دراسة تقيمية لأداء خط الربط الكهربائي (مصر – السودان)

بحث تكميلي لنيل درجة البكالوريوس مرتبة الشرف في الهندسة الكهربائية (قدرة)

إعداد الطلاب :

أبوبكر عبد الغفور محمد احمد
عبدالحكم محمد إبراهيم محمد
وافي محروس محمد علـــــي
ياسر محمد عثمان الطريفـــي

إشراف :

أ/ إبراهيم مصطفي الريشابى

قسم الهندسة الكهربائية

كلـية الـهندسة

جـــامعة الـــشيخ عـــبدالله الـــــبدري

مارس 2022م

الآيـــة

قال سبحانه وتعالى في محكم تنزيلة:

(أَلَمْ تَرَ أَنَّ اللَّهَ يُزْجِي سَحَاباً ثُمَّ يُؤَلِّفُ بَيْنَهُ ثُمَّ يَجْعَلُهُ رُكَاماً فَتَرَى الْوَدْقَ يَخْرُجُ مِنْ خِلَالِهِ وَيُنَزِّلُ مِنَ السَّمَاءِ مِنْ جِبَالٍ فِيهَا مِنْ بَرَدٍ فَيُصِيبُ بِهِ مَنْ يَشَاءُ وَيَصْرِفُهُ عَنْ مَنْ يَشَاءُ يَكَادُ سَنَا بَرْقِهِ يَذْهَبُ بِالأَبْصَارِ)

[سورة النور : الآية 43]

الإهداء

الى من جرع الكأس فارغا ليسقيني قطرة حب

إلى من أُفضِّلها على نفسي، من ضحَّت من أجلي

ولم تدَّخر جُهدًا في سبيل إسعادي على الدَّوام والتى تحب كما تؤمن وتؤمن كما تحب

(أُمِّي الحبيبة)

الى من حصد الأشواك عن دربي ليمهد لي طريق العلم

نسير في دروب الحياة، ويبقى من يُسيطر على أذهاننا في كل مسلك نسلكه

صاحب الوجه الطيب، والأفعال الحسنة.

فلم يبخل عليَّ طيلة حياته

(والدي العزيز)

إلى الاستاذ/(أبراهيم مصطفي الريشابي)

إلى من علمني حرفاً ، إلى أصدقائي، وجميع من وقفوا بجواري وساعدوني بكل ما يملكون، وفي أصعدة كثيرة.....

أُقدِّم لكم هذا الجهد المتواضع، و أتمنَّى أن يحوز على رضاكم.

الشكر والعرفان

الحمد لله رب العالمين والصلاة والسلام على رسوله الأمين، الحمد لله الذي بنعمته تتم الصالحات والحمد لله ملء السماوات والأرض وملء ما شاء من شيء وبعد

أتقدم بجزيل الشكر والتقدير لهذا الصرح العلمي الشامخ ..جامعة الشيخ عبدالله البدري

كما أزجي بالشكر والتقدير كلية الهندسة قسم الهندسة الكهربائية وأساتذتها الأجلاء

وأخص بالشكر والتقدير الأستاذ الفاضل/ **إبراهيم مصطفي** والاستاذ/ **أحمد صلاح** والباش مهندس / **سليمان** مهندس محطة حلفا الذين لم يدخرو وقتا ولا جهدا إلا وقد قدموهو من أجل المساعدة والعون....

المستخلص

من اهم المؤشـرات الشـائعة في كفاءة نظم القدرة هي نسـبة الطاقة المفقودة من الطاقة المولدة الكلية ، ويعتبر النظام ذو كفاءة عالية عندما يكون مســتوي الفاقد قليل ، ولكن هنالك حقيقة وهي ان الطاقة المرســـلة لفائدة النقل والتوزيع لاتصـــل جميعها الي المسـتهلكين ، فهنالك كمية جوهرية من هذه الطاقة تتبدد في انظمة النقل والتوزيع في شـــكل مفاقيد تقنية وغير تقنية . البحث هو دراســـة تقييمية لأداء خط الربط الكهربي مصـــر – السـودان وتم تقيم أداء الخط من ناحية الفقودات وكفاءة الخط وتم اسـتخدام المعادلات الحسـابية لتقيم الأداء ، تم سـد العجز في المنطقة المسـتهدفة بصـورة عاليه وذلك باضـافة سـعة توليد جديده . تم التوصـل من الحسـابات ان هذا الخط يعمل بكفاءه عالية وفقودات شبه منخفضة وجوده تصميمية عالية.

Abstract

One of the most common indicators in the efficiency of power systems is the percentage of energy lost from the total generated energy " and the system is considered to be highly efficient when the level of loss is small " but there is a fact that the energy sent for transmission and distribution does not reach all consumers " there is a substantial amount of this energy dissipates in the transmission and distribution system in the form of technical and non-technical losses. The research is an evaluation study of the performance of the Egypt-Sudan electrical inter connection line and the performance of the line was evaluated in terms of losses and efficiency of the line and the use of mathematical equations to evaluate the performance " the deficit in the target area was filled in a high way by adding a new generation capacity. It was concluded from the calculations that that this line works with high efficiency and near – low losses and high design presence.

فهرست المحتويات

		رقم الصفحة
	بسم الله الرحمن الرحيم	
	الآيــة	I
	الإهداء	Ii
	الشكر والعرفان	Iii
	المستخلص	Iv
	Abstract	V
	فهرست المحتويات	Vi
	فهرس الأشكال	X
الفصل الأول المقدمة		
1-1	**تمهيد**	1
2-1	**مشكلة البحث**	1
3-1	**الهدف من البحث**	1
4-1	**منهجية البحث**	1
5-1	**هيكلية البحث**	2

الفصل الثاني مكونات خط النقل		
1-2	**مقدمة**	3
2-2	**خطوط النقل الكهربي**	3
3-2	**مكونات خطوط النقل الكهربائي**	3
1-3-2	**الأبراج Towers**	4
2-3-2	**العوازل Insulators**	7
3-3-2	**الموصلات conductors**	10
4-3-2	**الإكسسوارات Accessories**	14
الفصل الثالث حسابات خطوط النقل		
1-3	**مقدمة**	17
1-1-3	**خواص خطوط النقل الكهربى**	17
2-3	**تقسيم خطوط النقل الكهربائي Classification of Lines**	22
1-2-3	**خطوط النقل القصيرة Short Transmission Lines**	22
2-2-3	**خطوط النقل المتوسطة Medium Transmission Lines**	29
3-2-3	**خطوط النقل الطويلة Long Transmission Lines**	35

الفصل الرابع حساب مؤشرات خط الربط مصر – السودان		
1-4	مقدمة	39
4-2	حساب ثوابت الخط الكهربية	39
1-2-4	المقاومة الكلية لخط النقل Resistance of transmissions line	39
2-2-4	محاثة الخط الكلية	40
3-2-4	مواسعة الخط الكلية	40
4-2-4	ممانعة الخط الكلية	40
5-2-4	المسامحة الكلية لخط النقل	41
3-4	حساب ثوابت الخط المحددة بثوابتة الكهربائية	41
4-4	حساب الكميات الكهربائية لخط الربط الكهربائي (مصر–السودان)	43
1-4-4	الجهد الطوري في طرف الارسال (محطة توشكي 2) التحويلية	44
2-4-4	التيار الطوري في طرف الارسال (محطة توشكي 2) التحويلية	44
3-4-4	حساب المفقودات على خط الربط الكهربائي مصر_السودان	44
4-4-4	قدرة الطور في طرف الارسال (محطة توشكي 2) التحويلية	45
5-4-4	نسبة تنظيم الجهد Voltage Regulation Ratio	45

6-4-4	كفاءة خط الربط الكهربائي مصر-السودان Transmission line Efficiency	46
	الفصل الخامس الخلاصة والتوصيات	
1-5	الخلاصة	47
2-5	التوصيات	47
	المصـــادر	48

فهرس الأشكال

رقم الشكل	اسم الشكل	رقم الصفحة
	الفصل الثانى	
2-1	يمثل برج تعليق	4
2-2	برج شد	5
2-3	برج تباديل	5
2-4	برج زاوية	6
2-5	برج عبور	6
2-6	برج بداية ونهاية	7
2-7	عازل بورسلين	8
2-8	عازل زجاجى	9
2-9	عوازل شد وتعليق	10
2-10	عوازل مطاطية	10
2-11	فواصل الموصلات	14

2-12	خوامد الإهتزازات	15
2-13	كرات تحذير الطائرات	15
2-14	مانعات الصواعق	16
	الفصل الثالث	
3-1	تمثيل وجة مفرد من خط نقل ثلاثى الأوجة	17
3-2	المسافة بين موصلات خط نقل ثلاثى الأوجة	20
3-3	السعه الكهرابائية بين موصلات خط نقل ثلاثى الأوحة مفرد	22
3-4	تمثيل وجه مفرد من خط نقل ثلاثى الأوجه	23
3-5	الدائرة المفردة المكافئة لخط نقل قصير ثلاثى الأوجه	23
3-6	مخطط المتحهات المكافئ لدائرة الخط القصيرة	25
3-7	الثوابت العامة لخط النقل	29
3-8	الدائرة المفردة المكافئة لخط نفل متوسط ثلاثى الأوجة ممثل بطريقة T	30
3-9	مخطط المتجهات المكافئ لدائرة الخط المتوسط الممثل بطريقة T	30

3-10	الدائرة المفردة المكافئة لخط نقل متوسط ثلاثى الأوجه ممثل بطريقة π	33
3-11	مخطط المتجهات المكافئ لدائرة الخط المتوسط الممثل بطريقة π	33
3-12	الدائرة المكافئة المفردة لخط نقل طويل ثلاثى الأوجة	35
3-13	الدائرة المكافئة والثوابت العامة لخط النقل الطويل	36
3-14	مخطط المتجهات المكافئ لدائرة الخط الطويل	36
	الفصل الرابع	
4-1	مخطط خط الربط مصر السودان	46

الفصل الأول

(المقدمة)

المقدمة

(1-1) تمهيد :-

يعرف نظام القدرة الكهربائية بأنه مجموعة الماكينات والأجهزة والمعدات والتوصـــيلات التي تقوم بإنتاج الطاقة الكهربائية في محطات التوليد . ثم نقلها بواسطة الأبراج وخطوط النقل الى مناطق الإستهلاك الرئيسية ، ثم توزيعها على المســتهلكين للإســتفادة منها في الإســتخدامات المختلفة للطاقة الكهربائية . وبناء على هذا التعريف فإن أنظمة القدرة الكهربائية تتكون من ثلاثه أنظمة رئيسية هي :

1) نظام التوليد (Generation System).
2) نظام النقل (Transmission System).
3) نظام التوزيع (Distribution System) .

(1-2) مشكلة البحث :-

تواجه خطوط نقل القدرة الكهربائية العديد من المشـــاكل ، أهمها مشـــكلة فقودات الطاقه المنقولة عبرها التى بدورها تؤدي الى ضعف الامداد ، والقطوعات المستمرة ، وبالتالي ارتفاع عجز الامداد الكهربائي ، وخروج العديد من المحطات عن الخدمة، ومنها تزداد الحوجه للصيانة باستمرار. لذا كان لابد من اجراء دراسة لاحد الخطوط .

(1-3) الهدف من البحث :-

يهدف هذا البحث لدراســة وتحليل خط الربط الكهربائي مصــر- الســودان ، وتقييم اداءه من خلال العديد من المؤشرات . مثل الكفاءة ، ونسبة تنظيم الجهد ، وفقودات القدرة في الخط .

(1-4) منهجية البحث :-

تم إتباع المنهج الوصــفي في جمع المعلومات والبيانات من الدراســات الســابقه ، وعدد من مواقع الانترنت ، وزيارة ميدانية لوحدة التحكم المركزي ، وقســم ادارة المشــروعات بالشــركة الســودانية لنقل الكهرباء لجمع بيانات خط الربط مصر-السودان. واستخدمت المعادلات الحسابية في الجانب التحليلي لتقييم أداء الخط .

(1-5) هيكلية البحث :-

يتكون البحث من خمسة فصول:-

- الفصل الاول :- يحتوي على مقدمة عن نظام القدرة القدرة الكهرائية ويبين مشكلة البحث .الاساسية ، كما انه يبين الاهداف العامه للبحث، والمنهجية المتبعه في اعداد هذا البحث .
- الفصل الثاني :- يتحدث عن مكونات نظام نقل القدرة الكهربائية من الحوامل والموصلات والعوازل والاكسسوارات .
- الفصل الثالث :- يوضح حسابات خطوط نقل القدرة بأنواعها المختلفه الخطوط القصيرة ، الخطوط المتوسطة والخطوط الطويلة
- الفصل الرابع :- يتناول الجزء التحليلي من المشروع حيث يحتوي على حسابات خط الربط المصري ونتيجة حسابات القدرة المفقودة على الخط وكفاءة الخط
- الفصل الخامس :- يشمل الخلاصة والتوصيات.

