



جامعة الشيخ عبدالله البدرى

كلية الهندسة

قسم الهندسة الكهربائية



دراسة وتصميم خط نقل كهربائي يربط بين (عطبرة - الكباشي) (500 kv)

بحث تكميلي لنيل درجة البكالوريوس مرتبة الشرف في الهندسة الكهربائية

إعداد الطلاب :

علي مصطفى محمد النصيح

عبدالرحمن فتح الرحمن عبدالرحمن علي

محمد العوض علي محمد

إشراف :

أ/ إبراهيم مصطفى الريشابي

نوفمبر 2018م

بسم الله الرحمن الرحيم

الآية القرآنية

قال تعالى :

أَمْ مَنْ هُوَ قَانِتٌ آنَاءَ اللَّيْلِ سَاجِدًا وَقَائِمًا يَحْذَرُ الْآخِرَةَ وَيَرْجُوا رَحْمَةَ رَبِّهِ قُلْ هَلْ يَسْتَوِي الَّذِينَ



يَعْلَمُونَ وَالَّذِينَ لَا يَعْلَمُونَ إِنَّمَا يَتَذَكَّرُ أُولَئِكَ الْأَلْبَاب

صدق الله العظيم

سورة الزمر الآية 9

الإهداء

إذا كان الإهداء يعبر ولو بجزء من الوفاء فالإهداء

إلى.....إلى

اليد الطاهرة...من أعطتنا من دمها...

من روحها...من عمرها...حبا...أملأ...ودفعاً لغد أجمل...

الغالية...إلى التي لا نرى الأمل إلا من عينيها...إلى أمي الحبيبة...

إلى...

الذي لا تفيه الكلمات و الشكر و العرفان الجميل...إلى أبي الحبيب...

الحب كل الحب ...إخوتي و أخواتي

إلى...

من مهدوا الطريق أمامي و رسموا المستقبل بخطوط من الأمل والثقة

...أساتذتي الأجلاء...

نهدي هذا الجهد المتواضع.....

الشكر والعرفان

ربي لك الحمد والشكر أن وفقتنا وأنعمت علينا بإتمام هذا العمل..

الحمد كل الحمد للرحمن ذي الفضل والنعمة والإحسان

لابد لنا ونحن نخطو خطواتنا الأخيرة في رحاب الجامعة مع أساتذتنا الكرام الذين قدموا لنا

الكثير لبناء (جيل الغد) لتنهض الأمة من جديد..

إلى أساتذتنا الكرام الأفاضل....

ونخص بالشكر الأساتذة الأفاضل:

إبراهيم مصطفى الريشابي

إبراهيم أحمد

في بذله الجهود وإعانتنا على إتمام هذا البحث

إلى كل من أمدنا بما نحتاجه من معلومات لإكمال هذا البحث....

المستخلص

بما ان النقل الهوائي يمثل العمود الفقري لمنظومة القوي الكهربائية فلا بد من جودة الأداء ومثالية التشغيل فيه ، ومن المعروف في خطوط النقل تدخل معاملات كثيرة ولكن هناك سنحصرها في عناصر الأداء (لقوة تأثيرها) في هذه الأطروحة سيكون التشغيل الأمثل والأمن لخطوط النقل الكهربائية وهو محظ دراستنا . وسيتم التعرف علي اهم جوانب التشغيل في خط النقل وذلك من خلال تصميم خط نقل مخترح يحقق مثالية تشغيل خطوط (500kv) بشبكة النقل الكهربائية السودانية .

وعلي ضوء ذلك سنتناول في الفصل الأول المقدمة والهدف الأساسي من البحث ومشكلة البحث والنتائج المتوقعة وفي الفصل الثاني سنتناول مفهوم عام عن خطوط النقل الهوائية والثوابت الأساسية لخط النقل (الطويلة – المتوسطة -القصيرة)، وسيتم التطرق في الفصل الثالث لتراكيبات خطوط النقل الكهربائية والتي تتضمن الموصلات بمختلف أنواعها وكذلك أشهر أنواع العوازل المستخدمة في (EHV) وأيضا سيتم تناول أبراج خطوط النقل بشتي أنواعها واسلاك التأريض والمخمدات التي تشكل دعامة مهمة لأمتصاص الاهتزازات بالخط . وبالحديث عن التشغيل في خطوط النقل كان لابد من تناول الفصل الرابع الذي تم التحدث فيه بشكل عام عن انسياب القدرة واستقرارية منظومة القوي والأعطال التي يمكن ان تحدث في بالخط بالإضافة الي الأنواع المختلفة لحماية خطوط النقل . وسيتم تناول الفصل الخامس لدراسة حسابات (معاملات الخط –الأعتبرات المكينيكية المؤثرة) لخط النقل المقترح (عطبرة-الكباشي) بجهد (500kv) لتحقيق التشغيل الأمثل والأمن وفي الفصل السادس سيتم استخدام برنامج المحاكاة بالماتلاب (MATLAB) لأيجاد كافة الحسابات المطلوبة في خط النقل المقترح .

Abstract

Since air transport is the backbone of the electrical power system, the quality of performance and the ideal of operation must be known. Transmission lines are known to enter many transactions but there will be limited performance elements. The most important aspects of operation in the transmission line will be identified through the design of a proposed transmission line that will achieve the ideal operation of 500 kv lines of the Sudanese electricity transmission network. In this light, the study tackled the main objective of the research, the problem of research and the expected results and the general concept of the air transport lines and the basic constants of the transmission line (long - medium - short). The lines of the electrical transmission lines including the different types of conductors, (EHV) will also address the towers of transmission lines of all types and grounding wires and dampers, which are important support for the absorption of vibrations in line. Speaking of the operation in the transmission lines was speaking in general about the flow of power and stability of the system of power and failures that can occur in the addition to the different types of protection of transmission lines.

The study examined the calculations of the proposed line of transmission (Atbara-Kabbashi) with a voltage of (500kv) for optimal operation and security. The MATLAB simulation program was used to find all the required calculations in the proposed transmission line.

فهرس الموضوعات

رقم الصفحة	الموضوع	الرقم
I	الآية	.1
li	الاهداء	.2
lii	الشكر والعرفان	.3
lv	المستخلص	.4
v	Abstract	.5
vi	فهرس الموضوعات	.6
viii	فهرس الأشكال	.7
x	قائمة الاختصارات	.8
الفصل الأول : المقدمة		
1	تمهيد	1-1
2	الهدف من البحث	2-1
2	مشكلة البحث	3-1
2	النتائج المتوقعة	4-1
2	منهجية البحث	5-1
3	بنية البحث	6-1
الفصل الثاني : أداء خطوط النقل		
4	مقدمة	1-2
4	أنظمة النقل تحت الأرض	2-2
4	ثوابت خط النقل	3-2
8	أنواع خطوط النقل	4-2
الفصل الثالث : تركيب خطوط النقل		
13	مقدمه	1-3
13	الموصلات	2-3
21	العوازل	3-3
23	أبراج خطوط النقل الكهربى	4-3
25	سلك التارىض	5-3
26	الاهتزازات والمخمدات	6-3
الفصل الرابع : التشغيل فى خطوط النقل		
27	مقدمة	1-4
27	انسباب القدرة	2-4
28	استقرارية منظومة القدرة	3-4

30	اعطال خطوط النقل	4-4
32	الحالات العابرة	5-4
33	حماية خطوط النقل	6-4
الفصل الخامس : التصميم والنتائج		
37	مقدمة	1-5
38	تصميم خط نقل (عطبرة – كباشي)	2-5
40	حسابات خط النقل المقترح	3-5
47	برنامج المحاكاة Matlab	4-5
48	منظومة النقل kv(500)	5-5
51	النتائج	6-5
الفصل السادس: الخلاصة والتوصيات		
52	الخلاصة	1-6
52	التوصيات	2-6
53	المراجع	
ا	الملحقات	

فهرس الاشكال

رقم الصفحة	التوضيح	الرقم
4	مكان خطوط النقل في منظومة القدرة الكهربائية	1-2
5	خصائص أداء خط النقل الكهربائي	2-2
6	مقطع عرضي لموصل محزوم أحادي الدائرة	3-2
8	انتقال القدرة من المولد الي الحمل في خط نقل قصير	4-2
9	الرسم المتجهي لخط نقل قصير	5-2
10	خط متوسط في الحالة الثانية ($\pi - circuit$)	6-2
11	خط متوسط في الحالة الاولي ($\pi - circuit$)	7-2
11	الرسم المتجهي لخط نقل متوسط في الحالة الاولي ($T - circuit$)	8-2
12	خط نقل طويل	9-2
14	أنواع موصلات ACSR	1-3
18	الترخيم لبرجين متمثلين	2-3
19	مقطع عرضي وطولي للموصل	3-3
20	القوة التي تؤثر افقياً علي الموصل	4-3
20	الترخيم لبرجين متمثلين	5-3
21	عوازل البورسلين	6-3
22	العوازل الزجاجية	7-3
23	برج تعليق	8-3
24	برج الشدد	9-3
24	برج الزاوية	10-3
25	برج النهاية	11-3
25	زاوية الحماية	12-3
26	مخمد قنطرة الكتلة المخزنة	13-3
30	القصر المتمائل ثلاثي الأوجه	1-4
31	قصر خط - ارض	2-4
31	قصر خط - خط	3-4
31	قصر خطين - ارض	4-4
32	دائرة مفتوحة لخطين	5-4
32	دائرة مفتوحة لخط مفرد	6-4

32	الحالة العابرة لموجه الجهد	7-4
34	الحماية المسافية	8-4
35	حماية المحطات المتتابعة	9-4
35	التقسيم النظري وزمن التأخير لمناطق الحماية الثلاثة	10-4
37	خطوط النقل الطويل 500 kv والمحطات الفرعية	1-5
40	الموصل الحزمي (ACSR) نوع Dove	2-5
43	خط النقل الطويل المقترح (292km)	3-5
47	القيم التي يتم إدخالها لحساب POSITIVE SEQUENCE & ZERO SEQUENCE	4-5
48	POSITIVE SEQUENCE & ZERO SEQUENCE	5-5
48	مخطط منظومة النقل (500 KV) في برنامج MATLAB	6-5

قائمة الإختصارات:

AAAC	All Aluminum Alloy Conductor
AAC	All Aluminum Conductor
AACSR	Aluminum Alloy Conductor steel Reinforced
ACAR	Aluminum Conductor Alloy Reinforced
ACSR	Aluminum Conductor or steel Reinforced
GMD	Geometric Mean Radius
CM	centimetre
M	Meter
MM	Millimetre
KM	Kilometre
KG	kilo gram
KV	Kilo voltage
OPGW	Optical Ground Wire
OC	Open Circuit
SC	Short Circuit
VT	Voltage Transformer
W	Watt
KW	Kilo Watt
MVA	Mega Voltage Ampere
LF	Load flow
OPF	Optimal Power Flow

الفصل الأول

المقدمة

الفصل الأول

المقدمة

1-1 تمهيد :-

إن الطاقة الكهربائية لها أهمية وتأثير مباشر كعنصر رئيسي في مجالات الحياة كافة ولها دور حيوي ومؤثر في تنمية القطاعات كافة باعتبارها وسيلة حضارية وضرورية لذلك يجب توفرها بمختلف القطاعات بإعتمادية عالية وموثوقية ترقى إلى المعايير العالمية للمحافظة علي التقدم الاقتصادي والرفي الحضاري . ومن ذلك يجب تقديم الدعم الدائم والمساندة المستمرة لقطاع الكهرباء لمواجهة مشكلة النمو السريع في الطلب علي الطاقة الكهربائية و الزيادة المطردة في الأحمال بالشكل الذي فاق التوقعات . إن إنتاج الطاقة الكهربائية حويلة مجموعة من العناصر التي ترتبط ببعضها وتكامل وظائفها من أجل إنتاجها وتوزيعها علي المستهلكين ، و تتكون من ثلاث مراحل هي: التوليد والنقل و التوزيع . إن فرع التوليد هو الجزء الخاص بإنتاج الطاقة الكهربائية في منظومة القوى ، حيث تقوم بتحويل الطاقة الإبتدائية إلى طاقة كهربائية ، ويتم نقل الطاقة و توزيعها من محطات التوليد إلى المستخدمين في شتى مواقعهم من خلال شبكة كهربائية معقدة تحوي عدد كبير من محطات تحويل الجهد ، و من خطوط النقل التي تنقل الطاقة الكهربائية بمستويات جهد مختلفة لا يقل عددها عن ثلاثة مستويات في السودان و ذلك بحسب حجم الشبكة و التوزيع الجغرافي للمستخدمين .

يعتبر نقل الطاقة الكهربائية من محطات التوليد الي المستهلك هو الهدف الأساسي من إنشاء خطوط النقل الهوائية والأرضية ويجب المحافظة علي قيمة الجهد الكهربائي عند النقاط المختلفة في الحدود القياسية ، وتختص خطوط النقل بأربعة ثوابت هي: المقاومة ،المفاعلة،السعة ،التوصيلية. حيث تقسم هذه الخطوط بناءً علي أطوالها الي خطوط نقل قصيرة ومتوسطة وطويلة .

تعتبر الطاقة الكهربائية مادة خام أولية وأساسية وتتميز بخاصية الإستهلاك الضروري عند الإستهلاك ولا يمكن إعادتها للتصنيع كما أن اي إخلال في الجودة تتأثر به المعدات المستهلكة لها ، لذلك يجب توفير طاقة كهربائية بمعايير جودة متفق عليها عالمياً . والجودة عبارة عن حدود فاصلة للكميات الكهربائية والتشغيلية التي تمكن المعدات من العمل دون التقليل من الكفاءة أو حدوث تدهور سريع في عمر التشغيل ،وهي مجموعة الخواص المتعلقة بالمنتج و التي من خلالها تحقق حاجات معينة أو ضمنية والجودة لا تعني بالضرورة أعلى مستوى ممكن للمنتج أو مواصفاته بل إرضاء رغبات الزبون(المستهلك).

إن ضمان إستقرارية الشبكات الكهربائية تحت الظروف المختلفة عملية بالغة التعقيد كما أن عدم أخذ الإحتياطات اللازمة قد يؤدي الي خروج الشبكة من حالة الإستقرار وبالتالي الإنهيار التام ، ولهذا

يوجد في جميع الشبكات الحديثة مراكز متعددة للمراقبة والتحكم في سير عمل المنظومة بصورة مثلى وذلك من خلال شبكة اتصالات رقمية تمتد مع إمتداد الشبكة الناقلة وتقوم كذلك بالتحكم في أنظمة الحماية إما بشكل يدوي من قبل المهندسين أو بشكل آلي من قبل الحاسوب

2-1 الهدف من البحث:

إن الهدف الأساسي من هذا المشروع هو التعرف العملي علي معاملات التصميم للتشغيل الأمثل مع الأمان التام بإستخدام المتاح من المعلومات والبرامج الحديثة عن خطوط النقل الكهربائية في السودان بمختلف الجهود KV (110-220-500) ،وتحديد المعاملات الدقيقة التي يعتمد عليها خط النقل بتقليل فاقد الخط وتجويد المنتج المنقول وعمل مقارنة بين الجهود المختلفة لمعرفة الأفضل إذا تم الحصول علي المعلومات من شركة النقل السودانية.

ولهذا المشروع مستقبل قريب الأ وهو تطوير الطاقة الكهربائية عبر تصميم خطوط ذات جهدية عالية ،وفي الأمد لتوسعة خطوط النقل ذات النقل المثالي والأمن بشبكة قوية لأن السودان أصبح حديثاً يعتمد علي الطاقة الكهربائية في الصناعة والزراعة والتعدين والثروة الحيوانية وجميع متطلبات الحياة. وعندما تستغل الطاقة في هذه المحاور لابد من إيجاد الطريقة المثلي لتشغيل وتأمين الخط الناقل لهذه الطاقة .

3-1 مشكلة البحث:

بما أن القدرة الكهربائية (توليدها- نقلها- توزيعها) أصبحت العنصر الأول في التنمية ،حيث تقاس تنمية الدولة بإستهلاك الفرد لل(KW.h) في اليوم ،وفي السودان يلزمنا فعلياً معالجة أخطاء الماضي وإستقلال الحاضر لبناء المستقبل بإختيار ما هو أمثل وأمن من خطوط النقل بالإستفادة داخلياً والمنافسة عالمياً بتصدير الطاقة الكهربائية عبر خطوط النقل الي دول الجوار وربط الشبكات مع بعضها وذلك لا يتم الا عبر الخط الأمثل والأمن ،علماً بأن هذا المشروع مرتبط كلياً بالسودان (الشركة السودانية لنقل الكهرباء السودانية).

4-1 النتائج المتوقعة :

-تصميم مقترح لخط نقل يربط بين (عطبرة – الكباشي) وبجهد(500 KV).

-تحديد معاملات الخط الأمثل والأمن في التشغيل.

-إمكانية الحصول علي مرجعية يستفاد منها في توسعة مشروع النقل.

5-1 المنهجية المتبعة:

تم اتباع المنهج النظري التطبيقي لدراسة خط نقل يربط بين (عطبرة-الكباشي) (500KV) وتم حساب معاملات الخط باستخدام برنامج الماتلاب والمعلومات المتاحة الحديثة عن خطوط النقل الكهربائية في السودان وتحديداً (500)kv

6-1 بنية البحث:

يتكون هذا البحث من ستة فصول هي :

الفصل الأول : يحتوي علي التمهيد واهداف البحث ومشكلة البحث والمنهجية المتبعة

الفصل الثاني : يحتوي علي أداء خطوط النقل

الفصل الثالث : يحتوي علي التركيب في خطوط النقل

الفصل الرابع : يحتوي علي التشغيل في خطوط النقل

الفصل الخامس : يحتوي علي الخط المقترح (عطبرة – الكباشي)

الفصل السادس : يحتوي علي المحاكاة (simulation) والخلاصة والنتائج والمراجع

الفصل الثاني

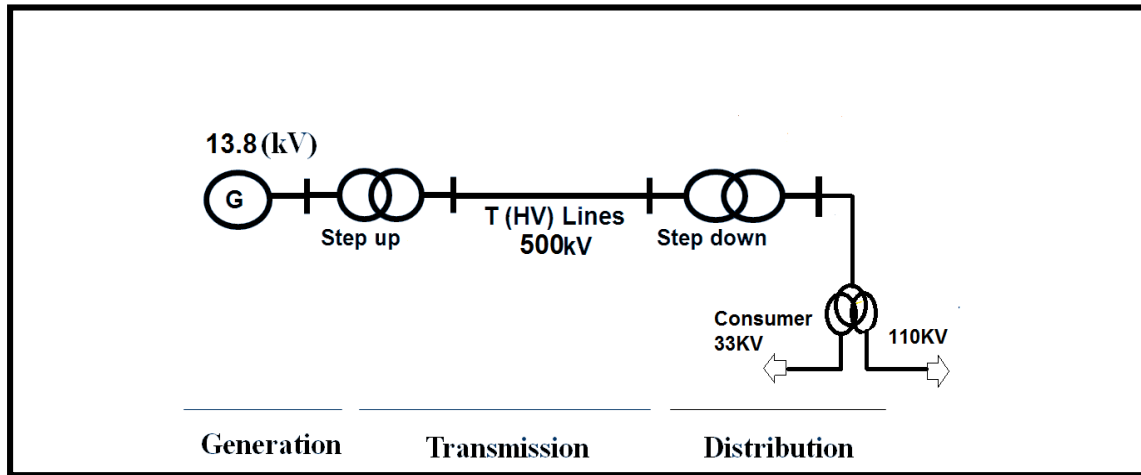
أداء خطوط النقل

الفصل الثاني

أداء خطوط النقل

1-2 مقدمة :

إن نظام خطوط النقل الهوائية للطاقة الكهربائية هو عبارة عن الإرتباط الكهربائي بين محطات التوليد ومراكز الأحمال (load centers) ، تربط خطوط النقل هذه إلى محولات رافعة (step-up transformers) عند محطات التوليد وإلى محولات خافضة (step-down transformers) عند مراكز الأحمال والشكل (1-2) يوضح كيفية ربط خطوط النقل في منظومة الطاقة الكهربائية .



