهد على سلسلة عوازل خطوط النقل وحساب كفاءة السلسلة.

مستوى الأداء المطلوب :**الوقت المتوقع للتدريب : ٩ ساعات****الوسائل المساعدة :**

١. استخدام التعليمات في هذه الوحدة .
٢. صور فوتوغرافية ورسوم توضيحية توضح

متطلبات الجدارة:

يجب التدرب على جميع المهارات لأول مرة .

العوازل المستخدمة في شبكات القوى الكهربائية

٢- ١ : مقدمة :

تنقسم العوازل المستخدمة في منظومة القوى الكهربائية إلى ثلاثة أنواع هي العوازل الغازية والعوازل السائلة والعوازل الصلبة ولكل نوع أهميته واستخداماته وتطبيقاته في الحياة العملية وسوف نتناول في هذه الوحدة دراسة سريعة لكل من العوازل الغازية والعوازل السائلة بينما سنستفيض في تناول أنواع العوازل الصلبة والتي تستخدم في عزل خطوط النقل الهوائية عن أبراج النقل.

٢- ٢ : العوازل الغازية :

تستخدم العوازل الغازية بصورة كبيرة في المعدات الكهربائية وأهم 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 جداً بين الأقطاب الكهربائية المعزولة بالغاز ، ويستعيد الغاز العازل خصائصه الكهربائية عند فصل المصدر ، على الجانب الآخر إذا كان الجهد كبيراً تزداد شدة المجال الكهربائي $Electric\ Field\ Intensity$ (E=V/D kV/cm) ، ويحدث التأين ومن ثم يزداد التيار الساري بين الأقطاب زيادة كبيرة ويحدث الانهيار الكهربائي وعندئذ تحدث شرارة موصلة قوية بين الأقطاب ويسمى أقصى جهد يفقد بعده العازل خاصية العزل بجهد الانهيار للغاز العازل .

٢- ٢ - ١ : غاز سادس فلوريد الكبريت (SF6 Sulfur hexafluoride) :

غاز سادس فلوريد الكبريت غاز خامل له خصائص جيدة كعازل وكوسط طافي 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 ، والكيابل الكهربائية ، والمحطات المغلقة بالغاز وخطوط النقل الكهربائية المغلقة بالغاز ، وأطراف التوصيل وهكذا . ويتحول الغاز إلى الصورة السائلة عند قيمة منخفضة لدرجة الحرارة وتعتمد هذه الدرجة على ضغط الغاز .

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

• الخصائص الكيميائية :

١. متزن كيميائياً حتى 500 درجة مئوية .
٢. حامل وخمول الغاز الكيميائي ميزة كبرى للقواطع الكهربائية حيث لا تتعرض الأجزاء المعدنية والملاصقات للتلف لعدم وجود الأكسدة للمعادن وبالتالي تقل عمليات الصيانة المطلوبة . وتؤثر الرطوبة بشكل فعال على خصائص الغاز ويتكون فلوريد الهيدروجين أثناء الشرارة داخل غاز سالب الكهربائية (Electronegative gas) .
٣. لا يتفاعل مع الأجزاء المعدنية حتى 500 درجة مئوية .
٤. يتحلل الغاز أثناء إطفاء الشرارة إلى رابع فلوريد الكبريت وثاني فلوريد الكبريت . وتتحد هذه الغازات مرة أخرى بعد إطفاء الشرارة وعملية 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 .
٥. الفلورايد المعدني مادة عازلة جيدة لذلك تستخدم بأمان للمعدات الكهربائية .
٦. احتواء الغاز على أية رطوبة أثناء ضخ الغاز من الخارج يوجد العديد من المشاكل الخطيرة لقواطع غاز سادس فلوريد الكبريت .

• خصائص العزل الكهربائي :

١. شدة العزل لغاز سادس فلوريد الكبريت عند الضغط الجوي حوالي 2.35 مرة أعلى من شدة عزل الهواء وأقل حوالي 30% من شدة عزل الزيت المستخدم في القواطع الزيتية .
٢. عند الضغط العالي تزداد شدة عزل الغاز وعند ضغط حوالي 3 كجم/سم^٢ تكون شدة عزل الغاز أكبر من شدة عزل الزيت العازل وهذه الخاصية تتيح مسافات أصغر بين الموصلات الكهربائية وحجم أقل للمعدات الكهربائية لنفس الجهد .
٣. جهد الانهيار للغاز يعتمد على العديد من العوامل مثل شكل الموصلات الكهربائية ، وخشونة أسطح الموصلات ، وتوزيع المجالات الكهربائية ، وقرب عازلات التثبيت ، والرطوبة ، وشكل الموجات الكهربائية ... وهكذا . ويزداد جهد الانهيار للغاز مع زيادة ضغطه ويتبع الغاز قانون باشون (Paschen's Law) والذي ينص على أن جهد الانهيار للغاز في مجال كهربائي منتظم يتناسب تناسباً طردياً مع حاصل ضرب الغاز ومسافة الثغرة بين الأقطاب الكهربائية أي إن $V_b \propto pd$.

