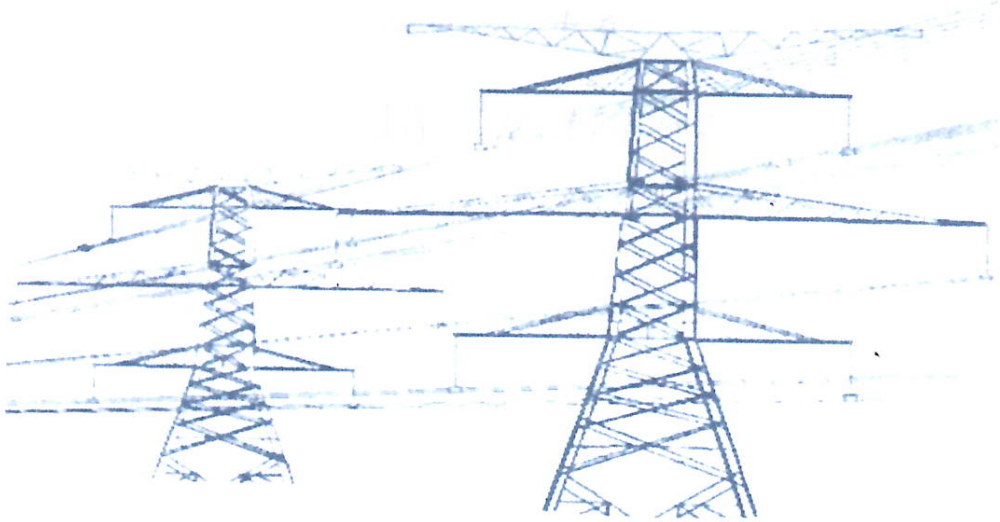
جمهورية العراق

اقليم كوردستان

نقابة مهندسين كوردستان

عنوان البحث :-

الحسابات الميكانيكية لخطوط النقل المعلقة



مشروع البحث من قبل الدكتور المهندس / رئيس مهندسين الاقدم أسماعيل حميد علي كجزء من متطلبات الحصول على درجة واستشارية في الهندسة الكهرباء

الإهداء

الى الروح وبعد الروح ليس لي بقاء . الى معلمتي وأول المعلمات ، مدرستي واول الطيبات. الى من أمر بطاعتها خالق السماوات . وقال فيها رسول الرحمة "الجنة تحت أقدام الأمهات" . الى منبع التضحية ، بحر الحنان ،

حضن الأمان

امي الحنونة

الى الشمس التي اضاءت لي الطريق في عهد الظلمة

الى السماء التي امطرت واغدقت في زمن الجفاف والضمأ الى الجبل الذي لم يهتز فكان شموخا وكبرياء الى من كان ولم يزل معلمي عند جهلي....وقدوتي عند ضياعي....وضيائي في عتمتي ....

والدي العزيز .

الى ورود تزين بستاني ، ورياحين تعطّر وديانى

الى سندي وفرساني وقوتي وتيجاني ...من تعشق رؤيتهم عيني ...وتغرم اصواتهم اذني ...وتسعد بلقائهم جوارحي ...وتطمئن بهم نفسي ...الى احلى الكلمات واصدق المشاعر واجمل الصور .....

أخوتي

الى من كانوا مرآتي في نفسي ...الى من أحببتهم واحبوني ، ووددتهم وودوني، فربحتهم ولم يخسروني... الى كل الذين جمعتني معهم لحظات الصدق ...الى من وجدت فيهم الخير ....

أصدقائي وأحبائي.

اهدي جهدي المتواضع هذا

طلبة المشروع

المقدمة

العــوازل هـــي المواد المستخدمة لعزل خطوط النقل عن بعضها البعض وعن الهيكل الساند، ويجب أن يصمم العازل بخصائص معينة منها: تحمل العازل لفولتية الخــط وفولتــيات الحالات الطارئة وكذلك أن يكون العازل ذا مقاومة عالية لتغير درجــات الحــرارة نتيجة التفريغ الكهربائي بالإضافة إلي قدرة العازل الميكانيكية العالية.

فـــي هـــذا البحث تمت دراسة عامة للعوازل حيث تم في الفصل الأول توضيح معنى العوازل ووظائفها وصناعة العوازل وتصميمها.

آما في الفصل الثاني فقد تم توضيح أنواع العوازل المستخدمة في خطوط النقل.

في الفصل الثالث فقد تمت دراسة أداء وفحص العوازل بكافة أنواع الاختبارات وكذلك في هذا الفصل تمت دراسة الفحوصات الميكانيكية وصيانة العوازل.

فـــي الفصل الرابع تمت دراسة توزيع الجهد على وحدات سلسلة العوازل بثلاث طرق.

واخــيراً فقد تم وضع أمثلة محلولة في الفصل الخامس لتوضيح الحل الرياضي لما تم شرحه في الفصول السابقة.

(1-3) صناعة العوازل

تستخدم في صنع عوازل خطوط النقل المعلقة مادتين رئيسيتين وهما الخزف (Porcelain) والزجاج المقوى او (الزجاج المقسّى) (Toughened Glass) .

وبالرغم من ان كلتا هاتين المادتين هشّة (سهلة التفتت) (Brittle) وغير مرنة (Inelastic) الا انهما افضل المواد المستعملة لهذا الغرض لحد الآن .

يتكون الخزف المستعمل في صنع العوازل من مزيج متجانس يحتوي على 50 بالمئة من الكاؤلين (Kaolin) او الطين الصيني (China Clay) و 25 بالمئة من الفلسبار (Feldspar) و 25 بالمئة من الكوارتز(Quartz) وبعد ترطيب هذا المزيج واعطائه الشكل المطلوب يجري تجفيفه ويغطى بعد ذلك بسائل ملمع (Liquid glaze) اما بواسطة تغطيسه في السائل او رشه به وبعدئذ يحمص بافران خاصة لينتج عن ذلك السطح الاملس اللماع ذي اللون البني الذي يغطي العازل ، ان للطبقة البنية اللماعة التي تغطي العازل فائدتين هما :

(أ) حماية العازل من الاوساخ والغبار والرطوبة وتسهيل تنظيفه عند الادامة.

(ب) من الممكن جعل معامل تمدد هذه الطبقة اقل من معامل تمدد مادة العازل وهذا يؤدي بالتالي الى زيادة المتانة الميكانيكية للعازل.

من الضروري ملاحظة أن يكون الخزف المستخدم في صنع العازل خالياً من الفقاعات (Blowholes) ومن الشوائب(Impurities)والا كانت شدة العزل(Dielectric Strength) واطئة.

ان الخزف الخالي من الفقاعات والشوائب وذا الجودة الميكانيكية له شدة عزل تتراوح بين 60 كيلو فولت / سم و 70 كيلو فولت / سم اما متانته الميكانيكية فتتراوح بين 2880 كغم/سم^{2}و 4680 كغم/سم (28253 نيوتن/سم^{2}و 45911 نيوتن/سم^2) في حالة الانضغاط (InCompression) وبين 108 كغم/سم^{2}و 900 كغم/سم^2 (1060 نيوتن/سم^2 و 8829 نيوتن/سم^2 في حالة التوتر (Intention) حيث تعتمد هذه القيم على تركيب الخزف.

من الممكن استعمال الزجاج في صنع العوازل بدلاً من الخزف حيث ان شدة العزل للزجاج حوالي 140 كيلو فولت/سم وفي حالة الانضغاط يكون الزجاج ذا متانة ميكانيكية اعلى من متانة الخزف، امام في حالة التوتر فان المتانة الميكانيكية تكون متساوية تقريباً لكلتا المادتين.

كانت العوازل الزجاجية في الماضي تصنع من الزجاج الملدن (Annealed Glass) غير ان لهذا النوع من الزجاج بعض التحديدات الميكانيكية والحرارية

(1-4) تصميم العوازل

يتطلب من العوازل ان تتحمل الاجهادات الكهربائية والميكانيكية التي تتعرض لها كما يجب ان يكون المسار السطحي للتسرب ذا مقاومة عالية تكفي لمنع أي تيار ذي قيمة محسوسة (Appreciable) من السريان الى الارض.

ان الانهيار الكهربائي للعوازل يمكن ان يتم اما بواسطة قفز الوميض (Flashover) او بواسطة الثقب (او الاختراق) (Puncture) في حالة قفز الوميض يحدث قوس كهربائي بين الموصل والارض (التي يمثلها المسمار الذي يسند العازل) ويقفز التفريغ عبر الفجوات الهوائية المحيطة بالعازل. ان الجهد الذي يسبب حدوث قفز الوميض ينخفض كثيراً اذا كان سطح العازل ملوثاً او رطباً.

ان حدوث الانهيار الكهربائي للعازل بواسطة قفز الوميض قد يسبب تعطيل الخط ولكنه لا يسبب تلف العازل بل يستمر العازل على تأدية وظيفته بسعته الاعتيادية ما لم تكن كمية الحرارة الناتجة عن القوس كبيرة بحيث تؤدي الى تكسر العازل .

اما في حالة الثقب (او الاختراق) فان التفريغ بين الموصل والمسمار الذي يسند العازل يحصل عبر جسم العازل نفسه ويجعله غير صالح للاستعمال. ان من المهم جداً ان يكون العازل ذا سمك يكفي لمنع حدوث الثقب (او الاختراق) بسبب التعرض الى ارتفاع في الجهد. ان النسبة بين قيمة الجهد الذي يحدث عنده الثقب (او الاختراق) وقيمة الجهد الذي يحدث عنده قفز الوميض يسمى عامل الامان للعازل ضد الاختراق ويجب ان تكون هذه النسبة عالية (اعلى كثيراً من 1) بحيث يمكن حماية العازل من الفشل التام في تأدية عمله.

يرينا الشكل (١-٢) مسافات قفز الوميض (Flashover) لعازل مسمار حيث يعطي المجموع (A+B+C) او (D+B+C) طول المسمار للوميض الجاف ويعتمد ذلك على كون A او D هي المسافة الصغرى عندما يكون السطح العلوي المكشوف من العازل رطباً تكون مقاومة السطح واطئة جداً وعندئذ يكون جهد قفز الوميض الرطب (Wet Flashover Voltage) هو مجموع (F+G+H). يعتمد المسار الحقيقي للقوس الكهربائي على شكل اجزاء العازل ويعمل هذا المسار زاوية مقدارها من 45 الى

(Thermal Limitation Mechanical). ولتلافي هذه التحديدات فان الزجاج المستعمل في صنع العوازل في الوقت الحاضر هو الزجاج المقسّى (او الزجاج المقوّى) (Toughened Glass) ويوصف الزجاج بانه مقسّى (او مقوّى) اذا كان سطحه الخارجي في انضغاط (In Compression) وداخله في توتر ويمكن الحصول على الزجاج المقسّى بتسخين طبقة من الزجاج المسبق الاجهاد حتى يصل الى درجة الليونة ومن ثم يعطى الزجاج الشكل المطلوب للعازل وبعدئذ يتم تبريد سطح العازل بسرعة ويسمح لاجزائه الداخلية لان تبرد ببطئ وبهذا يصبح سطحه الخارجي في انضغاط وداخله في توتر(Intention).

ان الـــرطوبة تـــتجمع على سطح العازل الزجاجي بكميات اكبر من تلك التي تتجمع على ســـطح عازل خزفي مشابه له كما انه من الصعب صنع عوازل زجاجية كبيرة بسبب الاجهادات الداخلية الناتجة عن التبريد غير المنتظم للكتل الزجاجية المستخدمة في صنع هذه العوازل.

وتمتاز العوازل الزجاجية على العوازل الخزفية بما يلي :

أ . في حالة العوازل الزجاجية من الممكن رؤية عدم التجانس الناتج عن الفقاعات او غيرها.