شكل (1-2) مكان خطوط النقل منظومة في القدرة الكهربائية

2-2 أنظمة النقل تحت الأرض :

تستعمل أنظمة نقل القدرة بواسطة الكابلات عندما يصبح النقل بالخطوط الهوائية صعبة جداً وغير اقتصادية وأمنة أو إضافة العديد من المناطق أو المحولات الخاصة التي تتطلب التغذية أو نقل القدرة تحت الأرض من أجل الموثوقية والضمان ، ومن هذه المناطق المطارات والمحطات الفرعية التي توجد في مناطق يلزمها عبور مائي طويل أو مناطق معرضة للأخطار الخارجية .

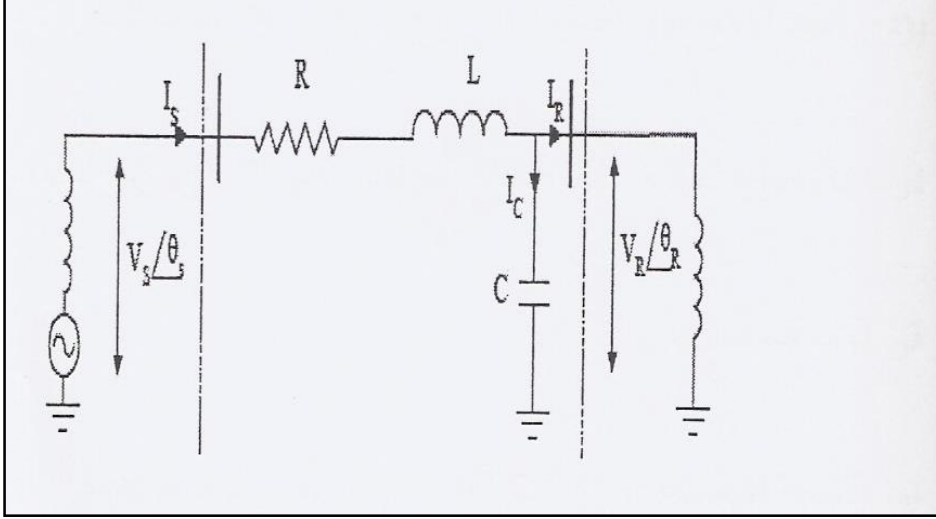
3-2 ثوابت خط النقل :

- المقاومة (Resistance)
- المفاعلة (Reactance)

• السعة (Capacity)

• التوصيلية (Conductance)

تمثل هذه الخواص الأداء الكهربائي للخط وإذا اعتبرنا خط نقل ثلاثي الطور (الوجه) فإن كل موصل يمثل مقاومة مادية R على التوالي مع محادثة L وعلى التوازي مع سعة وموصلية G (عادة تهمل لصغرها) لكل متر طولي كما في الشكل (2-2) الذي يوضح خصائص أداء خط النقل .



شكل (2-2) خصائص أداء خط النقل

2-3-1 المقاومة

ييدي كل موصل كهربائي معارضة لسريان التيار فيه وتسمى هذه المعارضة المقاومة "resistance" ومقاومة موصلات خط النقل هي السبب الأكثر أهمية لفقد القدرة (I^2R) في أي خط نقل ويتم إيجاد مقاومة التيار المستمر للموصل كالأتي :

$$R_{DC} = \rho \frac{L}{A} \rightarrow (1 - 2)$$

حيث :

L = طول الموصل (متر)

A = مساحة مقطع الموصل (متر²)

P = المقاومة النوعية للموصل وتعتمد على مادة الموصل ودرجة حرارته (أوم.متر)

وهذه المقاومة عادة ما يحددها المصنع ، أما مقاومة الموصل لأي درجة حرارة يمكن أن تحدد كالأتي:

$$R_{TDC} = R_{20DC} * [1 + \alpha (T - 20)] \rightarrow (2 - 2)$$

حيث :

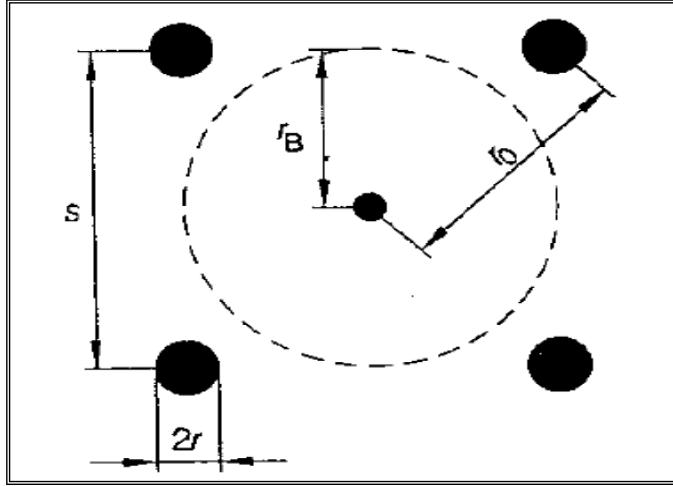
R_{TDC} = مقاومة الموصل عند درجة حرارة معينة (أوم)

R_{20DC} = مقاومة الموصل عند درجة حرارة $20^{\circ}C$

α = معامل المقاومة لدرجة الحرارة للمادة و يساوي $1/C$ 0.00403 لموصل ACSR

2-3-2 محاثاة خط ثلاثي الطور مفرد الدائرة

في الخطوط الهوائية الطويلة والمتوسطة تكون قيمة المحاثاة (L) هي المعاوقة الأساسية للخط وعند مرور التيار يكون مصحوباً بظهور هذه المعاوقة والشكل (3-2) يوضح مقطع عرضي لموصل محزوم.



شكل (3-2) مقطع عرضي لموصل محزوم أحادي الدائرة

يتم استخدام أكثر من موصل في تحديد خطوط النقل لإعطاء إعتماذية أكثر وموثوقية أفضل وذلك بإستخدام الموصلات المحزومة (Bundle conductors) تستخدم طريقة (GMD) Mean Distance Geometric أي طريقة متوسط المسافة الهندسية لتحديد المحاثاة لكل طور بإعتبار الموصلات المختلفة الموصلة كجداول موصل واحد مركب فالمطلوب أن يكون لدينا موصلات منفصلة ذات أطوار واسعة الإنفصال لإعطاء (GMR) Geometric Mean Radius مرتفع والمسافة بين الأطوار صغيرة لتعطي (GMD) منخفض فيمكن إيجاد المفاعلة الحثية كالأتي :

$$X_L = \omega L = (\omega \mu_0 L / 2\pi) * \ln \left(\frac{Dm}{rb} + \frac{1}{4n} \right) \rightarrow (3-2)$$

حيث أن:

L = محاثاة الموصل (هنري/ متر)

ω = التردد الزاوي (راديان/ثانية)

L = طول الموصل (متر)

Dm = متوسط المسافة الهندسية (متر)

μ_0 = ثابت النفاذية المغناطيسية = $(4\pi * 10^{-7})H/m$

r_B = نصف القطر المكافئ للموصل الحزمي (متر)

n = عدد الموصلات

حيث أن :

$$r_b = \sqrt[n]{n * r * r_0^{n-1}} \rightarrow (4 - 2)$$

حيث أن :

r = متوسط نصف القطر الهندسي GMR (متر)

r_0 = نصف القطر الدائري للموصل (متر)

حيث أن :

$$r_0 = \frac{s}{2 \sin(\frac{\pi}{n})} \rightarrow (5 - 2)$$

s = المسافة بين الموصلات

ويمكن إيجاد (GMD) لخطوط النقل ثلاثي الطور كالآتي :

$$GMD = D_m = \sqrt[3]{D_{12} * D_{23} * D_{31}} \rightarrow (6 - 2)$$

حيث أن :

D_{12} = المسافة بين الأطوار الأول والثاني (متر)

D_{23} = المسافة بين الأطوار الثاني والثالث (متر)

D_{31} = المسافة بين الأطوار الثالث والأول (متر)

3-3-1 سعة خط الطور مفرد الدائرة

توضع نفس الإعتبارات التيس تم إستخدامها لإيجاد محاثاة خط النقل، يمكن كذلك إيجاد سعة الخط كالآتي

:

$$C = \frac{2\pi \epsilon_0}{Ln \left[\frac{D_m}{r_B \sqrt{1 + (\frac{D_m}{2h})^2}} \right]} \rightarrow (7 - 2)$$

حيث :

ϵ_0 = سماحيه الفراغ

D_m = متوسط المسافة الهندسية (متر)

h = ارتفاع الموصلات عن الأرض (متر)

$r_B =$ نصف القطر المكافئ للموصل الحزمي (متر)

4-2 أنواع خطوط النقل :

تقسم خطوط نقل القوى الكهربائية طبقاً لأطوالها إلى المجموعات التالية:

• خط نقل قصير ويقل طوله عن 80 كلم

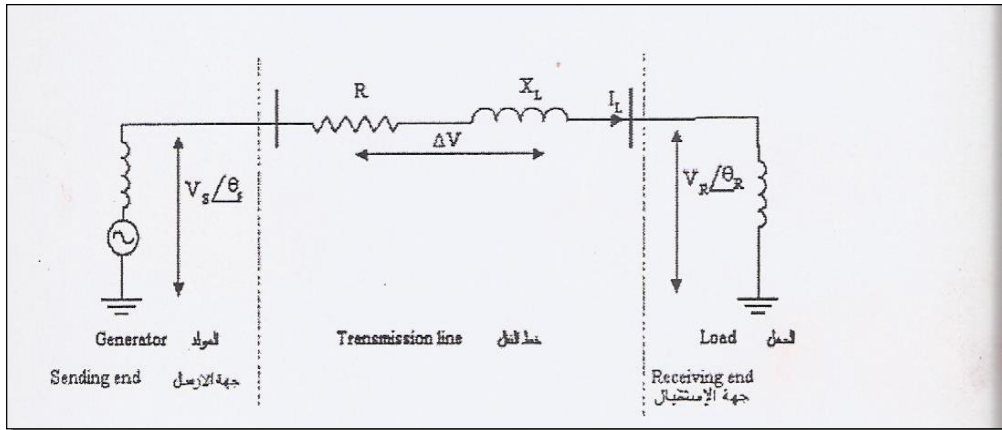
• خط نقل متوسط ويطراوح طوله بين 80-240 كلم

• خط نقل طويل يزيد طوله عن 240 كلم

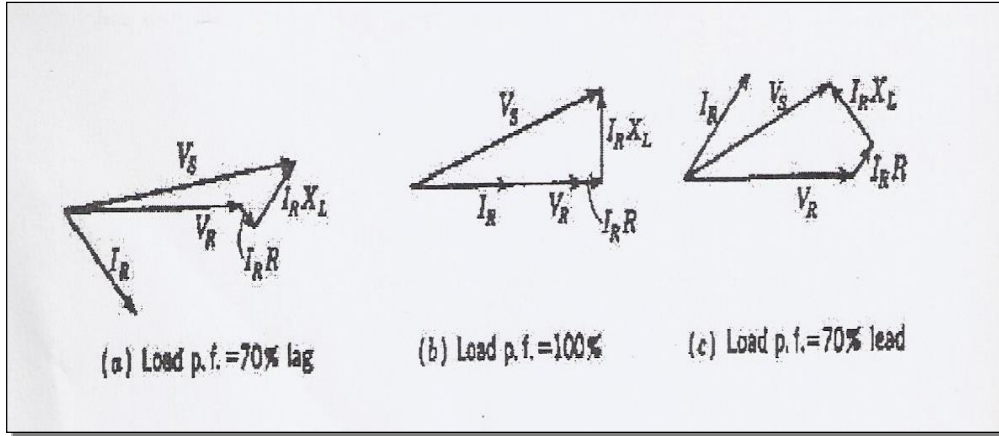
وتختلف كل مجموعة عن الأخرى في طريقة تمثيل الثوابت وأخذها في الاعتبار أو إهمالها. وقد وجد أن دقة النتائج مقبولة في كل حالة مع البساطة في الحسابات وفي هذا المجال تهمل السعة في المجموعة الأولى وتؤخذ في الاعتبار كقيمة مركزة في المجموعة الثانية ، أما في المجموعة الثالثة فيلزم إتباع توزيع السعة على طول الخط بحيث ترتفع قيمة التيار السعوي لزيادة طول الخط.

1-4-2 خطوط النقل القصيرة (Short Transmission Lines):

في هذا النوع من الخطوط يمثل الخط بمقاومة (R) قيمتها تساوي المقاومة الكلية للخط ومفاعلة (X) قيمتها تساوي أيضاً المفاعلة الكلية للخط وتهمل التوصيلية والسعة. والشكل (2-5) يمثل الرسم المتجهي لخط النقل القصير ، والشكل (2-4) إنتقال القدرة الكهربائية من المولد إلى الحمل الكهربائي.



شكل (2-4) إنتقال القدرة من المولد إلى الحمل في خط نقل قصير



شكل (5-2) الرسم المتجهي لخط النقل القصير

والمعادلات التالية إتجاهية (مركبة) ويلاحظ إتجاه السهم للتيار والجهد وفي هذه الحالة يكون التيار عند المولد (I_S) يساوي التيار عند الحمل الكهربائي وتكون العلاقة بين الجهد والتيار كما يلي :

$$I_S = I_r = I \quad \rightarrow \quad (8 - 2)$$

$$V_S = V_r + I_S (R + jX) \quad \rightarrow \quad (9 - 2)$$

$$V_S = V_r + IZ \quad \rightarrow \quad (10 - 2)$$

حيث أن :

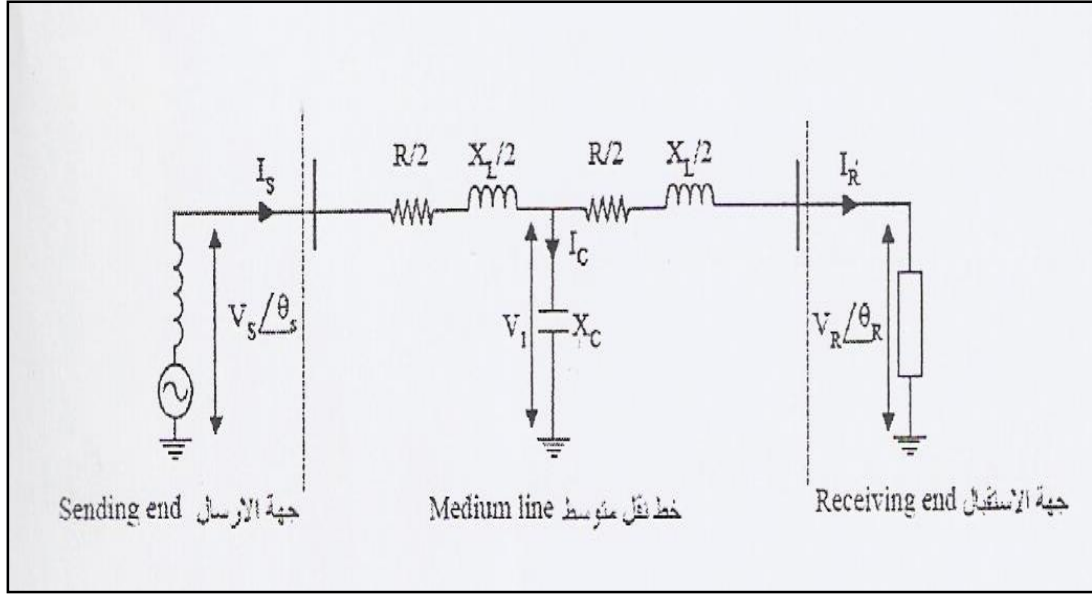
I_S, V_S = فولتية والتيار الإرسال على التوالي

I_r, V_r = جهد والتيار الإستقبال على التوالي

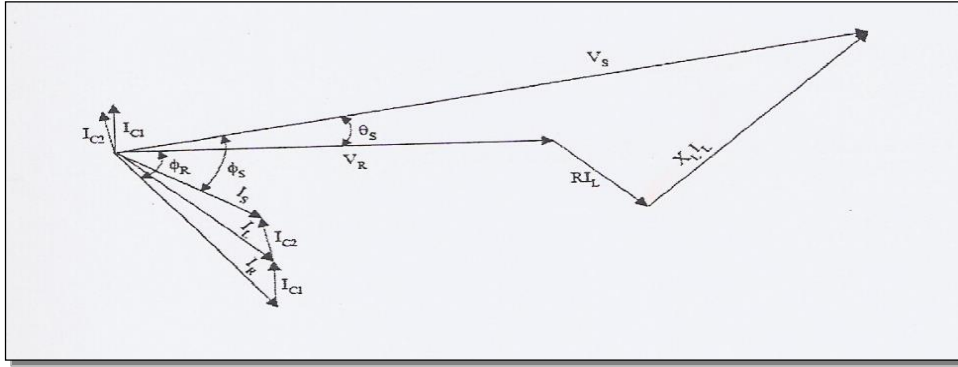
Z = معاوقة الخط

2-4-2 خطوط النقل المتوسطة (Medium Transmission Lines):

في هذه الخطوط تهمل التوصيلية وتوجد حالتان لتمثيل سعة الخط : في الحالة الأولى الشكل (6-2) يوضح خط نقل متوسط في الحالة الأولى (T-Circuit) وتمثيل للجهد والتيار في حالة خط النقل متوسط الطول كما بالشكل (7-2).



