بسم الله الرحمن الرحيم

 والصلاة والسلام على سيد المرسلين محمد وعلى اله وصحبه اجمعين اقدم هذه المعلومات عن خطوط النقل وللامانه فقد قمت بتجميعها وترتيبها وذلك من محاضرات ومقالات قد يكون قسم منها قد تم التطرق اليه في هذا المنتدى الا اني ارتايت جمعها وترتيبها بشكل يمكن الاستفاده بشكل افضل واتمنى ان تنال رضاكم

**أنواع خطوط النقل الكهربائية**

 تعتبر خطوط النقل الكهربائية بمثابة الشرايين لمنظومات القوة الكهربائية حيث أمكن عن طريقها نقل الطاقة الكهربائية عبر مسافات طويلة من اماكن التوليد الى مرتكز الاستهلاك بتكلفة اقتصادية وتقنيات فنية عالية . وخطوط النقل غالبا ما تكون في صورة خطوط نقل هوائية فوق الرأس ، ويطلق عليها الخطوط الهوائية لكون الهواء هو العازل الرئيسي بين الموصلات وتصمم معظم خطوط النقل الكهربائي لتعمل بالنظام الثلاثي الاوجه على احد شكلين هما:

* دائرة ثلاثية الاوجه مفردة Three phase single circuit system
* دائرة ثلاثية الاوجه مزدوجة Three phase double circuit system

 في هذا الفصل سنقوم بدراسة خطوط النقل الكهربائي بانواعها المختلفة وتصنيفاتها الى خطوط قصيرة ، متوسطة ، وخطوط طويلة على حسب طول الخط، اضافه الى دراسة خصائصها الكهربائية وحسابات جهد الارسال والاستقبال وحساب الفقودات لهذه الخطوط وكذلك سوف نتطرق الى حسابات الترخيم في خطوط النقل الكهربائي.

 **1-2خطوط النقل القصيرة Short Transmission line**

 هي الخطوط التي لا تتعدى أطوالها 80kmوغالبا لا تزيد جهدها عن 33kv وتعتبر معظم الخطوط في الدول العربيه كانت حكرا على هذا المستوى والعناصر التركيبية الرئيسية التي تصمم علية الخط هي:

- الأعمدة

- الأسلاك

- العوازل المسمارية

- خطافات أو مسامير ارتكاز راسية لتثبيت الأسلاك على الأعمدة

– أجهزة تأريض الأعمدة .

 تثبت الأسلاك على مسافة ضرورية على سطح الأرض وعن أسلاك الخطوط الأخرى وعن المباني ، علاوة على ذلك يجب أن تمتلك هذه الأعمدة المتانة الميكانيكية الكافية ليس فقط لحمل الأسلاك وإنما أيضا لمقاومة التأثيرات الناتجة عن العوامل الجوية كتراكم الأتربة والثلوج والأشجار على خط النقل الكهربي، تتألف الأعمدة من قضبان مستعرضة وقوائم عمودية التي تثبت إليها الأسلاك عن طريق العوازل ، إذ يمكن أن تصمم عمود خط نقل جهد منخفض بدون قضبان مستعرضة وتكون الأسلاك مثبتة عبر العوازل الموضوعة على خطافات إلى القوائم.

بالإضافة إلى خط نقل القدرة ذات الجهد المنخفض يكون هناك دوائر أخرى معلقة على عمود خط النقل أو مثبتة عليها كالسلك الصفري ، وفي بعض الحالات يثبت عليها سلك الإنارة الخارجية المخصص لتغذية مصابيح الإضاءة الخارجية عند القيادة المركزية لهذه الأسلاك .

 وتكون مكونات خطوط النقل المنخفض كالأتي تنازليا:

- خط نقل القدرة (الأسلاك الطورية)

- الخط الصفري

- أسلاك إضاءة الشوارع.

 تصمم عادة أعمدة خط نقل القدرة ذات الجهد المنخفض من الخشب أو البيتون المسلح.

 في مثل هذه الخطوط يمكننا إهمال معاملات التوازي نظرا لضعف قيمتها والاكتفاء بالمقاومة والمفاعلة الحثية للخط .