الفصل الثانى

(مكونات خطوط النقل)

خطوط النقل

(2-1) مقدمه :-

كانت عملية نقل الكهرباء تتم عن طريق مد أسلاك توصيل مباشرة بين محطة التوليد وبين المشترك ، كما فعل توماس إديسون في أول محطة طاقة تجارية في التاريخ ، والتي أنشأتها شركتة في نيويورك سنة (1882) . لكن مع التوسع العمراني وزيادة الطلب، وإبتعاد المحطات عن المستهلكين بسبب بناءها خارج المدن بسبب إتساع المدن . فقد تعثرت طريقة نقل الطاقة بالطريقة العادية المباشرة من المحطة للمستهلك ، وأصبحت غير عملية لأن الهبوط في الجهد الكهربي الحاصل بسبب طول المسافة أصبح كبيرا. إبتكرت بعد ذلك طريقة جديدة بواسطة جورج وستنجاوس ومعه المهندس الشاب العبقري نيقولا تسلا الذي يعتبر بحق أبو الكهرباء . وهي طريقة رفع الجهد الكهربي في المحطة الرئيسية بواسطة المحولات التي إستخدمها تسلا لأول مرة ، ثم نقل الطاقة عبر خطوط الجهد العالي ثم في النهاية خفض الجهد مرة أخرى داخل محطات التحويل القريبة من المستهلكين. وهذه الطريقة حلت مشكلة الفقد في الطاقة ، وإنخفاض الجهد وذلك بسبب الإنخفاض الكبير في قيمة التيار المار بالخط (نتيجة رفع الجهد) .

(2-2) خطوط النقل الكهربي :-

إن ظهور خطوط النقل المتطورة ذات السعات العالية جعل من الممكن فنياً وإقتصادياً نقل الطاقة الكهربائية عبر مسافات طويلة . يتم نقل القدرة الكهربائية إما بالتيار المتردد أو التيار المستمر . مع تصميم الخط بإستخدام أحد الأنواع التالية :-

i. خطوط هوائية .
ii. كابلات أرضية .

تصمم معظم خطوط نقل القدرة لتعمل في النظام الثلاثي الطور (3-phase system) ، ويستخدم في الخطوط الهوائية موصلات غير معزولة ،مع الإستفادة من الهواء المحيط كوسط عازل.

(2-3) مكونات خطوط النقل الكهربي :-

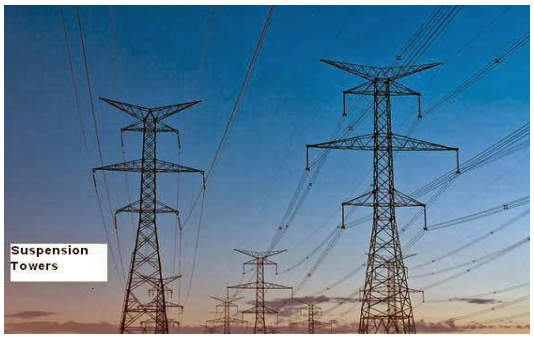
يتكون خط النقل الكهربائي من الاجزاء الرئيسية التالية :-

(1-3-2) الأبراج (Towers) :-

الابراج المستخدمة في نقل الطاقة الكهربائية هي عبارة عن هياكل معدنية تصنع من الحديد القلفنايز لمنع الصدأ(galvanized iron) وهي عبارة عن جسم شبكي ذو اربعة سيقان ويعتمد تصميمها وابعادها على حجم الجهد الذي تقوم بنقلة، وبناء على ذلك توجد عدة أنواع من الابراج .

أ- أبراج التعليق (Suspension Tower):-

هي الأبراج العادية التي يكون الغرض منها فقط تعليق الموصلات على مسافات وارتفاعات مناسبة ومتساوية دون الحاجة لإضافات أو تعديلات خاصة . وهي عبارة عن أبراج تعلق على نهاية اذرعها الموصلات الناقلة للقدرة الكهربائية بواسطة الحبال العازلة . وأبراج التعليق هي الأكثر إستخداما في خط النقل ، وتشكل هذه الأبراج حوالى80% من إجمالى عدد الأبراج فى الخط وتستخدم فى حمل الموصلات ، وهى الأبراج التى يتم توظيفها لحمل الموصل فقط ولا يقع عليها أى قوى شد أفقية.



شكل (2–1) يوضح برج تعليق

ب- أبراج الشد (Tension Towers):-

ويتم بها شد الموصلات الناقلة الكهربائية بواسطة الحبال العازلة وبمساعدة عوازل الشد وذلك للتاكد من الشد المناسب للموصلات وتفادي الشد الزائد أو الارتخاء المفرط . توضع أبراج الشد على طول خط النقل على مسافات منتظمة محدده ومتساوية

شكل (2−2) يوضح برج شد

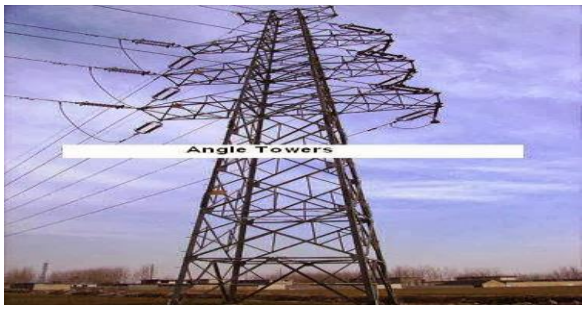
ج- أبراج التباديل (Transposition Towers):-

وهذه الأبراج يتم من خلالها تبديل الفازات على مسافات متساوية بطول الخط لكى تتساوى (inductance) فى الفازات الثلاثة وكذلك تتساوى ال (Capacitance) للفازات الثلاثة بطول الخط فإن قيمة ال (inductance and capacity) تتوقف على أبعاد البرج وارتفاعات الموصلات عن الأرض.

شكل (2−3) يوضح برج تباديل.

د- أبراج الزاوية (Angle Towers):-

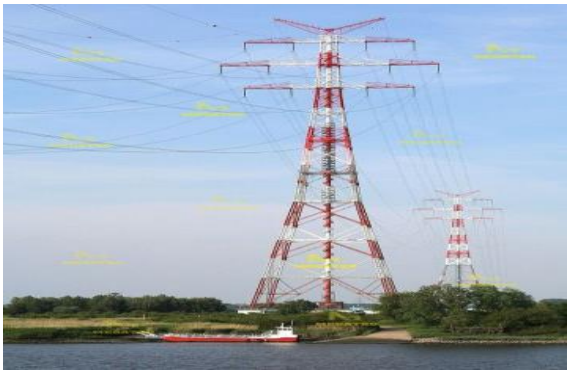
وهذه الابراج تستخدم لتغيير مسار الخط عند وجود إنحراف أو تغير في إتجاه مسار خط النقل (عند وجود اللفات او المنحنيات).



شكل (2-4) يوضح برج زاوية

ه- أبراج العبور (Crossing Towers):-

وتستخدم عند عبور الطرق الرئيسية والانهار وخطوط السكك الحديدية أو عبور الخطوط الأقل جهدا مثل خطوط التوزيع الكهربائي وخطوط الإتصالات، وتزود هذة الأبراج بشبكة حماية من الحبال العازلة توضع اسفل الموصلات لمنعها من السقوط عند حدوث العواصف او عند تعرضها لأي حادث طارئ.



شكل (2-5) يوضح برج عبور.

و- أبراج نهاية وبداية (Terminal Towers):-

وهي الأبراج التي يكون موقعها عند بداية أو نهاية خط نقل معين. وتصمم بقوة ومتانة مرتفعة عن بقية الأبراج بحيث تتحمل الشد من جهة واحدة وتستخدم في بداية ونهاية محطات التوزيع التحويلية وتزود بأسلاك صباني لضمان التثبيت والشد.

شكل (2–6) يوضح برج بداية ونهاية

(2-3-2) العوازل (Insulators):-

تعتبر العازلات الكهربائية هي أهم المكونات الرئيسية في خط النقل وهي أحد العوامل المؤثرة على تكاليف خط النقل وتتعرض العازلات للإجهادات الكهربية بسبب جهود التشغيل وكذلك العواصف الرعدية والجهود الزائدة لذلك نجد أن 80% من أعطال خط النقل تكون بسبب تلف أو إنهيار العوازل وعدم مقدرتها على تحمل الجهود ولذلك يجب إختيار العازل المناسب واخضاعه للاختبارات اللازمة وكذلك اجراء الفحوص والاختبارات المنتظمة للعوازل في برامج الصيانة الموسمية .

وظيفة العوازل، للعوازل وظيفتان أساسيتان هما:

وظيفة كهربية : وهي تأمين العزل الكهربية الكامل بين الموصلات (الأسلاك) الكهربية و بين الأبراج الحاملة لها. وهذا لن يتم إلا إذا توفرت فى العازل عدة سمات أهمها الكفاءة العالية للعزل الكهربي تحت أسوأ الظروف الجوية كالمطر و الرطوبة و الأمطار و التلوث ، و أيضا تحمل جهد تشغيل الخط بالإضافة إلى الجهود الناتجة من عمليات الفصل و التوصيل للمهمات.

وظيفة ميكانيكية : وهى تثبيت الموصلات الكهربية على الأعمدة أو الأبراج الكهربية في جميع الظروف الجوية المتوقعة، و كذلك على موضعها من البرج المستخدم ولها عدة تصنيفات.

(2-3-2-1)**تصنيف العوازل حسب الشكل التصميمي** :-

1- تصميم عوازل الطاقية والمسمار ويسمى (Insulator Type Pin &Cap):-

ويصنع هذا النوع من البورسلين أو الزجاج. و يتميز هذا النوع من العازلات بإمكانية استبدال أى طبق تالف من السلسلة ، كذلك فإنه يصلح لكافة الجهود بدءا من المتوسطة و حتى فائقة الجهد (500KV). ويتم تركيب

الأطباق المختلفة معا بتوصيل مسمار الطبق الثانى بالشق أو الثقب الموجود بالاول وهكذا حتى تتكون السلسلة بالطول المطلوب.

2- تصميم عوازل الساق الطويلة (Insulator Type Long Road):-

ويصنع من البورسلين أو المطاط السليكونى وأكثر استعمالاته فى ال(Bushings) الخاصة بالكابلات أو المحولات وفى محطات التحويل ، وفى الجهد المتوسط لدينا نوع ثالث وهو(type Pin) أى عازل المسمار فقط ويستخدم حتى(33KV) كما فى الصورة . وهو مصنوع من قطعة واحدة من العزل مشكلة على شكل مظلة أو أكثر. والمظلة الواحدة تستعمل فى جهد (11KV) وبعده يستعمل مظلتين أو ثالثة فى الجهود الأعلى. وتكون المظلات متباعدة عن بعضها لتحسين العزل أثناء الأمطار. ويصبح استعمال هذا النوع من العوازل مرفوضا فى الجهود العالية لصعوبة تغييره.

ب- **تصنيف العوازل حسب مادة الصنع**:-

1- **عوازل بورسليني (Porcelain Insulators):-**

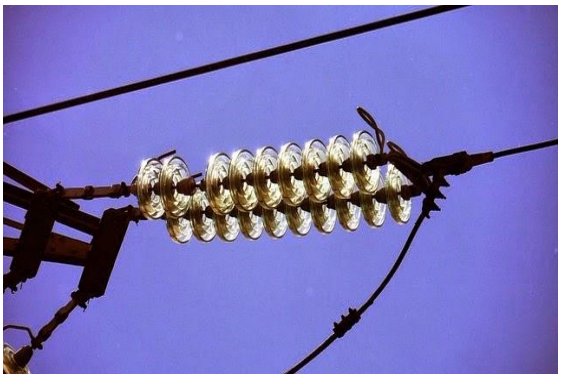
وهو نفسه الذى نسميه الخزف و يتمتع بعازلية كهربية مرتفعة إذا كان متجانسا و نقيا و معالجا بصورة جيدة و خاليا من أي مسامات أو شوائب أو فقاعات مهما صغرت. وتصنع عوازل البورسلين من سيليكات الألومنيوم ويخلط مع مادة الكاولين البلاستيكية ومادة الكوارتز ويصنع من البورسلين نوعي العوازل (Type Pin &Cap) و (Type rod Long) على السواء.

شكل(2-7) يوضح عوازل البورسليني.

2- العوازل الزجاجية (Glasses Insulators):-

يتم تصنيع الزجاج من السليكون ويكون عزله عاليا يصل إلى (140 cm/kV) .و يتحمل قوة ضغط وقوة شد ميكانيكي بدرجة أكبر من أو على الأقل تساوى تلك التي يتحملها البورسلين، كما أنه أرخص وأطول عمرا من البورسلين.

ويمتاز بأنه شفاف مما يجعل رؤية أى شوائب أو فقاعات غازية أو شروخ ممكنة بالعين المجردة و يعد شفافا بالنسبة للإشعاعات الحرارية، بالإضافة إلى أن معامل تمدده أقل من الخزف وهذا يجعل، و له ميزة عملية تكمن في أنه إذا تعرض لصدمات ميكانيكية كرمي الحجارة عليه فإنه يكسر بالكامل فيسهل اكتشاف موقع العطل في خط النقل، بينما يتشقق عازل البورسلين فقط في الحالات المشابهة و بالتالي يصعب اكتشافه بالنظر إليه من سطح الأرض. ويصنع من الزجاج عوازل(cap and pin) فقط.



شكل(2-8) يوضح العوازل الزجاجية.

3- العوازل المطاطية (Rubber Insulators) :-

تصنع هذه العوازل من البلاستيك المقوى والمطاط (البوليمر) وتتميز بخفة وزنها مقارنة بالعوازل الأخرى، ويمتاز هذا النوع بعازليه فائقة لا تسمح للماء بالتواصل مع التلوث على العازل، كما يمتاز بخفة وزنه الكبيرة مقارنة بالعوازل الأخرى كما يمتاز بسهولة تركيبه على الأبراج . إلا أن أسعارها لا زالت أعلى من أسعار العوازل الزجاجية أو المصنوعة من البورسلين، ويصنع منه عوازل من نوع (rod Long) فقط.