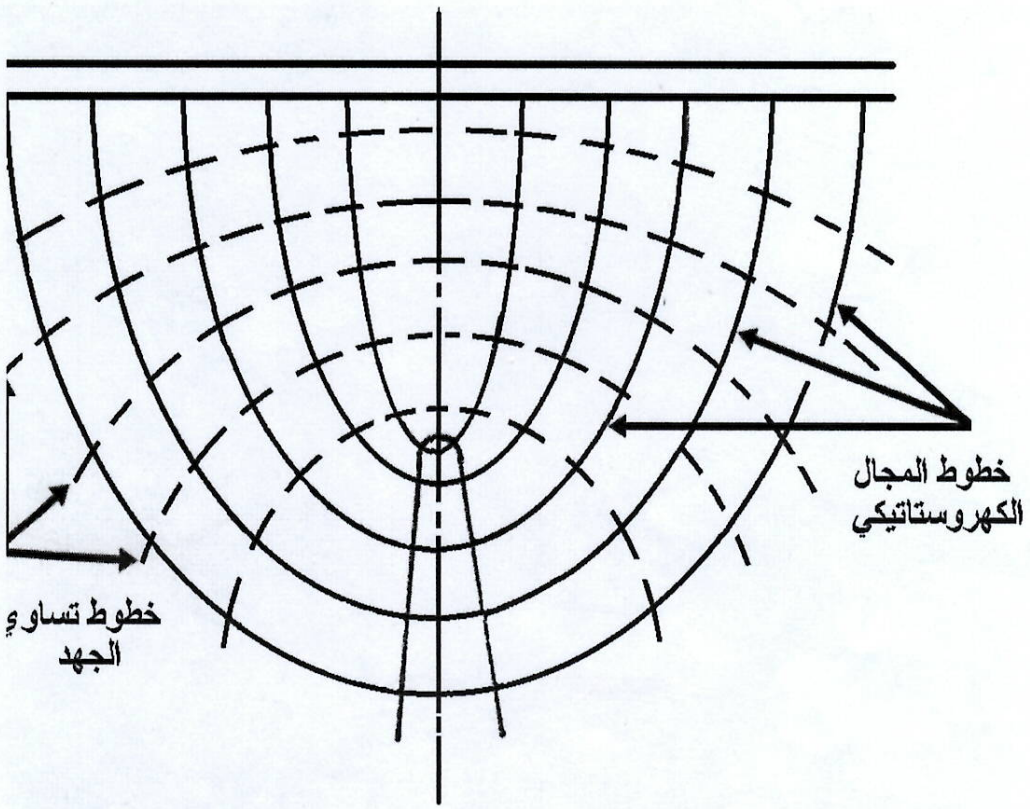
ب. من المزايا العملية للعوازل الزجاجية هو انه عند تعرض العازل للضرر نتيجة للجهود العالية او لاي ســـبب ميكانيكي خارجي فان ذلك يؤدي الى تكسر الزجاج الى شظايا صغيرة يمكن رؤيـــتها على الارض وبذلك يمكن تمييز العازل المتضرر عن غيره، اما في حالة العوازل الخزفـــية فان تمييز العازل المتضرر لا يتم بسهولة اذ ان الخزف يتشقق (او يتفطر) عند تعرضه للانهيار الكهربائي.

ج. ان معامل التمدد الحراري للزجاج اقل من معامل التمدد الحراري للخزف وهذا يجعل الاجهاد الذي يسببه تغير درجة حرارة المحيط قليلاً في حالة العوازل الزجاجية.

د. ان تسخين العازل نتيجة تعرضه لأشعة الشمس يكون اقل في حالة العازل الزجاجي لان معظم الأشعة الحرارية تخترق الزجاج بدلاً من امتصاصها.

لقـــد استخدمت في صناعة العوازل بين حين وآخر مواد اخرى غير الخزف والزجاج غير ان تلـــك المـــواد فشلت في استعمالها نتيجة انخفاض مقاومة التسرب فيها بصورة تدريجية وهذا يـــؤدي بالطبع الى زيادة تيار التسرب. ان كلاً من الخزف والزجاج سريع التحطم اذا ما تعرض للمـــناولة الرديـــئة (Handling Careless). ومـــن العوامل الأخرى التي تساعد على تحطم العـــوازل الخزفية او الزجاجية هي رميها بالحجارة او الطلقات النارية (Gun Shot) وتعرضها للصـــواعق وللثقـــب (Puncture) بواســـطة القوس الكهربائي، وكذلك تعرضها للتلوث وتساقط الجليد عليها.

فولتـــية الشرر العرضي ولاجل الحصول على افضل عمل تصمم سطوح طبقات العازل بحيث تمر في السطوح المتساوية الجهد للمجال الكهربائي وهذه السطوح المتساوية الجهد مبينة في الشكل (1-1) التالي:

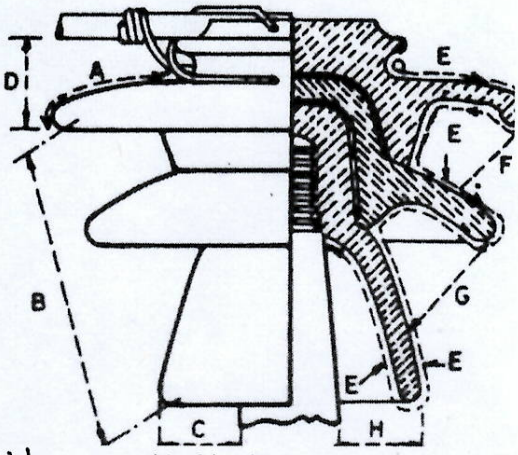


الشكل (1-1) يبين السطوح المتساوية الجهد

(1-2) وظائف العوازل

مـــن المعلوم ان موصلات خطوط النقل المعلقة عارية وليست معزولة ولذلك فان الوظيفة الاولى التي تستخدم العوازل (Insulators) من اجلها هي عزل الموصلات عن بعضها البعض وعـــن جســـم الـــبرج تحـــت اقصى الجهود (Highest Voltage) وفي اسوأ الظروف الجوية المـــتوقعة ، امـــا الوظـــيفة الثانية للعوازل فهي اسناد او حمل الموصلات تحت اسوأ الاجهادات الميكانيكية المتوقعة.

90 بين احد الهياكل المكونة للعازل والسطح الخارجي للهيكل الثاني الذي يلية (Shell Next Lower).



شكل (2-1) يمثل مسافات قفز الوميض.

في العادة تقاس مسافة التسرب من سلك الربط (Tie-Wire) الى المسمار بمحاذات السطوح الخارجية كما نرى من الخط E ولكن من الواضح ان هذا القياس لا يعطي الا فكرة تقريبية فقط عن قيمة مقاومة التسرب لانه لا يأخذ بنظر الاعتبار الاختلاف في سمك مسار التسرب.

من الضروري ايضاً تصميم العازل بحيث يتمكن من مقاومة التغيرات الكبيرة والمفاجئة في درجة الحرارة وتحمل تأثيرات البرد (الحالوب) والامطار والغبار والدخان والضباب وزخات المياه المالحة (Salt, Water & Sprays) والابخرة الكيمياوية (Chemical Fumes) دون تلفها نتيجة تفاعل كيمياوي.

الفصل الثاني

المواد المستعملة في صناعة الموصلات

خطوط النقل المعلقة

2-1 مقدمة من خواص المهمة التي يجب مراعاتها عند اختيار مادة موصلات خطوط النقل المعلقة هي الموصلية (او قابلية التوصيل) وقوة الشد الميكانيكية. (Conductivity) (Mechanical strength)

الموصلية (conductivity)

لتقليل القدرة الضائعة نتيجة لسريان التيار في الموصل يجب ان تكون المادة المستعملة في صناعة الموصل ذات مقاومة نوعية (receptivity) واطئة أي (ذات موصلية عالية) وهذا يؤدي في نفس الوقت الى تقليل مقدار هبوط الجهد في الموصل

قوة الشد الميكانيكية Mechanical Tensile Strength

قد تكون قوة الشد الميكانيكية من اهم الخواص التي يجب ان تتوفر في مادة الموصل المستعمل في خطوط النقل المعلقة فاذا كان الموصل ذا قوة شد عالية كان الارتخاء (Sag) الذي يحصل فيه قليلا مما يمكننا من زيادة الباع (Span) (أي المسافة التي تفصل بين مسندين متتاليين من مساند الخط) وهذا يؤدي بالتالي الى تقليل عدد المساند او المرتكزات (Sports) وبذلك يمكن تقليل تكاليف المساند والعوازل المستعملة لطول معين من الخط .

من الامور الاخرى التي يجب مراعاتها قدر المستطاع بالنسبة لخط النقل هي ان تكون التكاليف الاولية وتكاليف النصب والادامة منخفضة وان يكون العمر المتوقع للخط طويلا .

تكون موصلات خطوط النقل المعلقة موصلات مجدولة في اغلب الاحيان ما لم تكن مساحة مقطع الموصل صغيرة ، وذلك لان الموصلات المجدولة اكثر

مرونة (more flexible) عند النصب والاستعمال من الموصلات ذات السلك الواحد.

مـــن المواد الشائعة الاستعمال في صناعة موصلات خطوط النقل المعلقة هـــي النحاس وسبائكه والالمنيوم وسبائكه وذلك لانخفاظ المقاومة النوعية لكل من الـــنحاس والالمنـــيوم .كما يستعمل الفولاذ على هيئة تركيبات مختلفة مع النحاس والالمنيوم وفي حالات نادرة قد يستعمل الفولاذ لوحده . وسنعطي فيما يلي بعض التفصيلات عن هذه المواد .

2-2 النحاس Copper

يحتل النحاس المرتبة الاولى في الاهمية كمادة لصنع موصلات خطوط النقل المعلقة لانه يمتاز بموصليته الكهربائية والحرارية العالية وبقوة شد ميكانيكية عالية . ان موصلية النحاس تعتمد بشكل كبير على مقدار نقاوته وخلوه من الشوائب . فاذا احتوى مثلا على ٠,٠٢% من الفسفور او ٠,٠٧ من الزرنيخ فان موصليته تقل بمقدار ٣٠% بالمائة . اما الشوائب المعدنية فبالرغم من ان لها موصلية عالية فانها تسبب انخفاضا كبيرا في موصلية النحاس ، وللحصول على نحاس ذو درجة نقاوة عالية فانه غالبا ما يكون مكررا الكترونيا (electronically refined) .

ومن المزايا الاخرى للنحاس انه بطئ التاكسد في الهواء ولا يتاكل بسرعة في ظروف الجو الاعتيادية وفي الظروف الصناعية وهو يتحمل الهواء الرطب وان درجة انصهاره عالية ،وهو كذلك سهل اللحام ، كما يمكن سحبه الى اسلاك رفيعة جدا .

وفيما يلي بعض خواص النحاس في درجة ٢٠ مئوية .

٢-٢-١ النحاس اللدن العالي الموصلية :

High-conductivity annealed Copper

(أ) الكثافة (density) وهي

$8890\ Kg / m^3 = 89711\ Newton / m^3$

(ب) المقاومة النوعية هي

$1.724 \times 10^{-8}\ ohm - m$

اي ان الموصلية هي :-

58×10^6 Siemens /m

وتعتبر هذه الموصلية ١٠٠ بالمائة حيث تقاس موصلية المواد الاخرى بالنسبة لها ، أي انها تعتبر وحدة قياس الموصلية النسبية .

(ج) قوة الشد هي :-

$33 \text{ Kg / mm}^2 = 324 \text{ Newton / mm}^2$

(د) معامل يونغ Young's هو :-

$E = 12000 \text{ Kg / mm}^2$
$= 117720 \text{ Newton / mm}^2$

(هـ) معامل التمدد الطولي هو :-

$= 17 \times 10^{-6}$ per C^o

2-2-2 النحاس الصلد المسحوب العالي الموصلية

Hard – drawn high – conductivity Copper

(أ) الكثافة (density) هي:

$8890 \text{ Kg / m}^3 = 87211 \text{ Newton / m}^3$

(ب) المقاومة النوعية هي :-

1.77×10^{-8} ohm – m

أي ان موصليته هي ٩٧,٣ بالمائة:-

(ج) قوة الشد هي :-

$42 \text{ Kg / mm}^2 = 412 \text{ Newton / mm}^2$

(د) معامل يونغ Young's هو :-

$$E = 13000\ Kg / mm^2$$
$$= 127530\ \ Newton / mm^2$$

(هـ) معامل التمدد الطولي هو :-

$$17 \times 10^{-6}\ per\ C^{o}$$

اذا قورن النحاس بالمواد الموصلة الاخرى نجد انه ذو موصلية كهربائية عالية مما يمكننا استعمال موصلات نحاسية ذات قطر اصغر لتمرير تيار معين وهذا يؤدي الى ان تكون القوة العمودية المسلطة من الرياح على السلك قليلة كما ان القوة التي تسلطها الثلوج التي قد تتراكم على السلك تكون قليلة غير انه في نفس الوقت يكون الجهد الحرج للهالة قليلا نظر لصغر القطر ولذا فان الاسلاك النحاسية غير صالحة لخطوط النقل ذات الجهد العالي جدا ، كما ان قوة الشد للنحاس منخفظة نسبيا ولذا يستعمل النحاس عندما يكون طول الباع قليلا .

2-2-3 سبيكة النحاس والكاديميوم Codmium – Copper

تحتوي سبيكة النحاس والكاديميوم المستعملة لموصلات خطوط النقل المعلقة على حوالي ١,٠ بالمائة من الكاديميوم ولها موصلية قيمتها حوالي ٨٠ ٪ بالمائة من موصلية النحاس اما قوة الشد لهذه السبيكة فهي ضعف قوة الشد لاسلاك النحاس المكافئة لها .

ان ثمن سبيكة النحاس والكاديميوم اعلى من ثمن النحاس النقي ولذلك فان هذه سبيكة تستعمل بصورة رائيسية عندما يكون الباع طويلا ويكون قطر الموصل صغيرا بحيث لا تشكل كلفة الموصلات جزءا كبيرا من الكلفة الكلية لخط النقل ، وفيما يلي بعض خواص هذه السبيكة .