شكل (6-2) خط نقل متوسط في الحالة الأولى (T - circuit)



شكل (7-2) الرسم المتجهي للجهد والتيار لخط نقل متوسط في الحالة ال (T - Circuit)

تعتبر السعة الكلية للخط مركزة عند نقطة واحدة في منتصف الخط وتسمى هذه الدائرة (T-circuit) يلاحظ أن القيم الكلية للمقاومة والمفاعلة تم تقسيمها لجزئين متساويين على جانبي نقطة المنتصف وعلاقات الجهد بالتيار طبقاً للتالي :

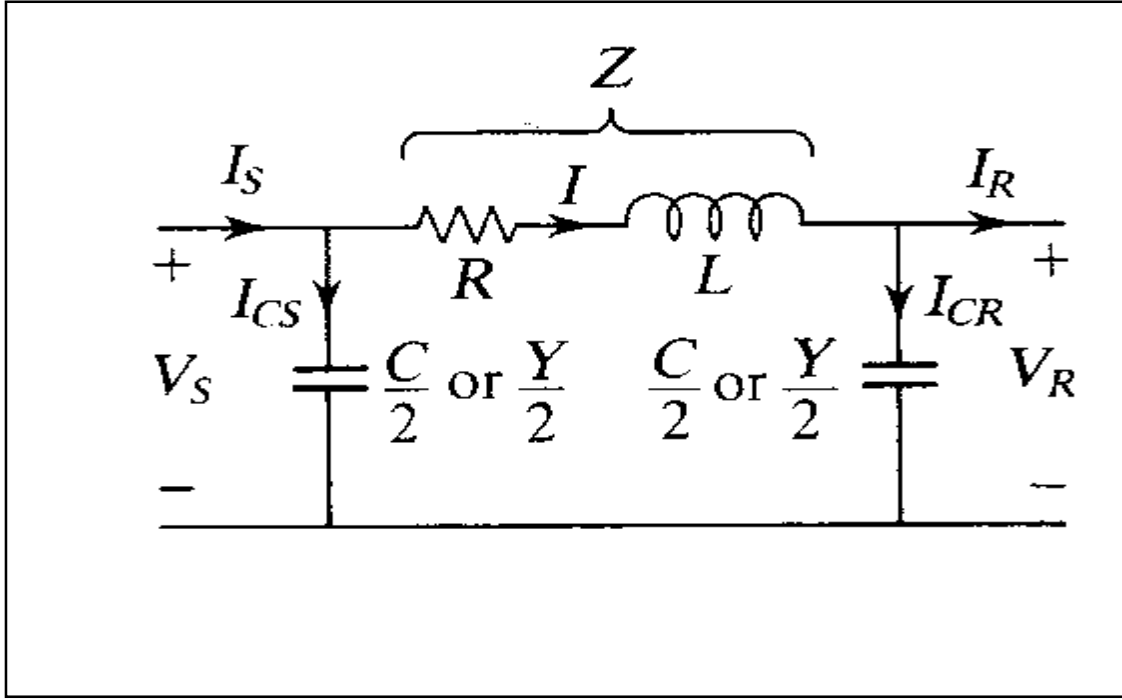
$$V_c = V_r + I_r Z/2 \quad \rightarrow \quad (11 - 2)$$

$$I_c = y V_c \quad \rightarrow \quad (12 - 2)$$

$$V_s = V_c + V_R \quad \rightarrow \quad (13 - 2)$$

$$I_s = I_r + Y V_c \quad \rightarrow \quad (14 - 2)$$

أما في الحالة الثانية يتم تقسيم السعة الكلية للخط إلى جزئين متساويين عند بداية ونهاية الخط وتسمى هذه الدائرة (π-circuit) و الشكل (8-2) يوضح هذه الدائرة



الشكل (8-2) خط نقل متوسط في الحالة الثانية (π -circuit)

وعلاقة الجهد والتيار طبقاً للأتي :

$$I_{c2} = V_r y/2 \quad \rightarrow \quad (15 - 2)$$

$$I_{c1} = V_s y/2 \quad \rightarrow \quad (16 - 2)$$

$$I_s = I_{c1} + I_{c2} + I_r \quad \rightarrow \quad (17 - 2)$$

$$V_s = V_r + z (I_r + V_r Y/2) \quad \rightarrow \quad (18 - 2)$$

حيث أن:

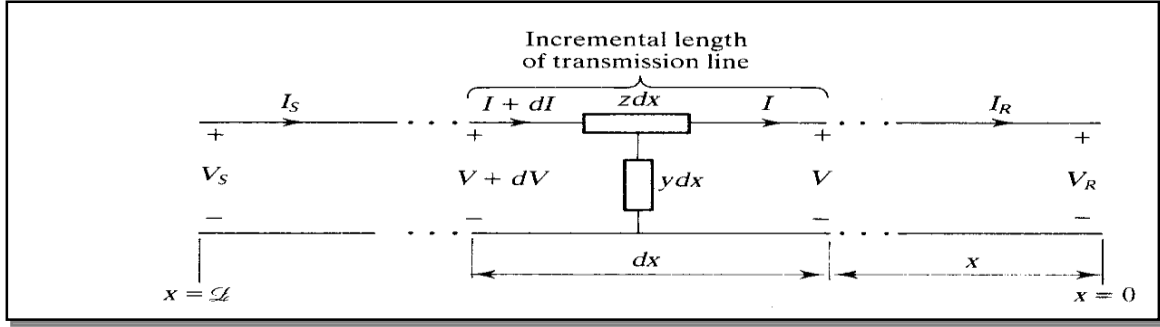
I_{c1}, I_{c2} = تيار شحن المكثفين C_1, C_2 على التوالي .

V_s, V_r = فولتية الإرسال والإستقبال على التوالي .

يلاحظ من المعادلات السابقة أنه إذا كانت قيم السعة صغيرة فإن قيمة السماحية (y) تكون صغيرة وبإهمالها سوف تعطي حالة ومعادلات الخط القصير.

3-4-2 خطوط النقل الطويلة (Long Transmission Lines):

من المعروف أن ثوابت الخط (R, L, C, G) لخط النقل تكون موزعة بانتظام على الطول الكلي للخط ونفترض أن الخط له ثوابت مجمعة وبذلك تكون حسابات الخط المنفذة بهذا الشرط تعطي نتائج بدقة معقولة.



شكل (9-2) خط نقل طويل

يمكن الحصول على كل من جهد الطرف المرسل V_S و تيار الطرف المرسل I_S كالآتي :

$$V_S = V_R \cosh \sqrt{yz} + I_R Z_C \sinh \sqrt{YZ} \rightarrow (19 - 2)$$

$$I_S = I_R \cosh \sqrt{yz} + \frac{V_R}{Z_C} \sinh \sqrt{YZ} \rightarrow (20 - 2)$$

أي أن :

$$\gamma l = \sqrt{yz} , Z_C = \sqrt{Z/Y}$$

حيث أن :

γ = معامل الانتشار

Z = المعاوقة الكلية للخط (أوم)

Y = المساحة الكلية للخط (سيمنز)

ويتم تمثيل المعادلات في شكل مصفوفة كالآتي :

$$\begin{bmatrix} V_S \\ I_S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cosh \gamma L & Z_C \sinh \gamma L \\ \frac{1}{Z_C} \sinh \gamma L & \cosh \gamma L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_R \\ I_R \end{bmatrix}$$

وبذلك يتم استنتاج ثوابت الخط كالآتي :

$$\left. \begin{aligned} A &= D = \cosh \sqrt{yz} \\ B &= Z_C \sinh \sqrt{yz} \\ C &= \frac{1}{Z_C} \sinh \sqrt{yz} \\ AD - BC &= 1 \end{aligned} \right\} (21-2)$$

الفصل الثالث

تركيبات خطوط

النقل

الفصل الثالث

تركيبات خطوط النقل

3-1 المقدمة :

الوظيفة الأساسية لخط النقل الكهربائي هي نقل القدرة الكهربائية من مكان لآخر والمكون الرئيسي لخط النقل هو الموصل حيث أن الموصل هو الناقل الفعلي للطاقة الكهربائية أما باقي تركيبات خطوط النقل فهي إما لحمل وتثبيت الموصل أو لعزل الموصلات عن الأرض وعن بعضها البعض أو للحفاظ على إتزان الموصلات عن طريق استخدام المخمدات وأهم هذه التركيبات :

i. الموصلات

ii. العوازل

iii. الأبراج

iv. أسلاك التأريض

v. المخمدات

3-2 الموصلات (Conductor) :

معظم الموصلات المستخدمة في خطوط النقل الهوائية تكون عبارة عن جديلة مكونة من قلب عبارة عن سلك واحد مستقيم محاط بطبقة أو أكثر من الأسلاك المجدولة بطريقة حلزونية حول القلب ومن أهم هذه الموصلات:

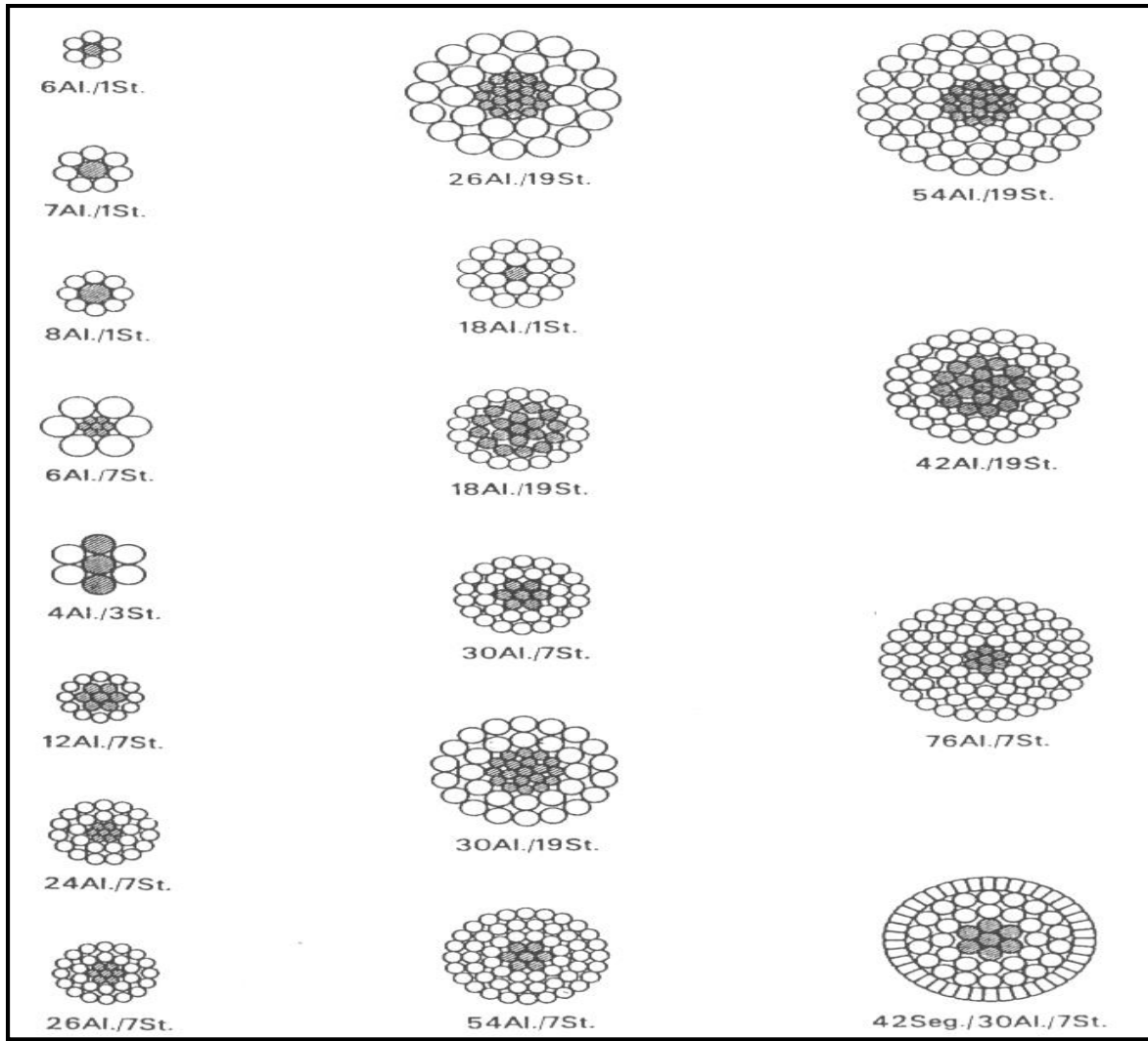
1/ الألومنيوم AAC (All Aluminum Conductor):

يعتبر أرخص أنواع الموصلات ولكن المتانة المنخفضة لهذا النوع من الموصلات تجعله مناسباً فقط عندما تكون خطوط البرج قصيرة.

2/ الألومنيوم المقوى بالصلب ACSR :

(Aluminum Conductor Steel Reinforced):

يتكون هذا الموصل من قلب عبارة عن طبقة أو أكثر من أسلاك الصلب المجلفن المحاطة بطبقة أو أكثر من أسلاك الألومنيوم ويتم التعريف على هذه الموصلات بعدد أسلاك الألومنيوم والصلب كما بالشكل (3-1) وأكثر موصلات هذا شيوياً هي الموصلات 26/7 والتي تتكون من سلك ألومنيوم و7 أسلاك من الصلب ويمتاز هذا النوع بالمتانة الحالية وتحمل الظروف الجوية السيئة كما أن له مقاومة شد عالية وأخف وزناً وبذلك يعطي إرتخاء صغير كما أن له قطر كبير مما يقلل من فقد التفريغ الهالي.



شكل (1-3) أنواع موصلات ACSR

3/ موصلات سبائك الألمونيوم AAAC (All Aluminum Alloy Conductor)

عبارة عن سبيكة متجانسة حرارياً من الألمونيوم والمغنسيوم والسيليكون حيث يمتاز بالمتانة العالية وغير معرض لمشكلة تآكل الجلفنة كما أنه له مقاومة كهربائية أقل وبالتالي يقل الفقد في الخط .

4/ الألمونيوم المقوى بسبيكة الألمونيوم ACAR :

(Aluminum Conductor Alloy Reinforced)

يشبه تماماً ACSR إلا أن القلب استبدل بأسلاك من سبيكة الألمونيوم وبذلك يعطي خصائص بين خصائص موصلات الألمونيوم وموصلات الألمونيوم المقوى بالصلب .

5/ سبيكة الألمونيوم بالصلب AACSR :

(Aluminum Alloy Conductor Steel Reinforced)

هو مشابه لـ ACSR يحتوي على قلب مكون من أسلاك الصلب ولكن تستبدل أسلاك الألمونيوم بأسلاك من سبيكة الألمونيوم وهو يمتاز بمتانة ميكانيكية عالية ويستخدم خصوصاً في أسلاك الأرض.

3-2-1 الإعتبارات الكهربائية المؤثرة على الموصلات :

3-2-1-1 الكورونا (التفريغ الهالي) Corona:

عندما يؤثر فرق جهد متردد عبر موصلات تباعدهما كبير مقارنة بأقطارهما فإن الهواء الجوي المحيط بالموصلات يتعرض لإجهادات ميكانيكية فعند زيادة فرق الجهد تدريجياً يؤدي لظهور وهج مضيء خافت لونه بنفسجي مصاحب لضوضاء (هسهسه) وتكون مصحوبة هذه الظاهرة بتكون أوزون له رائحة مميزة حيث تعرف بظاهرة التفريغ الهالي المرئي (visual corona) وإذا استمر فرق الجهد أكثر سوف تنطلق شرارة بسبب إنهيار عزل الهواء وتكون واضحة في جهود 100 KV وأعلى منها .

3-2-1-1-2 العوامل المؤثرة على التفريغ الهالي

1/ الموصل

يتأثر التفريغ الهالي بحجم وشكل (مجدول أو ناعم) وظروف سطح (متسخ أم نظيفة) الموصل وينخفض التفريغ بزيادة قطر الموصل والموصل المجدول يرفع من التفريغ الهالي بالنسبة للموصل المصمت .

2/ التباعد بين الموصلات

مع تزايد التباعد بين الموصلات يخفض تأثير التفريغ الهالي وإذا التباعد بين الموصلات كبير مقارنة بأقطار الموصلات لا يكون هناك تأثير للتفريغ الهالي .

3/ جهد الخط

عند زيادة جهد الخط إلى تلك القيمة التي تولد إجهادات كهروستاتيكية عند سطح الموصل تجعل الهواء الجوي يظهر تأثير التفريغ الهالي .

4/ الهواء الجوي

يتأثر التفريغ الهالي بالحالة الفيزيائية للهواء الجوي ويتناسب ميل الجهد لإنهيار الهواء تناسباً طردياً مع كثافته.

3-2-1-1-2 الجهد الحرج التمزقي (Disruptive critical voltage)

قيمة تدرج الجهد الذي يحدث عنده التمزق الكامل للهواء يسمى متانة التمزق أو متانة العزل الكهربائي ، مقاومة إنهيار الهواء عند ضغط 760 mm ودرجة حرارة 25° c هي 30 kv/cm أو 218 kv/cm (r.m.s) ويرمز له بالرمز g_0 حيث يتوقف على كثافة الهواء وهكذا فإن متانة التمزق للهواء على ضغط بارامتري b سم زئبق ودرجة حرارة $t^{\circ}c$ تصبح $g_0 \delta$ حيث أن عامل كثافة الهواء (δ) يعطي بالعلاقة :

$$\delta = \frac{3.92 b}{273 + t} \quad (1 - 3)$$

حيث :

b = ضغط جوي (سم زئبق)

t = درجة الحرارة (c°)

حيث يتم إيجاد الجهد الحرج التميزي (V_d) من العلاقة التالية :

$$V_d = g_0 m_0 r \left[1 + \frac{0.3}{\sqrt{\delta r}} \right] \log \frac{d}{r} \quad (2 - 3)$$

حيث أن:

g_0 = متانة العزل الكهربائي للهواء . (كيلو فولت/سم)

r = نصف قطر الموصل (سم)

d = التباعد بين الموصلات (سم)

m_0 = عامل شروط سطح الموصل ويساوي (0.93-0.98) للسطح الخشن و(0.80-0.87) للموصلات
المجدولة

3-1-1-2-3 الجهد الحرج البصري (Visual critical voltage)

يعرف بأنه الحد الأدنى لجهد الطور مع التعادل الذي يظهر عنده التوهج بطول كل موصلات الخط
وهكذا فإن الجهد الحرج البصري V_{ph} يساوي الآتي :

$$V_{ph} = g_0 m_0 r \left[1 + \frac{0.3}{\sqrt{\delta r}} \right] \log \frac{d}{r} \quad (3 - 3)$$

m_0 = عامل الخشونة وهي تساوي الوحدة للموصلات الناعمة و(0.98-0.93) للموصل الخشن و(0.72)
للكورونا المحلية على الموصلات المجدولة وللكرونا العامة بطول الخط يمكن أخذ ($m_0=0.82$).