 ومن هذا المنطلق يمكننا اختصار خط النقل القصير الثلاثي الطور في مقاومة ومفاعله حثيه على التوالي لكل طور . يربط هذا الخط بين المولد والحمل .كما مبين بالشكل(1-2).والشكل (2-2) يمثل الدائرة المكافئة للخط القصير .



شكل) 2-1 (خط نقل قصير ثلاثي الطور يربط بين المولد والحمل



 شكل(2-2)الدائرة المكافئة للخط القصير

من الشكل (2-2):

حيث أن:

Vs يمثل جهد الطور عند الإرسال Sending end voltage per phase

VR جهد الطور عند الاستقبال end voltage per phase Receiving

IL تيار الخط Line current

R مقاومة الخط لكل طورLine resistance per phase

XL المفاعل الحثية للخط لكل طور Line reactance per phase

ΔVهبوط الجهد على الخط لكل طورLine voltage drop per phase

$P\_{R}(w)$ القدرة الفعالة عند الاستقبال Active power at receiving end

 $S\_{R}(VA)$القدرة الظاهرية عند الاستقبال Apparent power at receiving end

 $Q\_{R}(VAR)$القدرة المفاعلة عند الاستقبال Reactive power at receiving end

 $cos∅\_{R}$معامل القدرة عند الاستقبال Power factor at receiving end

 $P\_{S}(w)$القدرة الفعالة عند الإرسال Active power at sending

end

 $S\_{S}(VA)$القدرة الظاهرية عند الإرسال Apparent power at sending end

 $Q\_{S}(VAR)$القدرة المفاعلة عند الإرسال Reactive power at sending end

 $cos∅\_{S}$معامل القدرة عند الارسال Power factor at sending



 شكل (2-3)الدائرة المفردة لخط نقل مفرد متماثل

حيث أن :

 $U\_{R}$هو الجهد عند الإستقبال Line voltage at receiving end

$ZL=R+jxl\_{g}$: معاوقة الخط Line impedance

$Ril$: هو هبوط الجهد عبر المقاومة وهو متطابق مع تيار الخطResistive drop in phase with IL

$xlil$ : هبوط الجهد المفاعل ويكون تعامديا مع تيار الخط Reactive drop in quadrature with IL

**المخطط ألاتجاهي للخط القصير**

****

**الجهد عند الإرسال**

 لحساب الجهد عند الإرسال يجب أولا حساب القيمة التقريبية لهبوط الجهد حيث:

$$∆V=RILcos∅R+xlilsin∅R$$

ويكون جهد الطور عند الإرسال

*VS*=*VR*+ Δ*V*

القيمة الفعلية لهبوط الجهد وجهد الإرسال باستخدام الأعداد المركبة Solution in Complex Notation

نستخدم الجهد عن الاستقبال VR كمتجه مرجعي Reference vector لحساب الزوايا للكميات الأخرى كما مبين بالمخطط ألاتجاهي . يكون التيار متأخرا Laggingإذا كان الحمل حثي لذا تكون الزوايا سالبة ، إما إذا كان الحمل سعوديا فان الزاوية تكون موجبا لان التيار سيكون متقدما Leading في هذه الحالة.

ويكون الجهد عند الإرسال :



وتكون زاوية معامل القدرة عند الإرسال :



**معامل التنظيم لجهد الخط Voltage Regulation of line**

هو النسبة المئوية بين فرق الجهد عند الإرسال والاستقبال ، وجهد الاستقبال:



**القدرة المفقودة على الخط power losses of the line**

 تسبب كل من المقاومة R والمفاعلة للخط XL في فقدان كمية كبيرة من القدرة الفعالة(P) Active power ولمفاعله (Q) Reactive power خاصة عندما يكون جهد النقل منخفضا . وذلك نظرا للتناسب الطردي بين القدرة المفقودة ومربع التيار. ويمكن حساب القدرة الفعالة والمفاعلة من المعادلات الآتية:

$$Ploss=3RI^{2L}$$

$$PLOSS=PS-PR$$

$QLOSS=QS-QR$

$$QLOSS=3XLI^{2L}$$

 وللتقليل من القدرة المفقودة، فانه يتم رفع الجهد على خطوط النقل كلما زاد طول الخط وذلك لخفض التيار في حدود الإمكانات الاقتصادية لتكلفة النقل ، بالإضافة إلى ذلك فان التكلفة الإجمالية ستقل ، لأنه كلما قل التيار فان مساحة المقطع المستخدم تقل وبالتالي فان أبراج النقل ستقل، مما ينعكس على التكلفة الإجمالية .