(أ) الكثافة (density) هي:

$8495\ Kg / m^3 = 83336\ Newton / m^3$

(ب) المقاومة النوعية هي :-

$2.177 \times 10^{-8}\ ohm - m$

أي ان موصليته هي

$$\frac{1.724}{2.177} \times 100\ \%$$

أي ٧٩,٢ %

(ج) معامل يونغ Young's هو :-

$E = 12750\ Kg / mm^2$
$= 125100\ Newton / mm^2$

(د) معامل التمدد الطولي هو :-

16.6×10^{-6} per C^o

البرونز

2-2-4 البرنز الفسفوري

Phosphorus Bronze

ان البرنز الفسفوري هو سبيكة من النحاس والفسفور وتستعمل في خطوط النقل التي يكون طول الباع فيها كبيرا بصورة استثنائية كما تستعمل في الاجواء التي تحتوي على غازات تساعد على التاكل كغاز الامونيا . ان قوة الشد للبرنز الفسفوري اعلى كثير من قوة شد النحاس النقي ولكن موصليته اقل كثيرا من من موصلية النحاس النقي ولتحسين الموصلية تضـــاف الى الموصل بضعة شعيرات (few strands) من سبيكة النحاس والكاديميوم .

2-2-5 موصلات النحاس والفولاذ

يتكون موصل النحاس والفولاذ من سلك فولاذي صغير المقطع مغطى بطبقة من النحاس حيث يساعد وجود الفولاذ في الحصول على قوة شد اعلى كثيرا من شد النحاس مما يمكننا من استعمال هذه الموصلات في حالة خطوط النقل التي يكون طول الباع فيها كبيرا جدا كالخطوط التي تمر موصلاتها عبر الانهار . اما وجود النحاس فيساعد على زيادة الموصلية ، غير ان موصلية هذا النوع من الموصلات هي ٣٥ بالمائة فقط من موصلية النحاس النقي .

2-3 الالمنيوم Aluminium

يمتاز الالمنيوم بانه خفيف الوزن حيث تبلغ كثافته حوالي ثلث $\left(\frac{1}{3}\right)$ كثافة النحاس . و الالمنيوم من اكثر المواد استعمالا في الهندسة الكهربائية لقلة سعره ولان موصليته الكهربائية عالية نسبيا حيث تصل الى حوالي ٦٠ بالمائة من موصلية النحاس النقي ، على هذا فان مساحة المقطع لموصل من الالمنيوم تكون حوالي ١.٦٦ مساحة مقطع لموصل من النحاس اذا كانت المقاومة لوحدة الطول متساوية للموصلين . ان قوة الشد لموصل الالمنيوم هي $\left(\frac{2}{3}\right)$ قوة الشد لموصل مناظر له مصنوع من النحاس النقي وذلك اذا اخذنا بنظر الاعتبار ان قطر موصل الالمنيوم اكبر من قطر موصل النحاس المناظر له . ولذلك فان موصلات الالمنيوم تكون صالحة للاستعمال في خطوط التوزيع ذات الجهد الواطئ والتي يكون طول الباع فيها قليلا .

من الناحية الاقتصادية يمكن استعمال الالمنيوم بدلا من النحاس في خطوط نقل القدرة ذات التيار العالي اذا كان التوفير في ثمن الموصلات يفوق الزيادة في المبلغ المصروف على المساند الاضافية التي نحتاج اليها في حالة استعمال موصلات الالمنيوم .

ان القطر الكبير لموصلات الالمنيوم يؤدي الى زيادة القوة العرضية التي تسلطها الرياح على الاسلاك والى زيادة القوة الناتجة عن تراكم الثلوج على الموصل ،

ولكن هذا القطر الكبير يؤدي في نفس الوقت الى تقليل القدرة الضائعة الناتجة عن حدوث الهالة .

وفي الاجواء الطبيعية تتكون على سطح موصل الالمنيوم طبقة رقيقة من اوكسيد الالمنيوم مما يكسب الموصل مقاومة عالية للتأكل كما ان طبقة الاوكسيد هذه تشكل حماية للموصل ضد الحرارة .

• نذكر فيما يلي بعض خواص الالمنيوم الصلد المسحوب (hard – draw Aluminium) .

(أ) الكثافة (density) هي:

$2703\ Kg / m^3 = 26516\ Newton / m^3$

(ب) المقاومة النوعية هي :-

$2.862 \times 10^{-8}\ ohm - m$

اى ان موصليته هي حوالي ٦١,١ بالمائة .

(ج) قوة الشد هي :-

$16 - 20\ Kg / mm^2$
$= 157 - 196\ Newton / mm^2$

وهي تعتمد على نقاوة الالمنيوم.

(د) معامل يونغ Young's هو :-

$F = 5400 - 6750\ Kg / mm^2$
$= 52974 - 66278\ Newton / mm^2$

(ذ) معامل التمدد الطولي هو :-

$23 \times 10^{-6}\ per\ C^{o}$

١-٣-٢ الالمنيوم الفولاذي القلب (او الالمنيوم المسلح بالفولاذ)

(Steel – cored Aluminum)

ويرمز له بالرمز S.C.A او بالرمز ACSR ويتكون من طبقة مركزية من الفولاذ المغلون مكونة من سلك واحد او من عدة اسلاك مجدولة ويحيط بهذه الطبقة المركزية طبقة واحدة او اكثر من اسلاك الالمنيوم المجدولة ، حيث تعطي طبقة الفولاذ القوة الميكانيكية اللازمة بينما تعطي اسلاك الالمنيوم الموصلية للازمة . ويتكون ابسط انواع مواصلات الالمنيوم الفولاذية القلب من سلك فولاذي واحد محاط بستة اسلاك مجدولة من الالمنيوم ، ومن اكثر انواع هذه الموصلات استعمالا الموصل المؤلف من ٣٧ سلكا حيث تكون سبعة من هذه الاسلاك الطبقة المركزية المصنوعة من الفولاذ ويحيط بهذه الطبقة المركزية طبقتان من اسلاك الالمنيوم المجدولة وتتكون الطبقة الكبقة المحيطة بالطبقة المركزية مباشرة من ١٢ سلك من الالمنيوم بينما تتكون الطبقة الثانية من ١٨ سلك من الالمنيوم ، وفي نوع اخر من هذه الموصلات يتكون الموصل من ٦١ سلكا حيث تتكون الطبقة المركزية من ٧ اسلاك مجدولة من الفولاذ تحيطها ثلاث طبقات من اسلاك الالمنيوم المجدولة تتكون على التوالي من ١٢ ، ١٨ ، ٢٤ سلكا وليس هناك مجال تعداد كافة انواع موصلات الالمنيوم الفولاذي القلب ولكن تجدر الاشارة هنا الى ان الموصلات تصنع بنسب مختلفة من الالمنيوم والفولاذ حسب متطلبات الموصلية وقوة الشد .

ان موصلية موصل الالمنيوم الفولاذي القلب تعتبر في العادة مساوية لموصلية الالمنيوم وحده وتهمل موصلية الفولاذ بينما تعتبر قوة الشد على اساس انها مساوية الى ٨٥ بالمائة من قوة شد اسلاك الفولاذ مضافا لها ٩٨ بالمائة من قوة شد اسلاك الالمنيوم .

٪٩٨ ٪٨٥

اذا قارنا بين موصلين متساويين في الطول والمقاومة احدهما مصنوع من النحاس والثاني من الالمنيوم الفولاذي القلب ارخص من النحاس وانه اخف وزنا من النحاس بمقدار ٢٠ بالمائة واقوى بمقدار ٥٠ بالمائة وان ارتخائه اقل كثيرا من النحاس وبذلك يمكننا استخدام مساند اقصر من تلك المستخدمة مع موصلات النحاس او استعمال اطوال باع اكبر من تلك المستعملة مع النحاس اذا كانت

اطـــوال المساند المستعملة في كلتا الحالتين متساوية من الناحية الاقتصادية ، ينتج عـــن زيـــادة طول الباع توفير مبالغ اكثر من تلك التي تتوفر نتيجة تقليل اطوال المســـاند وذلك لان استعمال المساند في كلتا الحالتين يمكننا من زيادة طول الباع بحوالـــي ٣٨ بالمائة في حالة موصل الالمنيوم الفولاذي القلب دون تقليل المسافة العمودية بين الارض واوطئ نقطة في الموصل . وبهذه الطريقة يمكن تقليل عدد المســـاند المســـتعملة مع موصل الالمنيوم الفولاذي القلـــب الى حوالي ٧٣ بالمائة (أي $\frac{100}{1.38}$) مـــن تلك المستعملة مع موصلات النحاس لنفس المسافة من خط النقل وهذا يؤدي بالتالي الى تقليل عدد العوازل المطلوبة ان كلفة المساند المستعملة مع موصلات الالمنيوم الفولاذية القلب اعلى من كلفة المساند المستعملة مع موصلات النحاس لان زيادة طول الباع في حالة موصلات الالمنيوم الفولاذية القلب تسبب زيادة في الحمل الميكانيكي ولكن التوفير الناتج عن قلة عدد المساند المستعملة مع طول معين لخط النقل يطغى على هذه الزيادة .

ان تقلـــيل عـــدد المساند يؤدي الى تحسين اداء خط النقل لان اكثر انواع العطل التي تصيب خط النقل تحصل في المساند نتيجة لتلف العوازل او التلوث او الشرارات الكهربائية .....الخ

بمـــا ان قطـــر موصلات الالمنيوم الفولاذية القلب اكبر من قطر موصلات النحاس المكافـــئة فـــان القدرة الضائعة نتيجة لحدوث الهالة تكون اقل في حالة موصـــلات الالمنـــيوم الفولاذية القلب وتستعمل موصلات الالمنيوم فولاذية القلب لخطـــوط نقل القدرة ذات الجهود المختلفة وخاصة خطوط الجهد العالي من ١٣٢ كيلوفولـــت فمـــا فاكـــثر ، كما انها تستعمل في خطوط الجهد الواطئ لغاية ٦,٦ كيلوفولتات .

4-4 الفولاذ المغلون Galvanized steel

تستعمل موصلات الفولاذ المغلون عندما يكون طول الباع كبيرا جدا بحيث لا يمكـــن استعمال موصلات نحاس ذات قطر ملائم من الناحية الاقتصادية اذ ان هـــذا القطـــر سيكون صغيرا بحيث يكون موصل النحاس ضعيفا ميكانيكيا ، كما

تستعمل هذه الموصلات كاسلاك تأريض في بعض خطوط النقل المعلقة ، كما تستعمل هذه الموصلات كاسلاك تاريض في بعض خطوط النقل المعلقة ، وتستعمل كذلك في خطوط التوزيع في المناطق الريفية . ان الكلفة الاولية لهذه الموصلات اقل كثيرا من الكلفة الاولية لاي نوع اخر من الموصلات غير ان موصليتها واطئة كما ان المفاعلة الحثية (inductive reactance) عالية مما يؤدي الى حدوث هبوط جهد كبير .

الفصل الثالث

مساند(أو مرتكزات) خطوط النقل المعلقة

Over head line supports

تحمل خطوط النقل المعلقة على مساند (مرتكزات) تختلف من حيث التركيب ومن حيث المواد التي تصنع منها . وتشمل المواد التي تصنع منها المرتكزات الخشب والفولاذ والخرسان المسبقة الأجهاد ، ويعتمد التصميم الميكانيكي لخطوط النقل المعلقة الى حد ما على كون مسند الخط ثابتا تماما قابلا للانحناء البسيط باتجاه موصلات الخط وتقع الأعمدة الخشبية وبعض أنواع الأعمدة الفولاذية الضيقة القاعدة ضمن أنواع المساند القابلة للانحناء البسيط .

لقد جرت العادة عند تصميم المساند القابلة للانحناء البسيط أن تكون القوة العمودية التي تسلطها الرياح على موصلات الخط وعلى المسند هي القوة الوحيدة التي نأخذها بنظر الاعتبار . أن قوى السحب التي تسلطها الموصلات على جانبي المسند تكون متوازنة مع بعضها البعض في الأحوال الاعتيادية ،ولكن عند حدوث قطع أو كسر في موصل أو اكثر على أحد جانبي المسند تكون قوى السحب على الجانبين غير متوازنة وفي هذه الحاله تكون قوة سحب الموصلات للمسند بأتجاه الموصلات السليمة أعلى كثيرا من القوة العمودية التي تسلطها الرياح ألا ان هذه القوة سرعان ما يختفي تأثيرها في حالة المساند القابلة للأنحناء البسيط لأن المساند التي نربط بها الموصلات المكسورة مباشرة ستنحني بالاتجاه المعاكس لجهة ربط الموصلات المكسورة كما سينحني إلى حد أقل المسندان الثاني والثالث في الجهتين وهذا يقلل بالتالي قوة الشد المسلطة على الأجزاء المجاورة للمنطقة التي حصل فيها الكسر .

سنحاول فيما يلي إعطاء فكرة عن بعض أنواع المساند المستعملة في خطوط النقل المعلقة تبعا لنوع المادة التي تصنع فيها .

3-1

1-2 الأعمدة الخشبية

Wood poles

تكون الأعمدة الخشبية عادة صالحة للاستعمال في خطوط الجهد الواطئ لغاية جهد 33 كيلو فولتا وعندما يكون طول الباع اقل من 100 متر ، ويمكن استخدامها بصورة خاصة في المناطق الريفية.

ان الكلفة الأولية للأعمدة الخشبية اقل كثيرا من الكلفة الأولية للأعمدة الفولاذية او اعمدة الخرسانة المسلحة ولأطالة عمر الأعمدة الخشبية ومنعها من التلف أو التعفن يجب معالجتها معالجة خاصة بواسطة أشباعها بمادة **الكريوزوت**

3-1-1 الكريوزوت

يحصل على كريوزوت من تقطير القطران.