٤. منطقة الضغط الحرجة : إذا كان المجال الكهربائي غير منتظم فالعلاقة بين جهد الانهيار وضغط الغاز لا يتبع قانون باشون تماماً .
٥. تأثير سطح الموصل : خشونة سطح الموصل تقلل من جهد الانهيار للغاز حيث تتكون مجالات كهربائية قوية حول خشونة السطح تبدأ معها عمليات تأين قوية عند جهود منخفضة مثل التفريغ الهالي (Corona) مما يتسبب في حدوث الانهيار الكلي للغاز مبكراً لذلك لا بد أن تكون أسطح الموصلات ملساء .
٦. تأثير عوازل التثبيت على جهد الانهيار : الموصلات الكهربائية داخل المعدات المعزولة بالغاز تثبت على عوازل من الأيوكسي أو البور سلين ويمكن حدوث الانهيار على أسطح العوازل ويمكن حدوث ذلك عند جهود قليلة إذا كانت أسطح العوازل مغطاة بالرطوبة والغبار الموصل لذلك يجب أن تكون العازلات نظيفة تماماً .
٧. الأطراف الحادة : الانهيار يبدأ عند الأطراف الحادة للأجزاء الموصلة والتي تتركز عندها المجالات الكهربائية العالية لذلك التنظيم الجيد لتوزيع الجهود الكهربائية مهم جداً للمعدات المعزولة بغاز سادس فلوريد الكبريت ويجب تجنب الأطراف الحادة .

٢-٢-٢ : 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 أولاً من الإلمام 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 :

١. شدة عزل عالية .
 ٢. اتزان حراري وعدم نشاط كيميائي تجاه المواد المستخدمة .
 ٣. غير قابل للاشتعال وغير ضار بالصحة العامة .
 ٤. درجة حرارة تكثيف أقل .
 ٥. انتقال حراري جيد .
 ٦. 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 الكبريت مع النيتروجين أيضاً .

جدول (٢- ١) خصائص العازلات الغازية

| اسم الغاز | التركيب الكيميائي | الوزن الجزيئي | درجة الانصهار عند 760 torr | درجة الغليان عند 760 Torr | شدة العزل النسبية (N _g =1) | ثابت العزل | الجاذبية النوعية الهواء=١ | قابليته للاشتعال | سام |
|------------------------------|---------------------------------|------------------|-------------------------------------|------------------------------------|---|------------|---------------------------------|---------------------|------|
| Air | - - - | 29 | - - - | -194 | 1 | 1.00059 | 1.00000 | لا | خامل |
| Nitrogen | - - - | 28 | - - - | -196 | 1 | 1.00058 | 0.96724 | لا | لا |
| Hydrogen | - - - | 2 | - - - | -253 | -- | 1.00026 | 0.06952 | لا | لا |
| Carbon tetrafluoride | N ₂ | 88 | -210 | -128 | 1.01 | 1.00060 | ----- | نعم | لا |
| Hexafluoro-ethane | H ₂ | 138 | -259 | -78 | 2.02 | 1.00200 | - - - | لا | لا |
| Perfluoro-propane | CF ₄ | 188 | -183 | -37 | 2.2 | ----- | - - - | لا | لا |
| Perfluoro-butane | C ₂ F ₆ | 238 | -101 | -2 | 2.6 | - - - | - - - | لا | لا |
| Perfluoro-n-butane | C ₃ F ₅ | 200 | -160 | +2 | 3.6 | - - - | - - - | لا | لا |
| Sulfur hexafluoride | C ₄ F ₁₆ | 146 | -80 | -63 | 62.5 | - - - | - - - | لا | لا |
| 30%SF ₆ + 70% Air | C ₄ F ₃ | | | | 2.0 | - - - | - - - | لا | لا |
| Freon-12 | SF ₆ | 121 | | -30 | 2.46 | 1.00340 | - - - | لا | لا |
| | CCl ₂ F ₂ | | -158 | | | 1.00191 | - - - | لا | لا |
| | | | | | | 1.00160 | - - - | لا | لا |
| | | | | | | | - - - | لا | * |
| | | | | | | | - - - | لا | |
| | | | | | | | 7.3323 | | |
| | | | | | | | 5.1900 | | |
| | | | | | | | ----- | | |

* خامل لمدة ساعتين أو أقل مع تركيز 20%

٢- ٣ : العوازل السائلة :

تستخدم العوازل السائلة في عزل كيابل الجهد العالي والمكثفات وملء المحولات والقواطع . وبالإضافة لوظيفتها كعازل فلها وظائف أخرى مثل وسط ناقل للحرارة في المحولات وكوسط طافئ للشرارة في القواطع . ويعتبر زيت البترول من أكثر الزيوت استخداماً كعوازل سائلة وتستخدم أيضاً الهيدروكربونات الصناعية والهيدروكربونات الهالوجينية في بعض التطبيقات . وتستخدم زيوت السيليكون والهيدروكربونات التي تحتوي على الفلوريد للتطبيقات ذات درجات الحرارة العالية . وحديثاً تستخدم بعض الزيوت النباتية والأسترات .

العوازل السائلة عادة ما تكون خليطاً من الهيدروكربونات الضعيفة الاستقطاب والتي يجب أن تكون خالية من الرطوبة ومنتجات الأكسدة والملوثات الأخرى والتي تؤثر تأثيراً كبيراً على شدة العزل للزيوت العازلة . ومن الخصائص الهامة المطلوبة للزيوت العازلة الموصلية الكهربائية وثابت العزل وشدة العزل . بالإضافة إلى ذلك فالخصائص الفيزيائية والكيميائية مثل اللزوجة واللاتزان الحراري والجاذبية النوعية هامة أيضاً . عملياً يتم اختيار العازل السائل لتطبيق معين على أساس الاتزان الكيميائي .