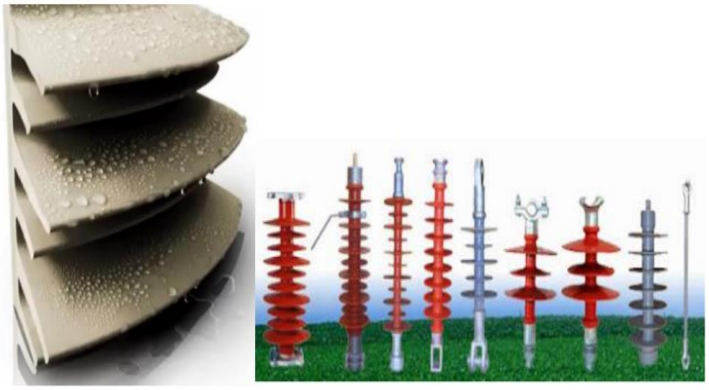
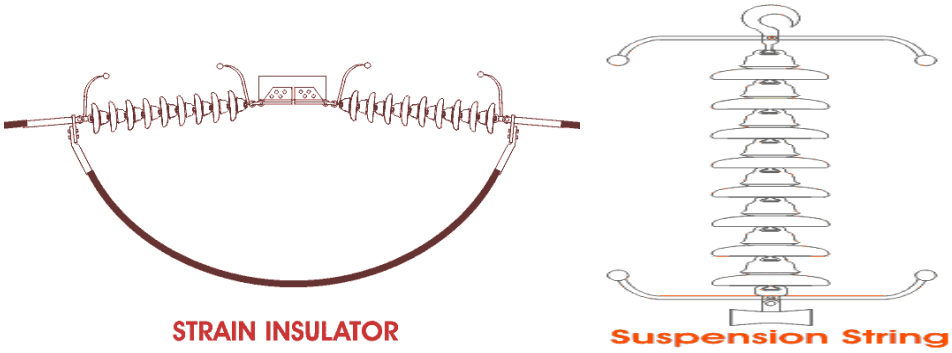


Figure 9-7 عوازل مطاطية

شكل(2–9) يوضح العوازل المطاطية.

تصنف العوازل من حيث نوع البرج المركبة علية نوعان :-

i. عوازل التعليق(suspension insulators).
ii. عوازل الشد(strain insulators).



شكل(2–10) يوضح عوازل الشد وعوازل التعليق

(3-3-2) الموصلات (conductors) :-

الموصل هو الجزء الرئيسي في خط النقل حيث إنه هو الناقل الذي يقوم بنقل الطاقة الكهربية من مكان لآخر، والموصلات المستخدمة في خطوط النقل تكون مكشوفة أي غير مغطاة بمادة عازلة ، وتكون معلقة بين أعمدة أو ابراج، وتصنع الموصلات من النحاس أو الألمونيوم النقي ويتم سحب الأسلاك النحاسية إما على الساخن أو على البارد، أما أسلاك الألمونيوم فيتم سحبها على البارد فقط لان السحب على البارد يعطى قوة شد أعلى .

(2-3-3-1)خصائص المواد المستعملة في صناعة الموصلات:-

1- **الموصلية (Conductivity)** :-

يجب أن تكون المادة التي تصنع منها موصلات خط النقل ذات موصلية عالية وذلك حتى يكون الفقد في القدرة على الخط أقل ما يمكن حتى تكون عملية النقل اقتصادية.

2- المتانة الميكانيكية (Mechanical Strength) :-

تقاس المتانة الميكانيكية بأقصى إجهاد تتحمله المادة ، و كلما كانت نسبة المتانة إلى الوزن أكبر كلما أمكن زيادة خطوة البرج وتقليل تكلفة إنشاء الخط.

3- معامل المرونة (Modulus Of Elasticity):-

إستطالة الموصل تحت تأثير إجهاد الشد الواقع عليه تؤدي إلى نقص مساحة المقطع مما يؤدي إلى ضعف الموصل وانقطاعه ولذا نحتاج أن يكون معامل المرونة صغيرا.

4- معامل التمدد الحراري (Coefficient Expansion Heat) :-

يفضل صناعة الموصل من مادة ذات معامل تمدد حراري صغير حيث أن خطوط النقل الهوائية تكون معرضة للتغيرات المناخية نظراً لوجودها بالعراء.

5- التكلفة (Cost):-

والتكلفة من أهم العوامل المؤثرة في اختيار مادة الموصل، والمادة الأكثر استعمالا في صناعة موصلات خطوط النقل الهوائي هي الألمونيوم بسبب خفة الوزن و رخص الثمن.

أنواع الموصلات المستخدمة في خطوط النقل الهوائية:-

أ. موصلات النحاس (Copper Conductors) :-

يمتاز النحاس بخاصية موصلية عالية (high conductivity) وقدرته على نقل تيارات عالية نسبيا بسبب خصائصة الحرارية الجيدة ودرجة إنصهاره العالية لكن يعيبه ثقل الوزن وارتفاع الثمن وارتفاع معامل التمدد الطولي

ب. موصلات الالمنيوم (Aluminum Conductors) :-

أما الالمونيوم فهو يلي النحاس مباشرة في قيمة الموصلية وقلة المقاومة النوعية بل يتفوق على النحاس في أنه

i. أرخص ثمنا من النحاس.
ii. قلة الكثافة وخفة الوزن.

ولكن يعيب الالمونيوم انه اقل موصلية وكثافة التيار اقل وبالتالي يحتاج لمساحة مقطع أكبر بنسبة(1.25) من النحاس وبالتالي اشد عرضة لعوامل التاثر بقوة الرياح واكبر تعرضا للارتخاء. كما يعيب الالمونيوم إنخفاض قوة الشد والمتانة وانخفاض درجة الانصهار عن النحاس والحديد وبالتالي عرضة للتهتك والقطع عند ارتفاع التيار او حدوث دائرة قصر وبذلك فان العمر الافتراضي لموصلات الالمونيوم اقل من النحاس والحديد .

ت. موصلات الحديد الصلب (Steel Conductors) :-

اما الحديد فيمتاز بانخفاض الثمن بصورة ملحوظة مقارنة مع كل من النحاس والالمونيوم كما يمتاز بقوة الشد ومتانة عالية ومعامل التمدد الطولي مناسب ودرجة الانصهار عالية وخاصية ارتخاء قليلة مقارنة مع النحاس والالمونيوم، لكن يعيبة انه اضعف موصلية ومقاومتة النوعية اكبر من النحاس والالمونيوم(هبوط الجهد والفقودات مرتفعه)، واثقل وزنا وقصر العمر الافتراضي لموصلاته ، كما وانه اكثر تعرضا للتيارات الدوامية والفقودات، لذلك فإن الحديد هو أقل المعادن الثلاثة استخداما في الموصلات الكهربائية.

ث. الموصلات المجدولة (Stranded Conductors):-

معظم الموصلات المستخدمة في خطوط النقل الهوائية تكون عبارة عن جديلة من أسلاك الألومنيوم ملفوفة فوق سلك صلب واحد أو أكثر فى قلب الجديلة.

والموصلات المجدولة تستخدم في الأحمال المرتفعة والجهود العالية ألنها تتحمل تيارات أعلى لنفس مساحة مقطع الموصل، والموصل المجدول يتحمل تيارا كهربيا أعلى من الموصل المصمت لنفس مساحة المقطع فى حالة التيار المتردد، بالإضافة إلى أنه يمتاز بالمرونة العالية.

وهناك أنواع متعددة من الموصلات المجدولة المستخدمة فى الخطوط الهوائية منها :-

1- موصلات الألمونيوم الخالص:-

يعتبر ال (AAC, Conductor Aluminum All) أرخص أنواع الموصلات ، ولكن بسبب المتانة المنخفضة لهذا النوع من الموصلات تجعله مناسبا. فقط عندما تكون المسافة بين كل برجين قصيرة.

2- الألمونيوم المقوي بالصلب :-

يتكون ال (ACSR, Reinforced Steel Conductor Aluminum) من قلب عبارة عن طبقة أو أكثر من أسالك الصلب المجلفان المحاطة بطبقة أو أكثر من أسالك الألمونيوم ، ،ويتم تعريف هذه الموصلات بعدد أسلاك الألومنيوم وأسلاك الصلب .

هذا النوع من الموصلات له متانة أعلى من موصلات الألومنيوم ولذلك يستخدم عندما تكون المسافة بين الأبراج كبيرة وله كذلك معامل مرونة أعلى ومعامل تمدد حراري أقل من الألومنيوم ولذلك فإن خصائصه الميكانيكية أعلى بكثير من الألومنيوم.

3- موصلات سبائك الألومنيوم :-

وهذا النوع : (AAAC , Conductor Alloy Aluminum All) عبارة عن سبيكة متجانسة معالجة حراريا من الألومنيوم والمغنسيوم والسيليكون ، وهذا الموصل له خصائص تميزه عن (ACSR، AAC) حيث أن له متانة عالية جدا الأبراج و بالتالى تقليل تكلفة إنشاء الخط أو زيادة قدرة حمل التيار عند وذلك يتيح زيادة المسافة بين الموجودة بين الابراج.

4- الألومنيوم المقوي بسبيكة الألومنيوم:-

يعتبر : (ACAR Reinforced Alloy Conductor Aluminum) مشابها تماما ل (ACSR) ولكن مع استبدال القلب المكون من أسالك الصلب بأسلاك من سبيكة الألومنيوم وبذلك يعطي خصائص بين خصائص موصلات الألومنيوم و خصائص موصلات الألومنيوم المقوي بالصلب.

5- سبيكة الألومنيوم المقوي بالصلب :-

(ACSR Aluminum Alloy Conductor Steel Reinforced AACSR)

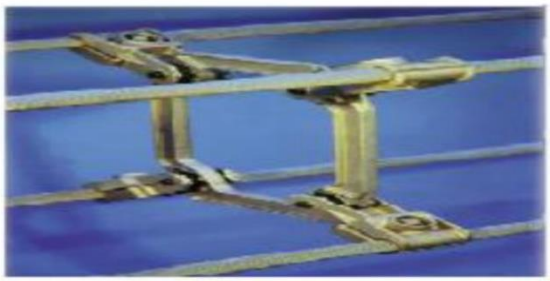
حيث يحتوي على قلب مكون من أسلاك الصلب ولكن تستبدل أسلالك الألومنيوم بأسلاك من سبيكة الألومنيوم ، وهذا النوع له متانة ميكانيكية عالية على حساب الموصلية ولذلك يستخدم هذا النوع من الموصلات عندما تكون مثل هذه الخصائص مرغوبة.

(4-3-2)الاكسسوارات (Accessories):-

هناك أيضا بعض العناصر التى يمكن تصنيفها على أنها ملحقات تتعلق بالموصلات، مثل خامد الاهتزازات (Dampers) ، وكذلك ال(spacers) وهى الفواصل بين الموصلات وايضا مانعات الصواعق وكرات تحذير الطائرات.

1- فواصل الموصلات (spacers) :-

عند عمل (Conductors Bundle) ، يمكن استخدام موصلين أو ثالثة أو أربعة لكل فاز كما فى الشكل ادناه، وبالطبع نحتاج لفواصل بين هذه الموصلات لضمان وجود مسافة ثابتة بين الموصلات.



شكل(2-11) يوضح فواصل الموصلات.

2- خوامد الاهتزازات (Dampers) :-

نتيجة الرياح الشديدة سيكون هناك اهتزازات قد تتسبب مع الوقت فى مشاكل للخط و للعوازل ، ولذا فمعظم الخطوط تكون مزودة (لاسيما فى الجهد العالي) بما يسمى (dampers Stockbridge)

شكل(2-12) يوضح خوامد الإهتزازت.

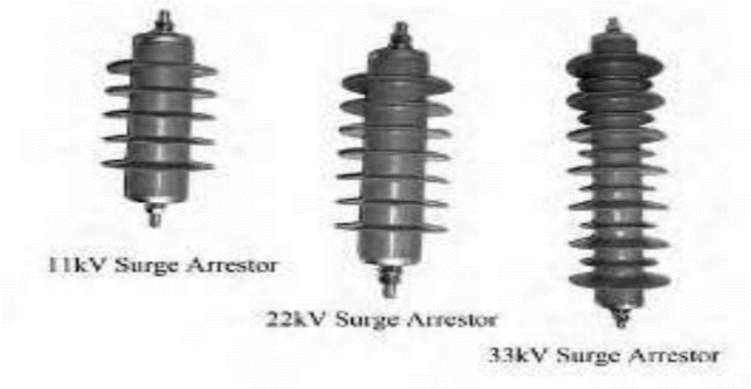
3- كرات تحذير الطائرات (Plans Warning lights):-

الغرض من هذه الكرات هو تحذير الطائرات المارة بالمنطقة إذا كانت قريبة من المطارات لا سيما طائرات الهيلوكوبتر التى قد تطير على ارتفاعات منخفضة . وقد تم تطوير هذه الكرات وتم وضع خلايا شمسية على سطحها الخارجى وكذلك مجموعة (LEDs) بحيث تعمل (Flashing) في الليل.