**القدرة عند الإرسال وعند الاستقبال :**

 إذا كان الحمل متوازيا بين الأطوار الثلاثة تكون القدرة الظاهرية عند الإرسالSs(VA) تعادل ثلاثة أمثال قيمتها لكل طور:

$Ss=3vsil$

إذن يمكن إيجاد القدرة الفعالة والمفاعلة عند الإرسال من القدرة الظاهرية :

$$Ss=Ps+jQs$$

كذلك بالنسبة للقدرة الظاهرية والقدرة الفعالة والمفاعلة عند الاستقبال:

$$Ss=3vRil$$

$$SR=PR+jQR$$

**كفاءة خط النقلEfficiency of transmission line**

 تمثل كفاءة خط النقل نسبة بين القدرة الفعالة المنقولة على الخط والتي تصل للمستهلك، والقدرة الفعالة المولدة عند الإرسال





 **2-2خطوط النقل المتوسطة**

 وهي الخطوط التي أطوالها تتراوح مابين 80\_\_\_240km وفي مثل هذه الخطوط يتم فيها اهمال المفاعله السعوية للخط ، نظرا لقيمتها الضعيفة ، تزيد قيمة هذه المفاعله السعوية والتسرب عبر العوازل بزيادة طول وجهد خط النقل ويصبح لها تأثير كبير على معامل التنظيم والكفاءة . نأخذ بعين الاعتبار المفاعله السعوية والتسريبية Leakage reactance للخط ، لما لها تأثير على التمثيل الدقيق لخط النقل وحساب الجهد عند الإرسال ومعامل التنظيم .

**الدائرة المكافئة لخط نقل متوسط على طريقةT T-Method))**

تتمثل هذه الدائرة عندما نعتبر المفاعله السعوية مركزة في وسط الخط بين نصفي المقاومة والمفاعله الحثية للخط كما بالشكل (3-6) مما يعطي الدائرة المكافئة شكل T كما بالشكل (3-7).



شكل (3-6) خط نقل كهربائي متوسط على طريقة T يربط بين المولد والحمل



شكل (3-7) الدائره المكافئة للخط المتوسط شكل T

**المخطط الاتجاهي للخط:**



الزوايا تقاس انطلاقا من الجهد عند الاستقبال حيث يعتبر VR مرجع المتجهات، وكل القيم هي للطور الواحد مع المحايد.

**المعادلات:**

جهد الإرسال:



معامل التنظيم لجهد الخط Voltage Regulation of line



القدرة المفقودة على الخط Power losses of the line



القدرة المفاعله المتبادلة المفقودة على الخط (VAR)



القدرة الفعالة والمفاعله عند الإرسال والاستقبال:









كفاءة خط النقل Efficiency of transmission line



**الدائرة المكافئة لخط نقل متوسط على شكل**

تتمثل هذه الطريقة عند دراسة خطوط النقل المتوسطة في تقسيم المفاعله السعوية إلى نصفين ، حيث يوضع النصف الأول في بداية الخط عند الإرسال والنصف الثاني عند الاستقبال بينما تتركز المقاومة والمفاعلة الحثية في الوسط مما ينتج دائرة على شكل كما بالشكل (8-3).





شكل(3-8)الدائرة المكافئة لخط متوسط على شكل****

في هذه الطريقة لن يكون للمفاعله السعوية أي تأثير على هبوط الجهد عند الإرسال ولا على معامل التنظيم، غير أن تيار الشحن يضاف إلى تيار الخط لتحديد تيار الإرسال.