3-1-1-2-3-4 فقد قدرة التفريغ الهالي (الكورونا)

فقد القدرة يتأثر بكل من الظروف الجوية وظروف الخط وتحت الظروف المناخية المعتدلة فإن الصيغة
التجريبية لفقد قدرة الكورونا قد تاكدت بواسطة بيك Speck الآتي :

$$P_c = \frac{244}{\delta} (F + 25) \sqrt{\frac{r}{d}} (V_{ph} - V_{do})^2 * 10^{-5} \text{ kw /km /phase}$$

حيث :

V_{Ph} = الجهد للتعادل (kv)

V_{do} = الجهد الحرج التميزي للتعادل (kv)

F = تردد الامداد (HZ)

وتحت ظروف الطقس العواصف تؤخذ V_{do} تساوي 0.8 مرة قدر قيمتها عند المناخ المعتدل، ويعطي فقد القدرة بسبب الكورونا كالاتي :

$$P_c = \frac{244}{\theta} (F + 25) \sqrt{\frac{r}{d}} (V_{ph} - 0.8 V_{do})^2 * 10^{-5} \text{ kw/km/phase} \quad (4 - 3)$$

2-1-2-3 المقنن المستمر

مقننات الموصل الهوائي تحسب من شروط توازن الحرارة والتي تعطي علاقة بين الحرارة المستقبلية من المصادر المختلفة والحرارة المنبعثة من الموصل ويمكن تنفيذ تشكيل المقنن بإهمال تدرج الحرارة في الموصل .

يتم حساب المقنن المستمر بتجميع مفقودات الحرارة وكسب الإمتصاص ولشروط درجة الحرارة المستقرة فإن العلاقات الآتية تعطي المقنن المستمر لشروط الحرارة .

الحرارة المبددة بالإشعاع + الحرارة المبددة بالحمل = حرارة الشمس + المفقودات الكهربائية

$$H_{cond} + H_{sun} = H_c + H_r$$

$$I^2 R + X E d c = 13.8 \theta c (v d c)^{0.448} \times 10^{-4} +$$

$$E c \sigma [(T_{amb} + \theta c)^4 - T_{amb}^4] \pi d c - x E d c$$

$$I = 13.8 \theta c + E d c (v d c)^{0.448} \times 10^{-4}$$

$$+ E c \sigma [(T_{amb} + \theta c)^4 - T_{amb}^4] \pi d c - x E d c$$

حيث:

$$I = \text{التيار في الموصل (الامبير)}$$

$$R = \text{المقاومة ac (الوم/سم)}$$

$$X = \text{معامل الامتصاص الشمسي}$$

$$E = \text{شدة الإشعاع الشمسي (وات/سم}^2\text{)}$$

$$d_c = \text{قطر الموصل (السم)}$$

$$E_c = \text{معامل الانبعاثية لسطح الموصل}$$

$$T_{amb} = \text{درجة الحرارة المحيطة المطلقة}$$

$$\theta_c = \text{الإرتفاع في درجة حرارة الموصل (C}^\circ\text{)}$$

$$\sigma = \text{ثابت ستيفان} = (5.7 * 10^{-2} \text{ watt/cm}^2\text{)}$$

$$V = \text{سرعة الرياح الفعالة (cm/c)}$$

قطر الموصل (cm) = dc

2-2-3 الإعتبارات الميكانيكية المؤثرة على الموصلات

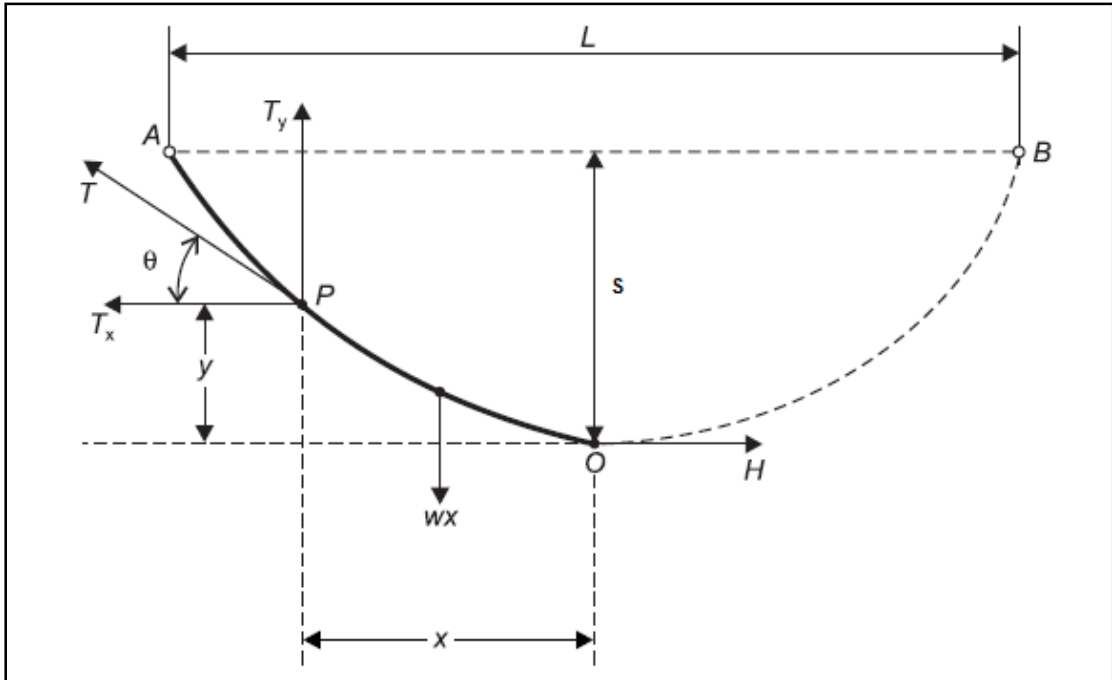
1-2-2-3 الترخيم (sag)

في خطوط النقل تكون الموصلات معلقة على الأبراج وفي المسافة بين البرجين متتالين والتي تعرف بالباع يكون السلك معلقاً تحت تأثير وزنه والترخيم عند أي نقطة هو مقدار إنخفاض هذه النقطة عند مستوى التعليق .

1-1-2-2-3 العوامل المؤثرة في الترخيم

- 1/ وزن الموصل فكلما زاد وزنه زاد الترخيم
- 2/ المسافة بين البرجين (الباع) كلما زادت زاد الترخيم
- 3/ الشد في الموصل فكلما زاد الشد قل الترخيم .

2-1-2-2-3 الحالة الأولى : الترخيم لبرجين متماثلين



شكل (2-3) الترخيم لبرجين متماثلين

عندما يكون البرجين متماثلين تكون نقاط تعليق الموصل على نفس الإرتفاع وهذه الحالة يكون أقصى ترخيم s في منتصف المسافة بين نقطتي التعليق ويمكن إيجاده من العلاقة الآتية:

$$S = \frac{\omega L^2}{8T}$$

حيث أن :

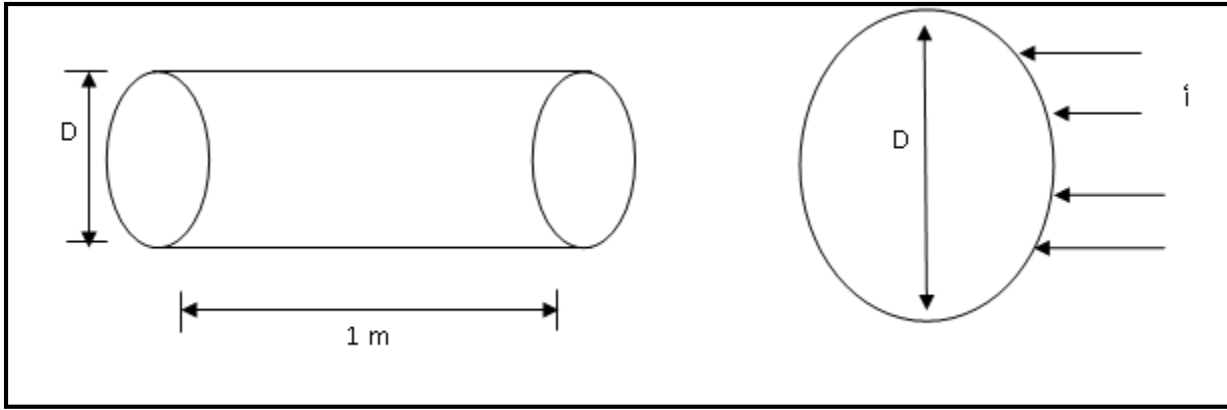
ω_c = الوزن للموصل (كيلوجرام/ متر)

L = الباع (متر)

T = الشد في الموصل (K_g)

3-2-1-2-2-1 تأثير الرياح على الترخيم

عند تعرض الموصلات لضغط رياح مقداره $p \text{ kg/m}^2$ فإنه يتعرض لقوة تؤثر عليه أفقياً مقدارها يساوي حاصل ضرب ضغط الرياح في المساحة المسقطه للموصل.

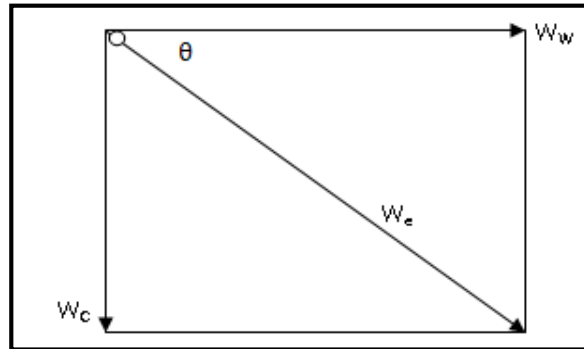


شكل (3-3) مقطع عرضي وطولي للموصل

المساحة المسقطه للموصل لكل متر طولي (A_p) ، وبالتالي فان القوة المؤثرة على الموصل نتيجة ضغط الرياح .

$$\omega_w = A_p * P = D * P \quad (5 - 3)$$

هذه القوة تؤثر أفقياً كما بالشكل (4-3).



شكل (4-3) القوة التي تؤثر أفقياً على الموصل

وبذلك يمكن إيجاد الوزن المحصل كالآتي :

$$\omega_e = \sqrt{\omega_c^2 + \omega_w^2} \quad (6 - 3)$$

وبالتالي يمكن حساب الترخيم كالآتي :

$$De = \frac{\omega_e L^2}{8T} \quad (7 - 3)$$

حيث :

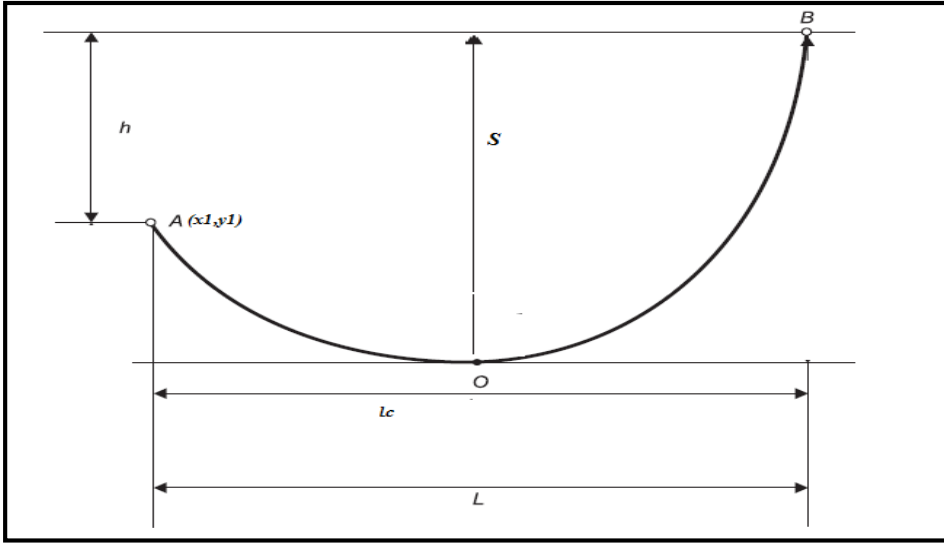
ω_c = الوزن المكافئ للموصل (الكجم)

L = المسافة بين البرجين (متر)

T = الشد في الموصل (كجم)

2-1-2-2-3 الحالة الثانية : الترخيم لبرجين مختلفي الارتفاع

عند إقامة الخطوط على مناطق مائلة في حالة مناطق التلال فان الدعامتين B,A سيكونان على مستويين مختلفين كما بالشكل (5-3).



الشكل (5-3) الترخيم لبرجين مختلفين في الإرتفاع

نفترض أن المسافة بين الدعامتين (L) وبالتالي يمكن إيجاد المسافة كالآتي :

$$X = \frac{L}{2} - \frac{hT}{\omega L}$$

ويمكن إيجاد الترخيم محسوباً للبرج القصير كالآتي :

$$D_1 = \frac{\omega_c . X^2}{2T}$$

وكذلك الترخيم محسوباً للبرج الكبير كالآتي :

$$D_2 = \frac{\omega_c (L-X)^2}{2T}$$

3-3 العوازل (Insulators) :

لمنع تسرب التيار الكهربائي للأرض من نقاط تثبيت خطوط النقل أو التوزيع الكهربائية فإن كل هذه النقاط يتم تأمينها باستخدام عوازل صلابة بين الخطوط فهي بذلك تلعب دوراً هاماً وحيوياً في التشغيل الآمن والناجح لخط النقل يتم تصنيف العوازل حسب المادة المصنوعة منها إلى :

1/ عوازل البورسلين

البورسلين هو المادة الشائعة الإستعمال وهو يصنع من الطينة الصينية والعازل الناتج يكون صلباً وناعماً ومصقولاً وخالياً من المسامات كما في الشكل (3-6).



شكل (3-6) - عوازل البورسلين

2/ العوازل الزجاجية

تستخدم في العزل الكهربائي حتى الجهود المتوسطة وتمتاز بالكفاءة العالية من حيث شدة العزل وشدة الضغط الميكانيكي مقارنة مع البورسلين كما في الشكل (3-7).



شكل (7-3) العوازل الزجاجية

3/ عوازل الاستاين

للاستاين شدة ميكانيكية عالية مقارنة بالبورسلين وهو يستخدم بكفاءة في أبراج الشد والتي تكون عند الدورانات الحادة للخط الكهربائي.

3-3-1 أنواع العوازل:

كما يمكن أيضاً تصنيف العوازل من حيث نوع البرج المركبة عليه ومن أشهر العوازل المستخدمة في خطوط الجهد العالي هي :

3-3-1-1 عوازل التعليق (suspension Insulators)

تتكون من عدد من أقراص البورسلين موصلة بمرونة على التوالي بواسطة وصلات معدنية على هيئة سلسلة وتمتاز بأنها يمكن إضافة عوازل أكثر للسلسلة وتعتمد عدد العازلات التي تتكون منها السلسلة على جهد التشغيل وحجم العازل المستخدم والظروف الجوية وتمتاز السلسلة أيضاً بإمكانية إستبدال واحد أو أكثر من العوازل من دون إستبدال السلسلة كلها .

3-3-1-2 عوازل الإجهاد/ الشد (strain Insulators)

تتكون من عوازل تعليق وهي عبارة عن خطين أو ثلاثة من عوازل التعليق متوازيين ومرتبطين ببعضهما وتستخدم عند طرف نهاية الخط الكهربائي أو وجود دورانات للخط أو منحني حاد للخط الكهربائي أو عبور الخط لنهر أو ما شابه حيث انه يتعرض لإجهادات ميكانيكية عالية جداً .

3-4 أبراج خطوط النقل الكهربائي (Towers supports):

وظيفة أبراج خطوط النقل هي تثبيت الموصلات حيث يتم استخدام الأبراج الحديدية في خطوط الضغط العالي وهي عبارة عن تركيب شبكي من عناصر الصلب المجلفن والتي يتم تجميعها معاً بصواميل ومسامير لتكون شكل البرج ، وتعتبر الأبراج الحديدية الأعلى من حيث نسبة المتانة/ الوزن والأطول عمراً وذات تكلفة معقولة كما يمكن نقل مكونات البرج بسهولة أيضاً في مكان التركيب وأنواع الأبراج هي :

1-4-3 برج تعليق /تثبيت (suspension /support tower)

هو البرج الذي يستخدم لتعليق (تثبيت) الموصلات ولا يبذل هذا البرج أي شد على الموصل فهو بمثابة نقطة تعليق (تثبيت) فقط ويختلف برج التعليق عن التثبيت في وضع الموصل بالنسبة للعازل، ففي برج التثبيت يكون العازل مثبتاً رأسياً لأعلى ويكون السلك موضوعاً فوق العازل أما في برج التعليق يكون العازل مثبتاً رأسياً لأسفل ويكون السلك معلقاً في أسفل العازل وفي كلا النوعين لا يكون السلك مربوطاً في العازل كما بالشكل (8-3).



شكل (8-3) برج تعليق

2-4-3 برج الشد (Tension tower)

يتميز هذا البرج بوجود عازلين عند كل نقطة تثبيت حيث يكون الموصل بينه وبين البرج الذي يسبقه مربوطاً بأحد العازلين والموصل بينه وبين البرج الذي يليه مربوطاً بالعازل الثاني ويوضع بعد كل عدة أبراج تعليق لتفادي سقوط السلك من على الأبراج في حالة حدوث قطع فيه ويكون هذا البرج معرضاً لشد متساوي في كلتا الجهتين كما بالشكل (9-3).



شكل (9-3) برج شد

3-4-3 برج الزاوية (Angle tower)

يشبه إلى حد كبير برج الشد إلا أنه يستخدم عند حدوث تغير في إتجاه خط النقل ويكون طرفا السلك المربوطان به ليسا على إستقامة واحدة مما يجعله معرضاً لقوة شد تساوي محصلة الشد في الموصلين المربوطين فيه كما بالشكل (10-3).



شكل (10-3) برج الزاوية

4-4-3 برج النهاية (End tower)

وهذا النوع من الأبراج يوجد في بداية الخط وفي نهايته ويكون معرضاً للشد من ناحية واحدة ويلزم اخذ هذا الشد في الإعتبار عند تصميم وتثبيت البرج كما في الشكل (11-3) .