شكل(2-13) يوضح كرات تحذير الطائرات.

4- مانعة الصواعق (Electrical Lightening Arresters):-

توضع مجموعة مانعة الصواعق فى بداية ونهاية الخط الهوائي للجهد المتوسط وكذلك عند كل محول . وتوضع أيضا على كل جهاز فصل وإعادة التوصيل الاتوماتيكي، وعلى منظمات الجهد الأتوماتيكية (AVR)، ومكثفات الجهد المتوسط وذلك لتفريغ الشحنة الكهربية للصواعق التى قد تضرب الشبكة الهوائية .



شكل (2-14) يوضح مانعة الصواعق

الفصل الثالث

(حسابات خطوط النقل)

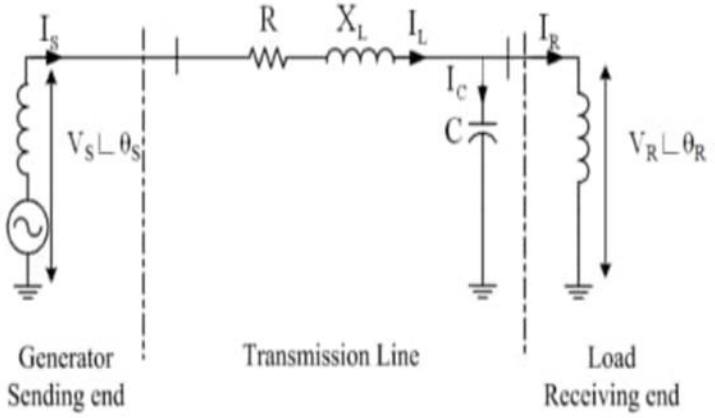
حسابات خطوط النقل

(3-1) مقدمة :-

تعتبر خطوط النقل شرايين نظام الطاقة الكهربائية، كما أن ظهور خطوط النقل المتطورة ذات السعات العالية جعل من الممكن فنياً وإقتصادياً نقل الطاقة عبر مسافات طويلة حيث تصمم معظم خطوط نقل القدرة لتعمل في نظام التيار المتردد الثلاثي الطور المتماثل والمتوازن، وحيث تستخدم في الخطوط الهوائية موصلات معدنية غير معزولة (من الألمونيوم غالبا) لتخفيض التكلفة وللإستفادة من الهواء المحيط كوسط عازل ولتبريد الموصلات في نفس الوقت.لكن أحيانا داخل المدن الكبيرة وفي المناطق المزدحمة قد تستخدم جزئيا الكوابل الارضية.

(3-1-1) خواص خطوط النقل الكهربائي :-

تتمثل خواص خطوط النقل الكهربائي في المعاملات التي تحدد الأداء الكهربائي للخطوط حيث يمكن التعبير عن هذا الأداء بمعاملات أربع هي المقاومة المادية للخط (Resistance R)، ومواصلة التوازي للخط (G)، والمفاعلة الحثية للخط (XL Inductive Reactance)، والسعة الكهربائية للخط (Capacitance C) وبناء على ذلك فإن كل موصل من موصلات خط النقل ثلاثي الأوجه يمكن تمثيله بمقاومة (R) على التوالي مع محاثة (L) بالتوازي مع سعة (C) ومواصلة كما في شكل مع إهمال قيمة مواصلة التوازي (G) لصفرها لكل متر طولي من طول الخط .



شكل(3-1) يوضح تمثيل وجه مفرد من خط نقل ثلاثي الأوجه

أ. المقاومة المادية للخط (Line Resistive R)

وتمثل مقاومة موصلات الخط مقدرة بوحدات الأوم (Ω) وتعتمد على الشكل الهندسي الموصلات الخط من حيث مساحة المقطع والطول إضافة إلى الخواص الطبعية المادة موصلات الخط في شكل المقاومة النوعية للموصل ، وتحسب مقاومة وحدة الأطوال الموصلات الخط من العلاقة التالية :-

$$R = \frac{P}{A} \qquad (3-1)$$

حيث :-

R هي مقاومة وحدة الأطوال مقدرة بوحدات Ω /m

P هي المقاومة النوعية لمادة الموصل مقدرة بوحدات Ω.m

A هي مساحة مقطع الموصل الفعالة مقدرة بوحدات m^2

وفي حالة الموصلات المصنوعة من الألمنيوم المقوى بالصلب (ACSR) والمستخدمة بكثرة في خطوط النقل الكهربائي ، يمكن الحصول على المعلومات الدقيقة عن مقاومة وحدة الأطوال لهذه الموصلات من جداول خاصة تعد من قبل المصنعين لهذه الموصلات .

ويتسبب الفقد الناتج عن المقاومة المادية الموصلات الخطوط في رفع درجة حرارة هذه الموصلات والتي تضع حدا حراريا على التحميل للخطوط ، كما تؤثر درجات الحرارة العالية على ارتخاء موصلات الخطوط بين الأبراج ، إضافة إلى نقص قوة الشد للموصلات .

وعند دراسة أداء الخطوط يهمل تأثير المقاومة المادية (R) ومواصلة التوازي (G) نظرا التأثيرهما الضئيل على المعاوقة الكلية المكافئة للخط بالمقارنة مع تأثير المفاعلة الحثية والسعة الكهربائية لموصلات الخط.

المقاومة النوعية لعدة انواع من المعادن تصنع منها اسلاك موصلات خطوط النقل موضحة في الجدول التالي

جدول (3-1) يوضح المقاومة النوعية لعدد من المعادن التي تصنع منها الموصلات

مادة الموصل	المقاومة النوعية $\Omega.mm^2/m$
النحاس	0.01786
الامونيوم	0.0287
الحديد	0.1780
قلب حديد مجدول بضفيرة من الالمونيوم	0.0780

ب. مواصلة التوازي للخط (G) :-

وتمثل هذه المواصلة تيار التسرب بين أوجه (أطوار) الخط والأرض حيث تتأثر قيمة هذا التيار بدرجة عالية بالمناخ ورطوبة الجو والتلوث ونسبة الأملاح ، وعادة ما يهمل هذا التيار وبالتالي قيمة مواصلة التوازي للخطوط في ظروف التشغيل العادية وذلك لصغر القيمة الفعلية له إلى جانب صعوبة تحديد هذه القيمة .

ج-المفاعلة الحثية للخط (Inductive Reactance XL) :-

تعتبر المفاعلة الحثية للخط أكثر الخواص أهمية نظرا لتأثيرها المباشر والفعال على سعة التوصيل والهبوط في الجهد لخطوط النقل ، وبالتالي فإنه في معظم التصميمات والدراسات التحليلية للخطوط تكون المفاعلة الحثية (XL= 0 . L) هي العنصر السائد لمعاوقة الخطوط.

وتتأثر قيمة محاثة الخطوط (الحث الذاتي) بالمسافات الفاصلة بين موصلاتها على حسب وضعها على البرج أو العمود الحامل لهذه الموصلات ، ويمكن حساب محاثة الخطوط ثلاثية الأوجه المفردة لكل وجه من العلاقة التالية :

$$L = \frac{\mu}{2\pi}\left(\frac{1}{4} + ln\frac{D}{R}\right) \qquad (3-2)$$

حيث :-

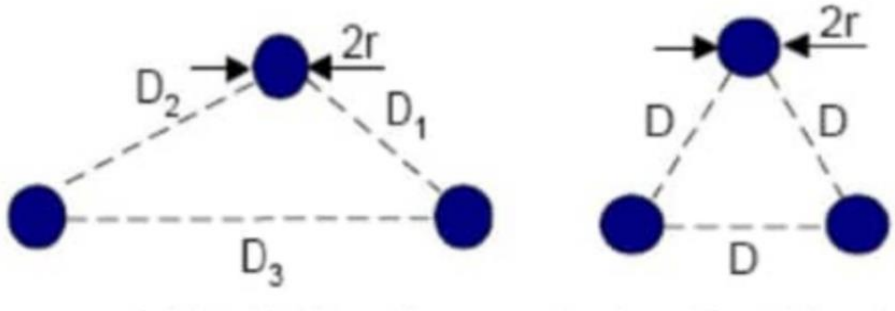
L هي محاثة وحدة الأطوال مقدرة بوحدات H/M

μ هي النفاذية المغناطيسية للفراغ H/M $\mu = 4\pi \times 10^{-7}$

D المسافة بين الموصلات مقدرة بوحدات (m).

r نصف قطر موصل الخط مقدرة بوحدات (m)

وعندما تكون المسافة بين موصلات الخط غير متماثلة كما هو موضح بشكل (1- 4)، فإنه تؤخذ المسافة المحسوبة بالعلاقة التالية في الاعتبار عند حساب محاثة الخط



شكل(3-2) يوضح المسافة بين موصلات خط نقل ثلاثي الأوجه مفرد .

بالرجوع إلى جدول خواص موصلات الخط المذكور نجد أن المقاومة المادية لوحدة الأطوال تساوي (R = 0 . 074 Ω/ km) ومن ثم فإن المفاعلة الحثية التي حسبناها تكون ستة أضعاف قيم المقاومة المادية مما يؤكد ما ذكر سابقا عن تناسب قيم كل من R و XL وإمكانية إهمال قيمة المقاومة المادية لخطوط النقل عند تمثيلها أو إجراء الدراسات التحليلية لها.

د. السعة الكهربائية للخط (Capacitance C) :-

عندما يكون فرق الجهد بين الموصلات عاليا جدا يمر تيار إزاحة كهربائية عبر العازل بين الموصلات والأرض والممثل بالهواء في الخطوط الهوائية ، ويكون هذا التيار متقدما عند انعدام الحمل ويعرف بتيار الشحن ، وتتوقف قيمة هذا التيار على سعة الخط وجهد النقل وكذلك التردد . وتمثل السعة الكهربائية للخط

مصدرا للقدرة المفاعلة حيث تتناسب هذه القدرة طرديا مع مربع جهد النقل ، ويظهر تأثير هذه السعة ويصبح جزءا أساسيا في حسابات أداء الخط ومنظومة القوى الكهربائية عندما يزيد طول الخط عن **(100 km)** ويتجاوز الجهد المحمول على الخط (300kv). وتتأثر قيمة محاثة الخطوط (الحث الذاتي) بالمسافات الفاصلة بين موصلاتها على حسب وضعها .

ويمكن حساب السعة الكهربائية للخطوط ثلاثية الأوجه المفردة بين كل وجه وخط التعادل المحايد من العلاقة التالية :

$$C_n = 2C = \frac{2\pi\varepsilon}{\ln\frac{D}{r}} \qquad (3-3)$$

حيث :

C هي السعة الكهربائية لوحدة الأطوال مقدرة بوحدات F/M

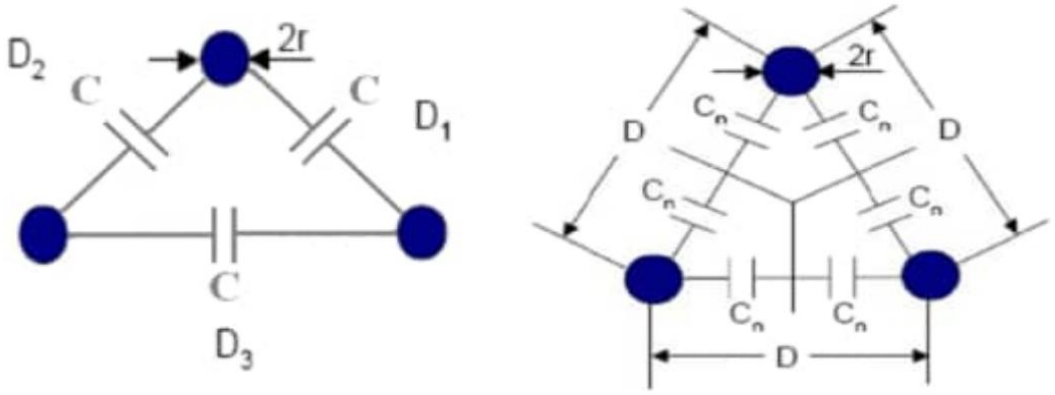
ε هي السماحية الكهربائية للفراغ F/M 8.854×10^{-12}

D المسافة بين الموصلات مقدرة بوحدات **(m) .**

R نصف قطر موصل الخط مقدرة بوحدات **(m)** .

وعندما تكون المسافة بين موصلات الخط غير متماثلة كما هو موضح بشكل ادناه، فإنه تؤخذ المسافة المحسوبة بالعلاقة التالية في الاعتبار عند حساب السعة الكهربائية للخط .

$$D = \sqrt[3]{D_1 . D_2 . D_3} \qquad (3-4)$$



شكل(3-3) يوضح السعة الكهربائية بين موصلات خط نقل ثلاثي الأوجه مفرد .