**المخطط ألاتجاهي للخط :**



**العلاقات:**

جهد الإرسال:

 

تيار الإرسال:



**معامل التنظيم لجهد الإرسال:Voltage Regulation of line**



القدرة المفقودة على الخط: Power losses of the line



القدرة الفعالة والمفاعله عند الإرسال والاستقبال:









القدرة الظاهرية المرسلة والمستلمة :





**كفاءة الخط Efficiency of transmission line**



**2-3: خطوط النقل الطويلة Long Transmission Line**

 وهي الخطوط التي اطولها تزيد عن 240km ويكون ثوابته موزعة على طول الخط وليست مجمعة في نقطة أو نقطتين وذلك لضمان دقة الحسابات .



**الدائرة المكافئة للخطوط الطويلةfor long lines Equivalent circuit**

الشكل (3-9) يمثل الدائرة العامة الخط الكهربي لها مدخلان ومخرجان



شكل (3-9) الدائرة المكافئة للخط الطويل وثوابتها

وعلى ذلك يمكن كتابة معادلات الجهد والتيار عند جهة الارسال بدلالة الجهد والتيار عند جهة الاستقبال كما يلي :

$$Vs=AV\_{R}+BI\_{R}$$

$$Is=CV\_{R}+DI\_{R}$$

**المخطط الاتجاهي للخط**

****

وتحسب هذه الثوابت باستخدام معاوقة الخواص ومسامحة التوازي ، وبالتالي تكون الخواص العامة لهذه الخط كما يلي:

$$A=D=1+\frac{YZ\_{L}}{2}+\frac{Y^{2}ZL^{2}}{6}$$

$$B=Z\_{L}.(1+\frac{YZ\_{L}}{4}+\frac{Y^{2}ZL^{2}}{24})$$

$$C=Y.(1+\frac{YZ\_{L}}{4}+\frac{Y^{2}ZL^{2}}{24})$$

ويحسب تنظيم الجهد على الخط Line voltage regulation وهو النسبة المئوية بين جهد اللاحمل وجهد الحمل عند جهة الاستقبال كما يلي:

$$VR\%=\frac{V\_{S}-V\_{R}}{VR}×100$$

ويمكن حساب القدرة الظاهرية والقدرة الفعالة والقدرة غير الفعالة (المفاعلة ) عند جهتي الارسال والاستقبال في الاحمال المتزنة بالعلاقات الاتية:

القدرة عند جهة الارسال:

$Ss=3VsIs=√3$*V*$s\_{l } Is=P\_{S}+jQ\_{S}$

$$P\_{S}=3V\_{S}I\_{S}cos∅\_{s}=√3V\_{S\_{L}}I\_{S}cos∅\_{s}$$

$$Q\_{S}=3V\_{S}I\_{S}sin∅\_{s}=√3V\_{S\_{L}}I\_{S}sin∅\_{s}$$

القدرة عند جهة الاستقبال:

$$S\_{R}=3V\_{R}I\_{R}=√3V\_{R\_{L}} I\_{R} =P\_{R}+jQ\_{R}$$

$$P\_{R}=3V\_{R}I\_{R}cos∅\_{R}=√3V\_{R\_{L}}IR cos∅\_{R}$$

$$Q\_{R}=3V\_{R}IRsin∅\_{R}=\sqrt{3}V\_{R\_{L}}IR sin∅\_{R}$$

وتسبب كل من المقاومة R والمفاعلة الحثية للخط $X\_{L}$ في فقدان كمية من القدرة الفعالة والغير الفعالة حيث يتناسب هذا الفقد في القدرة مع مربع التيار ، تفقد القدرة الفعالة P على مقاومة الخط بينما تفقد القدرة الغير فعالة Q على المفاعلة الحثية للخط. ويمكن حساب هذه المفاقيد طبقا للعلاقات التالية:

$$P\_{LOSS}=3RI\_{L^{2}}=P\_{S}-P\_{R}$$

$$Q\_{LOSS}=Q\_{S}-Q\_{R}$$

اضافة الى ما سبق فان كفاءة خط النقل Transmission Line Efficiency والتي تمثل النسبة بين القدرة الفعالة المنقولة على الخط والتي تصل الى المستهلك والقدرة الفعالة المولدة عند الارسال يمكن حسابها من العلاقة التالية:

$$η\%=\frac{P\_{R}}{P\_{S}}×100$$

### **1-4 بعض النظم المستخدمة في النقل**

#### نظام أحادي الوجه - سلكان أو ثلاثة

## Single phase Two and three - wire systems

 وقليلا ما يستخدم هذا النظام في الوقت الحاضر نتيجة لبعض اعتبارات التصميم ، يوضح الشكل(3-10) الحالات المختلفة المستخدمة فى النقل حيث يظهر الملف الثانوي للمحول فى الشكل . وفى هذه الحالة أيضًا يتميز النقل بثلاث أسلاك عن النقل بسلكين كما هو الحالي عند استخدام التيار المستمر .



 شكل(3-10)الحالات المختلفة لنظام احادي الطور

### **نظام ثنائي الوجه - ثلاث أو أربع أسلاك**

 يعتبر هذا النظام من الانظمة الشائعة المستخدمة في السابق ، الا ان ظهور الخطوط الطويلة ادى الى تقليل الحاجة من استخدام هذا النظام .

تحتوي مولدات الجهد ثنائي الوجه على ملفين متعامدين لذلك تتعامد القوة الدافعة الكهربية المتولدة فى الملفين ، والشكل(3-11) يوضح نظام ثلاثي ورباعي الأسلاك حيث يتم فى الأخير تقسيم الملفات إلى جزأين متساويين mid point وتوصيل نقط التقسيم. والنقل باستخدام هذا النظام محدود للغاية .



### شكل(3-11)نظام ثنائي الوجه

### **نظام ثلاثي الأوجه - ثلاث أو أربع أسلاك**

 يمثل النظام ثلاثي الأوجه ثلاثي الأسلاك الغالبية العظمي من نظم النقل . و توصيل الملفات علي شكل نجمة أو دلتا ،كما بالشكل (3-12) .



###  شكل (3-13)نظام ثلاثي الوجه

### **نظام سداسي الأوجه :**

### **Alternating Current Six Phase Systems**

 يتكون النظام السداسي من إثنين من النظام الثلاثي متصلين بحيث يكون كل وجه من إحدى النظم الثلاثية مزاح بزاوية 180 درجة من الوجه المقابل فى النظام الثلاثي الثاني . يوضح الشكل(3-14) نظام سداسي مكون من مجموعتان من الملفات متصلة دلتا والجزء (a) يبين حالة نظام سداسي ذو 6 أسلاك والجزء (b) نظام سداسي ذو 7 أسلاك كذلك معطي شكل متجهات الجهود. ويمكن أيضًا تكوين النظام من مجموعتين من الملفات كل واحد ذو توصيل نجمة. والجدول (3) يبين مقارنة بين النظم المختلفة لحالة التيار المتردد بفرض أحمال متماثلة نفس قيمة الجهد بين الأسلاك ونفس قيمة مساحة المقطع والقيم منسوبة لحالة وجه واحد ذي سلكين .



شكل (3-14) الحالات المختلفة لنظام سداسي الوجه

**1-5 الترخيم في خطوط النقل الكهربائي:**

 في خطوط النقل الكهربائي تكون الموصلات معلقة على الابراج عن طريق عوازل تعزله عن جسم البرج ، وفي المسافة بين برجين متتاليتن والتي تعرف بالباع او خطوة البرج يكون السلك معلقا تحت تاثير ثقله ، وثقل ما قد تراكم علية من تاثير ثلوج وتثير ضغط الرياح ان وجدت ، ويتخذ الموصل شكل منحنى تعلق السلاسل catenary curve) ) . والترخم عند اي نقطة هو مقدار انخفاض هذه النقطة عن مستوى نقطة التعليق . ونظرا لاهتمامنا بالترخيم الاقصى فقط حيث انه هو الذي يحدد مقدار الخلوص بين الموصل والارض فانه عند اطلاق كلمة الترخيم فاننا نقصد بها الترخم الاقصى وهو مقدار الانخفاض الحادث للسلك عند اقرب نقاطة من سطخ الارض .