ومن انواع الأخشاب المستعملة في صناعة الأعمدة الخشبية أشجار الصنوبر والكستناء والسدر .

وليس من الممكن التنبؤ مقدما بمقدار العمر الذي ستستمر فية هذه الأعمدة صالحة للاستعمال لان ذلك يعتمد على الموقع الذي تستعمل فية وعلى طريقة معالجتها قبل نصبها ولكن يمكننا القول أن متوسط عمر الأعمدة الخشبية المعالجة هو حوالي عشر سنوات ،قد يكون الأفضل اقتصاديا استعمال الأعمدة الخشبية بدلا من الفولاذ لخطوط الجهد العالي .

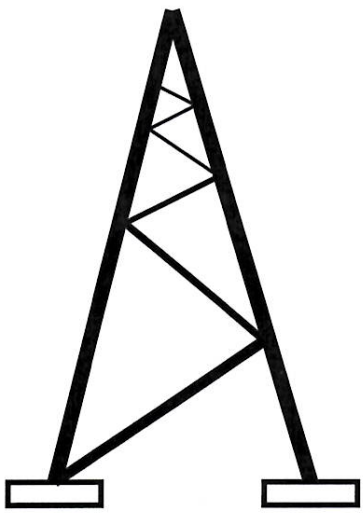
ان ابسط انواع الأعمدة الخشبية يتكون من قطعة واحدة ولكن هذا النوع نادر الاستعمال ومن الأفضل استعمال أعمدة على شكل A أو H لأن ذلك يكسبها متانة ميكانيكية كبيرة . وفي جميع أنواع الأعمدة الخشبية يجب وقاية قمة العمود من تأثيرات الشمس والأمطار وذلك بواسطة غطاء من الحديد المغلون ويجب ربط هذا الغطاء بسلك تأريض، من الاعتراضات الرئيسية ضد استعمال الأعمدة

الخشـــبية هو تعريضها لمخاطر اشتعال النيران فيها وتعرضها للتعفن والتلف عند مستوى الأرض.

3-2 الأعمدة الفولاذية

Steel poles

تستعمل الأعمدة الفولاذية للخطوط توزيع القدرة ذات الفولتيات الواطئة والمتوسطة . ويوفر استخدام الأعمدة الفولاذية أطوال باع أكبر بين الأعمدة ومن مساوئها انها يجـــب أن تكـــون أما مغلونة أو تطلى بصورة مستمرة لمنعها من التأكسد والتأكل .وتكـــون هـــذه الأعمدة (الأعمدة الفولاذية) أسطوانية الشكل حيث تتألف من عدة أسطوانات متحدة المركز متدرجة القطر أو على شكـــل هيكلـــي كما مبين الشكل (3-1)



شكل(3-1) العمود الفولاذي الهيكلي
(كونكريت)

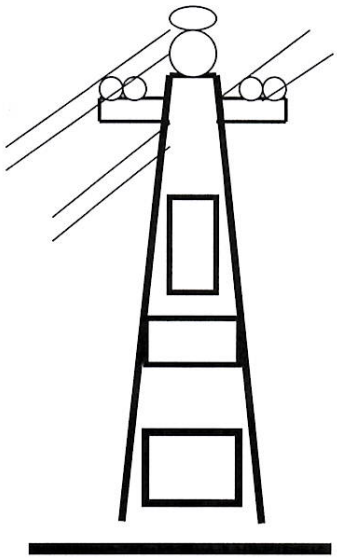
عندما يكون طول الباع أكثرمن(100) متر يكون من الأفضل في العادة أستعمال أعمدة ذات متانة ميكانيكية أعلى من متانة الأعمدة الخشبية .اذا كان جهد خط النقل لايتجاوز(66) كيلو فولتا وسعته حوالي(20) ميكا فولت – امبير فتستعمل عند ذلك الأعمدة الفولاذية ذات التركيب المتشابك(lattice steel poles) .

ويجب تثبيت هذة الاعمدة با ساس من الخرسانة على أن يكون جزء من هذا الأساس فوق سطح الارض علىارتفاع لايقل عن(15) سنتيمترا ، اذا كان العمود الفولاذي مغلونا بطريقة متقنة فأن عمرة سوف لايقل عن(30) عاما ويمكن أطالة عمرة الى أمد طويل أذا صبغ على فترات منتظمة في حالة فشل الغلونة بعد مرور زمن طويل عليها ويتم الصبغ عادة بعد تنظيف سطح العمد جيدا.

3-3 أعمدة الخرسانة المسلحة(الأعمدة الكونكريتية)

Reinforced-Concrete Poles

تستعمل الأعمدة الكونكريتية كبديل للأعمدة الخشبية حيث توفر قوة تحمل للشد أكثر حيث أن هذة الأعمدة الكونكريتية مسلحة بقضبان فولاذية وهذه الأعمدة لا تحتاج الى ادامة ولها عمر أطول من الأعمدة الخشبية . من عيوب هذه الأعمدة ثقلها الذي يسبب مشاكل في عملية النقل والتحميل والتفريغ وقد يؤدي الى التلف اثناء هذه العمليات . للتقليل من وزن الأعمدة الكونكريتية المسلحة تستخدم أعمدة ذات فراغات كما في الشكل ادناه (2-2).



الشكل(2-3) عمود كونكريت مسلح

3-4الابراج المعدنية Steel Towers

في حالة خطوط النقل الثقيلة الوزن والتي تعمل بجهد عالي يكون من الضروري استعمال الابراج المعدنيةذات القاعدة العريضة كمسند لحمل الخط كالأبراج الفولاذية (steel Towers) وقد يستخدم الألمنيوم في بعض الأحيان في صناعة هذه الابراج. يتكون كل عامود من تركيب شبكي ذي اربع سيقان وتربط أتصالاته بواسطة مسامير باساسات منفصلة لكل ساق .تمتاز الأبراج المعدنية وخاصة الفولاذية بعمرها الطويل الذي قد يمتد الى اجل غير محدود في حالة بعض الأدامة.

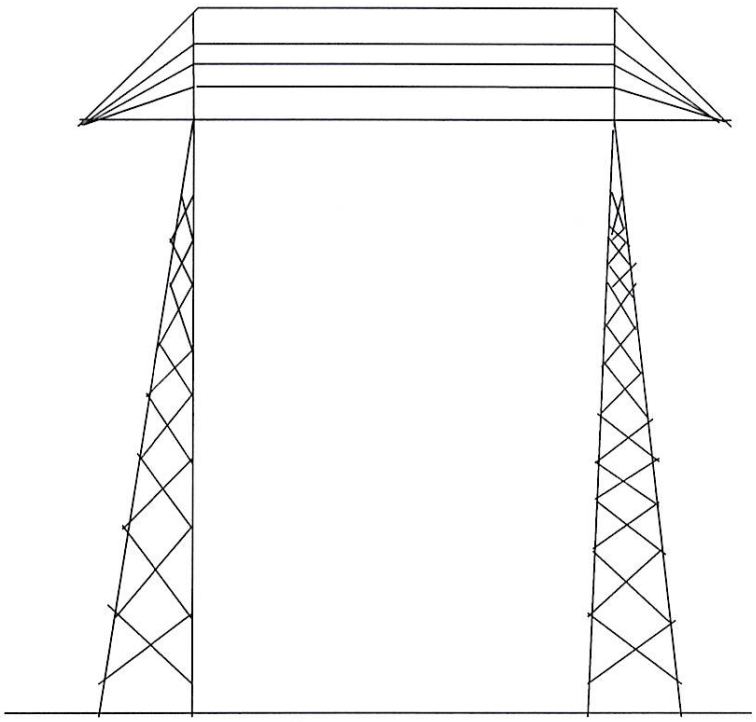
أن التركيب المتين لهذة الأبراج يمكنها أن تحمل اقسى الضروف المناخية ويجعلها غير قابلة للتحطيم بسهولة ونتيجة لأمكان أستعمال أطوال باع كبيرة فأن خطر انقطاع الطاقة الكهربائية بسبب فشل العوازل سيكون قليلا ،كما أن اضرار الصواعق ستقل أيضا لأن البرج سيكون بمثابة مانعة صواعق .

ويمكننا ان نذكر أنواع الأبراج تبعا لوضيفتها وهذه الأنواع هي :

١. ابراج التعليق التي تستخدم لحمل موصلات خط النقل في مسار مستقيم .
٢. ابراج التعليق الزاوية التي تستخدم لحمل موصلات خط النقل عندما ينحرف مسار الخط عن المسار المستقيم بزاوية في حدود (٢٠) درجة .
٣. الأبراج الزاوية التي تصمم بصورة تمكنها من تحمل مجموع الشد الكلي للموصلات .
٤. أبراج النهاية التي تصمم بصورة تمكنها من تحمل المجموع الكلي لشد الموصلات في أتجاه واحد .
٥. أبراج التوزيع .
٦. أبراج العبور التي تستخدم عن عبور الخط للأنهار أو السكك الحديدية

ان الجدير بالذكر فأن حوالي 80 بالمئة من مجموع أبراج الخط هي أبراج تعليق ونظرا لكون أبراج النهاية والأبراج الزاوية اثقل وزنا وأعلى ثمنا فأن عددها يجب أن يكون قليلا بقدر المستطاع .

وهنالك أنواع أخرى مثلاً على ذلك الأبراج ذات الأسلاك الساندة وهي برج من نوع V وبرج اخر والذي يسمى من نوع بروتل (Portal) حيث عندما يكون مستوى نقل القدرة عال فأن كل طور من اطوار خطوط نقل القدرة المحمولة على الأبراج قد تتألف من أكثر من موصل واحد وتسمى حينذاك بالخطوط الحزمية أو الموصلات الحزمية وتحوي هذه الحزم على أكثر من موصلين او ثلاثة او اربعة كما في الشكل (3-3) .



الشكل (3-3) الموصلات الحزمية

3-5 طرق ترتيب الموصلات وتعين الأبعاد بينها

Arrangement And Spacing of Conductors

وقد استعملت طريقة ترتيب موصلات خط النقل على الأعمدة أو الأبراج بحيث تقع مراكزها على رؤوس مثلث متساوي الأضلاع في حالة خطوط النقل ذات الجهد الواطئ ولغاية (130) كيلو فولت أذا خطوط النقل احادية الدائرة (Single-Circuit Line) وفي هذه الطريقة تكون محاثات ومتسعات الأطوار الثلاثة للخط متساوية وبذلك تنتفي الحاجة الى تبادل المواقع بين الصلات وفيما

عـــدا ذلك لا توجد في الظاهر اي ميزة اخرى لهذه الطريقة ،وفي اغلب الحالات وخاصـــة في خطوط النقل التي يزيد الجهد فيها عن (132) كيلو فولت ،تستعمل طـــريقة ترتيب الموصلات بحيث تقع مراكزها على خط مستقيم افقي أو عمودي وذلك لأعتبارات ميكانيكية وبصورة عامة يستعمل ترتيب الافقي في حاله الخطوط الاحادية الدائرة بينما يستعمل الترتيب العمودي في حالة الخطوط الثنائية الدائرة .

وعـــند استعمال طريقة الترتيب الأفقي أو العمودي يجري في العادة تبادل المواقع بيـــن الموصلات على مسافات منتظمة للحصول على محاثات ومتسعات متساوية للأطـــوار الثلاثة في الخط ،وكذلك لمنع التداخل اللاسلكي مع خطوط الموصلات المجاورة لخطوط نقل القدرة الكهربائية .

أن تحديـــد الأبعاد بين الموصلات خط نقل القدرة الكهربائية يعتمد على أعتبارات كهربائية وأخرى ميكانيكية ،أن زيادة الأبعاد بين موصلات الخط يؤدي الى زيادة المحاثة وبالتالي الى زيادة هبوط الجهد الناتج عن سريان تيار معين في الخط .

في الناحية الكهربائية اذن يجب أن تكون موصلات الخط على أقرب ما يمكن من بعضها بعضا لكي يكون مقدار هبوط الجهد ضمن الحدود المقبولة على أن تكون الأبعـــاد بيـــن الموصلات ضمن القيم التي لاتؤدي الى الحدوث الهالة في ظروف العمل الأعتيادية للخط .

في الحالات لا يكون فيها حدوث الهالة عاملا متحكما في تحديد مقدار الأبعاد بين الموصـــلات ،تتحدد القيم الدنيا لهذه الابعاد بضرورة منع تأرجح الموصلات سويه بتأثـــير الرياح. وتـــتأرجح موصلات خط النقل في العادة بصورة متزامنة الا اذا كـــان طـــول الباع كبيرا فعندئذ هنلك احتمال لحدوث تأرجح غير متزامن وعندئذ يجـــب ان تزداد الأبعاد بين موصلات الخط لكي لا تتلامس الموصلات فيما بينها اثناء التأرجح. . .