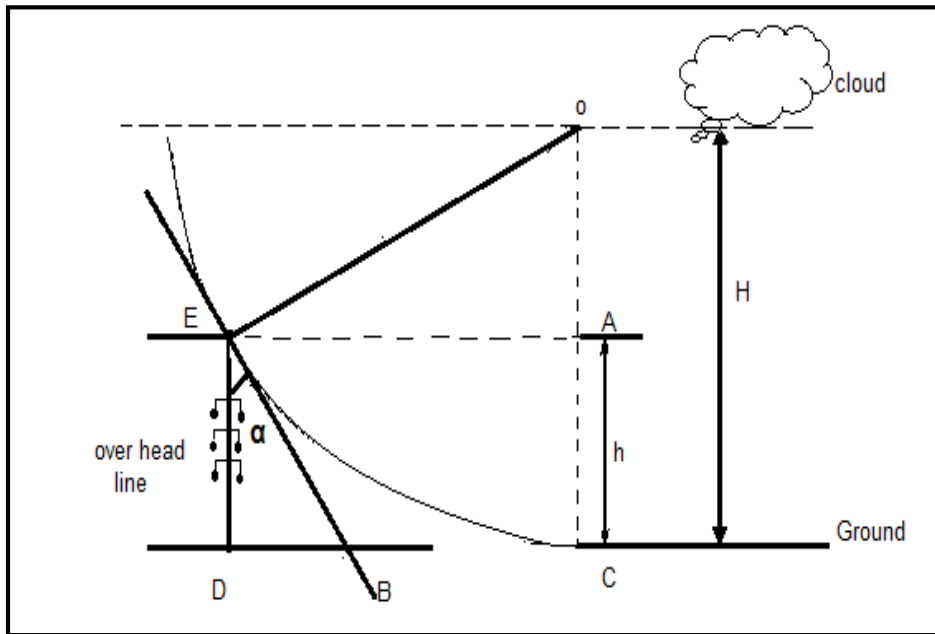


شكل (11-3) برج نهاية

5-3 سلك التأسيس (earth wire):

يتم استخدام أسلاك الوقاية "التأسيس" حيث يتم جلفنتها وتكون مصنوعة من الصلب الذي قطره الأدنى 4mm على أن تؤرض تأريضاً فعالاً بواسطة الكترودات أرضية وتستخدم لحماية أسلاك الأطوار بالكامل وفي بعض أنواع الأبراج يستخدم الأرضي حيث يوضع في أعلى قمة البرج ويحوي بداخله خط إتصالات (OPGW) الذي يستخدم في الإتصالات وذلك لنقل إشارات المحطات وربطها بالتحكم المحلي أو بالتحكم المركزي.

ولحماية خطوط النقل من ضربات الصواعق العابرة يتم حماية الموصلات عن طريق استخدام ما يعرف بـ "SHIELD ANGLE" أو زاوية الحماية كما بالشكل (12-3).

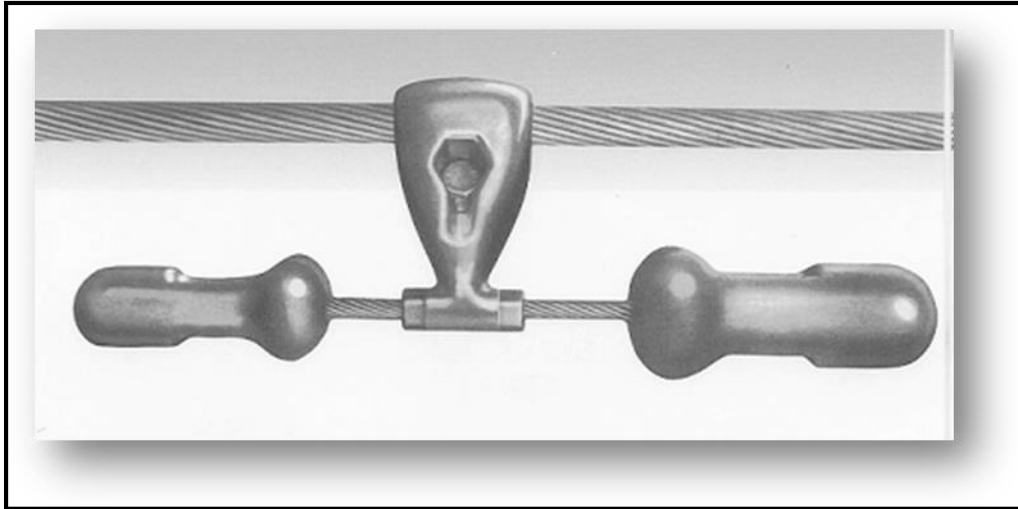


شكل (12-3) زاوية الحماية

زاوية الحماية عادة تكون (30°) ويفضل أن تكون أقل بقدر الإمكان خصوصاً في المناطق ذات الأمطار الكثيفة ، ولتحقيق أكبر حماية ممكنة نجعل زاوية الحماية "Zero" وبذلك يتم تأمين الموصلات بشكل كامل وفي السودان يتم استخدام زاوية حماية.

6-3 الاهتزازات والمخمدات : Vibration of dampers

يتعرض خط النقل لإهتزازات في المستوى الرأسي وهناك نوعان من هذه الإهتزازات بالإضافة للتأرجح العادي نتيجة الرياح ، وهي المعروفة بإسم إهتزازات الرنين أو إهتزازات التردد العالي والأخرى هي الإهتزازات الراقصة أو إهتزازات التردد المنخفض و التأرجح البسيط للموصل يكون غير ضار بشرط أن يكون الخلوص كبير بدرجة تكفي لعدم إقتراب الموصلات بواسطة مخمدات تمنع الإهتزازات الرنانة من الوصول للموصلات عند التثبيتات أو الدعامات ومخمد قنطرة الكتلة المخزنة الموضح بالشكل (3-13) يتكون من كتلكات مربوطتان مع قطعة من الكابل المجدول طوله (0.3-0.5) متر مثبت على موصل الخط وتمتص طاقة الإهتزازات بواسطة الكابل المجدول وبذلك تخمد الإهتزازات بسرعة.



شكل (3-13) مخمد قنطرة الكتلة المخزنة

الفصل الرابع

التشغيل في خطوط

النقل

الفصل الرابع

التشغيل في خطوط النقل

1-4 مقدمة:

إن الهدف من العمل الهندسي محاولة إيجاد أفضل التصاميم التي يمكن تنفيذها بأقل التكاليف الممكنة من الناحيتين الإنشائية والتشغيلية ، ويعد هذا المفهوم هو حجر الأساس في تشغيل وتصميم أي منظومة قدرة كهربائية ، ويتم ذلك عادة وفقاً لأسس فنية معينة يكون بعض عناصرها تحليل ودراسة سريان القدرة الكهربائية، والإستقرارية، ودراسة الأعطال المتوقعة، وعمل إحتياطات مبدئية لها ومعرفة الجانب الإقتصادي لهذه الدراسات، وكل هذه الأسس الفنية من الإحتياجات المهمة والضرورية للإيفاء بمتطلبات عمل المنظومة في حالتها الإعتيادية وبصورة مستقرة والتي تعد أمراً أساسياً لغرض دراسة منظومة قدرة كهربائية قيد العمل أو بغرض التخطيط لتوسيع مستقبلي للمنظومة وذلك للإزدياد المستمر في حجم منظومة القدرة الكهربائية ، وسيتم في هذا الفصل تناول الجوانب التالية :

- i. انسياب القدرة
- ii. الإستقرارية
- iii. أعطال الخط
- iv. الحالات العابرة
- v. حماية خطوط النقل

2-4 إنسياب القدرة (Load flow) power Flow :

إن تحليل ودراسة سريان القدرة الكهربائية يسمى بسريان الحمل في تلك المنظومة التي تتألف من محطات توليد القدرة ومحطات النقل والتوزيع من أهم العناصر الفنية لتصميم وتشغيل المنظومة والتي تقوم بخفض أو رفع الفولتية ، وتوصل هذه المحطات مع بعضها بخطوط كهربائية لنقل القدرة من مصادر التوليد إلى أماكن الإستهلاك.

إن الغاية من إجراء هذا التحليل ودراسته بالنسبة إلى كمية وإتجاه الحمل وسريانه في المنظومة تكون في حساب الفولتية في نقاط التوصيل العمومية من أجل إيجاد كمية القدرة المنقولة وإتجاهها في المنظومة وبذلك يتم التمكن من تشغيل المنظومة وفقاً لأسس فنية سليمة وفضلاً

عن أهميتها هذه فإنها تعد جزء أساسي في دراسات أخرى ذات علاقة مثل تحليل الأمان وتحليل الإستقرارية وتحليل دوائر القصر وهذا يجعل من تحليل إنسياب القدرة الكهربائية أحد التحليلات الهامة التي لا يمكن الإستغناء عنها، ومن خلال مسألة تحليل سريان الحمل يلاحظ أن هناك عدة متغيرات منها المتغيرات المعتمدة وتشمل قيم الفولتيات عند عموميات الأحمال وزاوية فرق الطور لعموميات الأحمال

وعموميات الفولتيات المسيطر عليها وتكون مجهولة القيم، المتغيرات غير المعتمدة وتكون قيم معلومة تعطى في الحل ومن ضمنها قيم الفولتيات عند عموميات الفولتيات المسيطر عليها وقدرة التوليد الحقيقية وقدرة التوليد المتفاعلة التي تعرف بمتغيرات السيطرة التي يجب ان نحقق قيمها قبل إيجاد الحل النهائي لمسألة انسياب القدرة الكهربائية.

وفي مسألة سريان الحمل يجب إيجاد أفضل سريان للقدرة الفعالة للحصول على أقل تكلفة توليد وهي تعتمد على القدرة الحقيقية للمولدات وكذلك أفضل سريان للقدرة المتفاعلة لإيجاد أقل فقد حقيقي في خطوط النقل ، وكذلك من الضروري معرفة أنواع الموصلات العمومية في المنظومة وهي ثلاث أنواع يتبع كل واحد منها أربع كميات يهتم بها دائماً وهي القدرة الفاعلة والقدرة المتفاعلة ومقدار الفولتية وزاويتها ، والأنواع هي :

(i) الموصل العمومي العائم (المتأرجح) Slack busbar

وهو احد العموميات في المنظومة الذي يسمح لقيمة القدرة الفعالة والقدرة المتفاعلة بالتغير بشرط الحفاظ على قيمة الفولتية وزاويتها ثابتتين.

(ii) عمومي الحمل Load busbar

هو العمومي الذي تكون فيه قيم القدرة الفعالة والمتفاعلة معروفة قد يحوي في بعض الأوقات على مولدات تضخ القدرة الفعالة والمتفاعلة إلى الشبكة بقيم معلومة وتكون قيم الفولتيات وإتجاهها غير معلوم .

(iii) عمومي الفولتية المسيطر عليها Voltage controlled bus bar

هو العمومي الذي تكون فيه قيم الفولتية والقدرة الفعالة معروفتين وتكون القدرة المتفاعلة فيه متغيره أثناء التحليل ويحدد الحدان الأعلى والأدنى لقيمة هذه القدرة (غير الفعالة) وكذلك الزاوية غير معروفة .

3-4 إستقرارية منظومة القوى :

إن استقرارية النظام الكهربائي هي مقدرة النظام على البقاء في حالة تشغيل متوازن بينما تحدث به اضطرابات وهو تعبير يطلق أيضاً على نظام القدرة الكهربائية ذو التيار المتردد والذي يحوي على عدد من الأدوات التزامنية التي تبقي بالتزامن مع بعضها ، وهناك ثلاثة أنواع هامة في هذا المجال هي: اتزان حالة الاستقرار والاتزان الدينامي والاتزان العابر .

1-3-4 إتزان حالة الإستقرار Steady State Stability

ويطلق على استجابة الألة المتزامنة لزيادة متدرجة في الحمل ، ويتم التركيز على الفولتية عند الاضطرابات الصغيرة والمتدرجة تكون قريبة في الفولتية المعرفة nominal voltage وأيضاً التأكد من أن زاوية الطور بين البسبارين ليست كبيرة جداً.

2-3-4 الإستقرار العابر Transient Stability

تشتمل على إستجابة النظام للإضطرابات الكبيرة والتي ربما تسبب تغيرات كبيرة في سرعة العضو الدوار وزاوية القدرة والقدرة المنقولة واستجابة المنظومة لهذه الاضطرابات عادة ما يكون واضح في حدود الثانية الواحدة .

ويتم في دراسة الاتزان العابر التحقق في زاوية الحمل بعد الرجوع للقيم المستقرة بعد إزالة الاضطراب .

3-3-4 الاتزان الديناميكي Dynamic Stability

وأيضاً يعرف باسم (Small – Signal Stability) ويشمل الإستجابة للإضطرابات الصغيرة التي تتعرض لها المنظومة وينتج عنها إهتزازات ، فإذا كانت هذه الاضطرابات أو الإهتزازات صغيرة ومتدرجة الاتساع ، فان المنظومة تعتبر متزنة ديناميكياً ، وإذا كانت هذه الاضطرابات تزداد فان النظام يعتبر ديناميكياً غير متزن ، ومصادر عدم الإتزان عادة ما يكون تفاعل بين منظومات التحكم، وعادة فإن إستجابة المنظومة للاضطرابات ربما لا تكون ظاهرة لمدة تصل من 15 إلى 30 ثانية.

يعتمد الاستقرار بصورة عامة على معادلة القدرة التالية:

$$P_s + JQ_s = \frac{V_1 V_2}{x} \sin \delta + \frac{J(V_1^2 - V_1 V_2 \cos \delta)}{x} \quad (2 - 4)$$

حيث أن :

P_s = القدرة الفعالة النهائية أو الطرفية المرسله عبر الخط

Q_s = القدرة غير الفعالة النهائية أو الطرفية المرسله عبر خط النقل

V_1 = الجهد الطرفي المرسل

V_2 = الجهد الطرفي المستقبل

δ = زاوية الحمل (زاوية القدرة)

X = ممانعة خط النقل بالإضافة إلى ممانعة المولد المتزامنة

وعند عدم وجود فقودات فان القدرة المرسله تساوي القدرة المستقبلة .

من أهم معادلات الاستقرارية التي تبني عليها معظم الحسابات في الاستقرارية معادلة التارجح وتكتب هذه المعادلة رياضياً كالاتي :

$$\frac{H}{\pi F^2} \frac{d^2 s}{dt^2} = p_m - p_e$$

حيث أن :

H = ثابت القصور الذاتي

F = التردد بالهيرتز (HZ)

$\frac{d^2 \delta}{dt^2}$ = تسارع العضو الدوار

p_m = القدرة الفعالة الميكانيكية

p_e = القدرة الفعالة الكهربائية

4-4 أعطال خطوط النقل :

يعرف العطل في نظام القدرة بالشرط غير الطبيعي للشبكة والذي ينتج عنه الإنهيار الكهربائي للعناصر الأساسية مثل المولدات ، المحولات ، قضبان التجميع ، خطوط النقل الهوائية ، الكيبلات ، أو أي عنصر في الشبكة الكهربائية يعمل عند جهد نظام القدرة ، ويتشكل الإنهيار الكهربائي في أحد الحالات الآتية :

1/ إنهيار العازلية الذي يؤدي إلى دائرة قصيرة (short circuit)

2/ إنهيار الناقل الذي يؤدي إلى دائرة مفتوحة (open circuit)

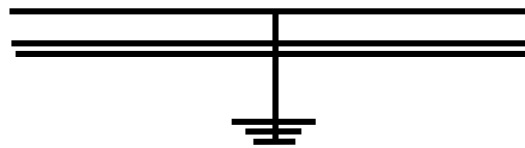
يمكن حصر الأنواع الأساسية بهذه الأعطال في الآتي :

4-4-1 دارات قصر بين الأطوار short circuit phases

يمكن حصرها في نوعين أساسيين :

1- القصر المتماثل ثلاثي الأوجه Symmetrical three phases fault

وفيه تكون الأوجه الثلاثة مقصورة كما في الشكل (4-1) ولذلك تكون التيارات في الأوجه الثلاثة متماثلة ويستوي في هذه الحالة اتصال الأوجه الثلاثة بالأرض أو عدم اتصالهم بها ، وهذا النوع هو الأقل حدوثاً ولكنه أشد دوائر القصر خطراً على منظومة القوى حيث يكون تيار القصر أكبر منه في باقي الحالات للقصر ، ولذلك يتم استخدام تيار القصر في هذه الحالة لتحديد مقننات القواطع.



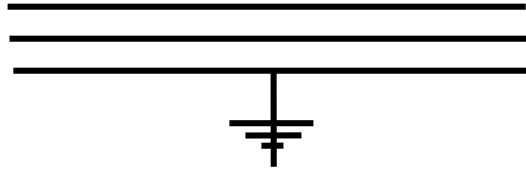
شكل (1-4) قصر متماثل ثلاثي الأوجه

2- قصر غير متماثل الأوجه Asymmetrical fault

ويشمل الآتي :

(i) القصر - خط - أرض Single line to ground fault

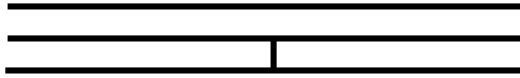
وفي هذا النوع يحدث اتصال بين وجه الأرض كما في الشكل (2-4) وهو الأكثر حدوثاً في منظومات القوى وأكثر ما يحدث في خطوط النقل ، والتيار الناتج عن هذا القصر يكون هو الأقل في معظم الحالات ، ويكون التيار في الوجه الذي حدث عليه القصر كبيراً في حين يكون التيار في الوجهين الآخرين صفراً ولذلك تكون المنظومة في حالة اتزان كبير في الجهد والتيار .



شكل (2-4) قصر خط أرض

(ii) القصر خط - خط Line to line fault

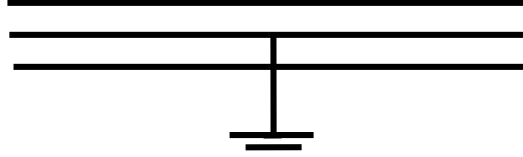
وهذا النوع موضح في شكل (3-4) حيث يحدث اتصال بين خطين بعيداً عن الأرض وهو أيضاً عطل خط غير متماثل لان الأوجه الثلاثة غير معرضة لنفس الظروف فهنا نجد أن خطين اتصلا فأصبح جهد كل منهما مساوياً لجهد الآخر ، والتيار في أحدهما مساوي ومعاكس للتيار في الآخر في حين أن الخط السليم تياره صفر وجهده مختلف عن الآخرين.



شكل (3-4) قصر خط - خط

(iii) القصر خطين - أرض Double line to ground fault

كما هو موضح بالشكل (4-4) إتصال بين خطين مع الأرض وهو أيضاً فيه جهد الخطين المتصلين بالأرض يصبح صفراً ويكون تيار القصر المار إلى الأرض هو مجموع تيار القصر في كل من الخطين .



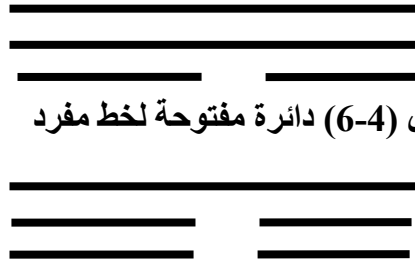
شكل (4-4) قصر خطين ارض

2-4-4 الدائرة المفتوحة Open circuit phases

ويمكن تضمينها في نوعين أساسيين كما في شكلين (4-5) و (4-6) كالآتي :

1/ دائرة مفتوحة لخط مفرد

2/ دائرة مفتوحة لخطين



شكل (6-4) دائرة مفتوحة لخط مفرد



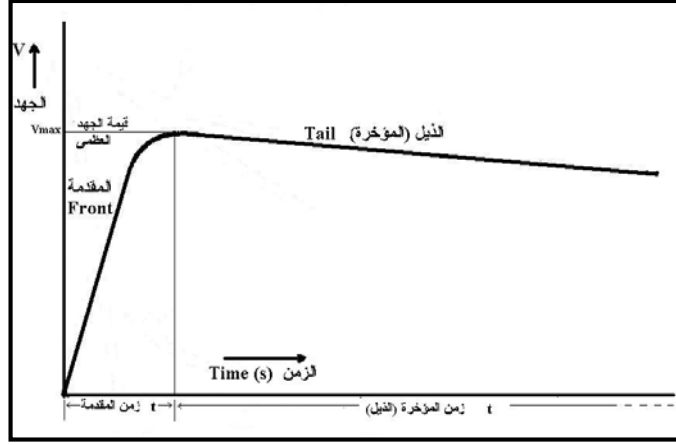
شكل (5-4) دائرة مفتوحة لخطين

3-4-4 الأعطال الآتية

ويكون فيها حدوث عطلين أو أكثر في حالة الدائرة المفتوحة والدائرة المقصورة في أن واحد وفي أمكنة مختلفة من نظام القدرة .