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

١. وجود شوائب (Particles) : عند تطبيق جهد عالٍ ينشأ مجال كهربائي بين القطبين شدته E . وإذا كانت سماحية الشوائب (ϵ_1 Particles Prmitivity) أكبر من سماحية العازل السائل ϵ_2 ؛ تنشأ قوة تدفع بالشوائب للمساحة التي يكون فيها المجال الكهربائي أعلى ما يمكن . فإذا كانت الشوائب كروية لها نصف قطر r فإن القوة تعطى بالعلاقة التالية

$$F = \frac{1}{2} r^3 \frac{\epsilon_2 - \epsilon_1}{2\epsilon_1 + \epsilon_2} \cdot \nabla E^2$$

وعندما تتجه هذه الشوائب باتجاه المنطقة التي يكون فيها المجال الكهربائي أعلى ما يمكن فإنها تتابع حتى تصل ما بين القطبين مما ينشأ عنه توصيل ثم انهيار كهربائي Breakdown .

٢. وجود ماء : عند وجود قطرات من الماء في العازل السائل فإنها تستطيل في اتجاه المجال الكهربائي مما يؤدي إلى التوصيل بين القطبين وحدوث الانهيار الكهربائي .

٣. 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 .

جدول (٢ - ٢) خصائص العزل لبعض العوازل السائلة

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

٢ - ٤: 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 . والمتطلبات الرئيسية للعوازل الصلبة هي :
- لا بد أن تكون قوية جداً ميكانيكياً .
 - يجب أن 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 أو السوائل إلى داخل المادة .
 - لا تتأثر بتغير درجة الحرارة المحيطة .
 - أن تكون المادة العازلة مقاومة للانهييار الداخلي (puncture) وكذلك لانهييار السطح الكهربائي (flashover).

وباستعراض أسباب انهيار العوازل الهوائية الكهربائية ، نجد أن السطح هو المسبب الرئيسي لانهيار 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 .

٢-٤-١ : 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 المملدن والأسيتايت كما تستخدم أيضاً العوازل المصنوعة من اللدائن البيتروكيميائية . وسنستعرض عوازل البورسلين والزجاج المملدن والأسيتايت نظراً لكثرة استخدامها مقارنة بعوازل اللدائن ، وخاصة في المملكة .

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

وقوة الضغط والشد الميكانيكي له في حدود $70,000\text{ Kg/cm}^2$ و 500 Kg/cm^2 .

(ب) العوازل الزجاجية : العوازل الزجاجية تستخدم في عمليات العزل الكهربائي حتى الجهود

المتوسطة ويصبح الزجاج قاسياً بتقسية المادة حرارياً (annealing) ويكون له المميزات التالية :

١. شدة عزل عالية جداً في حدود 140 kV/cm من سمك المادة .

٢. يصبح للمادة مقاومة عالية جداً عندما تتقسى جيداً .

٣. يكون له معامل تمدد حراري منخفض .

٤. رخيص السعر مقارنة بالبورسلين .

(ج) عوازل الأسيتايت : الأسيتايت هو سيليكات الماغنسيوم الموجودة بنسب مختلفة لأوكسيد

الماغنسيوم والسيليكات في أجزاء كثيرة من العالم . وللأسيتايت قوة شد ميكانيكية عالية بالمقارنة

بعازل البورسلين ويمكن استعمالها بكفاءة في أبراج الشد والتي تكون عند الدورانات الحادة للخط

الكهربائي .

٢-٤-٢ : أنواع عوازل خطوط النقل الهوائية :

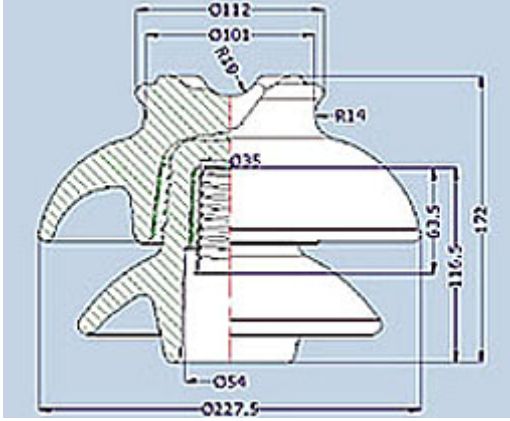
١. العوازل المسمارية. ٢. عوازل التعليق .

٣. عازل الإجهاد . ٤. عوازل الدعم .

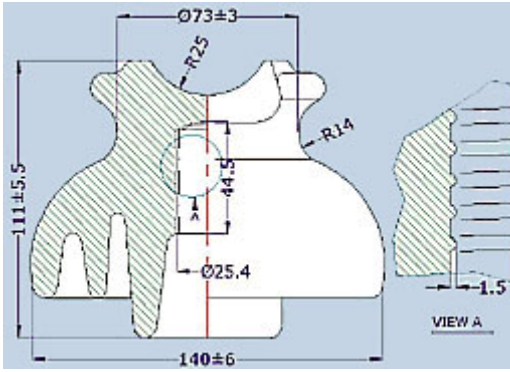
٥. عوازل البكرة أو القعد .