ويتضـــح مما تقدم أن تحديد الأبعاد بين موصلات الخط يعتد على قيمة جهد الخط من جهة وعلى طول الباع من جهة اخرى غير انه لايمكن اعطاء علاقة رياضية مضـــبوطة لتحديد هذة الأبعاد ولكن هنالك عدد من العلاقات المستنتجة عمليا ادت الـــى بـــنتائج مرضية عند تطبيقها الا انه لايوجد ما يشير الى ان الابعاد المحسوبة باســـتخدام هـــذة العلاقات تختلف عن تلك التي تعطيها اي علاقة أخرى وفيما يلي نعطـــي بعض العلاقات للحساب البعد بين موصلات خط النقل وفي هذة العلاقات تمثل d الارتخاء(Sag) بالأمتار وتمثل V جهد الخط بالكيلو فولت ،كما تمثل S البعد بين اي موصلين من موصلات خط النقل بأمتار ...

(أ) تعطى العلاقات التالية :-

$$S = 0.75\sqrt{d} + V^2 / 20000$$

(ب) تعطى المواصفات الالمانية العلاقتين التاليتين ، حيث تمثل d الأرتخاء بالأمتار بدرجة حرارة 40 مئوية ، بالنسبة لموصلات الألمنيوم وسبائكة .

$$S = \sqrt{d} + v / 150$$

بالنسبة للموصلات المصنوعة من المواد الأخرى

$$S = 0.75\sqrt{d} + v / 150$$

3-6 طول الباع

Span length

إذا ازداد طول الباع فأن الأرتخاء يزداد تبعا لذلك وهذا يتطلب زيادة في أرتفاع الأبراج والاعمدة وزيادة الأبعاد بين موصلات خط النقل .أن زيادة أرتفاع الابراج

زيادة

والأعمدة يؤدي الى زيادة وزنها وتكاليفها ولكن في نفس الوقت تؤدي زيادة طول الباع الى تقليل عدد الأبراج أو الأعمدة وعدد العوازل المستعلمة لطول معين من الخط وهذا يؤدي بالتالي الى تقيل تكاليف النصب . ويمكن القول بصورة عامة أنه كلما ازداد جهد خط النقل كلما أزداد طول الباع الذي يؤدي الى نتائج أفضل من الناحية الاقتصادية .وذلك لأن تكاليف العوازل المستعملة مع خطوط الجهد العالي تكون عالية جدا في العادة.

من الواضح أن هنالك ،في كل حالة ،طول باع معين يؤدي الى أن تكون التكاليف الكلية للخط أقل ما يمكن من الناحية الاقتصادية غير أن الطريقة الوحيدة لتعين هذة القيمة لطول الباع هي رسم منحني الكلفة الكلية للأطوال المختلفة وكذلك حساب الكلفة الكلية لكل كيلو متر من الخط باستخدام قيم مختلفة لطول الباع وعندئذ يمكن ان نستنتج من ان هذا المنحني قيمة طول الباع التي تؤدي الى اقل التكاليف .

من الملاحظة انه اذا كانت مساحة مقطع موصلات خط النقل صغيرة فأن طول الباع يجب ان يكون قليلا وذلك لأعتبارات ميكانيكية ولهذا السبب أذا كانت مساحة الموصل المناسبة من الناحية الكهربائية صغيرة فأننا في أغلب الاحيان نتمكن من تقليل الكلفة الكلية للخط بأستعمال موصلات ذات مساحة مقطع اكبر .

وهذا يؤدي الى ان تكون موصلات الخط أقوى ميكانيكيا وبالتالي يمكننا من زيادة طول الباع وتقليل عدد الابراج أو اللاعمدة الامستعملة لطول معين من الخط .

في حالة خطوط النقل الطويلة التي تستخدم موصلات الألمنيوم ذات القلب الفولاذي والأبراج الفولاذي يتراوح طول الباع بين 250 متر و500 متر وقد يكون من المفضل أستعمال طول باع أكبر لتقليل عدد الأبراج والعوازل المستعملة وبالتالي تقليل التكاليف .

في الحالات التي يعبر فيها الخط نهرا أستعمل طول باع كبير قد يصل في بعض الأحيان الى 2000 متر وفي هذه الحالات تكون موصلات خط النقل مصنوعة من الألمنيوم الفولاذي القلب أو النحاس والفولاذ أو من الفولاذ المغلون .

حساب

عند الحساب الطول الأمثل للباع (أي طول الباع الذي يعطي أقل التكاليف) يجب ملاحظة أن لا تقل المسافة العمودية بين أوطأ نقطة في أي موصل من الموصلات الخط وبين الأرض (أي ما يسمى بالخلوص عن الأرض Clearance to ground)

عن القيم المدرجة في الجدول التالي وذلك ضمانا للسلامة العامة :-

جهد خط النقل (كيلو فولت)	الخلوص عن الأرض (متر) في درجة حرارة 50 مئوية
بين (66 و 110)	6
بين (110 و 165)	6.5
بين (165 و 220)	7
400	7.5
500	8

عنوان الفصل الرابع

الفصل الرابع نقل الطاقة

الحسابات الميكانيكية لخطوط النقل المعلقة

اخيرورقة في البحث

ملخص البحث

~~4-1 تمهيد~~

من الناحية الميكانيكية يجب تصميم خط النقل المعلق بحيث يتمكن من تحمل اسوأ الظروف المتوقعة وليس اسوأ الظروف الممكنة وذلك لان تصميم خط النقل المعلق بحيث يتحمل اسوأ الظروف الميكانيكية الممكنة قد لا يمكن تبريره من الناحية الاقتصادية فمثلا ليس من المعقول تصميم خط نقل معلق بحيث يتحمل اعصارا شديدا لان تكاليف مثل هذا الخط ستكون باهظة جدا بحيث يمكن تبرير احتمال فشل الخط في حالة تعرضه لمثل هذه الظروف الشديدة القسوة .

ان اقل الاحوال الجوية وطأة على خط النقل المعلق هي الاحوال التي يكون فيها الهواء ساكنا ودرجة الحرارة عالية . اذ في حالة سكون الهواء تكون القوة الوحيدة المؤثرة على موصل خط النقل هي القوة الناتجة عن وزن الموصل . كما ان درجة الحرارة العالية تسبب ارتخاء (Sag) في الموصل يؤدي الى ان يكون التوتر واطئا .

ان اشد الأحوال الجوية وطأة على الخط فهي الحالة التي تكون فيها درجة الحرارة منخفضة ومصحوبة بطبقة ثلجية او جليدية تغلف موصلات الخط . اذ ان درجة الحرارة المنخفضة تقلل ارتخاء الموصل وهذا يزيد من توتره . كما ان الطبقة الثلجية او الجليدية تزيد وزن وحدة الطول في الموصل وفي نفس الوقت تسبب زيادة القوة التي تسلطها الرياح على الموصلات .

عند تصميم خط النقل المعلق يجب تنظيم التوتر بحيث يكون الجهد الميكانيكي على كل موصل ضمن الحدود الامينة ولا يتعداها مطلقا على ان ناخذ بنظر الاعتبار تاثيرات الرياح والثلوج وتغيرات درجة الحرارة.

لتقليل ارتخاء الموصل لطول باع معين يجب تسليط توتر افقي على الموصلات في نقاط الارتكاز ويتم ذلك بالسماح لسلسلة العوازل او للباع المجاور بتزويد هذا التوتر .

ذكرنا سابقا ان الباع هو المسافة الافقية بين مسندين متتاليين حيث يكون الموصل في هذه المسافة معلقا بحرية وياخذ عادة شكل منحني السلسلة (catenary) ولكن اذا كان الباع قصيرا والارتخاء قليلا فان شكل الموصل في هذه الحالة يقترب من القطع المكافئ (parabola) .

4-1 حسابات الارتخاء والجهد الميكانيكي

Sag and stress calculation

4-2-1 طريقة القطع المكافئ

وتستعمل لغاية طول باع ٤٠٠ متر

4-2-1-1عندما تكون نقطتا الارتكاز في نفس المستوى

يمثل الشكل (4-1) جزءا من خط نقل معلق يرتكز على نقطتين (A و B) في نفس المستوى الافقي . سنفترض ان خط النقل تام المرونة (Perfect Flexible) ويرتخي بتاثير وزنه ونتيجة لذلك يتدلى الى اسفل المستوى الافقيAB.

ان لم يكن الباع طويلا والارتخاء كبيراً فمن الممكن الافتراض ان كل موصل من موصلات الخط سيلخذ شكل قطع مكافئ معادلته

$$y = ax^2 \quad \text{.....(4-1)}$$

حيث تكون قيمة a ثابته

ان اوطى نقطة في الباع تعتبر عادة مركزا للاحداث Origional وتمثلها نقطة O في الشكل (4-1a) لنفرض ان :-

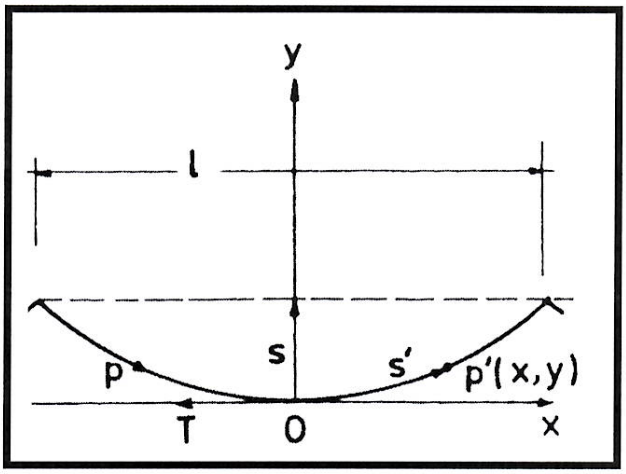
طول الباع ١ متراً .

الارتخاء عند منصف الباع = S متراً.

عندما تكون نقطتا الارتكاز في نفس المستوى الافقي فان نقطة O التي تمثل مركز الاحداثيات ستكون في منتصف الباع وفي هذه الحالة تكون :-

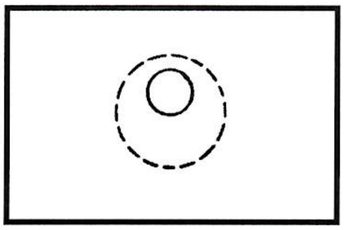
$$y = S$$

غير واضحة الطباعة $x = \frac{1}{2}$



شكل رقم (4-1) جزء من خط نقل معلق

طول القوس $2S' = S = POP'$



شكل رقم (4-2) موصل مغطى بطبقة ثلجية

وبتعويض هذه القيم في المعادلة (4-1) نجد ان

$$S = a(\frac{1}{2})^2$$

وبذلك نجد ان قيمة الثابت a هي :-

$$a = \frac{4S}{J^2} \quad \text{.......................................(4-2)}$$

وبذلك تصبح المعادلة (4-1):-

$$y = 4S(\frac{X}{l}) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (4\text{-}3)$$

ولنفرض الآن ان :-

(أ). التوتر في النقطة Q = T وسنعتبره ثابتا على طول الباع.

(ب). وزن الموصل = W نيوتن لكل متر طول

(ج). ان الموصل ذو وضع افقي تقريبا .

لنتزس الآن توازن نصف الخط المتمثل بالجزء (OA) اذا افترضنا ان الموصل ذو وضع افقي تقريبا واخذنا العزوم (moments) حول النقطة A نجد ان :-

$$TS = (\frac{W_1}{2})\frac{1}{4}$$

حيث افترضنا ان وزن OA يؤثر في منتصفه وبذلك نجد ان :-

$$S = (\frac{Wl^2}{8T})$$

وتصبح المعادلة (4-3)

$$y = 4(\frac{Wl^2}{8T})(\frac{X}{l})^2$$

او ان

$$y = \frac{WX^2}{2T} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (4\text{-}4)$$

قيمة الثابت a هي

$$a = \frac{W}{2T} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (4\text{-}5)$$

تسمى المسافة العمودية بين الأرض واقرب نقطة في الخط بالخلوص Clearance. تتطلب التعليمات الخاصة بنصب خطوط النقل ان لا يقل الخلوص عن حد معين فاذا اضيفت قيمة الارتخاء الى قيمة الخلوص يمكن معرفة ارتفاع نقاط ارتكاز العوازل التي تمثلها النقطتان A و B في الشكل (4-1a) وتنص هذه التعليمات كذلك على وجوب حساب قيمة الارتخاء تحت اسوأ الظروف الجوية المحددة والتي تختلف من قطر الى اخر والتي تشمل :-

أ- درجة الحرارة الصغرى .

ب- سمك الطبقة الثلجية التي قد تغطي الموصل والوزن الاضافي الذي قد تسببه هذه الطبقة .

ج- سرعة الرياح .

د- القيمة العظمى للتوتر (والتي يجب ان لا تزيد على نصف توتر الكسر) (Breaking Teansion) .

ه- الضغط المسلط على مساحة مقطع الموصل الطولي.

ان عملية نصب خط النقل لا تتم عادة تحت اسوأ الظروف التي تحددها التعليمات ومع ذلك يجب الالتزام بالتعليمات واخذها بنظر الاعتبار وسنأتي على تفصيل ذلك فيما بعد .

تاثير الثلج

عندما تهبط درجة الحرارة الى اقل من الصفر المئوي فان ذلك قد يؤدي الى تكون طبقة ثلجية تحيط بموصلات الخط وبصورة خاصة في المناطق الجبلية. وهذا يؤدي الى زيادة الوزن .