5-4 الحالات العابرة : Transient State

هو مصطلح يطلق على التغيير المفاجئ في الجهد والتيار خلال فترة قصيرة من الزمن ، وشكل (4-7) يوضح الحالة العابرة .



شكل (7-4) الحالة العابرة لموجة الجهد

تنقسم الجهود العابرة Transient State إلى قسمين :

1/ الجهود النبضية العابرة Impulsive

2/ الجهود التكرارية العابرة Oscillator

1-5-4 الجهود النبضية العابرة Impulsive voltages

وهي التغيير المفاجئ والسريع في الجهد والتيار ، حيث تستمر لفترة قصيرة جداً وهذا النوع له زمن ارتفاع وإنخفاض سريع ، وله محتوى طاقة عالي بالجهود التكرارية ، وتعتبر الصواعق Lighting voltage أكثر المسببات حدوثاً لهذا النوع من الجهود.

2-5-4 الجهود التكرارية العابرة Oscillator voltages

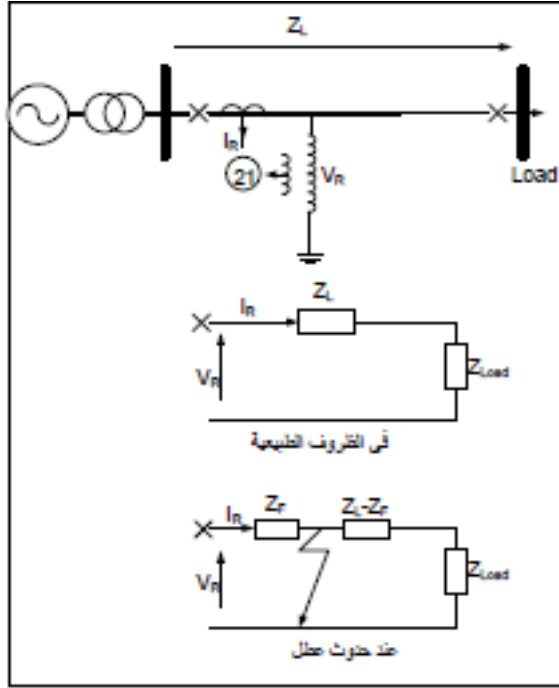
وهذا النوع له زمن ارتفاع سريع ويقل بصورة اسية وله محتوى طاقة أقل مقارنة بالجهود النبضية. ويحدث هذا النوع من الجهود بسبب فتح وإغلاق الأحمال الكبيرة ، ومن مشاكل حدوث الحالة التكرارية العابرة إنهيار الأجهزة عند المستهلك وتشغيل أجهزة الحماية دون الحاجة لتشغيلها.

6-4 حماية خطوط النقل

1-6-4 الحماية المسافية

تعتبر أجهزة الـ (Distance Relays) هي الأهم ضمن منظومة أجهزة الوقاية المستخدمة في خطوط النقل خاصة في الجهود العالية ، حيث تتميز بالقدرة على تحديد مكان العطل وليس فقط إكتشاف العطل. إن الفكرة الأساسية لهذه النوعية من الأجهزة تتبع ناتج قسمة الجهد الذي يقيسه الـ (Relay) ويرمز له بالرمز (VR) على التيار المار بالـ (Relay) ويرمز له بالرمز (IR) بصورة مستمرة كما في الشكل (8-4) ففي الظروف الطبيعية يمثل خارج هذه القسمة قيمة عالية ويساوي $(Z \text{ load} + Z \text{ line})$.

أما عند حدوث عطل فينشأ (short circuit) على معاوقة الحمل، ولا يتبقى في المعاوقة السابقة سوى الجزء الممثل للخط من مكان (Relay) إلى نقطة العطل ويرمز له بالرمز (Z_f) حيث أن هذه المعاوقة تتناسب طردياً مع مسافة العطل وبالتالي يمكن معرفة مسافة العطل بمعلومية معاوقته ، وهذه المعلومات تمكن جهاز الوقاية من معرفة منطقة العطل ومن ثم زمن الفصل المناسب ، حيث أن لكل منطقة زمن فصل معين حسب بعدها من جهاز الوقاية كما أن هذا النوع يعمل كوقاية أساسية واحتياطية في نفس الوقت.



شكل (8-4) الحماية المسافية

⊠ ملاحظة :

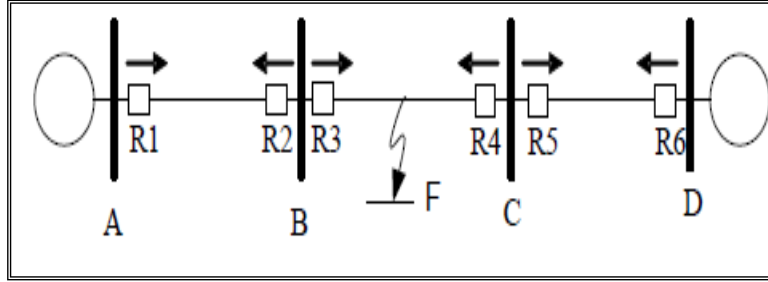
إن القيم التي يحسبها Relay لا تمثل في الواقع المعاوقة الحقيقية للخط وإنما تمثل قيمة تتناسب معها حسب قيم (CT) و (VT) المستخدمين .

2-6-4 الحماية باستخدام مرحلات التيار الزائد Over current Realy

من أهم تطبيقات مدخلات التيار الزائد استعمالها في حماية خطوط النقل حيث يستخدم فيها مبدأ التدرج بالزمن أي فصل العطل من قبل القاطع الآلي الأقرب ثم تتابع الفصل في حالة المدخلات الاحتياطية والفترة الزمنية اللازمة للفصل بين المحطات للتأكد من الانتقائية .

فعند حدوث عطل عند النقطة f كما في الشكل (4-9) فإن جميع أجهزة الـ (Over current) في المحطات A , B , C , D سوف تكشف العطل ومن ثم سوف تفصل جميعاً وهذا الشيء غير مرغوب فيه لأن

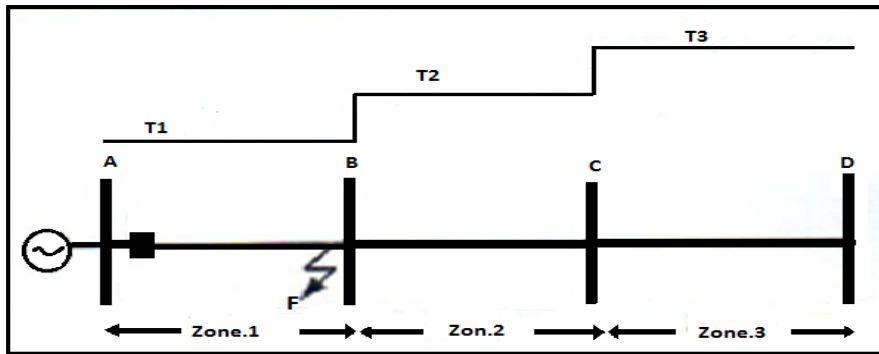
المفروض أن يفصل R_4, R_3 الموجودان في المحطة B, C فقط ، فإذا فشلا فيجب أن يعمل R_6, R_1 عند D, A وهكذا وبالتالي فإن قدرة هذا النوع من الأجهزة للحماية محدودة جداً وليس لها كفاءة، كما لها مشكلة أخرى عند استخدامها في وقاية خطوط النقل الطويلة وهي مشكلة تغير قيمة تيار العطل حسب قوة مصدر التوليد ، وهذا يعني أن بعض الأعطال يكون تيارها ضعيفاً ولا يستطيع (relay) أن يكتشفها



شكل (9-4) حماية المحطات المتتابعة

3-6-4 الحماية باستخدام مرحلات الممانعة:

تعمل على حماية خطوط النقل المتوسطة الطول وتتأثر بمقاومة العطل أكثر من المرحلات السابقة وتتطلب هذه المرحلات أثناء التشغيل وحدات اتجاهية، ومن المبادئ الأساسية لاستعمال هذه المدخلات في حماية خطوط النقل أن تتألف من ثلاثة وحدات و تنقسم الحماية إلى ثلاثة مناطق كما في الشكل (10-4).



شكل (10-4) التقسيم النظري وزمن التأخير لمناطق الحماية الثلاثة

المنطقة الأولى Zone1

تضبط Zone1 لتفصل أي عطل على بعد يساوي (80%-90%) من طول الخط المطبق عليه المرحل أما زمن الفصل فهو سريع وآني .

المنطقة الثانية Zone2

تضبط zone2 لتفصل أي عطل في نهاية المنطقة الأولى وحتى آخر الخط كحماية أساسية يضاف عليه 25% من ممانعة الخط المجاور ، ويعتمد زمن الفصل لهذه المنطقة على المرحلات الأخرى في الخط المجاور ويتراوح بين (0.2-0.5) ثانية .

المنطقة الثالثة Zone3

تؤمن وحدة المنطقة الثالثة المنطقة الاحتياطية (Back up) من أجل الأعطال للخطوط المجاورة في نهاية خط النقل لذلك تضبط zone3 لتفصل الأعطال حتى نهاية أطول خط نقل مجاور متصل من الخط الأساسي خاصة عند الشروط التي تسبب Under reach منها مقاومة القوس ومنابع التيار الأخرى أثناء الأعطال ويكون التأخير الزمني لهذه المنطقة (0.4-1) ثانية وتعتمد كذلك أيضاً على طبيعة خطوط النقل وأطوالها.

الفصل الخامس التصميم و النتائج

الفصل الخامس

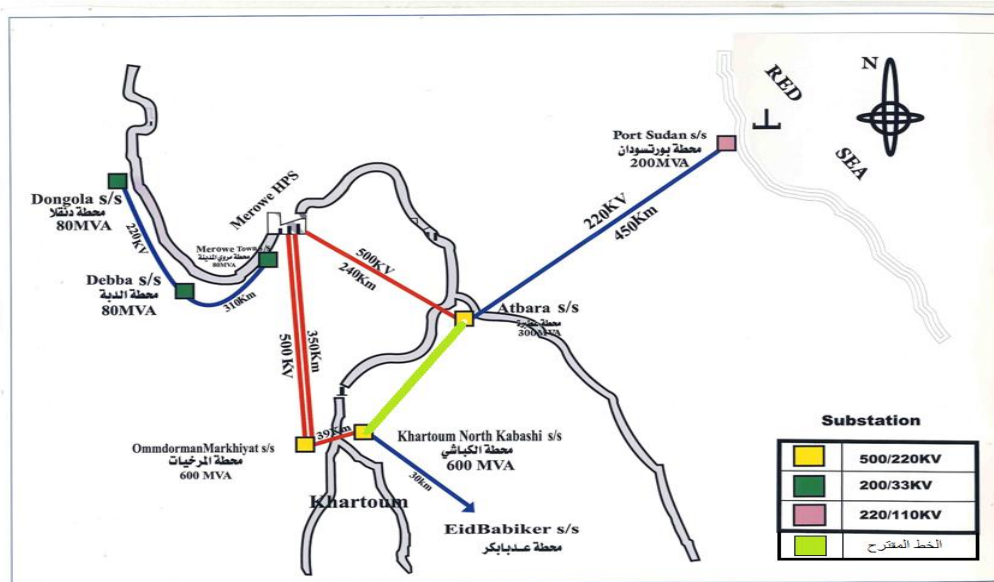
تصميم خط نقل (عطبرة – الكباشي)

(500 KV)

1-5 المقدمة :

تتمثل خطوط النقل في مستوى الجهد (500)KV في خطى (المرخيات – مروى) وبطول 346 كلم لكل خط وعدد 1693 برج للخطين، وذلك لربط مركز الاحمال الرئيسي بالخرطوم بموقع التوليد بالسد، كما يتم ربط محطة المرخيات الفرعية بمحطة الكباشي الفرعية بخط نقل (500)KV وبطول 32 كلم وبعدها ابراج 96 برج، كما يتم ربط محطة عطبرة الفرعية بمحطة التوليد بالسد عبر خط نقل (500)KV وبطول 240 كلم وبعدها 584 برج

تم التفكير في تصميم خط نقل(عطبرة-الكباشي) لتحقيق إستقرارية الشبكة عامة وشبكة خطوط (500)KV على وجه الخصوص حيث تم إكمال التغذية في شكل حلقة(Ring) كما بالشكل(1-5) وبذلك يكون تصميم هذا الخط بمثابة إحتياطي في حالة خروج أي من هذه الخطوط وبذلك تتحقق أعلى كفاءة للشبكة.



شكل(1-5) خطوط نقل (500KV) والمحطات الفرعية

1-1-5 فوائد الربط الكهربائي بين (عطبرة – الكباشي)

للربط الكهربائي بين(عطبرة-الكباشي) مجموعة من الفوائد وتنقسم إلى:

5-1-1-1 الفوائد التقنية

ويقصد بها عمل نظام القدرة و كفاءته ومن أبرزها:

- زيادة إتاحة واعتمادية النظام وانخفاض احتمالية أو توقع فقد التغذية .
- المساعدة المتبادلة في حالات الطوارئ عند حدوث عطل وذلك لان الخط يمثل احتياطي لكل من خطي (مروي-عطبرة) و(المرخيات-الكباشي).
- زيادة الإستقرارية الديناميكية لكون المنظومة المتكاملة أقدر من المنظومة المنفردة على إستعادة إستقراريتها بعد الاضطرابات أو الحوادث الجسيمة، وتحسين تنظيم التردد (الذبذبة) والتوتر (الجهد).
- إتاحة الفرص أمام إمكانية إجراء برامج الصيانة الوقائية بشكل أفضل.

5-1-1-2 الفوائد الإقتصادية

يعتبر العامل الاقتصادي من أهم العوامل عند تطبيق أي مشروع وللربط الدولي مجموعة من الفوائد الاقتصادية ومنها:

- إمكانية مواجهة النمو السريع في زيادة الاحمال.
- إمكانية توريد الطاقة الكهربائية الرخيصة من منطقة تواجدها إلى منطقة أخرى تكون فيها أكثر كلفة.

5-2 تصميم خط نقل (عطبرة-الكباشي) :

عند تصميم أي خط نقل لابد من معرفة عدة أشياء ضرورية وهي :

أولاً: أقصى قدرة منقولة.

ثانية: مسافة النقل.

ثالثاً: حالة وسط النقل البيئية والجغرافية والمناخية.

5-2-1 القدرة المنقولة

تحدد قيمة القدرة المنقولة على حسب القدرة المسحوبة (الأحمال) والقدرة المولدة ويجب تحديد قيمة عليا للقدرة يصمم من خلالها خط النقل ومحطات التحويل. وفي الخط المقترح تم إفتراض قدرة متبادلة بين الشبكتين ومقدارها 834MW .

$$Pt=834MW$$

5-2-2-2 مسافة النقل

تحدد من خلال مسار النقل ويخضع ذلك إلى عدة شروط وضوابط عملية فمثلا يجب أن يكون مسار النقل في منطقة يسهل العمل فيها، فالمناطق المسطحة يمكن العمل فيها بسهولة بعكس المناطق الجبلية والوعرة ينتج عن هذا أنه قد لا يمكن أن يكون مسار خط النقل مستقيماً، بل قد يحتوي على تعرجات وإنحناءات تزيد من مسافة النقل. وبإجراء القياسات الدقيقة قد وجدنا أن المسافة بين عطبرة والكباشي تساوي 292 كم .

5-2-2-3 حالة وسط النقل البيئية والجغرافية والمناخية

يعتبر موقع مسار النقل وبيئته ومناخه مهم جدا فالنقل في الصحراء غير النقل في المناطق الاستوائية وغير النقل البحري. من خلال البيئة والموقع والمناخ تُحدد مسار النقل ومادة الموصلات ونوع النقل (خطوط هوائية أم كوابل) وكثير من الاعتبارات الأخرى .

فالعوامل البيئية والمناخية (الرياح والأمطار والثلوج والحرارة... الخ) تؤثر على إختيار معدات نقل القدرة الكهربائية (العوازل وأنواع الأبراج والكيبلات... الخ).

ويؤثر المكان الجغرافي على إختيار نمط نقل القدرة الكهربائية، فيختلف نقل القدرة في الأرض المنبسطة عن نقل القدرة في الأرض الجبلية وعن نقل القدرة في البحار والممرات المائية.

5-2-2-4 فولتية النقل

بعد معرفة القدرة المنقولة ومسافة النقل نحدد جهد النقل تبعا لذلك وكما هو معلوم يستخدم الجهد العالي في النقل ويتراوح بين 110KV-220KV-500KV ويستمر التطور في علم هندسة الجهد العالي للوصول إلى جهود أعلى بتأثيرات أقل وتكاليف أقل قابلة لإستخدامها في النقل الكهربائي وذلك لأنه كلما زاد الجهد كلما قل التيار وبذلك تقل الفقدوات في الخط.

وفي الخط المقترح نجد أن الجهد المتردد الداخل لمحطة عطبرة هو 500kv وجهد النقل الداخل لمحطة الكباشي 500kv أما الجهد الخارج من محطة الكباشي هو 220kv .

5-2-2-5 وسيط النقل

تعتبر الخطوط الهوائية أكثر طرق النقل إستخداماً وذلك لقلّة تكلفتها مقارنة بالنوع الثاني الكوابل الأرضية نجد أن الخطوط الهوائية ذات الكفاءة والسلامة والأمان والإعتمادية العالية وهي المستخدمة في خط النقل المقترح .

5-2-2-5-1 المادة الموصلة

تكون المادة الموصلة المستخدمة لنقل القدرة الكهربائية في الخط المقترح من الألمونيوم المقوي بالسلكون (ACSR) لجودته العالية.

2-5-2-5 الليف الضوئي

يعتبر الليف الضوئي إضافة إلى خطوط النقل ويعمل في مجال الإتصالات لربط المحطات مع بعضها ويعمل على إرسال وإستقبال إشارات التحكم والمراقبة في الشبكة.