وعلى ذلك تكون المفاعلة السعوية (Capacitive Reactance) أو مفاعلة التوازي لوحدة الأطوال من طول الخط كما يلي :

$$X_C = \frac{1}{2\pi f Cn} = \frac{1}{\omega Cn} \frac{\Omega}{M} \qquad (3-5)$$

ويطلق على مقلوب أو معكوس المفاعلة السعوية اسم المسامحة السعوية (Capacitive Admittance) ، وبالتالي تكون المسامحة السعوية لوحدة الأطوال لخط نقل ثلاثي الأوجه مفرد كما يلي :

$$Y = J\frac{1}{Xc} = J\,2\pi f Cn = J\,\omega Cn \frac{Siemens}{m} \qquad (3-6)$$

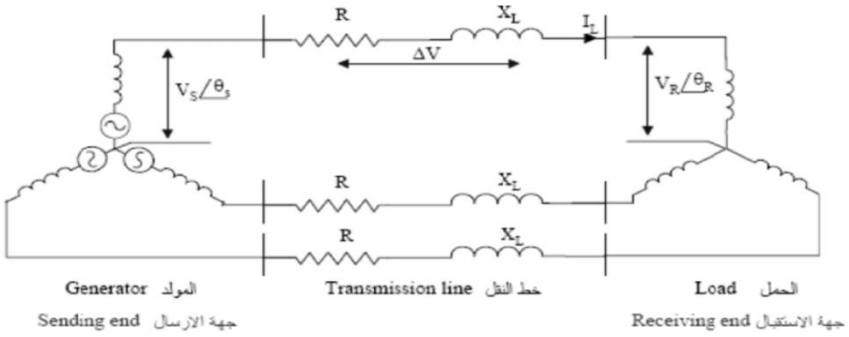
(2-3) تقسيم خطوط النقل الكهربائي (Classification of Lines) :-

المناقشة أداء خطوط النقل الهوائية فإنها تقسم إلي خطوط النقل القصيرة (80 km)، وخطوط النقل المتوسطة (80 - 120km)،خطوط النقل الطويلة أكبر من (120 km)، وتصنف خطوط النقل الهوائية اعتمادا على الأسلوب الذي تؤخذ فيه السعة في الحسبان.

(1-2-3) خطوط النقل القصيرة (Short Transmission Lines) :-

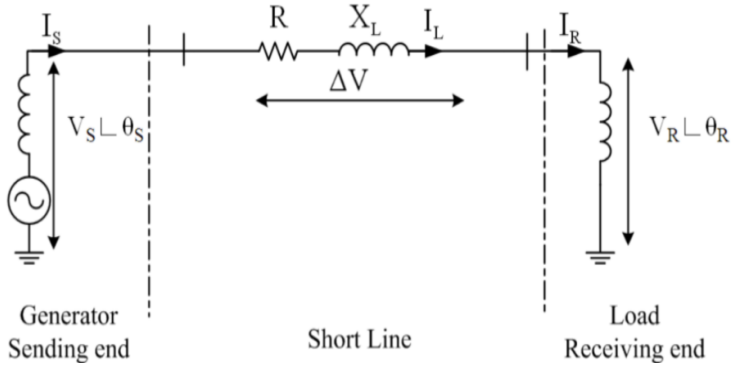
يعتبر الخط قصيرا إذا كان طوله حتى (80 km) حيث يمكن إهمال معاملات التوازي للخط (السعة الكهربائية (C) أو المسامحة السعوية (Y) والاكتفاء فقط بالمقاومة المادية R والمفاعلة الحثية (XL) للخط ، وعلى ذلك

يمكن تمثيل خط النقل القصير بمقاومة ومفاعلة حثية على التوالي لكل وجه كما هو مبين بالشكل ادناه حيث يوضح خط نقل قصير يربط بين محطة التوليد والحمل .



شكل(3-4) يوضح خط نقل قصير ثلاثي الأوجه يربط بين محطة التوليد والحمل .

ونظرا لتماثل الحمل على الأوجه الثلاثة لخط النقل فإنه يمكن تبسيط الدائرة السابقة إلى دائرة أحادية الوجه مفردة ، وبالتالي كتابة معاملات جهتي الإرسال والاستقبال للخط كما يلي :



شكل(3-5) الدائرة المفردة المكافئة لخط نقل قصير ثلاثي الاوجه

Vs جهد الوجه عند جهة الإرسال	Sending end voltage per phase
Ss القدرة الظاهرية عند الارسال	apparent power at sending end
Ps القدرة المفعالة عند الإرسال	active power at sending end
Qs القدرة المفاعلة عند الإرسال	reactive power at sending end
$\cos\phi s$ معامل القدرة عند الارسال	power factor at sending end

Vr جهد الوجه عند جهة الاستقبال	Receiving end voltage per phase
Sr القدرة الظاهرية عند الاستقبال	apparent power at receiving end
Pr القدرة الفعالة عند الاستقبال	active power at receiving end
Qr القدرة المفاعلة عند الاستقبال	reactive power at receiving end
$\cos \phi r$ معامل القدرة عند الاستقبال	power active at receiving end
IL تيار الخط	line current
R مقاومة الخط لكل وجه	line resistance per phase
Xl المفاعلة الحثية للخط لكل وجه	line reactance per phase
Δl هبوط الجهد على الخط لكل وجه	line voltage drop per phase

- من الدائرة المكافئة للخط الموضحة في شكل(3-5) يمكن كتابة المعادلات الآتية :

جهد الوجه عند جهة الإرسال :

$$V_{S=}\ V_R\ +\ \Delta V \qquad (3-7)$$

ويمكن حساب الهبوط في الجهد كالتالي :

$$\Delta V\ =\ Z_L I_L\ =\ I_L.\mathrm{R}\ +\ \mathrm{j}\ I_L\ .\mathrm{X} \qquad (3-8)$$

حيث إن :

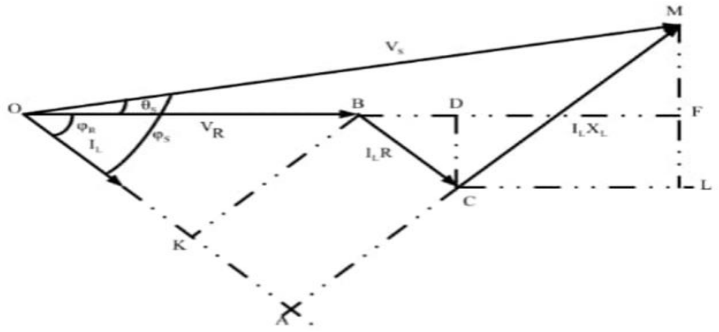
$Z_L = R + jX_L$ هي معاوقة الخط لكل وجة (Line Impedance).

$I_L.R$ هو الهبوط في الجهد على المفاومة المادية للخط ويكون في نفس

اتجاه تيار الخط Iʟ Resistive Drop in Phase with.

$I_L.X_L$ هو الهبوط في الجهد عبر المفاعلة الحثية للخط ويكون متعامدا على اتجاه تيار الخط Iʟ Reactive Drop in Quadrature with .

وطبقا للمعادلة يمكن رسم مخطط المتجهات المكافئ لدائرة الخط القصير، كما في الشكل ادناه :



شكل(3-6) مخطط المتجهات (Phasor Diagram) المكافئ لدائرة الخط القصير

من الشكل السابق وباعتبار المثلث قائم الزاوية OMA يمكن استنتاج ما يلي :

$$OM^2 = OA^2 + AM^2 = (OK + KA)^2 + (AC + CM)^2$$

$$OM = \sqrt{(OK + KA) + (AC + CM)}$$

$$Vs = \sqrt{(V_R \cos\varphi_R + I_L . R)^2 + (V_R \sin\varphi_R + I_L . X_L)^2} \qquad (3-4)$$

• ولحساب القيمة التقريبية للهبوط في الجهد وكذلك جهد الوجه عند الإرسال : بحكم أن الزاوية 0 كل من OM , OF تكون صغيرة نسبيا ، فإنه يمكن

تقريبا وهذا يعني أن : OM = OF اعتبار المسافة

$$OM = OD + DF = OB + BD + DF$$

$$V_S = V_R + BD + DF = V_R + I_L \cos\varphi_R + I_L X_L \sin\varphi_R \qquad (3-5)$$

وعلى ذلك تكون القيمة التقريبية للهبوط في الجهد هي :

$$\Delta V = V_S - V_R = I_L \, R \cos \varphi_R + I_L X_L \sin \varphi_R \qquad (3-6)$$

• ولحساب القيمة الفعلية للهبوط في الجهد وكذلك جهد الوجه عند الإرسال فإنه تستخدم الأعداد المركبة (Complex Numbers) ، كما يؤخذ جهد الوجه عند الاستقبال VR كمتجه مرجعي (Reference Vector) ولحساب الزوايا للكميات الأخرى المخطط المتجهات الموضح في شكل تحول كل معطيات الخط إلى قيم مركبة كما يلي :

$$V_R = |V_R| + j0 = |V_R| \angle 0° \qquad (3-7)$$

$$Z_L = R + jX_L = |Z_L| \angle \theta°$$

$$I_L = |I_L|(\cos \varphi_R + j \sin \varphi_R) = |I_L| \angle -\varphi°_R \ . \qquad (3-8)$$

عندما يكون التيار متأخرا (Lagging) ، وحينما يكون الحمل حثينا كما هو الحال في الشكل السابق ، تكون الزاوية سالبة وبالتالي :

$$\Delta V = Z_L . I_L \angle (\theta - \varphi_R)° \qquad (3-9)$$

• ويكون جهد الوجه عند الإرسال :

$$V_S = V_R + \Delta V$$

$$V_S = V_R + Z_L . I_L \angle (\theta - \varphi_R)°$$

$$V_S = V_R + |I_L|(\cos \varphi_R - j \sin \varphi_R)(R + jX_L)$$

$$V_S = V_R + (RI_L \cos \varphi_R + X_L I_L \sin \varphi_R) + j(X_L I_L \cos \varphi_R - RI_L \sin \varphi_R) \qquad (3-10)$$

$$V_S = \sqrt{V_R + R \, I_L \cos \varphi_R + X_L I_L \sin \varphi_R)^2 + (X_L I_L \cos \varphi_R - RI_L \sin \varphi_R)^2}$$

$$Vs = \sqrt{V^2{}_R + Z^2{}_L I^2{}_L + 2 \, V_R \, (R \, I_L \cos \varphi_R + X_L I_L \sin \varphi_R)} \qquad (3-11)$$

يكون معامل القدرة متقدما (Leading) حينما يكون الحمل سعويا، وتصبح زاوية التيار موجبة وبالتالي فإن :

$$I_L = |I_L|\,(\cos\varphi_R + j\sin\varphi_R) = |I_L| \angle\, \varphi_R{}^\circ \qquad (3-12)$$

- ويكون جهد الوجه عند الإرسال :

$$V_S = V_R + Z_L . I_L \angle(\theta + \varphi_R)^\circ$$

$$V_S = V_R + |I_L|(\cos\varphi_R + j\sin\varphi_R)(R + jX_L)$$

$$V_S = V_R + (RI_L\cos\varphi_R - X_L I_L\sin\varphi_R) + j(X_L I_L\cos\varphi_R + RI_L\sin\varphi_R)$$

$$V_S = \sqrt{V_R + (R\,I_L\cos\varphi_R - X_L I_L\sin\varphi_R)^2 + (X_L I_L\cos\varphi_L + R.\,I_L\sin\varphi_R)}$$

- وتكون زاوية معامل القدرة عند الإرسال :

$$\varphi_S = \varphi_R + \theta_S$$

ويحسب تنظيم الجهد على الخط (Line Voltage Regulation): وهو النسبة المئوية بين جهد اللاحمل وجهد الحمل عند جهة الاستقبال كما يلي :

$$VReg\% = \frac{V_{RNL} - V_{RL}}{V_{RL}} * 100 = \frac{V_S - V_R}{V_R} \qquad (3-13)$$

كما يمكن حساب القدرة الظاهرية والقدرة الفعالة والقدرة غير الفعالة (المفاعلة) عند جهتي الإرسال والاستقبال في حالة الأحمال المتزنة (المتوازنة) من العلاقات التالية

- القدرة عند جهة الإرسال :

$$S_S = 3V_S I_L = \sqrt{3}\,V_{SL} I_L = P_S + jQ_S \qquad (3-14)$$

$$P_S = 3V_S I_L\cos\varphi_S = \sqrt{3}\,V_{RL} I_L\cos\varphi_S \qquad (3-15)$$

$$Q_S = 3V_S I_L\sin\varphi_S = \sqrt{3}\,V_{SL} I_L\sin\varphi_S \qquad (3-16)$$

- القدرة عند جهة الاستقبال :

$$S_R = 3V_R I_L = \sqrt{3}V_{RL} I_L = P_R + jQ_R \qquad (3-17)$$

$$P_R = 3V_R I_L \cos\varphi_R = \sqrt{3}\, V_{RL} I_L \cos\varphi_R \qquad (3-18)$$

$$Q_R = 3V_R I_L \sin\varphi_R = \sqrt{3}\, V_{RL} I_L \sin\varphi_R \qquad (3-19)$$

وتتسبب كل من المقاومة (R) والمفاعلة الحثية للخط (XL) في فقدان كمية من القدرة الفعالة والقدرة غير الفعالة حيث يتناسب هذا الفقد في القدرة مع مربع التيار ، وتفقد القدرة الفعالة(P_{LOSS}) على مقاومة الخط بينما تفقد القدرة غير الفعالة(Q_{LOSS})على المفاعلة الحثية للخط ، ويمكن حساب هذه المناقيد طبقا للعلاقات التالية :

$$P_{LOSS} = 3RI^2{}_L = P_S - P_R \qquad (3-20)$$

$$Q_{LOSS} = 3X_L {I_L}^2 = Q_S Q_R \qquad (3-21)$$

وللتقليل من القدرة المفقودة يتم رفع الجهد كلما زاد طول الخط وذلك بخفض التيار في حدود الإمكانات الاقتصادية التكلفة النقل مما يؤدي إلى انخفاض التكلفة الإجمالية نظرا لأنه كلما قل التيار تقل مساحة مقطع الموصل المستخدم وكذلك حجم الأبراج مما ينعكس على التكلفة الإجمالية للخط ، إلا أن هذه المزايا يقابلها في الجهة الأخرى مشاكل تتعلق بضرورة زيادة مستوى العزل الكهربائي للأجهزة والمعدات والعوازل الكهربائية المستخدمة في تعليق موصلات الخط و تزداد مطالب الخلوص (Clearance) بين الموصلات والأرض وبالتالي مطلوب أبراج أعلى ومسافة بين الموصلات أكبر و لذلك تكون الأذرع المستعرضة أطول.