ان البيئة التي ياخذها الموصل المغطى بطبقة ثلجية تكون كما في الشكل (4-2) ولكن لتسهيل الحسابات سنفترض ان الطبقة الثلجية تحيط بالموصل بصورة منتظمة كما في الشكل (4-3) ولنفترض ان :-

قطر الموصل = d متراً

سمك الطبقة الثلجية = t متراً

اذن القطر الكلي للموصل المغطى بالثلج

$= (d + 2t)$ مترا

اذن حجم الثلج (بالامتار المكعبة) الذي يغطي مترا واحدا من طول الموصل هو

$$\frac{\pi}{4}(d+2t)^2 - \frac{\pi}{4}d^2 = \pi t(d+t)$$

ان وزن المتر المكعب من الثلج هو 9400 نيوتن

اذن وزن الطبقة الثلجية التي تغطي مترا واحدا من طول الموصل هو

$$W_i = \pi t(d+t)X9400$$

اذن $W_i = 2.95\times10^4 t(d+t)$ N/m .....(4-6)

تاثير الرياح Effect Of Wind

من المعتاد اخذ تاثير الرياح بنظر الاعتبار بفرضها تسلط قوة افقية منتظمة على الموصل كما في الشكل (4-4) .

لنفرض ان الضغط الذي تسلطه الرياح هو p نيوتن لكل متر مربع من مساحة المقطع الطولي المغطى بطبقة ثلجية وبذلك تكون القوة التي تسلطها الرياح على متر واحد من طول الموصل هي :

$$W_w = p(d+2t)N.m$$

من الممكن اضافة تاثير الثلج والرياح الى وزن الموصل كما موضح في الشكل (4-5) وفي هذه الحالة تكون محصلة القوة المؤثرة على وحدة الطول من الموصل وهي :-

$$F = \sqrt{(W_w)^2 + (W + ...W_j)^2} \quad \text{N/m}.....(4-7)$$

نتيجة لتاثير الثلج و الرياح فان الموصل سينحرف بزاوية مقدارها θ عن المستوى العمودي أي ان محصلة القوى F ستعمـــل الزاوية θ مع المركبة العـــمودية $(W + W_i)$ أي ان :-

$$\theta = \tan^{-1} \frac{W_w}{W + W_i} \quad \text{.....(4-8)}$$

اذا اجريت جميع القياسات على المستوى الجديد (والذي يعمل زاوية θ مع السطح العمـــودي) فيمكـــن عندئذ اخذ تاثير الثلج و الرياح بنظر الاعتبار باستبدال W في المعادلات السابقة بمحصلة القوى F حيث يصبح الارتخاء في المستوى الجديد :-

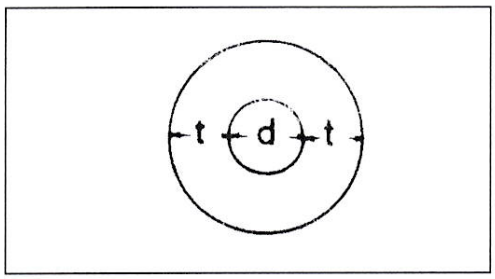
$$S = \frac{Fl^2}{8T}$$

ه مركبته في المستوى العمودي هي $S\cos\theta$ كما تصبح المعادلتان (4-2) و (2-5) على التوالي كما يلي :-

$$y = \frac{FX^2}{8T} \quad \text{.....(4-4a)}$$

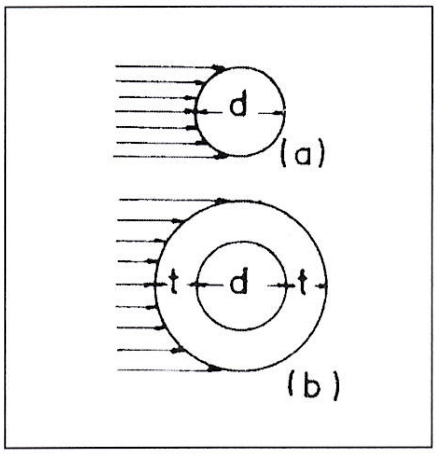
$$a = \frac{F}{2T} \quad \text{.....(4-5a)}$$

مـــن الضـــروري الان ايجـــاد صيغة للطـــول الحقيقي لنصف الخط (S' كما في الشكل 4-1) على فرض ان الخط سياخذ شكل القطع المكافئ .

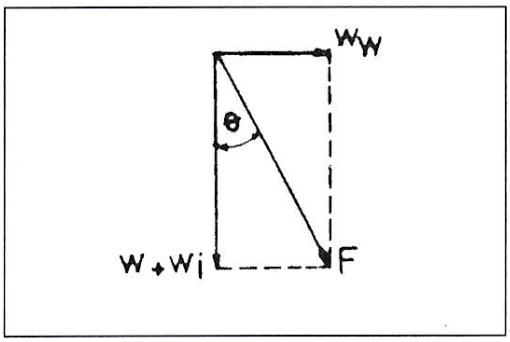


شكل رقم (4-3) الشكل المفترض للطبقة الثلجية

شكل رقم (3 - 4)



شكل رقم (4 - 4)



شكل رقم (5 - 4)

لناخذ مثلثا صغيرا قائم الزاوية على القطع المكافئ $x^2 = 4ay$

$$(dS')^2 = (dx)^2 + (dy)^2$$

$$\left(\frac{dS'}{dx}\right)^2 = 1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2$$

$$\frac{dy}{dX} = 2aX$$

$$(\frac{dS'}{dX})^2 = 1 + 4a^2X^2$$

$$dS = (\sqrt{1 + 4a^2X^2})dX$$

وبما ان

$$a = \frac{4S}{l^2}$$

صغيرة جدا فان

$$dS' = (1 + 4a^2X^2)$$

$$S'_x = X + \frac{2a^2X^3}{3} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (4\text{-}9)$$

حيث تمثل S'_x المسافة المقوسة بين مركز الاحداثيات O والنقطة ذات الاحداثي الافقي X والاحداثي العمودي Y.

عند نقطة الارتكاز A تكون

$$X = \frac{1}{2}$$

وبتعويض هذه القيمة في المعادلة (4-9) نجد ان المسافة المقوسة بين النقطتين O و A :-

$$= \left[\frac{1}{2} + \frac{2a^2(\frac{1}{2})^3}{3}\right]$$

ويكون الطول المقوس للموصل بين نقطتي الارتكاز ضعف هذه المسافة و هو

$$L = 2\left[\frac{1}{2} + \frac{2a^2(\frac{1}{2})^3}{3}\right]$$

$$L = 1 + \frac{2a^2(\frac{1}{2})^3}{3}$$

وبما ان

$$a = \frac{F}{2T}$$

فان

$$L = 1 + \frac{(\frac{F}{2T})^2(\frac{1}{2})^3}{3}$$

اذن الطول المقوس للموصل بين نقطتي الارتكاز هو

$$L = 1(1 + \frac{F^2 l^2}{24T^2}) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (4\text{-}10)$$

حيث تمثل المسافة الافقية بين نقطتي الارتكاز وتمثل F محصلة القوى المؤثرة على الموصل كما ذكرنا سابقا.

4-2 تاثير تغير الظروف الجوية

ان نصب خطوط النقل لا يتم عادة تحت نفس الظروف التي تنص عليها التعليمات ولذا يكون من الضروري حساب الارتخاء والتوتر تحت الظروف الموجودة اثناء القيام بعملية النصب .

من الناحية العملية تعلق الموصلات على بكرات وبعد ذلك يتم سحبها الى الاعلى حتى نحصل على الارتخاء والتوتر المطلوبين وعندئذ يتم نقلها من البكرات الى عوازل الخط . نفرض ان L_1 و W_1 تمثلان الطول المقوس لموصل الخط بين نقطتي الارتكاز ووزن الموصل لكل متر طول عندما تكون درجة الحرارة θ_1 درجة مئوية والتوتر T_1 نيوتن ، ولنفرض ان L_2 و W_2 تمثلان نفس الكميتين عندما تكون درجة الحرارة θ_2 درجة مئوية والتوتر T_2 نيوتن فعندئذ يكون :-

$$L_2 = L_1 + L_1(T_2 - T_1)AE + (\theta_2 - \theta_1)\alpha L_1$$

او

$$L_2 = L_1 + \frac{f_2 - f_1}{E} + (\theta_2 - \theta_1)\alpha L_1 \quad \text{.....(4-11)}$$

حيث

$$f_1 = \frac{T_1}{A} \qquad \text{و} \qquad f_2 = \frac{T_2}{A}$$

وتمثلان الاجهاد الميكانيكي (STRESS) في الحالتين

A تمثل مساحة مقطع الموصل

E تمثل معامل يونك

α تمثل معامل التمدد الحراري الطولي

$$\frac{L_1(T_2 - T_1)}{AE} = \frac{f_2 - f_1}{E}\alpha L_1$$

وتمثل تغير الطول المقوس نتيجة تغير التوتر

$(\theta_2 - \theta_1)L_1$ تمثل تغير الطول المقوس نتيجة تغير درجة الحرارة

اذا كانت F_1 تمثل محصلة القوى المؤثرة على طول متر واحد من الموصل عندما تكون درجة الحرارة θ_1 درجة مئوية والتوتر T_1 نيوتن وكانت F_2 تمثل هذه المحصلة عندما تكون درجة الحرارة θ_2 درجة مئوية والتوتر T_2 فعندئذ نجد من المعادلة (4-10) ان

$$L_1 = l(1 + \frac{F_1^2 l^2}{24T_1^2}) \quad \text{.....(4 – 10a)}$$

$$L_2 = l(1 + \frac{F_2^2 l^2}{24T_2^2}) \quad \text{.....(4 – 10b)}$$

وبتعويض قيمتي L1 و L2 في المعادلة (11- 4) نجد ان

$$= 1+\frac{F_2^2 l^2}{24T_2^2}$$

$$= (1+\frac{F_1^2 l^2}{24T_1^2})\left[1+\frac{T_2-T_1}{AE}+\alpha(\theta_2-\theta_1)\right]$$

$$= (1+\frac{F_2^2 l^2}{24T_1^2})(1+\frac{F_1^2 l^2}{24T_1^2})^{-1} \quad \text{اذن}$$

$$=1+\frac{T_2-T_1}{AE}+\alpha(\theta_2-\theta_1)$$

وباستخدام نظرية ذي الحدين واهمال الحدود من الدرجة الثانية نجد ان :-

$$= \frac{l2}{24}\left[\frac{F_2^2}{T_2^2}-\frac{F_1^2}{T_1^2}\right]=\frac{T_2-T_1}{AE}+\alpha(\theta_2-\theta_1)$$

ولكن

$$f_1=\frac{T_1}{A} \quad \text{or } T_1 = f_1 A$$

$$f_2=\frac{T_2}{A} \quad \text{or } T_2 = f_2 A$$

وبذلك تصبح المعادلة كما يلي :-

$$= \frac{l2}{24}\left[\frac{F_2^2}{A^2 f_2^2}-\frac{F_1^2}{A^2 f_1^2}\right]=\frac{f_2-f_1}{E}+\alpha(\theta_2-\theta_1)$$

وباعادة ترتيب هذه المعادلة نحصل على ما يلي :-

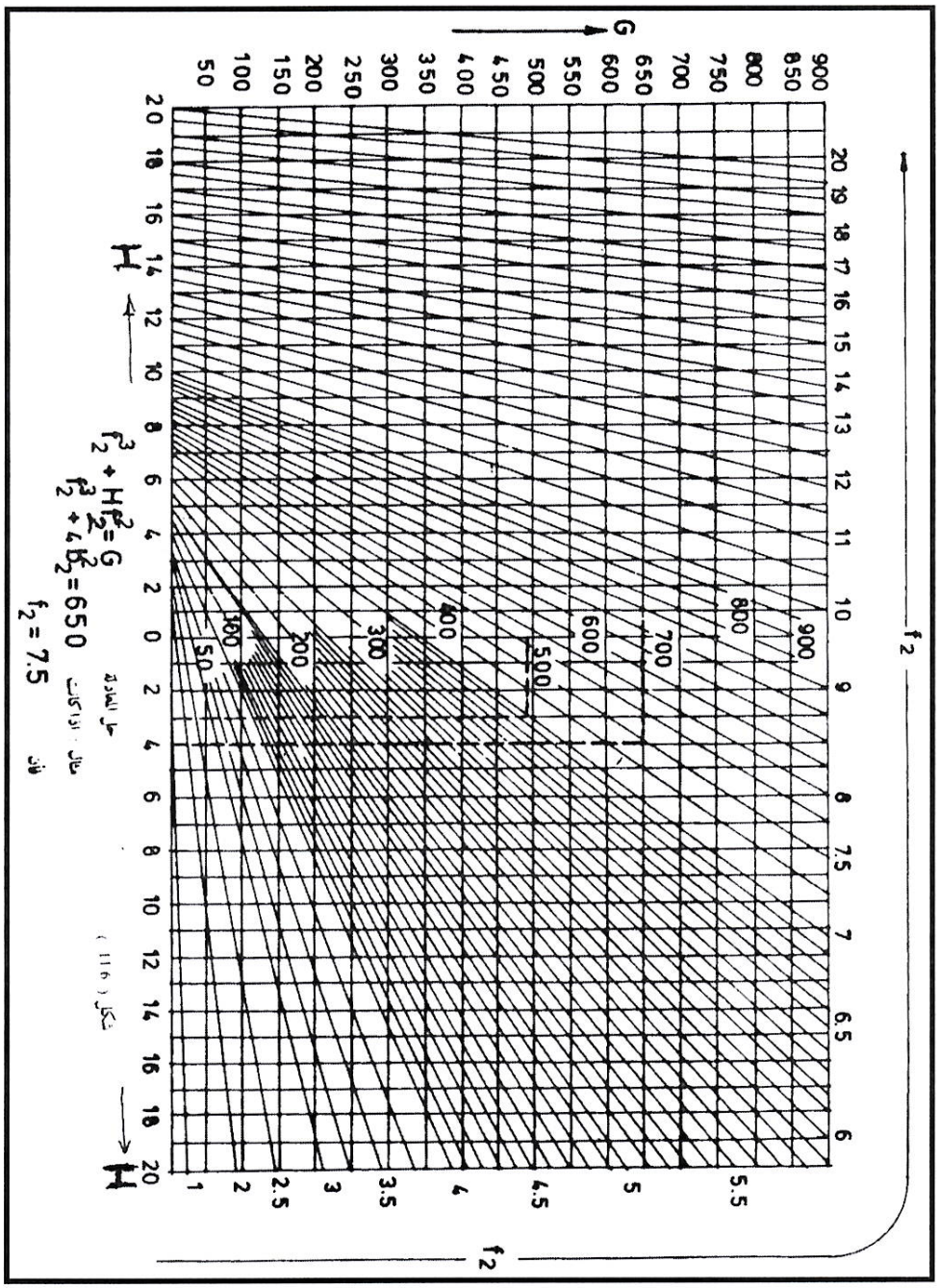
$$f_2^2\left[f_2 - f_1 + \frac{F_1^2 l^2 E}{24 f_1^2 A^2} + (\theta_2 - \theta_1)\alpha E\right] = \frac{F_2^2 L^2 E}{24 A^2}$$