3-5 حسابات خط النقل المقترح :

1-5 حساب المقاومة (Resistance):

$$R_{TDC} = R_{20DC}(1 + \alpha(T - 20))$$

$$R_{50} = 0.1024(1 + 0.00403(50 - 20))$$

$$R_{50} = 0.115 \text{ } \Omega / \text{km} \quad R_{50}=0.115$$

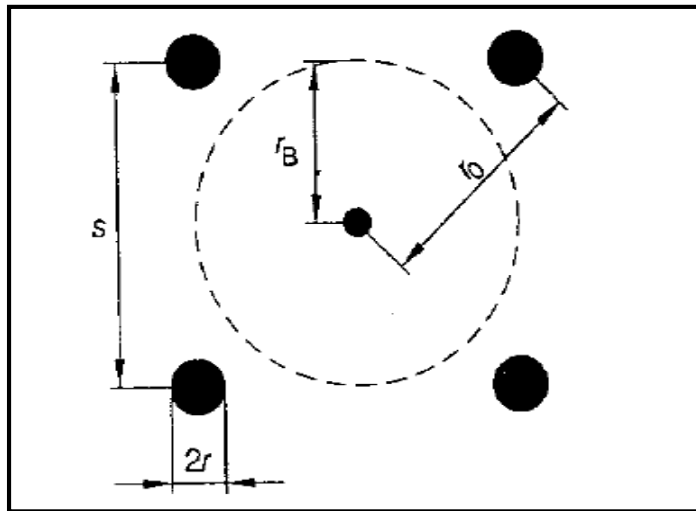
تم حساب قيمة المقاومة لدرجتي حرارة مختلفتين باعتبار أقصى درجة حرارة في الوسط يمكن أن تصل 50°C .

إن المقاومة التي تم حسابها مأخوذة لحزمة الموصل. أما قيمة المقاومة للموصل الفرعي المحذوم المكون من أربعة موصلات فرعية هي :

$$R_{50}=0.115 \quad R_{50} = \frac{0.115}{4} = 0.0287 \text{ } \Omega / \text{km}$$

2-3-5 حساب المحاثاة (inductance):

الشكل (2-5) يوضح الموصل الحزمي (ACSR) نوع (Dove)



شكل (2-5) الموصل الحزمي (ACSR) نوع (Dove)

$$L = \frac{\mu_0 L}{2\pi} \ln\left(\frac{Dm}{rB} + \frac{1}{4n}\right)$$

$$D_m = \sqrt[3]{13 * 13 * 26} = 16.37m$$

$$rB = \sqrt[n]{n * r * r_0^{n-1}}$$

$$r_0 = \frac{s}{2 \sin(\frac{\pi}{n})} = \frac{0.45}{2 \sin(\frac{\pi}{n})} = 0.1318$$

$r = GMR \text{ stranded}$

$$r = 9.54mm$$

$$rB = \sqrt{4 * 9.54 * 10^{-3} (0.318)^{4-1}} = 0.187m$$

$$L = \frac{4\pi * 10^{-7}}{2\pi} \ln\left[\frac{16.37}{0.187} + \frac{1}{4 * 4}\right]$$

$$L = 8.94 * 10^{-7} H = 8.94 * 10^{-7} H/km$$

تم حساب محاثة الخط بناءً على قيم متغيره ثم حسابها وقيم ثابتة تم أخذها من مواصفات الموصل ACSR نوع Dove من جدول المقاييس العالمية الألمانية المستعمل في الشركة السودانية لنقل الكهرباء المحدودة ملحق (2).

بعد إيجاد محاثة الخطة نجد أن الممانعة الحثية للخط التي تحسب في العلاقة التالية:

$$X_L = \omega L = 2\pi FL$$

$$= 2\pi(50)(8.94 * 10^{-7})$$

$$= 0.28 \text{ mohm/km}$$

3-3-5 حساب السعة (capacitance) :

$$C = \frac{2\pi * \epsilon}{\ln\left[0.187 \sqrt{1 + \left(\frac{16.37}{2 * 14.75}\right)^2}\right]}$$

$$C = \frac{2\pi * 8.85 * 10^{-12} * 10^3}{\ln\left[\frac{16.38}{0.187 \sqrt{1 + \left(\frac{16.37}{2 * 14.75}\right)^2}}\right]}$$

$$C = \frac{2\pi * 8.85 * 10^{-12} * 10^3}{\ln \left[\frac{16.37}{0.187 \sqrt{1 + \left(\frac{16.37}{2 * 14.75} \right)^2}} \right]}$$

$$C = 1.28 * 10^{-12} \mu F / km$$

$$= 0.0128 \mu F / km$$

تم إيجاد السعة للخط بدلالة قيم متغيرة تم حسابها وقيم ثابتة من جدول المقاييس العالمية الألمانية المستعمل في الشركة السودانية لنقل الكهرباء المحدودة. ارتفاع خط النقل (H) تم أخذه من الشركة ووجد انه يقدر بحوالي 14.75km.

⊠ ملحوظة:

موصلية التوازي تكون في الغالب نتيجة التسرب عبر العوازل وهي صغيرة جداً لذلك تم إهمالها.

Surge Impedance Loading

لاختيار عدد الدوائر للخط يجب تحديد قدرة الخط باستخدام Surge Impedance Loading والتي تمثل أقصى قيمة يتحملها الخط.

$$SIL = \frac{V_L^2}{Z_0}$$

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}} = \sqrt{\frac{8.94 * 10^{-4}}{1.28 * 10^{-8}}}$$

$$Z_0 = 264.3 \Omega$$

$$SIL = \frac{V_L^2}{Z_0} = \frac{(500)^2}{264.3} = 945.8 MW$$

إن أقصى قدرة يتحملها الخط SIL لخط (عطبرة- الكباشي) المقترح أحادي الدائرة وجدت تساوي 945.8MW

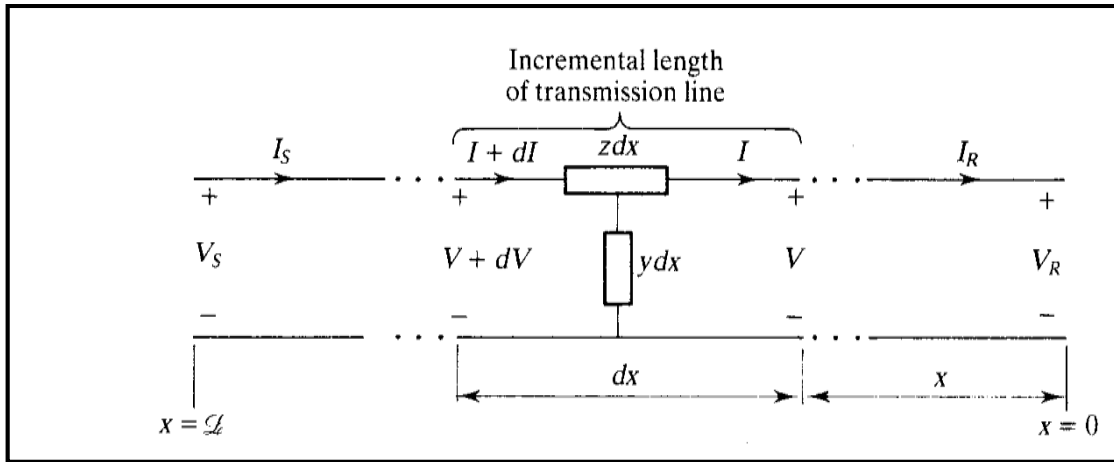
4-3-5 اختيار مستوى الجهد

تم تصميم هذا الخط بناءً على أن القدرة المنقولة فيه 945.8MW معامل قدرة 0.9

$$V = 5.5 \left[\frac{292}{1.6} + \frac{945.8}{100} * 1000 \right]^{0.5} = 540 KV$$

إن أقرب جهدية بالنسبة للجهدية السابقة مقارنة مع جهدية خطوط النقل في السودان هي 500 kv وهي الجهدية التي تم تصميم الخط عليها.

5-3-5 الدائرة المكافئة لخط النقل الطويل



شكل(3-5) خط النقل الطويل المقترح (292km)

$$z = R + jX_L = 0.028 + j0.276 \Omega/\text{km}/\text{phase}$$

$$X_m = 2\pi fc$$

$$y = G + jX_m = 0 + j4.11 = 4.11\mu\text{s}/\text{km}/\text{phase}$$

معاوقة التوالي الكلية :

$$z = (0.028 + j0.276) * (292) = 8.176 + j80.592$$

$$= 8.176 + j80.592 \Omega/\text{phase}$$

$$= 81\angle 84.2 \Omega/\text{phase}$$

معاوقة التوازي الكلية :

$$Y = j4.11 * 10^{-6} * 292 = j1.2 * 10^{-3} \text{s}/\text{phase}$$

$$Y = 1.2 * 10^{-3} \angle 90 \text{s}/\text{phase}$$

$$\therefore YZ = (1.2 * 10^{-3} \angle 90) * (81\angle 84.2)$$

$$= -0.0967 + j9.82 * 10^{-3}$$

$$= 0.0972 \angle 174.2$$

$$\therefore \sqrt{YZ} = 0.312 \angle 87.1 = 0.0157 + j0.312$$

$$\sqrt{YZ} = \alpha + j\beta = 0.0157 + j0.312$$

$$\text{or } \alpha = 0.0157 \text{radians}$$

$$\beta = 0.312 \text{radians}$$

$$\therefore \sqrt{z/y} = 264.57 \angle -2.86$$

$$Z_c = \sqrt{\frac{z}{y}} = 264.57 \angle -2.86$$

$$\cosh \sqrt{yz} = \cosh(0.0157) \cos(0.312) + J \sinh(0.0157) \sin(0.312)$$

$$= 1.0001 + J 8.5496 * 10^{-5}$$

$$= 1.0001 \angle 0.0049$$

$$\sinh \sqrt{YZ} = \sinh(0.0157) \cos(0.312) + J \cosh(0.0157) \sin(0.312)$$

$$= 0.0157 + J 0.00545$$

$$= 0.0166 \angle 19.14$$

قيم ثوابت الخط الإضافية هي :

$$A = D = \cosh \sqrt{YZ}$$

$$= 1.0001 \angle 0.0049$$

$$B = Z_c \sinh \sqrt{YZ}$$

$$= (264.57 \angle -2.86)(0.0166 \angle 19.14)$$

$$= 4.392 \angle 16.28$$

$$C = \frac{1}{Z_c} \sinh \sqrt{YZ}$$

$$= \frac{0.0166 \angle 19.14}{264.57 \angle -2.86}$$

$$= 6.274 * 10^{-5} \angle 22$$

$$AD - BC = 1$$

لتحديد جهد طرف الإرسال V_s و تيار طرف الإرسال I_s يجب إيجاد قيمة جهد طرف الاستقبال V_R و تيار طرف الاستقبال I_R .

$$V_R = 500 \text{ KV}$$

$$I_R = \frac{P_R}{\sqrt{3} V_{LL} \cos \phi_R} = \frac{945.8 * 10^6}{\sqrt{3} * 500 * 10^3 * 0.9}$$

$$A = 1213.46$$

$$A = 1213.46 \angle -25.84$$

جهد طرف الإرسال :

$$\begin{aligned}V_s &= AV_R + BI_R \\&= (1.0001 \angle 0.0049)(500 * 10^3 \angle 0) + (4.392 \angle 16.28) * (1213 \angle - 25.84) \\V_s &= 505 \angle - 0.0955 \text{ KV}\end{aligned}$$

التيار طرف الإرسال :

$$\begin{aligned}I_s &= CV_R + DI_R \\I_s &= (6.274 * 10^{-5} \angle 22)(500 * 10^3) + (1.0001 \angle 0.0049)(1213.46 \angle - \\& 25.841) \\I_s &= 1234.84 \angle - 24.76 \text{ A} \\ \cos \phi_s &= \cos(-.0955 + 24.76) = 0.91\end{aligned}$$

كفاءة النقل :

$$\begin{aligned}eff &= \frac{P_r}{P_r + P_{loss}} * 100 \\P_{loss} &= 3I_R^2 R = 3(1213.46)^2 * 0.0287 * 292 \\&= 37 \text{ MW} \\eff &= \frac{945.8 * 10^6}{945.8 * 10^6 + 37 * 10^6} * 100 \\&= 96.23\%\end{aligned}$$

تنظيم الجهد: voltage regulation:

$$\begin{aligned}&= \frac{V_s - V_r}{V_r} * 100 \\&= \frac{505 - 500}{500} * 100 = 1\end{aligned}$$

6-3-5 حساب الجهد الحرج للتفريغ الهالي (الكرونا) :-

$$\begin{aligned}V_g &= V_P / \left(\frac{d}{2}\right) \log\left(\frac{2 * Dm}{d}\right) \\V_g &= 500 / \left(\frac{45}{2}\right) * \log\left(\frac{2 * 163.7}{45}\right) = 25.784 \text{ KV/cm}\end{aligned}$$

7-3-5 حسابات الترخيم :

القوة المؤثرة على الموصل عند تعرضه لضغط الرياح :

$$\begin{aligned}w_w &= d * P \\&= 23.55 * 10^{-3} * 75 \\&= 1.766 \text{ N/m}^2 \\w_e &= \sqrt{w_c^2 + w_w^2} \\&= \sqrt{(1.766)^2 + (11.172)^2} \\&= 11.31 \text{ N/m}^2\end{aligned}$$

الترخيم عند تعرض الموصل للرياح :

$$\begin{aligned}D_e &= \frac{w_e L^2}{8T} \\T &= \frac{T}{SF} = \frac{101 * 1000}{3} = 33666.7 \text{ N/m} \\&= \frac{(11.31) * (400)^2}{(8 * 33666.7)} \\&= 6.7 \text{ m}\end{aligned}$$

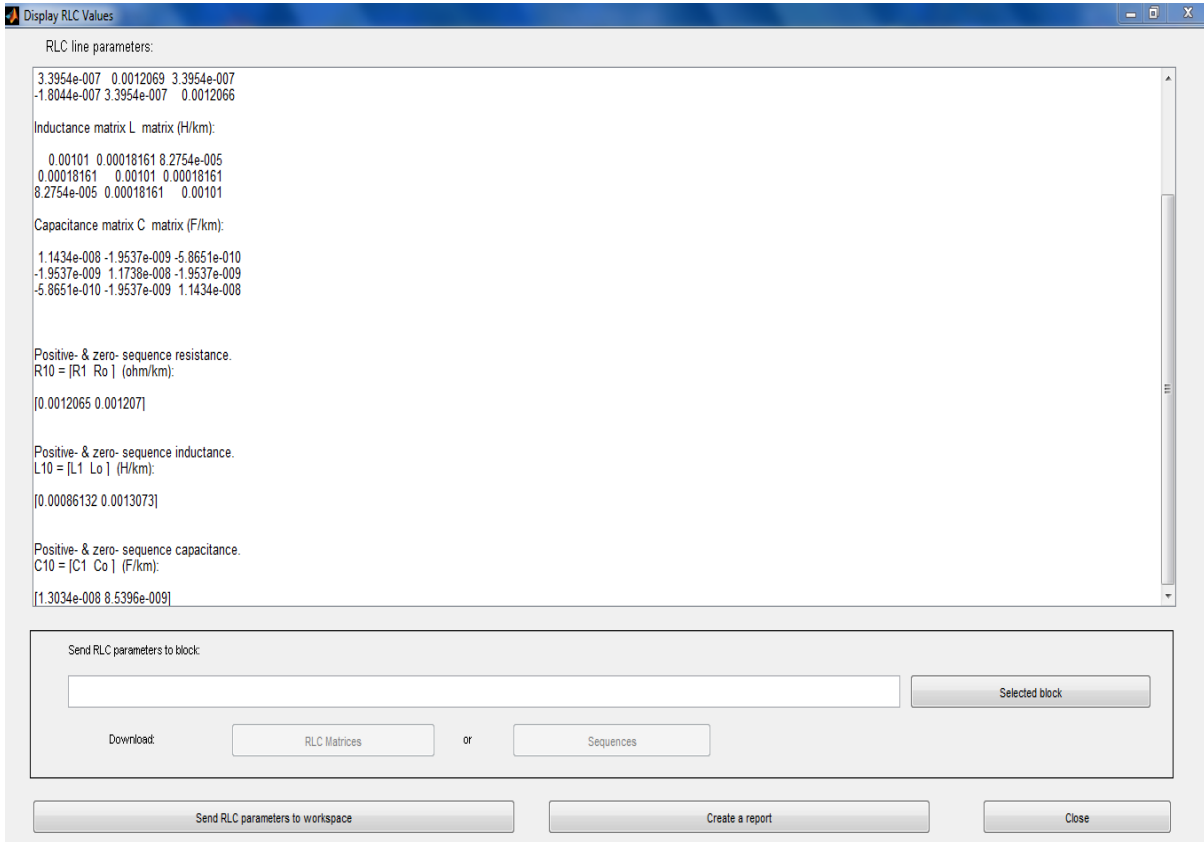
4-5 برنامج المحاكاة الماتلاب Matlab:

1-4-5 مقدمة:

هو برنامج هندسي متقدم يحوي لغة برمجة جاهزة ومكونة من ملفات فرعية تستخدم فيها المصفوفات و المحددات و الدوال الجبرية ، يقوم بإجراء العمليات الحسابية ومحاكاة الأنظمة المختلفة لذا يستخدم كوسيلة تحليل في عدة مجالات مثل العلوم و الرياضيات المتقدمة فهو يقوم بإجراء العمليات الحسابية المعقدة بسرعة فائقة وتحليل البيانات واستكشافها، و في الصناعة كأداة بحث وتصميم ذات مردود عالي ، وتستخدم في محاكاة وتصميم الأنظمة المختلفة في جميع فروع العلوم .

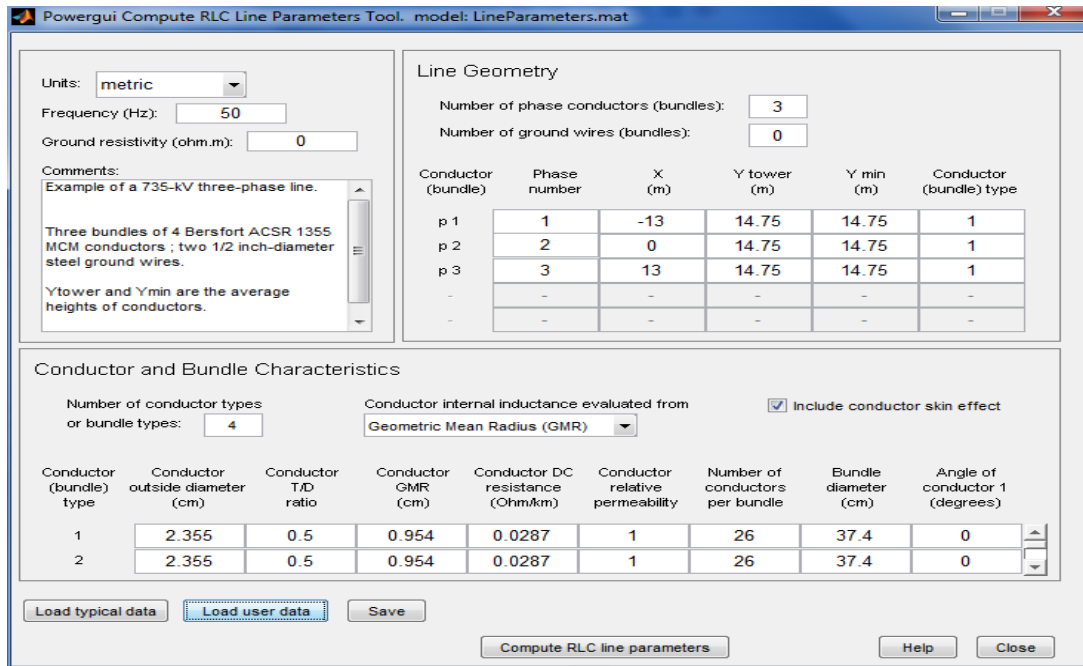
ولقد استخدم برنامج الماتلاب في هذا المشروع لحساب ثوابت الخط الأساسية والأضافية وكذلك التأثيرات الميكانيكية.