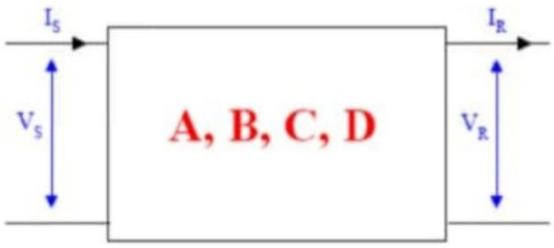
إضافة إلى ما سبق فإن كفاءة خط النقل (Transmission Line Efficiency) والتي تمثل النسبة بين القدرة الفعالة المنقولة على الخط والتي تصل إلى المستهلك والقدرة الفعالة المولدة عند الإرسال يمكن حسابها من العلاقة التالية :

$$\eta\,\% = \frac{P_R}{P_S} \times 100 \qquad (3-22)$$

- **ثوابت الدائرة المكافئة لخط النقل القصير**

(Short Transmission Lines As A Tow-Port Network)

يمكن اختصار الدائرة الكهربائية المكافئة للخط القصير إلى دائرة مكافئة رباعية الأطراف ذات دخلين (الجهد والتيار عند جهة الإرسال) وخرجين (الجهد والتيار عند جهة الاستقبال) ، حيث ترتبط متغيرات الدخل والخرج بعلاقات تحوي ثوابت تسمى الثوابت العامة للخط كما هو موضح في الشكل ادناه :



شكل (3-7) يوضح الثوابت العامة لخط النقل

$$V_S = AV_R + BI_R \qquad (3-23)$$

$$I_S = CV_R + DI_L \qquad (3-24)$$

وتتغير هذه الثوابت حسب طريقة التمثيل المستخدمة في دراسة خط النقل القصير ، ويمكن الرجوع إلى معادلات الجهد والتيار للدائرة المكافئة لخطوط النقل القصيرة ، وبالتالي حساب الثوابت العامة لهذا الخط كما يلي :

$$V_S = V_R + Z_L I_R \qquad (3-25)$$

$$I_S = I_R \qquad (3-26)$$

$$A = D = 1 \qquad (3-27)$$

$$B = Z_L \qquad (3-28)$$

$$C = 0 \qquad (3-28)$$

$$A = D\,, AD - BC = 1 \times 1 - Z_L \times 0 = 1$$

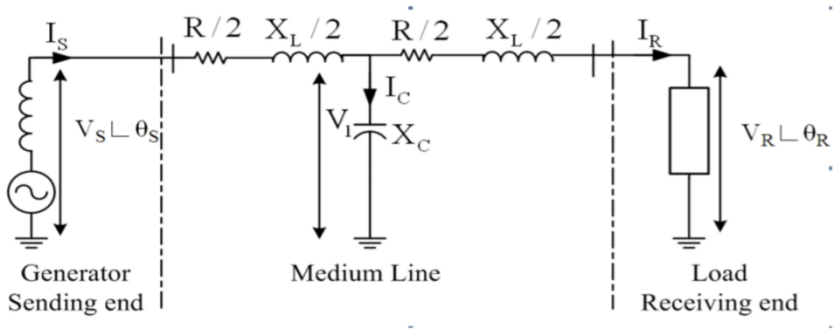
$$\therefore\ AD - BC = 1 \qquad (3-29)$$

(2-2-3)خطوط النقل المتوسطة (Medium Transmission Lines) :-

يعتبر الخط متوسطا إذا كان طوله يتراوح بين (80 – 120km) حيث لا يمكن إهمال السعة الكهربائية (**C**) أو المسامحة السعوية (Y) للخط ، بل يتم تركيزها في نقطة المنتصف للخط وتقسيم كل من المقاومة المادية (R) والمفاعلة الحثية (XL) للخط إلى نصفين متماثلين على جانبي الخط (تمثيل **T** للخط) أوتركيز معاوقة التوالي كل من المقاومة (**R**) والمفاعلة الحثية ،(**X**) للخط في نقطة المنتصف وتقسيم السعة الكهربائية أو المسامحة السعوية للخط إلى نصفين متماثلين عند بداية ونهاية الخط (تمثيل **II** للخط)، وعلى ذلك يمكن تمثيل خط النقل المتوسط بإحدى طريقتين كما يلي :

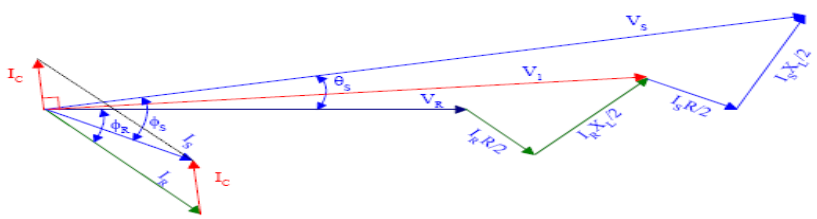
- **الدائرة المكافئة لخط النقل المتوسط على طريقة** T Nominal T Model Of Medium Line

تتمثل هذه الطريقة في اعتبار المفاعلة السعوية مركزة في منتصف الخط بين نصفي المقاومة والمفاعلة الحثية للخط مما يعطي الدائرة المكافئة شكل حرف (**T**)، ونظرا لتماثل الحمل على الأوجه الثلاثة لخط النقل فإنه يمكن تبسيط الدائرة المكافئة للخط إلى دائرة أحادية الوجه مفردة ، وبالتالي كتابة معاملات جهتي الإرسال والاستقبال للخط كما هو موضح بشكل ادناه :



شكل(3-8) الدائرة المفردة المكافئة لخط نقل متوسط ثلاثي الأوجه ممثل بطريقة (**T**).

وطبقا للدائرة المكافئة فإنه يمكن رسم مخطط المتجهات المكافئ لدائرة الخط المتوسط الممثل بطريقة (**T**) كما في الشكل (3-8).



شكل (3-9) مخطط المتجهات (Phasor Diagram)المكافئ لدائرة الخط المتوسط الممثل بطريقة (T).

في الدائرة المكافئة للخط الموضحة في شكل (3- 8) ومخطط المتجهات الموضح في شكل (3-9) يتضح أن التيار عند جهة الإرسال يساوي مجموع تياري الاستقبال $(\boldsymbol{I_R})$ وتيار الشحن $(\boldsymbol{I_C})$ كما يلي:

$$I_S = I_R + I_C \qquad (3-30)$$

$$I_C = YV_1 = j\varphi V_1 \qquad (3-31)$$

ويمكن حساب الهبوط في الجهد على النصف الأول من الخط كالتالي :

$$\Delta V = \frac{Z_L}{2}.I_L = \frac{R+jX_L}{2}.I_L \qquad (3-32)$$

وعلى ذلك فإن الجهد عند المكثف يكون :

$$V_1 = V_R + \Delta V_R = V_R + \frac{Z_L}{2}I_R \qquad (3-32)$$

أما الهبوط في الجهد على النصف الثاني من الخط فيحسب كالتالي :

$$\Delta V_1 = \frac{Z_L}{2}.I_S = \frac{R+JX_L}{2}.I_S \qquad (3-32)$$

بالتعويض من المعادلة في المعادلات نحصل على :

$$I_S = YV_R + \left(1 + \frac{YZ_L}{2}\right)I_R \qquad (3-33)$$

كما أن الجهد عند جهة الإرسال هو مجموع الجهد عبر المكثف والهبوط في الجهد على النصف الثاني للخط كما يلي :

$$V_S = V_R + \Delta V_R + \Delta V_1 = \left(1 + \frac{YZ_L}{2}\right)V_R + Z_L\left(1 + \frac{YZ_L}{4}\right)I_R \qquad (3-34)$$

- الثوابت العامة لخط نقل متوسط ممثل على طريقة (**T**)

Nominal T Model Of A Medium Line As A Tow-Port Network

بالرجوع إلى معادلة الجهد عند جهة الإرسال ومعادلة التيار عند جهة الإرسال وترتيب المعاملات يمكن تحديد الثوابت العامة للخط كما يلي :

$$V_S = AV_R + BI_R$$

$$I_S = CV_R + DI_R$$

$$V_S = \left(1 + \frac{YZ_L}{2}\right) V_R + Z_L \left(1 + \frac{YZ_L}{4}\right) I_R$$

$$I_S = YV_R + \left(1 + \frac{YZ_L}{2}\right) I_R$$

$$A = D = \left(1 + \frac{YZ_L}{2}\right) \qquad (3-35)$$

$$B = Z_L \left(1 + \frac{YZ_L}{4}\right) I_R \qquad (3-36)$$

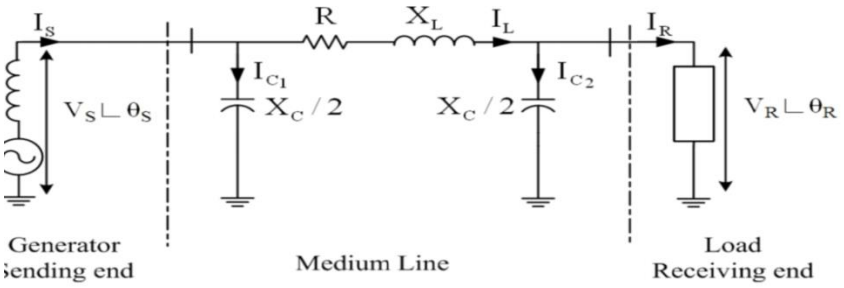
$$C = Y \qquad (3-37)$$

$$AD - BC = \left(1 + \frac{YZ_L}{2}\right)^2 Z_L Y \left(1 + \frac{YZ_L}{4}\right) = 1 \qquad (3-38)$$

- **الدائرة المكافئة لخط النقل المتوسط على طريقة π : Nominal π Model Of A Medium Line**

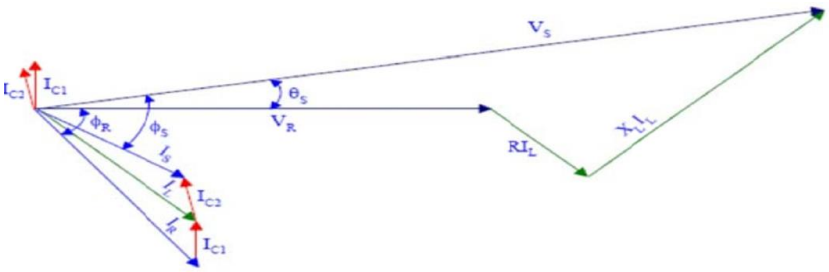
تتمثل هذه الطريقة لتمثيل خطوط النقل المتوسطة في تقسيم المفاعلة السعوية إلى نصفين ، حيث يوضع النصف الأول في بداية الخط عند جهة الإرسال والنصف الثاني عند جهة الاستقبال بينما تتركز المقاومة والمفاعلة الحثية في الوسط مما يعطي الدائرة المكافئة شكل حرف (π)، ونظرا لتماثل الحمل على الأوجه الثلاثة لخط

النقل فإنه يمكن تبسيط الدائرة المكافئة للخط إلى دائرة أحادية الوجه مفردة، وبالتالي كتابة معاملات جهتي الإرسال والاستقبال للخط كما موضح ادناه:



شكل (3-10) الدائرة المفردة المكافئة لخط نقل متوسط ثلاثي الأوجه ممثل بطريقة **π**.

- وطبقا للدائرة المكافئة فإنه يمكن رسم مخطط المتجهات المكافئ لدائرة الخط المتوسط الممثل بطريقة **π** كما في الشكل :



شكل (3-11) مخطط المتجهات (Phasor Diagram) المكافئ لدائرة الخط المتوسط الممثل بطريقة **π**.