أولاً :- العوازل المسمارية (Pin type insulator) :

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



قطعة عازل مسماري جهد ٢٥ كيلو فولت

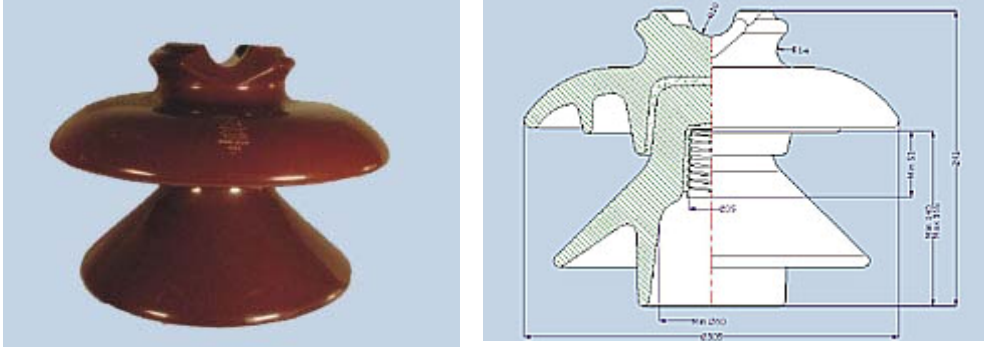


قطعة عازل مسماري جهد ١١ كيلو فولت



مسمار تثبيت من الحديد المجلفن

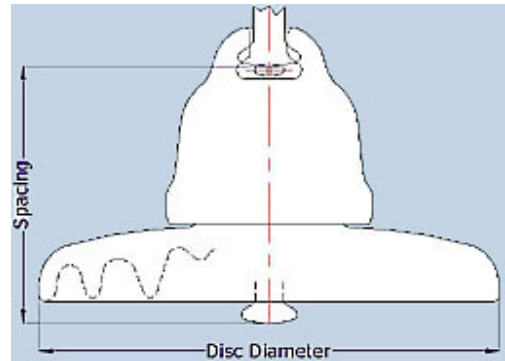
تتم قلوطة العازل المسماري ويتم ربطه بواسطة مسامير من الحديد المجلفن. تزداد سمك المادة المطلوبة لأغراض العزل عند الجهد العالي ، ولذلك نستخدم أجزاء متعددة من العازل المسماري عند الجهود العالية باستخدام الإسمنت البورتلاندي ويوضح الشكل أحد العوازل متعددة الأجزاء.



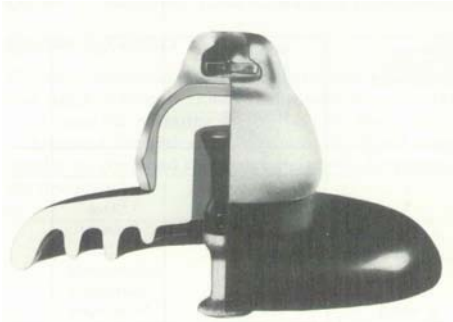
عازل مسماري من جزأين جهد ٣٣ كيلو فولت

ثانياً :- عوازل التعليق (Suspension type insulator) :

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



وحدة عازل تعليق لخطوط النقل الكهربائي



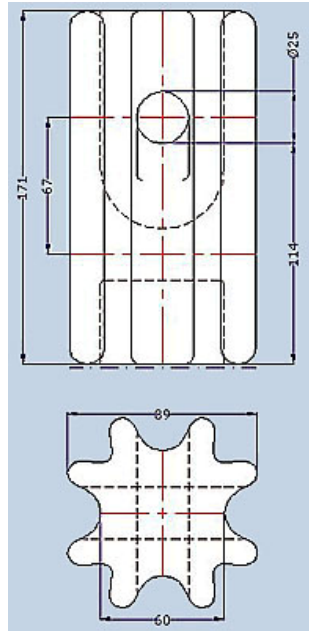
قطاع في عازل تعليق لخط نقل هوائي

ثالثاً :- عوازل الإجهاد :

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

رابعاً :- عوازل الدعم :

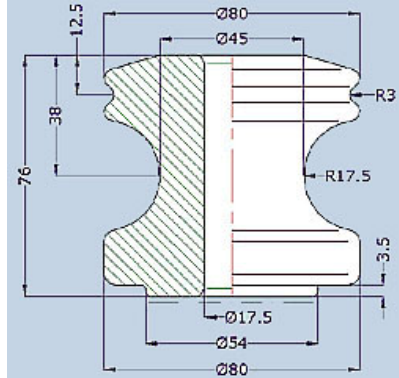
في الجهود المنخفضة تعزل شدات الأسلاك عن الأرض على ارتفاع أكبر من ١٣ متراً عن الأرض و يسمى العازل المستخدم في سلك الشد عازل الدعم من البورسلين و يصمم بحيث إنه في حالة انهيار العازل لا يسقط سلك التثبيت على الأرض .



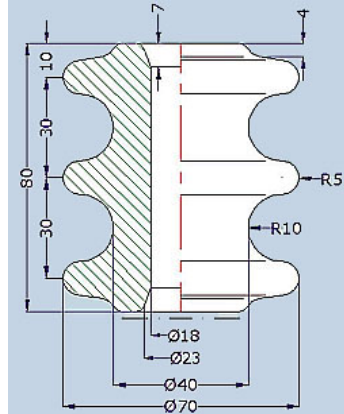
عوازل الدعم

خامساً :- عوازل البكرة والعقد :

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



عوازل البكرة من طبقة واحدة



عوازل البكرة من طبقتين

٢-٤ -٤ : أسباب انهيار عوازل خطوط النقل الهوائية :

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

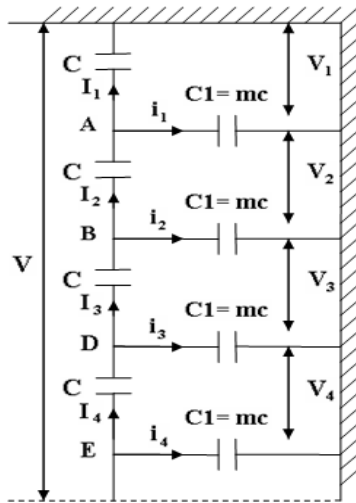
١. كسر العازل : السبب الرئيسي لكسر العازل هو الإجهادات الناتجة في عازل البورسلين من خلال التمدد غير المتساوي والانكماش الناتج في الإسمنت والبورسلين والصلب والذي تسبب فيه الحرارة الموسمية والبرودة والجفاف وتسخين العازل . ولتجنب مثل هذا الكسر أدخلت تحسينات كثيرة على العازل أحيانا بوضع وسادة بين الطبقات ومسمار التثبيت الصلب للسماح بمثل ذلك التمدد .