**العوامل التي تؤثر في الترخيم :**

يتاثر الترخيم بعدة عوامل نوجزها فما يلي :-

1. وزن السلك WC)) وعاة ما يستخدم وزن السلك لكل وحدة طول كمقياس لوزن السلك ، وكلما زاد وزن السلك زاد الترخيم .
2. المسافة بين البرجين (الباع L ) وكلما زاد المسافة بين البرجين زاد الترخيم
3. الشد في السلك (T ) وهو من العوامل التي تؤثر تاثيرا كبيرا في مقدار الترخيم وكلما زاد الشد في السلك قل الترخيم
4. العوامل البيئية كتراكم الثلوج على الاسلاك وضغط الرياح
5. درجة الحرارة كلما زادت درجة الحرارة تمدد السلك وزاد طولة وزاد الترخيم ويحدث العكس عند انخفاض درجة الحرارة .

**حساب الترخيم بين برجين متماثلين**

 عندما يكون البرجين متماثلين تكون نقاط تعليق الموصل على نفس الارتفاع وفي هذه الحالة يحدث اقصى ترخيم في منتصف المسافة بين نقطتي التعليق . كما بالشكل(3-15) .



 شكل (3-15)الترخيم بين برجين متماثلين

 وهذا المنحنى يمكن تقريبه دون تاثير بدرجة كبيرة في دقة الحسابات بمنحنى تربيعي ، واذا اعتبرنا اكثر النقاط انخفاضا هي نقطة الاصل فان:



حيث WC هو وزن الموصل لكل متر طولي مقدرا بالكلوجرام \متر

 T الشد ف الموصل مقدرا بالكيلوجرام

 X.Y احداثيات اي نقطة على الموصل بالنسبة لنقطة الاصل وكل منهما مقدرة بالمتر .

ومن الشكل(3-15) اعلاه نجد ان اقصى ترخيم D)) هو قيمة y)) عندما تكون x=L/2 حيث L هي الباع وبالتعويض في معادلة المنحنى نجد ان :



والخلوص بين الموصل والارض في هذه الحالة:

C=H-D

حيث : H هو ارتفاع نقطة التعلق عن سطح الارض

**Ex(1) :-**

احسب مقدار الترخيم لخط نقل كهربائي مثبت بين برجين متماثلين المسافة بينهما 275m اذا كان وزن الموصل 0.75kg/m واقصى شد يتحمله الموصل هو 800kg/m ومعامل الامان المطلوب هو 2.

**Solution:-**

اولا : نحسب الشد المسموح به في الموصل

الشد المسموح به = اقصى شد *÷ معامل الامان*

**

*ثانيا : نحسب الترخيم Wc=0.85Kg|m. L=275m. T=4000Kg*

***تاثير الثلوج علي الترخيم***

*عند تراكم طبقه من الثلوج سمكها (t) علي سطح الموصل فانها تضيف وزنا اضافيا يؤثر الي اسفل ويضاف الي وزن الموصل , وهذا الوزن هو عباره عن وزن الثلج المتراكم .*

*ولحساب هذا الوزن نحسب اولا حجم طبقة الثلخ المتراكم لوحدة الاطوال .*

**

*حجم الثلوج المتراكمه /متر(Vi) : *

*حيثdهو قطر الموصل.*

*ويكون وزن الثلوج المتراكمه (Wi) مساويا لهذا الحجم مضروبا في كثافة الثلج (P):*

**

*وحيث ان وزن الثلج يؤثر راسيا الي اسفل في نفس الاتجاه مع وزن الموصل فانه يتم اضافته مباشره الي وزن الموصل ويصبح الوزن الفعلي مساويا لوزن الموصل*

*مضافا اليه وزن الثلوج ويستخدم هذا الوزن الفعلي في حساب الترخيم بدلا من وزن الموصل فقط ، اي انه:*

**

***تاثير الرياح علي الترخيم***

 عندما تعرض الموصلات لضغط رياح مقداره P Kg\m فانه يتعرض لقوه تؤثر عليه افقيا مقدارها يساوي حاصل ضرب ضغط الرياح ف المساحه المسقطه للموصل . المساحه المسقطه للموصل لكل متر



طولي (Ap) \_المساحه المظلله تساوي عدديا قطر الموصل .