في الدائرة المكافئةالموضحه في الشكل ومخطط المتجهات الموضح في شكل يتضح أن تيار الخط يساوي مجموع تياري الإستقبال $(\boldsymbol{I_R})$ وتيار الشحن عند طرف الإستقبال $(\boldsymbol{I_{C1}})$ كما يلي :

$$I_L = I_R + I_{C1} \qquad (3-39)$$

حيث إن تيار الشحن عند طرف الإستقبال يحسب من العلاقة التالية :

$$I_{C1} = \left(\frac{Y}{2}\right) V_R = j\left(\frac{\omega C}{2}\right) V_R \qquad (3-40)$$

أما تيار الشحن عند طرف الإرسال فيحسب من العلاقة :

$$I_{C2} = \left(\frac{Y}{2}\right) V_S = j\left(\frac{\omega C}{2}\right) V_S \qquad (3-41)$$

وحيث أن الهبوط في الجهد على الخط يعطى بالعلاقة :

$$\Delta V = Z_L . I_L = (R + jX_L) . I_L \qquad (3-42)$$

وعلى ذلك فإن الجهد عند جهة الإرسال يحسب كالتالي :

$$V_S = V_R + \Delta V = V_R + Z_L . I_L = V_R + Z_L(I_R + I_{C1}) \qquad (3-43)$$

بالتعويض من المعادلة (-) في المعادلة (-) نحصل على :

$$V_S = V_R + \Delta V_R + \Delta V_1 = \left(1 + \frac{YZ_L}{2}\right) V_R + Z_L I_R \qquad (3-44)$$

أما التيار عند جهة الإرسال فيحسب كالتالي :

$$I_S = I_L + I_{C2} = I_R + I_{C1} + I_{C2} = I_R + \left(\frac{Y}{2}\right) V_R + \left(\frac{Y}{2}\right) V_S \qquad (3-45)$$

بالتعويض من المعادلة (-)في المعادلة (-) نحصل :

$$I_S = Y\left(1 + \frac{YZ_L}{4}\right) V_R + \left(1 + \frac{YZ_L}{2}\right) I_R \qquad (3-46)$$

- الثوابت العامة لخط نقل متوسط ممثل على طريقة **π** Nominal II Model Of A Medium Line As A Tow-Port Network

بالرجوع إلى معادلة الجهد عند جهة الإرسال ومعادلة التيار عند جهة الإرسال وترتيب المعاملات على شكل المعادلتين يمكن تحديد الثوابت العامة للخط كما يلي :

$$V_S = AV_R + BI$$

$$I_S = CV_R + DI_R$$

$$V_S = \left(1 + \frac{YZ_L}{2}\right) V_R + Z_L I_R$$

$$I_S = Y\left(1 + \frac{YZ_L}{4}\right) V_R + \left(1 + \frac{YZ_L}{2}\right) I_R$$

$$A = D = \left(1 + \frac{YZ_L}{2}\right) \qquad (3-47)$$

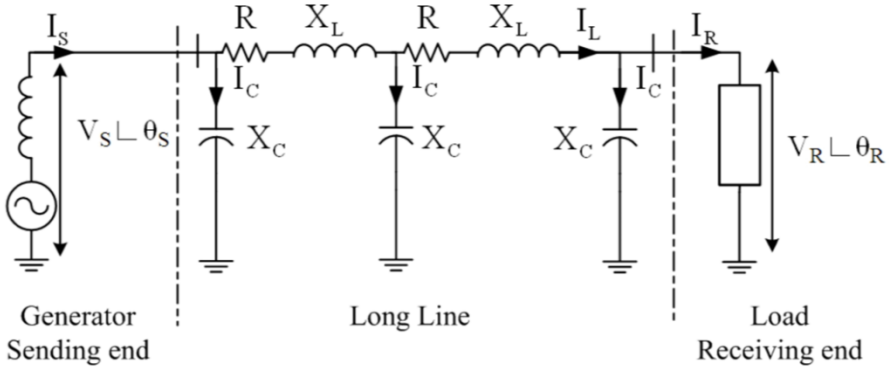
$$B = Z_L \qquad (3-48)$$

$$C = Y\left(1 + \frac{YZ_L}{4}\right) \qquad (3-49)$$

$$AD - BC = Y\left(1 + \frac{YZ_L}{2}\right)^2 - Z_L Y\left(1 + \frac{YZ_L}{4}\right) = 1 \qquad (3-50)$$

(3-2-3) خطوط النقل الطويلة (Long Transmission Lines) :-

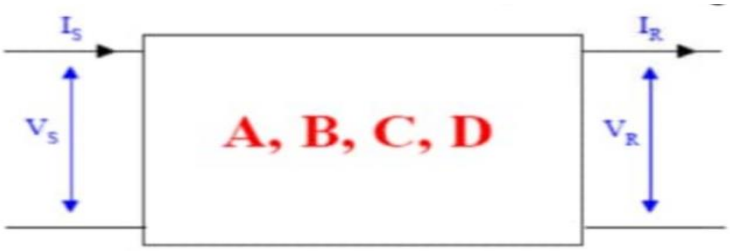
يعتبر الخط طويلا إذا كان طوله أكبر من (km120) حيث لا يمكن إهمال السعة الكهربائية (C) أو المسامحة السعوية لا للخط ، وأيضا لا يمكن تركيزها في نقطة ما على الخط ، بل يتم توزيعها بانتظام على طول الخط وكذا الحال بالنسبة للمقاومة المادية (R) والمفاعلة الحثية (XL) للخط ، ونظرا لتماثل الحمل على الأوجه الثلاثة لخط النقل فإنه يمكن تبسيط الدائرة المكافئة للخط إلى دائرة أحادية الوجه مفردة ، وكتابة معاملات جهتي الإرسال والاستقبال للخط كما هو موضح بالشكل أدناه :



شكل (3-12) الدائرة المكافئة المفردة لخط نقل طويل ثلاثي الأوجه .

- الثوابت العامة لخط النقل الطويل Port Network Long Line As A To :

ونظرا للتوزيع المنتظم للمقاومة والمفاعلات الحثية والسعوية على طول الخط فإنه يمكن تمثيل خط النقل الطويل باستخدام الدائرة المكافئة رباعية الأطراف واستخدام الثوابت العامة للخط كما هو موضح في الشكل أدناه :



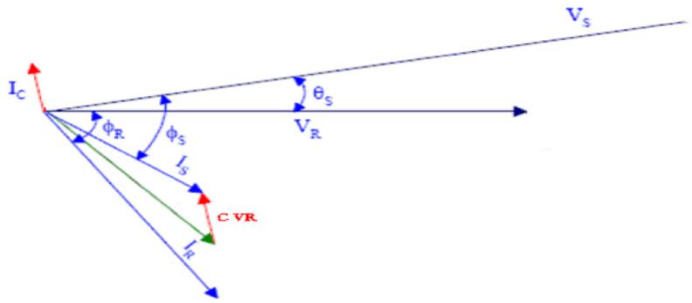
شكل(3-13) الدائرة المكافئة والثوابت العامة لخط النقل الطويل

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

$$V_S = AV_R + BI_R \qquad (3-51)$$

$$I_S = CV_R + DI_R \qquad (3-52)$$

- وطبقا للدائرة المكافئة فإنه يمكن رسم مخطط المتجهات المكافئ لدائرة الخط الطويل كما في الشكل ادناه :



شكل (3-14) مخطط المتجهات المكافئ لدائرة الخط الطويل .

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

$$V.R\% = \frac{VR_{N_L} - VR_L}{VR} * 100 = \frac{V_S - V_R}{V_R} * 100 \qquad (3-53)$$

- كما يمكن حساب القدرة الظاهرية والقدرة الفعالة والقدرة غير الفعالة(المفاعلة) عند جهتي الإرسال والإستقبال في حالة الأحمال المتزنة (المتوازنة) من العلاقات التالية:
  - القدرة عند جهة الإرسال :

$$S_s = 3V_S I^*_S = \sqrt{3} V_{S_L} I_S = P_S + jQ_S$$

$$P_S = 3V_S I_S \cos\varphi_S = \sqrt{3}\, V_{S_L} I_S \cos\varphi_S$$

$$Q_S = 3V_S I_S \sin\varphi_S = \sqrt{3}\, V_{S_L} I_S \sin\varphi_S$$

  - القدرة عند جهة الإستقبال :

$$S_R = 3V_R I^*_R = \sqrt{3} V_{R_L} I_R = P_R + jQ_R$$

$$P_R = 3V_R I_R \cos\varphi_R = \sqrt{3}\, V_{R_L} = I_R \cos\varphi_R$$

$$Q_R = 3V_R I_R \sin\varphi_R = \sqrt{3}\, V_{R_L} I_R \sin\varphi_R$$

وتتسبب كل من المقاومة (R) والمفاعلة الحثية للخط (X_L) في فقدان كمية من القدرة الفعالة والقدرة غير الفعالة حيث يتناسب هذا الفقد في القدرة مع مربع التيار، وتفقد القدرة الفعالة (P_{LOSS}) على مقاومة الخط بينما تفقد القدرة الغير فعالة (Q_{LOSS}) على المفاعلة الحثية للخط ويمكن حساب هذه المفاقيد طبقا للعلاقات التالية :

$$P_{LOSS} = 3RI^2{}_L = P_S - P_R \qquad (3-54)$$

$$Q_{LOSS} = Q_S - Q_R \qquad (3-55)$$

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

$$\eta\% \ \frac{P_R}{P_S} * 100 \qquad (3-56)$$

الفصل الرابع

(حساب مؤشرات أداء خط الربط مصر -السودان)

حساب مؤشرات أداء خط الربط مصر – السودان

(4-1) مقدمة :-

بدأ مشروع الربط المصري العمل في ابريل 2019م بخط ربط كهربائي طولة 167KM يبدأ من محطة (توشكي 2) المصرية حتى محطة (وادي حلفا) التحويلية كأول محطة في الجانب السوداني منها حوالي 67KM داخل الحدود السودانيه بعدد 191 برج، وبطول 100KM في الجانب المصري بعدد 300 برج. فرق الجهد الخطي للخط 220KV والقدرة الفعالة التصميمية القصوى للخط MW300 وفي الوقت الحالي تأحذ الشبكة السودانية 80MW عبر الخط من الشبكة المصرية.

موصلات الخط مصنوعة من الألمنيوم المقوي بالحديد ACSR مقاومتها النوعية $0.0780\ \Omega mm^2/m$ والمسافة المتوسطة بينها 1.9m وقطر الموصلات 3.15Cm

(4−2)حساب ثوابت الخط الكهربائية (Calculation of electrical) Constants :−

وهي المقاومة الكلية (R) والمحاثة (L) الكلية والسعة (C) الكلية والممانعة الكلية (Z) للخط.

(4-2-1) مقاومة الخط الكليه:-

وتحسب المقاومة الكلية للخط بالعلاقة:

$$R = \frac{\rho \times L}{A} \qquad \Omega \qquad (4-1)$$

حيث تمثل كل من :

(R) المقاومة الكلية للخط و (ρ) المقاومة النوعية لمادة الموصل وتمثل (A) مساحة مقطع الموصل بينما (L) تمثل الطول الكلي للخط.

$$\frac{d}{2} = \frac{3.15}{2} = 1.575\ cm = 15.75mm = \ 0.01575\ m$$

$$A = \pi r^2 \quad = \pi(15.75)^2 = 779.311\, mm^2$$

وبما أن طول الموصل(الخط) يساوي (167 km) والمقاومة النوعية للموصل تساوي (0.0780 Ω) :

$$\mathrm{R} = \frac{\rho \times L}{A} \quad = \quad \frac{0.0780 \times 167 * 10^3}{779.311} \quad = \quad 16.71\ \Omega$$

$$\therefore \mathrm{R} = 16.71\ \Omega$$

(4-2-2) محاثة الخط الكلية :-

وهي مضروب المحاثة لكل وحدة طول في طول الخط

$$l = \frac{\pi_0}{2\pi}\left[\frac{1}{4} + \ln\frac{D}{r}\right] \qquad (4-2)$$

$$L = l * Lt \quad = \frac{4\pi * 10^{-7}}{2\pi}\left[\frac{1}{4} + \ln\left(\frac{1.9}{0.01575}\right)\right] * 167 \times 10^3$$

$$\therefore L = \quad 0.1684\ H$$

(4-2-3) مواسعة الخط الكلية :-

وهي مضروب السعة لكل وحدة طول في طول الخط

$$C = \frac{2\pi \in}{\ln\left(\frac{D}{r}\right)} * Lt \qquad F/\Omega \qquad (4-3)$$

$$\frac{2\pi \times 8.85 * 10^{-12}}{\ln\left(\frac{1.9}{0.01575}\right)} * 167 \times 10^3 = \quad 1.938 \times 10^{-6}$$

$$\therefore \quad C = \ 1.938\ \mu F$$

(4-2-4) ممانعة الخط الكلية :-

$$Z = R + J\omega L \quad = \quad R + J2\pi fL \qquad (4-4)$$

$$Z = 16.71 + J(2\pi * 50 * 0.1684)$$

$$Z = 16.71 + J52.9\ \Omega$$

(5-2-4)المسامحة الكلية لخط النقل :-

$$Y = J\omega c = J * 2\pi * f * c \qquad (4-5)$$

$$\therefore \quad J * 2\pi * 50 * 1.938 * 10^{-6} \quad = \quad J\ 0.000609\ mho$$

$$\therefore Y = J0.000609\ mho \quad = 6.09 * 10^{-4}\ mho$$

(3-4) حساب ثوابت الخط المحددة بثوابتة الكهربائية :-

- الممانعة لكل km من طول الخط :

$$z = 0.10 + J0.31 \qquad \Omega/km$$

- المسامحة السعوية لكل km من طول الخط :

$$Y = J3.65 \times 10^{-6} \qquad \Omega^{-1}/km$$

- معامل الانتشار او ثاين الانتشار لموجات الجهد والتيار لخط النقل

$$\gamma = \propto + J\beta$$

ويقاس بوحدة الزوايا المركبة ، حيث ان γ كمية مركبة ومتجهه حيث ان γ يحدد طريقة انتقال موجة I_S, V_S في خطوط النقل

$\propto \equiv$ تاين التوهين وهو الذي يحدد القيمة المطلقة لموجة خط النقل ويقاس بوحدة(nepers/m)

$\beta \equiv$ تاين الاتجاه وهو الذي يحدد زاوية الاتجاه لمعبرة خط النقل ويقاس ب (rad/m).