٢. عيوب مادة العزل : إذا كان بمادة العزل أي عيب ، مثل وجود فراغات أو وجود شوائب ، بأي مكان بها فإن هذا العيب يؤدي لكسر هذا العازل .

٣. مسامية مادة العزل : لو صنعت مادة البورسلين للعازل تحت درجات حرارة منخفضة فإن البورسلين يصبح مسامياً ونتيجة لهذا يمتص البورسلين الرطوبة من الهواء ومن الإسمنت وتقل بصورة خطيرة شدة عزله ويبدأ تيار التسريب في السريان خلال العازل مما يؤدي لانهايار المادة العازلة .
٤. 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 مكوناً مناطق موصلة كهربائياً تتسبب في خفض مسافة شرارة السطح للعازل والتي تتسبب في انهيار العازل .
٥. شرارة السطح : لو حدثت شرارة على سطح العازل فإنها يمكن أن تؤدي إلى تسخين العازل تسخيناً زائداً وبالتالي تؤدي لانهيائه .
٦. الإجهاد الميكانيكي : في بعض الأحيان يمكن أن يؤدي شد العازل إلى إجهاد العازل ميكانيكياً إذا كانت مادة العزل بها عيوب وبالتالي تؤدي إلى كسره .
٧. القصر : أحياناً تتسبب الطيور الضخمة في حدوث شرارة ومن ثم يمكن أن يؤدي ذلك لانهايار العازل (وهذا محتمل فقط إذا كانت المسافة بين الموصلات قليلة) .

٢- ٥ : 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 وتسمى السعة المتبادلة . بالإضافة لهذه السعة هناك سعة بين كل معدن ربط و الذراع المعدني للبرج أي إن بين معدن ربط العوازل و الأرض و في هذا المكثف يكون الهواء هو العازل . وهنا أيضاً سعة بين معدن الربط و موصل الخط ولكن قيمتها صغيرة جداً 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 C_1

m هي النسبة ما بين السعة للأرض إلى سعة الوحدة

$$\therefore m = \frac{C_1}{C} \rightarrow \therefore C_1 = mC$$

الممانعة السعوية لوحدة العزل هي $X_c = \frac{1}{\omega C}$

الممانعة السعوية للسعة للأرض هي $X_{mc} = \frac{1}{\omega mC}$

• عند نقطة A بتطبيق قانون كيرشوف

$$I_2 = I_1 + i_1 \quad (2.1)$$

ويمكن الحصول على قيمة كل تيار كما يلي

$$I_2 = \frac{V_2}{X_c} = \frac{V_2}{\frac{1}{\omega C}} = \omega C V_2$$

$$I_1 = \frac{V_1}{X_c} = \frac{V_1}{\frac{1}{\omega C}} = \omega C V_1$$

$$i_1 = \frac{V_1}{X_{mc}} = \frac{V_1}{\frac{1}{\omega mC}} = \omega mC V_1$$

وبالتعويض في المعادلة رقم (2.1)

$$\therefore \omega C V_2 = \omega C V_1 + \omega mC V_1$$

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

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

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

وبنفس الطريقة يمكن الحصول على V_3

• عند نقطة B و بتطبيق قانون كيرشوف للتيارات

$$I_3 = I_2 + i_2 \quad (2.2)$$

ويمكن الحصول على قيمة كل تيار كما يلي

$$I_3 = \frac{V_3}{X_c} = \frac{V_3}{\frac{1}{\omega c}} = \omega c V_3$$

$$I_2 = \frac{V_2}{X_c} = \frac{V_2}{\frac{1}{\omega c}} = \omega c V_2$$

$$i_2 = \frac{V_1 + V_2}{X_{mc}} = \frac{V_1 + V_2}{\frac{1}{\omega mc}} = \omega mc (V_1 + V_2)$$

وبالتعويض في المعادلة رقم (2.2)

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

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

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

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

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

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 الكلي 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 :

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

مثال ١. إذا كانت سلسلة العوازل مكونة من خمسة عوازل وبفرض أن $m=0.1$ أوجد توزيع الجهود على وحدات السلسلة كنسبة من الجهد الكلي.

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

$$V = V_1(5 + 20(0.1) + 21(0.1)^2 + 8(0.1)^3 + (0.1)^4)$$

$$V = V_1(5 + 2 + 0.21 + 8 \times 10^{-3} + 1 \times 10^{-4})$$

$$\therefore V = V_1 (7.2181)$$

$$\therefore V_1 = 0.1386 V$$

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

$$V_2 = 0.1386 (1 + 0.1)$$

$$V_2 = 0.1386 \times 1.1$$

$$\therefore V_2 = 0.15246 V$$

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

$$V_3 = 0.1386 (1 + 3(0.1) + (0.1)^2)$$

$$V_3 = 0.1386 \times 1.31$$

$$\therefore V_3 = 0.1815 V$$

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

$$V_4 = 0.1386(1 + 6(0.1) + 5(0.1)^2 + (0.1)^3)$$

$$V_4 = 0.1386 \times 1.651$$

$$\therefore V_4 = 0.2288 V$$

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

$$V_5 = 0.1386(1 + 10(0.1) + 15(0.1)^2 + 7(0.1)^3 + (0.1)^4)$$

$$V_5 = 0.1386 \times 2.1571$$

$$\therefore V_5 = 0.2987 V$$

٢- ٦ : كفاءة السلسلة :

وحدة العازل في السلسلة المجاورة للموصل الكهربائي يقع عليها أكبر فرق جهد و بالتالي فهي

معرضة للإجهاد الكهربائي العالي و الذي يمكن أن يؤدي إلى انهيارها.