$$f_2^2 (f_2 + H) = G$$

$$f_2^3 + H f_2^2 = G \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (4-12)$$

$$H = \frac{F_1^2 l^2 E}{24 f_1^2 A^2} + (\theta_2 - \theta_1)\alpha E - f_1$$

$$G = \frac{F_2^2 l^2 E}{24 A^2}$$


f2
G
H
f2
H
$f_2^3 + Hf_2^2 = G$
$f_2^3 + 4f_2^2 = 650$
$f_2 = 7.5$
900 850 800 750 700 650 600 550 500 450 400 350 300 250 200 150 100 50
20 19 18 17 16 15 14 13 12 11 10 9 8 7.5 7 6.5 6
2.0 18 16 14 12 10 8 6 4 2 0 2 4 6 8 10 12 14 16 18 20
1 2 2.5 3 3.5 4 4.5 5 5.5
900 800 700 600 500 400 300 200 100 50

حينئذ نحسب الارتخاء (Sag) من المعادلة

$$S2 = \frac{F_2^2 l^2}{8T_2} = \frac{F_2^2 L^2}{8 f_a A} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (4-13)$$

وعند اهمال تاثير الرياح والثلوج تصبح

$$S2 = \frac{W_2 l^2}{8T_2} = \frac{W_2 l^2}{8 f_2 A} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (4-14)$$

حيث تمثل S_2 الارتخاء في منتصف الباع عندما تكون درجة الحرارة θ_2 مئوية والتوتر T_2 نيوتن

من الممكن حل المعادلة التكعيبية (4 - 12) لقيم متعددة للثابتين G و H من الشكل (4 - 6)

فمثلا اذا كانت

$$f_2^2 + 4 f_2^2 = 650$$

ففي هذه الحالة تكون

$$G = 650$$

$$H = 4$$

ونجد من الشكل (4 - 6) ان

$$F_2 = 7.5$$

من الممكن حل المعادلات من النوع (4 - 12) كما يلي كذلك لنفرض ان لدينا معادلة من النوع

$$X^3 = BX^2 + C = 0 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (i)$$

نفرض ان

$$X = a + y$$

اذن تصبح المعادلة (1)

$$(a^3 + 3a^2y + 3ay^2 + y^3) +$$

$$b(a^2 + 3ay + y^2) + C = 0$$

اذن

$$y^3 + (3a + b)y^2 + (3a^2 + 2a)y$$

$$+ (a^3 + a^3b + c) = 0 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\text{(ii)}$$

للحصول على قيمة y نفرض ان

$$3a + b = 0$$

اذن

$$a = -\frac{b}{3}$$

وتصبح المعادلة (ii) كما يلي :-

$$y^3 + (\frac{b^2}{3} - \frac{2b}{3})y - \frac{b^3}{27} + \frac{b^3}{9} + C = 0$$

اذن

$$y^3 + (\frac{b^2}{3} - \frac{2b}{3})y - \frac{2b^3}{27} + C = 0$$

ولنفرض ان

$$(\frac{b^3}{3}-\frac{2b}{3})=\alpha$$

$$\frac{2b^3}{27}+C=\beta$$

اذن تصبح المعادلة (iii) كما يلي :-

$$y^3+\alpha y+\beta=0 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(iv)$$

لنفرض ان

$$y=\sqrt[3]{p}+\sqrt[3]{q}$$

$$y^3=p+q+3\sqrt[3]{p}(\sqrt[3]{q})^2+3(\sqrt[3]{p})^2\sqrt[3]{q}$$

$$=p+q+3\sqrt[3]{pq}(\sqrt[3]{q}+\sqrt[3]{q})$$

$$=p+q+3\sqrt[3]{pq}\,y$$

اذن

$$y^3=3\sqrt[3]{pq}\,y+(p+q)=0 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(v)$$

لكي تكون المعادلتين (iv) و (v) متشابهتين يجب ان تكون

$$\alpha=-\sqrt[3]{pq}$$

اذن

$$pq=-\frac{\alpha 3}{27}$$

وكذلك

$$p+q=\beta \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(vi)$$

اذن

$$p^2+2pq+q^2=\beta^2$$

$$4pq=-\frac{4\alpha^2}{27}$$

اذن

$$p^2+2pq+q^2=\beta^2+\frac{4\alpha^2}{27}$$

اذن

$$(p-q)^2=\beta^2+\frac{4\alpha^2}{27}$$

اذن

$$pq=\pm\sqrt{\beta^2+\frac{4\alpha^2}{27}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(vii)$$

بجمع المعادلتين (vi) و (vii) نجد ان

$$2p=\beta\pm\sqrt[3]{\beta^2+\frac{4\alpha^2}{27}}$$

$$p=\frac{\beta}{2}\pm\frac{1}{2}\sqrt[3]{\beta^2+\frac{4\alpha^2}{27}}$$

وبتعويض قيمة p في المعادلة (vi) نحصل على قيمة q وبتعويض قيمتي p و q في المعادلة

$$y = \sqrt[3]{p} + \sqrt[3]{q}$$

نحصل على قيمة y

وبما ان

$$X = a + y$$

$$a = -\frac{b}{3}$$

اذن

$$X = y - \frac{b}{3}$$

4-3 عندما تكون نقطتا الارتكاز في مستويين مختلفين

شكل رقم (4-7) :-

يمثل الشكل (4-7) خط نقل معلق بين نقطتي الارتكاز B و C تقعان في مستويين افقيين مختلفين . ولنفرض ان BOCA تمثل القطع المكافئ الكامل (Complete parabola) الذي يكون الخط جزء منه حيث النقطتان A و B تقعان في نفس المستوى الافقي .

لنفرض ان l_c هي المسافة الافقية بين A و b وان l هي المسافة الافقية بين B و C وان النقطة C هي (x_1, y_1) عندئذ تكون

$$X_1 = l - \frac{l_c}{2} \quad \text{.....(4 - 15)}$$

ان معادلة القطع المكافئ $(y = aX^2)$ تنطبق على BOC و BOA وعلى ذلك فان المعادلة (4 - 4) اي :-

$$y = \frac{WX^2}{2T} \quad \text{.....(4 - 4)}$$

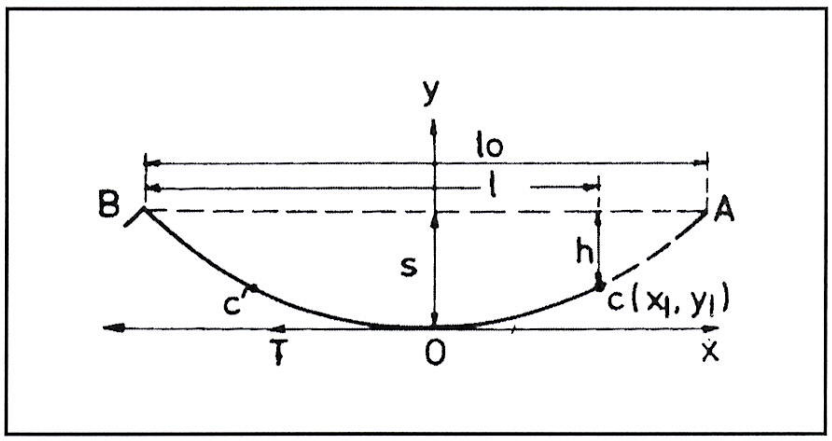
تبقى صالحة للاستخدام ويكون

$$S = \frac{Wl_c^2}{8T} \quad \text{.....(4 - 16)}$$

من المعادلة (3 - 4) نحصل على :-

$$y_1 = 4S(\frac{X_1}{l_c})^2$$

$$S - h = 4S(\frac{X_1}{l_c})^2 \quad \text{.....(4 - 17)}$$



شكل رقم (7 - 4)

نقطتا الارتكاز في مستويين مختلفين

وبتعويض قيمة S من المعادلة (16 - 4) وقيمة X_1 من المعادلة (15 - 4) في المعادلة (?) نحصل على :-

$$\frac{Wl_c}{8T} - h = 4\left(\frac{Wl_c}{8T}\right)\left[\frac{\left(1-\frac{l_c}{2}\right)}{l_c}\right]^2$$

وبعد الاختصار نحصل على :-

$$l_c = l + \frac{2Th}{Wl} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (4-18)$$

وفي حالة اخذ تاثير الثلج بنظر الاعتبار تستبدل W في المعادلة (18 - 4) بمحصلة القوى I المؤثرة على وحدة الطول من الموصل طبقا للمعادلة (7 - 4).

قد تكون نقطتا ارتكاز الخط في مستويين افقيين مختلفين عند اجتياز الخط لنهر او في مناطق التلال او المناطق الجبلية .

4-2-2 طريقة منحني السلسلة .

تستعمل طريقة القطع المكافئ عندما يكون الارتخاء صغيرا مقارنة بالباع اما طريقة السلسلة فتستعمل في حالة خطوط النقل ذات الجهد الفائق في الحالات التي تكون فيها نسبة الارتخاء الى طول الباع اكثر من ١٠/١.

اشارة الى الشكل (4-8a) لنفرض ان النقطة C هي اوطئ نقطة في الموصل عندما يكون الهواء ساكنا . ولناخذ الجزء CP من الموصل .

ان هذا الجزء سيكون في حالة توازن تحت تاثير ثلاثة قوى هي :-

(أ). التوتر الافقي T_o في النقطة C.

(ب). التوتر T_o في النقطة P.

(ج). وزن الجزء CP أي WS' حيث تمثل S' الطول المقوس للجزء CP.

ا- هـذه القـوى الـثلاث يجب ان تلتقي في نقطة واحدة تحدد موضع تاثير WS' ويمكن ايجاد العلاقات بين هذه القوى من الشكل (4 - 8b) .