اي ان :

القوه المؤثره علي الموصل نتيجة ضغط الرياح



وهذه القوه تؤثر افقيا فيكون الوزن المحصل للموصل في هذه الحاله



ويستخدم هذا الوزن المحصل في حساب الترخيم De)) ,



والترخيم في هذه الحاله لا يكون راسيا وانما يميل بزاويه علي الراسي , حيث :



ويكون الترخم الراسي (D) والالتواء الافقي للموصل (Dh) هما مركبتا De في الاتجاهين الراسي والافقي علي الترتيب اي ان :



وفي حالة تعرض الخط لضغط الرياح بالاضافه الي تراكم الثلوج عليه فان :



حيث :

 

مع الاخذ في الاعتبار سمك طبقة الثلج عند حساب المساحه المسقطه اي ان :



ويتم حساب الترخيم بنفس الطريقه اي ان :



والترخيم الراسي و الالتواء الافقي :



الا ان زاوية الميل تختلف قليلا في هذه الحاله : 

**الترخيم بين برجين مختلفي الارتفاع**

 في احيان كثيرة تكون نقاط تعلق الموصل ليست علي نفس مستوي الارتفاع لاختلاف ارتفاع البرجين كما يحدث عند عبور خط النقل المجرى مائي او عتد الاضطرار الي ان تكون المسافة بين البرجين اكبر بكثير من الباع المتوسط فيلزم زيادة ارتفاع البرجين اللذين يثبتان الموصل خلال هذه المسافة الكيبرة عن ارتفاع الابراج العادي ،وتخدث هذه الخالة ايضا عند مرور خط النقل ف منطقة جبلية او هضابية حتى وان كانت الابراج لها نفس الاتفاع فان اختلاف منسوب سطح الارض يتسبب في تكوين الابراج ليست على مستوى واحد مما يجعل نقاط تثبيت الموصل على البرجين ليست على نفس المستوى كما لو كانت الابراج مختلفة الارتفاع.

وعندما تكون نقطتيا تثيبت الموصل ليستا على نفس الارتفاع فان النقطة التي يحدث عندها اقصى ترخيم لا تكون في منتصف المسافة بين البرجين وانما تكون اقرب الي البرج الاقل ارتفاعا ، ولايجاد الترخيم في هذه الحالة نفرض ان النقطة التي يحدث عندها اقصى ترخيم تبعد عن البرج الاقل ارتفاعا مسافةx وحيث ان المسافة بين البرجين هيL فان نقطة اقصي ترخيم تبعد مسافة L-x عن البرج الاكبر ارتفاعا، كما بالشكل التالي .



حيث ان :

D1 = الترخيم محصوبا للبرج القصير

D2 = الترخيم محسوبا للبرج الطويل

D2 = D2 +h

حيث h هو الفرق بين ارتفاعي البرجين

وحيث ان:



فان :



ومنها يمكن حساب قيمةx بالمعادلة الاتية:



والمعادلة اعلاه تخدد بعد النقطة التي يحدث عندها اقصى ترخيم عن البرج القصير ، فاذا كانت 0<x نحسب الترخيم D1 مقاسا من البرج القصير . ويكون الخلوص بين الموصل والارض في هذه الحالة مساويا لفرق بين ارتفاع البرج القصير والترخم .

 اما اذا كانت 0≤ x فهذا يعني ان اقل انخفاض للسلك هو ارتفاع البرج القصير ويكون الخلوص بين الموصل والارض هو ارتفاع البرج القصير .

**EX:-**

خط نقل كهربائي مثبت بين برجين ارتفاعهما 45m , 30m والمسافة بينهما 300m . فاذا كان وزن الموصل هو 1kg/m والشد في الموصل 300kg ، احسب الخلوص بين الموصل والارض.

Solution:-

الفرق بين ارتفاع البرجين

h = 45 - 30 = 15 m

نخسب المسافة بين النقطة التي يحدث عندها اقصى ترخيم والبرج القصير

 

=150 – 100 = 50 m



اذن الخلوص بين الموصل والارض يساوي

C = 30 – 0.625 = 29.375 m