الجهد الواقع على السلسلة

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

حيث إن $n =$ عدد وحدات العازل في السلسلة

إذا كان $n = 5$

$$\frac{V}{\sqrt{5 \times 5}} = \text{كفاءة السلسلة}$$

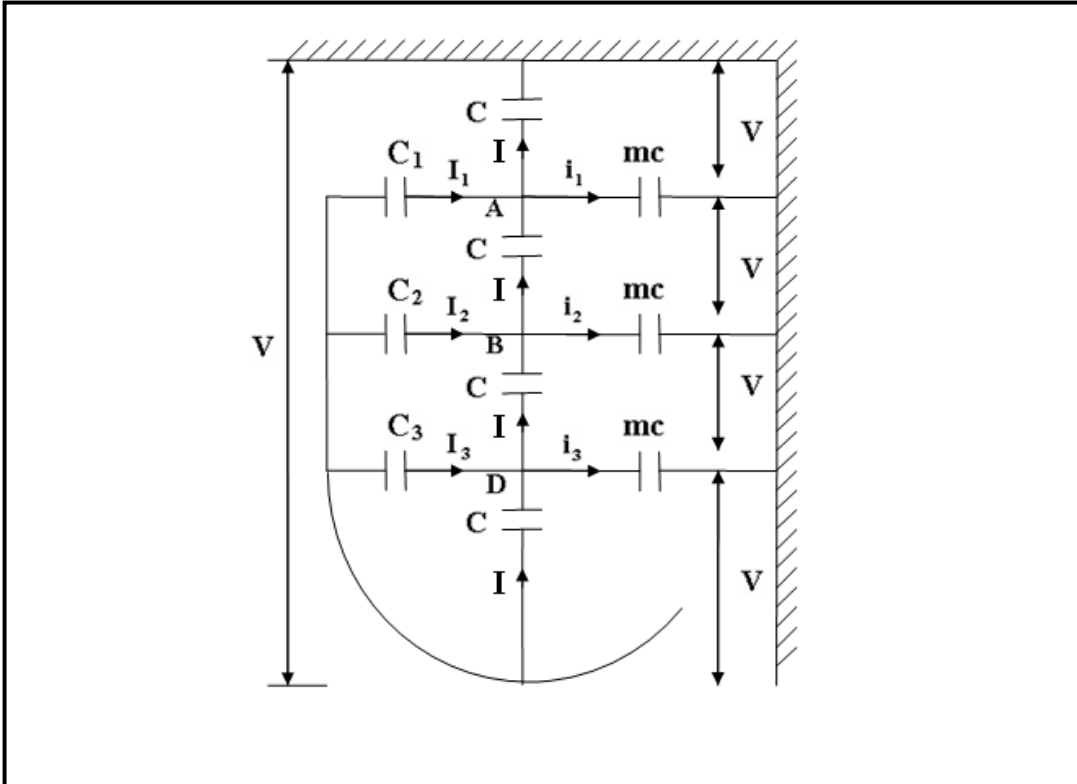
٢- ٧ : طرق زيادة كفاءة سلسلة العوازل :

هناك ثلاث طرق لزيادة كفاءة السلسلة هي :

١. تقليل قيمة m

٢. بتدرج العوازل.

٣. باستخدام حلقة الحماية Guardring



استخدام حلقة الحماية لمساواة الجهود على وحدات السلسلة العازلة

$$I + I_1 = I + i_1$$

عند النقطة A

$$\therefore I_1 = i_1 \rightarrow \text{O}$$

$$i_1 = \frac{V}{X_{mc}} = \omega mcV$$

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

• بالتعويض في ①

$$\therefore \omega c_1(3V) = \omega mcV$$

$$3C_1 = mc$$

$$\therefore C_1 = \frac{1}{3} mc \quad \text{I}$$

$$I + I_2 = I + i_2$$

• عند النقطة B

$$\therefore I_2 = i_2 \rightarrow \text{②}$$

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

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

• بالتعويض في ②

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

$$\therefore C_2 = mc \quad \text{II}$$

$$I + I_3 = I + i_3$$

• عند النقطة D

$$\therefore I_3 = i_3 \rightarrow \text{③}$$

$$I_3 = \frac{V}{X_{c3}} = \omega c_3V$$

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

• بالتعويض في ③

$$\therefore \omega c_3V = \omega mc(3V)$$

$$\therefore C_3 = 3mc \quad \text{III}$$

مثال ١ : سلسلة من العوازل مكونة من ٣ وحدات احسب :

- أ- الجهد على كل وحدة منسوبا إلى جهد الوجه للخط الكهربائي.
ب- كفاءة السلسلة.