$$\gamma = \sqrt{Z.Y} \qquad (4-6)$$

$$= \sqrt{(0.3257\angle 72.12^0)(3.65 \times 10^{-6}\angle 90^0)}$$

$$= 1.09 * 10^{-3}\angle 81.06^0$$

- الممانعة المميزة لخط النقل (z_c) :

$$Z_C = \sqrt{\frac{Z}{Y}} \qquad (4-7)$$

$Z_C \equiv$ الممانعة المميزة لخط النقل وتقاس ب (Ω).

$$z_c = \sqrt{\frac{z}{y}} = \sqrt{\frac{0.3257\angle 72.12^0}{3.65 \times 10^{-6}\angle 90^0}}$$

$$= 298.718\angle -8.94^0 \qquad \Omega$$

- معامل انتشار موجات الجهد والتيار على طول الخط $(\gamma . lt)$

$$\gamma . lt = \left(1.09 * 10^{-3}\angle 81.06^0\right)(167km)$$

$$= 0.0282 + J0.18$$

- حساب ثوابت خط الربط الكهربائي المحددة بقوانين الكهربائية

$$\cosh(0.0282 + J0.18)$$

$$= \frac{e^{0.0282}}{2}(\cos(0.18) + J\sin(0.18)) + \frac{e^{-0.0282}}{2}(\cos(0.18) - J\sin(0.18))$$

$$= (0.5143\angle 0.18) + (0.4861\angle -0.18)$$

$$= 0.9843\angle 0.30^0$$

$$\sinh(0.0282 + J0.18) =$$

$$= \frac{e^{0.0282}}{2}(\cos(0.18) + J\sin(0.18) - \frac{e^{-0.0282}}{2}(\cos(0.18) - J\sin(0.18)$$

$$(0.5143\angle 0.18) - (0.4861\angle -0.18)$$

$$= 0.1812\angle 81.194$$

$$A = D = \cosh(\gamma . lt) = 0.9843\angle 0.30^0$$

$$B = \sinh(\gamma . lt).Z_C = (0.1812\angle 81.194^0)(298.718\angle -8.94^0)$$

$$= 54.128\angle 72.218$$

$$C = \frac{\sinh(\gamma . lt)}{Z_C} = \frac{0.1812\angle 81.194^0}{298.718\angle -8.94^0} = 6.0 \times 10^{-4}\angle 90^0$$

(4-4) حساب الكميات الكهربائية لخط الربط الكهربائي (مصر-السودان) :-

فرق الجهد ، التيار والقدرة في طرف الإرسال (محطة توشكي 2) التحويلية وذلك بدلالة القيم المناظرة لها في طرف الإستقبال (محطة وادي حلفا) التحويلية.

- الجهد الطوري في طرف الإستقبال(محطة وادي حلفا)

$$V_R = \frac{v}{\sqrt{3}} = \frac{220 * 10^3}{\sqrt{3}} = 127.017\ kv$$

- القدرة في طرف الإستقبال(محطة وادي حلفا)

$$P_R = 3V_R * I_R * COS\theta_R \qquad (4-8)$$

ومنها:

$$I_R = \frac{P_R}{3V_{R*}\cos\theta_R} = \frac{80*10^6}{3*127017*0.8} = 262.432\ A$$

- معامل القدرة في طرف الإستقبال(محطة وادي حلفا)

$$\cos\theta_R = 0.8 \ \therefore \ \theta_R = \cos^{-1} 0.8 = 36.86°$$

- التيار في طرف الإستقبال(محطة وادي حلفا)

$$I_R = 262.43 \angle -36.86°$$

(4-4-1) الجهد الطوري في طرف الارسال (محطة توشكي 2) التحويلية :-

$$V_S = A.V_R + B.I_R \qquad (4-9)$$

$$= (0.9843\angle 0.30^0)(127\angle 0) + (54.128\angle 72.218^0)(262.43\angle -36.86^0)$$

$$= 14307\angle 35.07 \ \ kv$$

(4-4-2)التيار الطوري في طرف الارسال (محطة توشكي 2) التحويلية :-

$$I_S = C.V_R + D.I_R \qquad (4-10)$$

$$= (6 \times 10^{-4}\angle 90^0)(127\angle 0) + (0.9843\angle 0.30^0)(262.43\angle -36.86^0) * (10^{-3}))$$

$$= 258.26\angle -36.54 \ \ kA$$

(4-4-3) حساب المفقودات على خط الربط الكهربائي مصر_السودان :-

بما ان :

$$I_R = 262.43\angle -36.86^0 KA$$

$$Z = 16.71 + J52.9 \ \ = 55.4764\angle 72.4698 \ \Omega$$

$$P_{LOSS} = 3I^2{}_R(\mathrm{Z}) \qquad (4-11)$$

$$= 3(262.43)^2(55.47) \ = 11 \ MW$$

∴ مفقودات القدرة على خط النقل = (11MW)

(4-4-4) قدرة الطور في طرف الارسال (محطة توشكي 2) التحويلية :-

بعد حساب القدرة المفقودة على الخط يمكن حساب القدرة في طرف الارسال(محطة توشكي 2)

$$P_S = P_R + P_{LOSS} \qquad (4-12)$$

$$P_S = 80 + 11 = 91\ MW$$

$$\therefore\ P_S = 91\ \ MW$$

- مفقودات الخط كنسبة مئوية من القدرة المرسلة.

$$P_{LOSS}\% = \frac{P_{LOSS}}{P_S} = \frac{11}{91} * 100 = 12\ \%$$

(5-4-4) نسبة تنظيم الجهد Voltage Regulation Ratio :-

هي النسبة المئوية بين فرق الجهد عندي طرفي الارسال والاستقبال .

- اولا: فرق الجهد الخطي في طرف الإرسال:

$$V_S = 135.36\angle 3.32^0\ kv$$

$$V_S = \sqrt{3} * V_S = \sqrt{3} * 135.36 = 234.45\ kv$$

- بالتالي نسبة تنظيم الجهد تساوي :

$$DV = \frac{|V_S - V_R|}{|V_R|} \qquad (4-13)$$

$$\mathrm{DV} = \frac{|14307 - 220|}{|220|}\ *$$

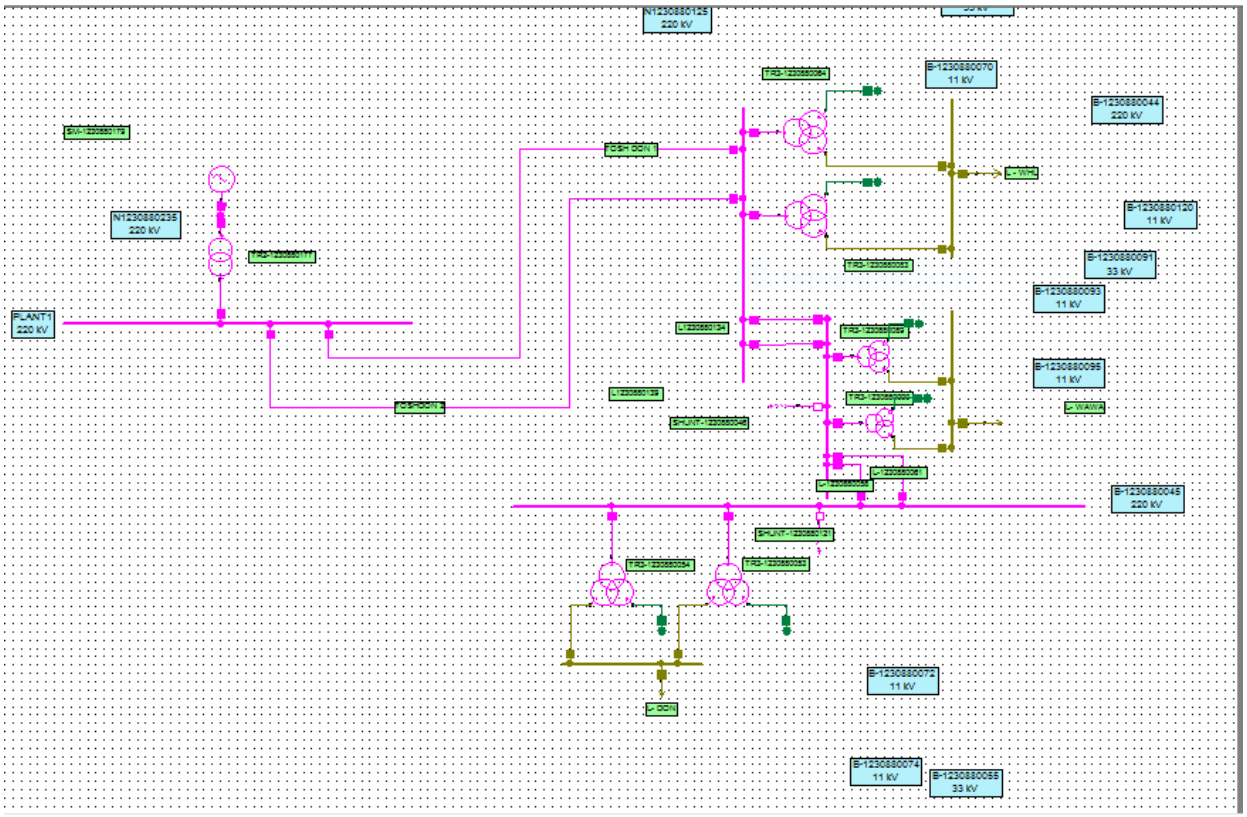
$$100$$

$$\therefore\quad DV = 70.435\ \%$$

(6-4-4) كفاءة خط الربط الكهربائي مصر-السودان :-

$$\eta = \frac{P_R}{P_S} * 100 \qquad (4-14)$$

$$\frac{80}{91} * 100 = 88\ \%$$



الشكل(4-1) خط الربط الكهربي من محطة توشكي

الفصل الخامس

(الخلاصة والتوصيات)

الخلاصة والتوصيات

(5-1) الخُلاصة:-

هذا الخط يقدم دراسة تقيمية لاداء خط الربط مصر – السودان بإستخدام المعادلات الحسابيه للكميات الكهربائيه لخطوط النقل حيث جُمعت البيانات المطلوبه للدراسه من وحدة التحكم المركزي وادارة المشروعات بالشركة السودانية لنقل الكهرباء 0

من خلال البحث تم حساب الثوابت الكهربائية الكلية للخط (R-L-C-Z) بالإضافة الى ثوابت الخط المحدودة بثوابته الكهربائية (A-B-C-D) ثم حسبت الكميات الكهربائيه في محطة توشكي التحويليه (مصر) بدلالة القيم المناظره لها في محطة وادي حلفا التحويليه (السودان) . تم حساب مؤشرات الاداء حيث وجد ان نسبة تنظيم الجهد 70,435% وكمية القدره المفقوده في الخط MW11 من القدره المرسله وكفاءة النقل 88% من مما يدل علي الاداء الكهربي الجيد للخط

(5-2) التوصيات:-

i. الالتزام بعمل صيانة دورية للخط خلال الفترة الزمنية حيث يكون هنالك كشف دوري كل شهر على الابراج للتأكد من إكسسوارات الخطوط (بورسلان ـ دامبر ـ المباعدات ـ أسلاك التأريض.....الخ) ويكون هنالك حصر للصيانة السنوية وتوقيت الصيانة الوقائية السنوية تحدد من طرف مركزالتحكم القومي .
ii. بناء برنامج ماتلاب لقيم اداء الخط بدلاً من العمليات الحسابية العادية اليدوية .
iii. إجراء المزيد من الدراسات حول الخط بعد رفع القدرة من MW80 الي MW 300 حسب المخطط لاجل التأكد من محافظة الخط على كفاءته وضمان إستقرارية الإمداد الكهربائي لسد عجز التوليد المحلي .
iv. تقليل فقودات الخط عن طريق مراجعة إستقرار الجهد واضافة محطات رافعة .
v. إستخدام معوضات استاتيكية لتقليل الفقد عن طريق ضمان إستقرار القدرة المنقوله.

(المراجع)

المصادر

1) الادارة العامة لتصميم وتطوير المناهج المملكة العربية السعودية ـ محطات التوليد ونقل القدرة \ 254كهر ـ المؤسسة العامة للتدريب الفني والتدريب المهني.
2) الادارة العامة لتصميم وتطوير المناهج المملكة العربية السعودية ـ شبكات النقل الكهربائية 2\222 كهر ـ المؤسسة العامة للتدريب الفني والتدريب المهني.
3) الادارة العامة لتصميم وتطوير المناهج المملكة العربية السعودية ـ شبكات النقل الكهربائية \ 262 كهر ـ المؤسسة العامة للتدريب الفني والتدريب المهني.
4) هندسة القوى الكهربائية ـ دراسات في توليد ونقل وتوزيع الطاقة الكهربائية ـ أ.د محمود جيلاني ـ كلية الهندسة ـ جامعة القاهرة.
5) هندسة القدرة الكهربائية – مامون فاضل الكبابجي – 426/

6) P.S.R. Murthy, power system analysis. Hyderabad [India]: BS Publications, 2007.
7) J. J. Grainger and W. D. Stevenson, power system analysis. McGraw – Hill,1994.
8) D. P. Kothari and I. J. Nagrath, Modern power system analysis. New Delhi: Tata McGraw-Hill pub. Co., 2003.
9) J. D. Glover, M. S. Sarma, and T. J. Overbye , "power system Analysis and Design," p. 853,2010.