ء بتحليل القوى عموديا و افقيا نجد ان

$$T_p Sin\psi = WS' \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (4 - 19)$$

$$T_p Cos\psi = T_o \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (4 - 20)$$

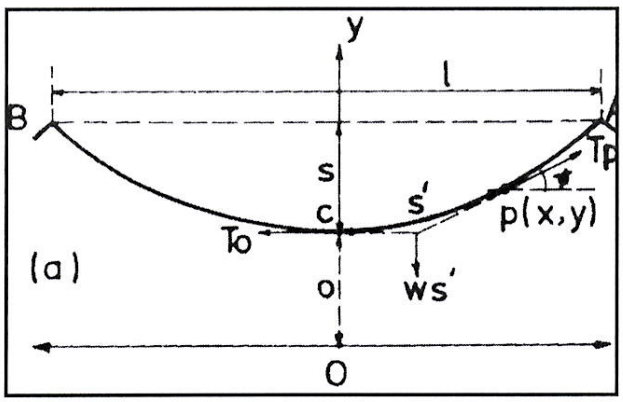
من الملائم افتراض ان

$$T_o = WC$$

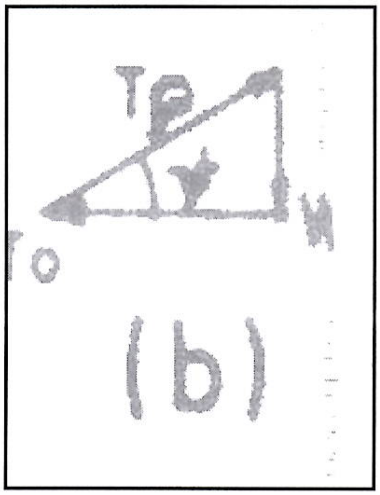
حيث تمثل C كمية ثابتة وبذلك تصبح المعادلة (4 - 20) كما يلي :-

$$T_p Cos\psi = WC \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (4 - 20)$$

ومن المعادلتين (4 - 19) و (4 - 21) نحصل على :-



شكل (4 – 8a)



شكل (4 – 8a)

$$\frac{T_p Sin\psi}{T_p Cos\psi} = \frac{WS'}{WC}$$

$$\tan\psi = \frac{S'}{C} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (4-22)$$

اذا اخذنا جزء صغير من المنحني طوله ds وحللناه الى جزء افقي dx وجزء عمودي dy فان :-

$$(dS')^2 = (dy)^2 + (dx)^2$$

$$(\frac{dS'}{dy})^2 = 1 + (\frac{dx}{dy})^2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (4-23)$$

ولكن

$$\tan\psi = \frac{dy}{dx} = \frac{S'}{C}$$

تصبح المعادلة (23 - 4) كما يلي :-

$$(\frac{dS'}{dy})^2 = 1 + (\frac{C}{S'})^2$$

$$(\frac{dS'}{dy})^2 = \frac{\sqrt{(S')^2 + C^2}}{S'}$$

$$\frac{dS'}{dy} = \frac{\sqrt{(S')^2 + C^2}}{S'}$$

$$\frac{SdS'}{\sqrt{(S')^2 + C^2}} = dy$$

$$(S')^2 + C^2 = y + A \quad \text{.....(4 - 24)}$$

حيث تمثل A ثابت الكامل

اذا اخذنا مركز للاحداثيات () يقع اسفل النقطة) بمسافة عمودية مقدارها) نجد انه عندما تكون

$$S' = O$$

فان

$$y = C$$

و عندئذ يكون

$$A = O$$

وتصبح المعادلة (24 - 4) كما يلي

$$y = \sqrt{(S')^2 + C^2} \quad \text{.....(4 - 25)}$$

وتعطي المعادله (25 - 4) العلاقه بين الازاحة العمودية y والطول المنحني S' من الموصل ، ولايجاد العلاقة بين x و S' نتبع ما يلي :-

من المعادلة (25 - 4) نجد ان :-

$$y^2 = (S')^2 + C^2$$

$$2y\frac{dy}{dX} = 2S\frac{dS}{dX}$$

$$\sqrt{(S')^2 + C^2}\,\frac{dy}{dX} = S'\frac{dS'}{dX}$$

ولكن

$$\frac{dy}{dx} = \frac{S'}{C}$$

$$\sqrt{(S')^2 + C^2}\,\frac{S'}{C} = S'\frac{dS'}{dX}$$

$$dX = \frac{CdS'}{\sqrt{(S')^2 + C^2}}$$

وباجراء عملية التكامل نحصل على :-

$$X + B = CIn\left[S' + \sqrt{(S')^2 + C^2}\right] \ldots\ldots\ldots\ldots(4-26)$$

عندما تكون

$$X = 0$$

فان

$$S' = O$$

$$B = CInC$$

اذن تصبح المعادلة (4 - 26) كما يلي :-

$$X = C\left[In\left\{S' + \sqrt{(S')^2 + C^2}\right\} - InC\right]$$

$$X = CIn\frac{S' + \sqrt{(S')^2 + C^2}}{C}$$

$$\frac{X}{C} = In\frac{S' + \sqrt{(S')^2 + C^2}}{C}$$

$$\therefore \frac{S' + \sqrt{(S')^2 + C^2}}{C} = e^{\frac{X}{C}} \quad \text{.....(4 - 26)}$$

$$\therefore S' + \sqrt{(S')^2 + C^2} = Ce^{\frac{X}{C}}$$

$$\therefore \frac{1}{S' + \sqrt{(S')^2 + C^2}} = \frac{1}{C}e^{-\frac{X}{C}}$$

وبضرب بسط وقام الجهة اليسرى بالكمية

$$\left[S' - \sqrt{(S')^2 + C^2}\right]$$

نحصل على ما يلى :-

$$\sqrt{(S')^2 + C^2} - S' = Ce^{-\frac{X}{C}} \quad \text{.....(4 - 27)}$$

وباضافة المعادلتين بـــ(4 - 26) و (4 - 27) نحصل على

$$2\sqrt{(S')^2 + C^2} = C(e^{xC} + e^{-xC})$$

$$(S')^2 + C^2 = \frac{C}{2}(e^{xC} + e^{-xC})$$

$$y = CCosh\frac{X}{C} \quad \text{.....(4 - 28)}$$

وبطرح المعادلة (4 - 27) من المعادلة (4 - 26) نحصل على

$$2S' = C(e^{\frac{X}{C}} - e^{-\frac{X}{C}})$$

$$S' = \frac{C}{2}(e^{\frac{X}{C}} - e^{-\frac{X}{C}})$$

$$S' = CSin\frac{X}{C} \quad \text{.....(4 - 29)}$$

وبما اننا افترضنا ان :-

$$T_o = WC$$

$$\therefore C = \frac{T_o}{W} \quad \text{.....(4-30)}$$

اذن تصبح المعادلتان (4 - 28) و (4 - 29) كما يلي:-

$$S' = \frac{T_o}{W}Sinh\frac{W_X}{T_o} \quad \text{.....(4 - 31)}$$

$$S' = \frac{T_o}{W}Cosh\frac{W_X}{T_o} \quad \text{.....(4 - 32)}$$

ومن المعادلتين (4 - 30) و (4 - 32) نحصل على:-

$$y - C = \frac{T_o}{W}(Cosh\frac{W_X}{T_o} - 1)$$

ونمثل المعادلة(4 - 33) معادلة منحني يسمى منحني السلسلة (catenary) ويسمى الثابت C بثابت منحني السلسلة وبالتعويض عن:

$Cosh\frac{W_X}{T_o}$ بدلالة $(\frac{W_X}{T_o})^2$ $(\frac{W_X}{T_o})^2$ .....الخ

في المعادلة (4 - 33) نحصل على

$$y-C=\frac{T_o}{W_X}\left[\left(1+\frac{(\frac{Wx}{T_o})^2}{2!}+\frac{(\frac{Wx}{T_o})^4}{4}\right)-1\right]$$

اذن

$$y-C=\frac{Wx^2}{2T_o}\left[\left\{1+(\frac{X^2}{12})+(\frac{W}{T_o})^3\right\}\right]$$

وتعطي المعادلة (4 - 34) مقارنة بين معادلة منحني السلسلة ومعادلة القطع المكافئ عندما تكون قيمة الثابت C صفرا .

اذا اردنا ان ناخذ بنظر الاعتبار تاثير الثلج والرياح وتغير الظروف الجوية فعندئذ نستعيض عن W في المعادلة (4 - 34) بمحصلة القوى F كما تعطيها المعادلة (4 - 7). وفي أسوء ظروف التحميل تكون :-

$$T_o = T_f$$

اما تحت الظروف الموجودة اثناء القيام بعملية النصب فتكون

$$T_o = T_i$$

من المعادلة (4 - 25) نحصل على :-

$$y^2 = (S')^2 + C^2$$

ومن المعادلتين (4 - 19) (4 - 20) نحصل على :-

$$(T_p)^2 = (WS')^2 + (T_o)_2 = (WS')^2 + (WC)^2$$

$$T_p = Wy \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (4-35)$$

ومن المعادلة (4 - 28)

$$y = Cosh\frac{x}{C}$$

$$T_p = WCCosh\frac{x}{C}$$

$$T_p = T_oCosh\frac{x}{C} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (4-36)$$

$$T_p = T_oCosh\frac{Wx}{T_o} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (4-37)$$

لاية قيمة معينة من (T_o) تزداد قيمة (T_p) كلما ازدادت x اصغر قيمة للتوتر في الخط .

اذا اخذنا منحني السلسلة الكامل لطول باع l وعوضنا بالقيمة $\left(X = \frac{1}{2}\right)$ في المعادلة (4 - 31) نحصل على ما يلي :-

الطول المقوس للموصل هو

$$L = 2\left[\frac{T_o}{W}Sinh\frac{W\frac{1}{2}}{T_o}\right]$$

اذن

$$L = \frac{2T_o}{W}Sinh\frac{Wl}{2T_o} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (4-38)$$

$$L = l\left[1+\left(\frac{l^2}{24}\right)+\left(\frac{W}{T_o}\right)^2+\left(\frac{l^4}{1920}\right)+\left(\frac{W}{T_o}\right)^4\right] \quad \text{.....(4 - 39)}$$

وقـد حصلنا على المعادلة (4 - 39) من المعادلة (4 - 38) بعد التعويض عن قيمة $Sinh\frac{Wl}{2T_o}$ بما يلي :-

$$Sinh\frac{Wl}{2T_o} = \frac{Wl}{2T_o} + \frac{\left(\frac{Wl}{2T_o}\right)^3}{3!} +$$

$$\frac{(Wl(2T_o)^5)}{5!} + - - - - - - -$$

عندما تكون

$$X = \frac{1}{2}$$

فان $y - C = S$

حيث تمثل S الارتخاء

اذن من المعادلة

$$y - C = \frac{T_o}{W}\left(Cosh\frac{Wx}{T_o} - 1\right)$$

نحصل على ان الارتخاء هو

$$S = \frac{T_o}{W}\left(Cosh\frac{Wl}{2T} - 1\right) \quad \text{.....(4 - 40)}$$

بعد التعويض عن قيمة $\left(Cosh\frac{Wl}{2T}-1\right)$ نحصل على

$$S=\frac{Wl^2}{8T_o}\left[1+\left(\frac{l^2}{48}\right)\left(\frac{W}{T_o}\right)^2\right] \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (4-41)$$

في نقطة الارتكاز A تكون

ومن المعادلة (4 - 37) نجد ان التوتر في نقطة الارتكاز A هو

$$T_A=T_oCosh\frac{Wl}{2T_o} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (4-42)$$

ومن المعادلة (4 - 40) نجد ان

$$WS=T_oCosh\frac{Wl}{2T_o}-T_o$$

اذن

$$T_oCosh\frac{Wl}{2T_o}=T_o+Wl$$

التوتر في نقطة الارتكاز هو

$$T_A=T_o+WS \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (4-43)$$

المصادر

1. هندسة القدرة الكهربائية ، الدكتور فاضل مأمون الكبابجي ،الدكتور فاروق خليل عمري، جامعة الموصل، 1989.
2. نظم القدرة ، الدكتور سنان محمود عطار باشى ، الدكتور عبد الله محمد مهدي ، الهندسة الكهربائية جامعة الموصل ، 1990.
3. تحليل نظم القدرة جارلس أي كروس ، تعريب د.احمد ابراهيم ، نجم الدين محسن عباس ، ادوا أبلحد قس يونان ، جامعة الموصل 1984.
4. مـــنظومات القـــدرة الكهربائية ، الدكتور عبد الصاحب حسن مجيد ، قسم الهندسة الكهربائية كلية الهندسة جامعة بغداد ، 1988.

ملخص البحث

من الناحية الميكانيكية يجب تصميم خط النقل المعلق بحيث يتمكن من تحمل اسوأ الظروف المتوقعة وليس اسوأ الظروف الممكنة وذلك لان تصميم خط النقل المعلق بحيث يتحمل اسوأ الظروف الميكانيكية الممكنة قد لا يمكن تبريره من الناحية الاقتصادية فمثلا ليس من المعقول تصميم خط نقل معلق بحيث يتحمل اعصارا شديدا لان تكاليف مثل هذا الخط ستكون باهظة جدا بحيث يمكن تبرير احتمال فشل الخط في حالة تعرضه لمثل هذه الظروف الشديدة القسوة .

ان اقل الاحوال الجوية وطأة على خط النقل المعلق هي الاحوال التي يكون فيها الهواء ساكنا ودرجة الحرارة عالية . اذ في حالة سكون الهواء تكون القوة الوحيدة المؤثرة على موصل خط النقل هي القوة الناتجة عن وزن الموصل . كما ان درجة الحرارة العالية تسبب ارتخاء (Sag) في الموصل يؤدي الى ان يكون التوتر واطئا .

ان اشد الأحوال الجوية وطأة على الخط فهي الحالة التي تكون فيها درجة الحرارة منخفضة ومصحوبة بطبقة ثلجية او جليدية تغلف موصلات الخط . اذ ان درجة الحرارة المنخفضة تقلل ارتخاء الموصل وهذا يزيد من توتره . كما ان الطبقة الثلجية او الجليدية تزيد وزن وحدة الطول في الموصل وفي نفس الوقت تسبب زيادة القوة التي تسلطها الرياح على الموصلات .

عند تصميم خط النقل المعلق يجب تنظيم التوتر بحيث يكون الجهد الميكانيكي على كل موصل ضمن الحدود الامينة ولا يتعداها مطلقا على ان ناخذ بنظر الاعتبار تاثيرات الرياح والثلوج وتغيرات درجة الحرارة.

لتقليل ارتخاء الموصل لطول باع معين يجب تسليط توتر افقي على الموصلات في نقاط الارتكاز ويتم ذلك بالسماح لسلسلة العوازل او للباع المجاور بتزويد هذا التوتر .