$$\therefore I_1 = V_1 \omega C$$

$$i_1 = 0.25 V_1 \omega C$$

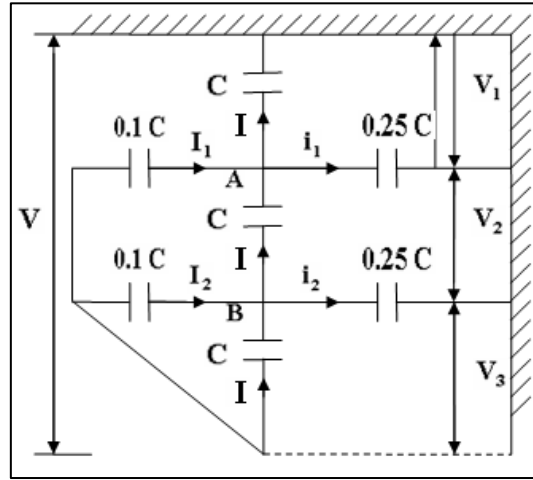
$$i_x = 0.1 (V_1 + V_2) \omega C$$

$$\therefore I_2 = V_2 \omega C$$

$$i_2 = 0.25 (V_1 + V_2) \omega C$$

$$i_y = 0.1 V_3 \omega C$$

$$\therefore I_3 = V_3 \omega C$$



وبتطبيق قانون كيرشوف عند النقطة A فإن :

$$\therefore I_2 + i_x = I_1 + i_1$$

$$\therefore I_2 = 0.1 \omega C (V_1 + V_2) = V_1 \omega C + 0.25 V_1 \omega C$$

أو

$$\therefore V_2 \omega C + 0.1 \omega C (V_1 + V_2) = V_1 \omega C + 0.25 V_1 \omega C$$

$$\therefore V_2 + 0.1 V_2 + 0.1 V_3 = 1.25 V_1$$

$$1.25 V_1 - 1.1 V_2 - 0.1 V_3 = 0$$

وبتطبيق قانون كيرشوف عند النقطة B فإن :

$$\therefore I_3 + i_y = I_2 + i_2$$

$$V_3 \omega C + 0.1 V_3 \omega C = V_2 \omega C + 0.25 (V_1 + V_2) \omega C$$

$$1.1 V_3 = 0.25 V_1 + 1.25 V_2$$

$$0.25 V_1 + 1.25 V_2 - 1.1 V_3 = 0$$

بضرب المعادلة

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

ب طرح المعادلة

$$13.5 V_1 - 31.35 V_2 = 0$$

$$V_1 = \frac{31.35 V_2}{13.5} = 0.988 V_2$$

ب ضرب المعادلة

$$1.25 V_1 + 6.25 V_2 - 5.5 V_3 = 0$$

ب طرح المعادلة

$$7.35 V_2 - 5.4 V_3 = 0$$

$$V_3 = \frac{7.35 V_2}{5.4} = 1.362 V_2$$

$$V = V_1 + V_2 + V_3$$

$$= 0.988 V_2 + V_2 + 1.362 V_2$$

$$= 3.35 V_2$$

$$V_2 = 0.2985 V$$

$$V_1 = 0.2985 \times 0.988 V = 0.295 V$$

$$V_3 = 1.362 \times 0.2985 V = 0.4065 V$$

$$V_1 = 29.5 \%$$

$$V_2 = 29.85 \%$$

$$V_3 = 40.65 \%$$

كفاءة السلسلة = ξ حيث عند :

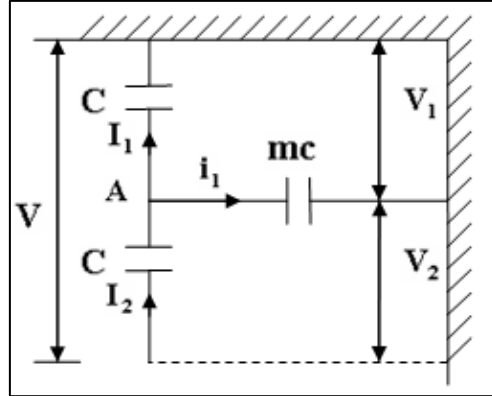
$$\frac{\text{الجهد الواقع على السلسلة}}{\text{كفاءة السلسلة}} = n \times \text{الجهد الواقع على وحدة العزل الملامقة للخط}$$

$$\eta = \frac{V}{3 \times V_3} \times 100 = \frac{V}{3 \times 0.4065} \times 100 = 82.1 \%$$

مثال ٢ : احسب أقصى جهد تتحملها سلسلة عوازل إذا كان أقصى جهد لكل وحدة من السلسلة لا يزيد عن 17 KV وكانت السعة بين كل وصلة معدنية و الأرض 20% من السعة الذاتية للعازل . إذا كانت سلسلة العوازل مكونة من :

أ - وحدتين.

ب - ثلاث وحدات.



$$(i) V_2=17, m=20\%$$

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

$$17=V_1(1+0.2)$$

$$V_1 = \frac{17}{1.2} = 14.16 \text{ Kv}$$

$$V=V_1+V_2=14.16+17=31.16 \text{ Kv}$$

$$\therefore \text{الجهد الخط} = V_2 = \sqrt{3} \times 31.16 = 53.97 \text{ Kv}$$

$$\eta = \frac{V}{2 \times V_2} \times 100 = \frac{31.16}{2 \times 17} \times 100 = 91.64\%$$

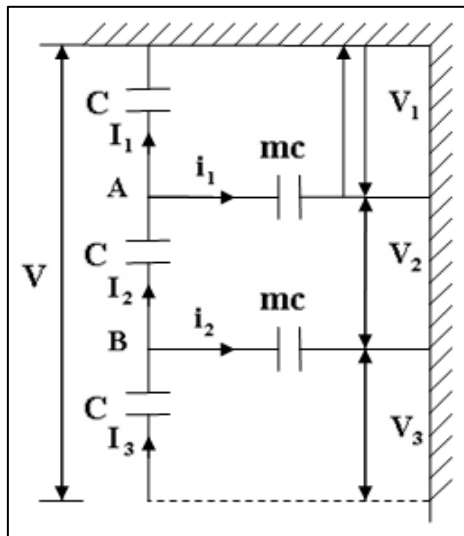
$$(ب) V_3=17, m=0.2$$

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

$$17 = V_1(1 + 3(0.2) + (0.2)^2)$$

$$17 = V_1(1.64)$$

$$V_1 = \frac{17}{1.64} = 10.36 \text{ Kv}$$



$$V_2 = V_1(1 + m) = 10.36(1 + 0.2) = 12.43 \text{ Kv}$$

$$\therefore V = V_1 + V_2 + V_3 = 10.36 + 12.43 + 17 = 39.79 \text{ Kv}$$

$$\eta = \frac{V}{3 \times V_3} \times 100 = \frac{39.79}{3 \times 17} \times 100 = 78\%$$

مثال ٣ : خط نقل ثلاثي الأوجه مثبت بواسطة سلسلة عوازل تحتوي على ثلاث وحدات عازل على العازل

الأول والثاني هو 8 و 11 KV على التوالي . اسحب :

- أ- النسبة بين السعة الرابط المعدني و الأرض إلى السعة الذاتية للعازل.
 ب- جهد الخط .
 ت- كفاءة السلسلة

$$(i) V_2=11KV , V_1=8KV$$

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

$$11 = 8(1 + m)$$

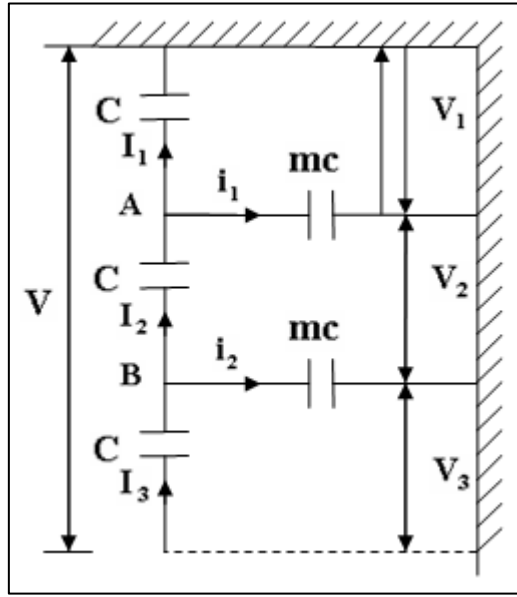
$$11 = (8 + 8m)$$

$$11 - 8 = 8m$$

$$3 = 8m$$

$$m = \frac{3}{8} = 0.375$$

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



$$(ب) V_3=17KV , m=0.2$$

$$V_3 = 8(1 + 3(0.375) + (0.375)^2)$$

$$V_3 = 8(2.26)$$

$$V_3 = 18.12 Kv$$

$$\therefore V = V_1 + V_2 + V_3 = 8 + 11 + 18.12 = 37.12Kv$$

$$\therefore \text{الجهد الخط} = VL = \sqrt{3} \times V = \sqrt{3} \times 37.12 = 64.29 Kv$$

(ج)

$$\eta = \frac{37.12}{3 \times 18.12} \times 100 = 68.28\%$$

مسائل

(١) خط نقل ثلاثي الأوجه جهد 66 كيلو فولت محمول بسلسلة عوازل مكونة من خمس وحدات تعليق النسبة بين سعة كل عازل إلى السعة للأرض هي 4:1 احسب الجهد عبر كل وحدة عازل وكفاءة السلسلة بفرض عدم وجود تسريب :

$$[3.32kv, 4.16kv, 6.16kv, 9.36kv, 15.1kv, 50.4\%]$$

(٢) احسب توزيع الجهد وكفاءة السلسلة لأربع وحدات عازل تعليق إذا كانت السعة بين الغطاء المعدني والأرض السعة للخط وهي 25% و 10% من سعة العازل على الترتيب .

$$[0.2159v, 0.1914v, 0.2341v, 0.3586v, 69.7\%]$$

(٣) موصلات قضبان توزيع لمحطة محولات جهد عال مفتوحة مثبتة بعوازل تثبيت . كل وحدة من العوازل تتكون من ثلاث وحدات عازل تعليق مثبتة على بعضهما . الجهد عبر العازل الثاني 21.6 كيلو فولت . إذا كان النظام الثلاثي الأوجه ثلاثي الموصلات أوجد الجهد بين قضبان التوزيع .

$$[114.25kv]$$

(٤) سلسلة عوازل مكونة من ثلاث وحدات . السعة بين كل غطاء معدني والأرض تساوي 1/6 سعة العازل . إذا كان أقصى جهد مسموح به للعازل لا يزيد عن 35 كيلو فولت . حدد أقصى جهد تعمل عنده سلسلة العوازل وكفاءة السلسلة .

$$[48.64kv, 80.5\%]$$

(٥) سلسلة عوازل تعليق تتكون من ست وحدات . سعة العازل والسعة بين الغطاء المعدني والأرض هي C و 0.2C على الترتيب احسب : توزيع الجهد على الوحدات من أعلى لأسفل نسبة من الجهد الكلي وكفاءة السلسلة .

$$[6.43\%, 7.72\%, 10.56\%, 15.54\%, 23.5\%, 36.25\%, 46\%]$$