في برنامج matlab لا يتم أخذ معاملات الخط مباشرة بل يتم حساب السلسلة الصفرية والسلسلة الموجبة zero sequence & positive sequence ويتم حسابها عن طريق البرنامج نفسة بإدخال بيانات الموصلات كما في الشكل (4-5) التالي.



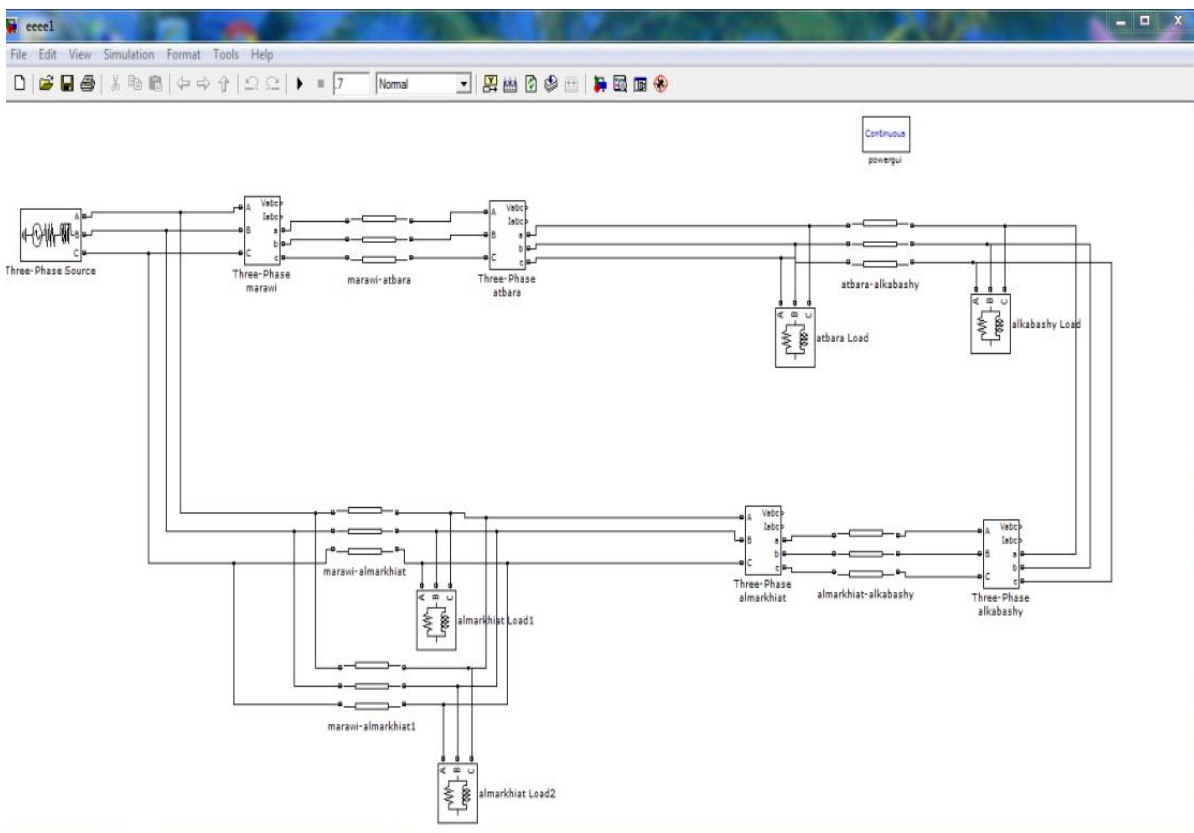
الشكل (4-5) يمثل القيم التي يتم إدخالها لحساب zero sequence & positive sequence

ثم يقوم البرنامج بحساب zero sequence & positive sequence كما في الشكل التالي.



الشكل (5-5) يبين zero sequence & positive sequence

5-5 المخطط الرئيسي لخطوط 500KV في السودان:



شكل (6-5) مخطط منظومة النقل (500 KV) في برنامج Matlab

تم أخذ القيم الحقيقية من الهيئة القومية للكهرباء وهي القدرة الفعالة active power ومعامل القدرة power factor وتم حساب القدرة المفاعلة reactive power منهما بواسطة القوانين التاليه:

$$P = VI \cos \theta$$

$$Q = VI \sin \theta$$

$$PF = \cos \theta$$

$$\therefore Q = \frac{P \sin \theta}{\cos \theta}$$

وكذلك للمقارنة قمنا بافتراض أربعة قيم إضافية للقدرة الفعالة قيمتين أعلى من القيمة الحقيقية وإثنين أقل منها في حالة ثبات معامل القدرة ، وحساب القدرة المتفاعلة للقيم الافتراضية بواسطة القوانين أعلاه وتم وضع جداول تبين العلاقة بين الجهد والقدرة الفعالة لكل محطة.

1-5-5 محطة عطبرة Atbara substation:

معامل القدرة في محطة عطبرة (0.94) والقدرة الفعالة (154MW) أما القدرة المتفاعلة فيتم

تحديد كالاتي:

$$pf = \cos \theta$$

$$\theta = 19.948$$

$$Q_L = \frac{p * \sin \theta}{\cos \theta}$$

When P=154

$$Q_L = \frac{154 * 0.34}{0.94}$$

$$Q_L = 55.7 MVAR$$

ملحوظة:

يتم حساب positive var فقط لأن البرنامج يقوم بحساب negative var

2-5-5 محطة الكباشي Alkabashi substation:

معامل القدرة في محطة الكباشي (0.96) والقدرة الفعالة (168MW) أما القدرة المتفاعلة فيتم

تحديد كالاتي:

$$pf = \cos \theta$$

$$\theta = 16.26$$

$$Q_L = \frac{p * \sin \theta}{\cos \theta}$$

When P=168

$$Q_L = \frac{168 * 0.28}{0.96}$$

$$Q_L = 49MVAR$$

3-5-5 خط المرخيات الأول :Almarkhiate first transmission line

معامل القدرة في محطة المرخيات الخط الأول (0.92) والقدرة الفعالة (260MW) أما القدرة المتفاعلة فيتم تحديدها كالآتي:

$$pf = \cos \theta$$

$$\theta = 23.07$$

$$Q_L = \frac{p * \sin \theta}{\cos \theta}$$

When P=260

$$Q_L = \frac{260 * 0.39}{0.92}$$

$$Q_L = 110.217MVAR$$

4-5-5 خط المرخيات الثاني :Almarkhiate second transmission line

معامل القدرة في محطة المرخيات الخط الثاني (0.92) والقدرة الفعالة (267MW) أما القدرة المتفاعلة فيتم تحديدها كالآتي:

$$pf = \cos \theta$$

$$\theta = 23.07$$

$$Q_L = \frac{p * \sin \theta}{\cos \theta}$$

When P=267

$$Q_L = \frac{267 * 0.39}{0.92}$$

$$Q_L = 113.185MVAR$$

6-5 النتائج:

- في هذا المشروع البحثي تم تصميم خط هوائي على طول (292km) بجهد قدرة (500kv) هذا يشير على إمكانية تحديث المشاريع وفقاً للمعطيات المتوفرة وهي نتيجة إيجابية .
- استخدام المعادلات المعقدة في حسابات معاملات خطوط النقل باستخدام برنامج محاكاة ماتلاب ووصلنا في الحسابات إلى قيم المعايير العالمية بدقة عالية .
- تم الحصول علي مرجعية يستفاد منها في توسعة مشروع النقل.

الفصل السادس

الخلاصة

والتوصيات

الفصل السادس

الخلاصة والتوصيات

1-6 الخلاصة:

نظراً لأهمية خطوط النقل الكهربائية والتي تمثل دور أساسي في منظومة القدرة ، ولتحقيق الأمتلية والأمن في تشغيل شبكة خطوط النقل السودانية(500 KV) و ذلك عن طريق تصميم خط نقل بمعاملات ذات كفاءه عالية يمكن الإستناد عليها لتصميم خطوط أخرى في الشبكة ذات جهد(500 KV) و لتحقيق أعلى جودة ممكنة ولضمان الأداء المرغوب في تشغيل خطوط النقل الكهربائية (500KV) بالشبكة السودانية ، تم تصميم نموذج مقترح لخط نقل (عطبرة – الكباشي) (500 KV) ، وتتمثل أهميته في إكمال حلقة تغذية خطوط نقل (500 KV) وبذلك يتم ضمان التغذية البديلة للخطوط الأخرى بشبكة نقل الكهرباء (500 KV) ولإنجاز هذا العمل تمت الإستعانة بالمعايير العالمية الألمانية المستخدمة بواسطة شركات الهيئة القومية للكهرباء السودانية. و النتائج الحسابية لكل المعاملات كانت دقيقة جداً. ومن خلال العمل في هذا البحث كان من الأهمية ان يعمم للجهود الأخرى ، ولكن كما يعرف أن للبحث حدود لذلك تم حصر البحث فقط على جهدية(500 KV).

2-6 التوصيات :

- إن تصميم خطوط النقل الكهربائية لتحقيق التشغيل الأمثل و الأمن موضوع موسع جداً لا يمكن حصره داخل هذا المشروع لذلك نوصي بالآتي :
- 1/ التوسع في حماية الخط المقترح .
 - 2/ إضافة (Reactors) وذلك لتقليل فقودات خط النقل الكهربائي المقترح .
 - 3/ عمل تغذية احتياطية لكل خط من خطوط النقل لتأمين هذه الخطوط و تحقيق الإستقرارية بالشبكة.

المراجع

المراجع :

- 1- *Robert Stephen: Over head Power lines Planning, Design, Construction, 2002 ISBN 3-540-00297-9 Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York .*
- 2- *P. Kundur: Power System Stability and Control , 1994 ,New York ,McGraw-Hill.*
- 3- *DRC.R. Bayliss : Transmission and Distribution Electrical Engineering ,1999 , Elsever 's Science and Technology Right Depratment Oxford*
- 4- م.وحيد مصطفى ، النظرية والتطبيق في نقل وتوزيع الطاقة الكهربائية ، الطبعة الأولى 2008 ،الدار المصرية للطباعة والنشر ،القاهرة.
- 5- الشركة السودانية لنقل الكهرباء المحدودة

الملاحق

Code	Cross-Section Area			Diameter			Approx. Current-Carrying Capacity (Amperes)	Resistance (mΩ/km)					60 Hz Resistances (Dm = 1 m)	
	Total (mm ²)	Aluminum		Conductor (mm)	Core (mm)	Layers		DC 25°C	AC (60 Hz)			GMR (mm)	X _i (Ω/km)	X ₀ (MΩ/km)
		(Kcmil)	(mm ²)						25°C	25°C	50°C			
-	1521	2776	1407	84/19	50.80	13.87	4	21.0	24.5	26.2	28.1	20.33	0.294	0.175
Joree	1344	2515	1274	76/19	47.75	10.80	4	22.7	26.0	28.0	30.0	18.93	0.299	0.178
Thrasher	1235	2312	1171	76/19	45.77	10.34	4	24.7	27.7	30.0	32.2	18.14	0.302	0.180
Kiwi	1146	2167	1098	72/7	44.07	8.81	4	26.4	29.4	31.9	34.2	17.37	0.306	0.182
Bluebird	1181	2156	1092	84/19	44.75	12.19	4	26.5	29.0	31.4	33.8	17.92	0.303	0.181
Chukar	976	1781	902	84/19	40.69	11.10	4	32.1	34.1	37.2	40.1	16.28	0.311	0.186
Falcon	908	1590	806	54/19	39.24	13.08	3	35.9	37.4	40.8	44.3	15.91	0.312	0.187
Lapwing	862	1590	806	45/7	38.20	9.95	3	36.7	38.7	42.1	45.6	15.15	0.316	0.189
Parrot	862	1510	765	54/19	38.23	12.75	3	37.8	39.2	42.8	46.5	15.48	0.314	0.189
Nuthatch	818	1510	765	45/7	37.21	9.30	3	38.7	40.5	44.2	47.9	14.78	0.318	0.190
Plover	817	1431	725	54/19	37.21	12.42	3	39.9	41.2	45.1	48.9	15.06	0.316	0.190
Bobolink	775	1431	725	45/7	36.25	9.07	3	35.1	42.6	46.4	50.3	14.39	0.320	0.191
Martin	772	1351	685	54/19	36.17	12.07	3	42.3	43.5	47.5	51.6	14.63	0.319	0.191
Dipper	732	1351	685	45/7	35.20	8.81	3	43.2	44.9	49.0	53.1	13.99	0.322	0.193
Pheasant	726	1272	645	54/19	35.10	11.71	3	44.9	46.1	50.4	54.8	14.20	0.321	0.193
Bittern	689	1272	644	45/7	34.16	8.53	3	45.9	47.5	51.9	56.3	13.56	0.324	0.194
Grackle	681	1192	604	54/19	34.00	11.33	3	47.9	49.0	53.6	58.3	13.75	0.323	0.194
Bunting	646	1193	604	45/7	33.07	8.28	3	48.9	50.4	55.1	59.9	13.14	0.327	0.196
Finch	636	1114	564	54/19	32.84	10.95	3	51.3	52.3	57.3	62.3	13.29	0.326	0.196
Bluejay	603	1113	564	45/7	31.95	8.00	3	52.4	53.8	58.9	64.0	12.68	0.329	0.197
Curve	591	1033	523	54/7	31.62	10.54	3	56.5	57.4	63.0	68.4	12.80	0.329	0.198

ملحق رقم (1)

Code	Cross-Section Area		Diameter		Approx. Current-Carrying Capacity (Amperes)	Resistance (mΩ/km)				60 Hz Reactances (Dm = 1 m)					
	Total (mm ²)	Aluminum (km ²)	Stranding Al/Steel (mm)	Conductor (mm)		Core (mm)	Layers	AC (60 Hz)				GMR (mm)	X _l (Ω/km)	X ₀ (MΩ/km)	
								DC 25°C	25°C	50°C	75°C				
Still	410	716	363	24/7	26.31	8.76	2	840	81.5	82.2	90.2	98.1	10.58	0.343	0.206
Grebe	388	716	363	45/7	25.63	6.4	3	840	81.5	82.5	90.4	98.4	10.18	0.346	0.208
Gannet	393	666	338	26/7	25.76	9.5	2	800	87.6	88.1	96.6	105.3	10.45	0.344	0.208
Gull	382	667	338	54/7	25.4	8.46	3	800	87.5	88.1	96.8	105.3	10.27	0.345	0.208
Flamingo	382	667	338	24/7	25.4	8.46	2	800	87.4	88.1	96.7	105.3	10.21	0.346	0.208
Scoter	397	636	322	30/7	25.88	11.1	2	800	91.9	92.3	101.4	110.4	10.70	0.342	0.207
Egret	396	636	322	30/19	25.88	11.1	2	780	91.9	92.3	101.4	110.4	10.70	0.342	0.207
Grosbeak	375	636	322	26/7	25.15	9.27	2	780	91.7	92.2	101.2	110.3	10.21	0.346	0.209
Goose	364	636	322	54/7	24.82	8.28	3	770	91.8	92.4	101.4	110.4	10.06	0.347	0.208
Rook	363	636	322	24/7	24.82	8.28	2	770	91.7	92.3	101.3	110.3	10.06	0.347	0.209
Kingbird	340	636	322	18/1	23.88	4.78	2	780	91.2	92.2	101.1	110.0	9.27	0.353	0.211
Swirl	331	636	322	36/1	23.62	3.38	3	780	91.3	92.4	101.3	110.3	9.20	0.353	0.212
Wood Duck	378	605	307	30/7	25.25	10.82	2	760	96.7	97.0	106.5	116.1	10.42	0.344	0.208
Teal	376	605	307	30/19	25.25	10.82	2	770	96.7	97.0	106.5	116.1	10.42	0.344	0.208
Squab	356	605	356	26/7	25.54	9.04	2	760	96.5	97.0	106.5	116.0	9.97	0.347	0.208
Petcock	346	605	307	24/7	24.21	8.08	2	760	96.4	97.0	106.4	115.9	9.72	0.349	0.210
Duck	347	606	307	54/7	24.21	8.08	3	750	96.3	97.0	106.3	115.8	9.81	0.349	0.210
Eagle	348	557	282	30/7	24.21	10.39	2	730	105.1	105.4	115.8	126.1	10.00	0.347	0.210
Dove	328	556	282	26/7	23.55	8.66	2	730	104.9	105.3	115.6	125.9	9.54	0.351	0.212
Parakeet	319	557	282	24/7	23.22	7.75	2	730	104.8	105.3	115.6	125.9	9.33	0.352	0.212

ملحق رقم (2)

Oriolan	560	1 033	525	45/7	30/78	7.70	3	1 060	56.5	57.8	63.3	68.7	12.22	0.332	0.199
Merganser	596	954	483	30/7	31/70	13.60	2	1 010	61.3	61.8	67.9	73.9	13.11	0.327	0.198
Cardinal	546	954	483	54/7	30/38	10.13	3	1 010	61.2	62.0	68.0	74.0	12.31	0.332	0.200
Rail	517	954	483	45/7	29/59	7.39	3	1 010	61.2	62.4	68.3	74.3	11.73	0.335	0.201
Baldpate	562	900	456	30/7	30/78	13.21	2	960	65.0	65.5	71.8	78.2	12.71	0.329	0.199
Canary	515	900	456	54/7	29/51	9.83	3	970	64.8	65.5	72.0	78.3	11.95	0.334	0.201
Roddy	478	900	456	45/7	28/73	7.19	3	970	64.8	66.0	72.3	78.6	11.40	0.337	0.202
Crane	501	875	443	54/7	29/11	9.70	3	950	66.7	67.5	74.0	80.5	11.80	0.335	0.202
Willet	474	874	443	45/7	28/32	7.09	3	950	66.7	67.9	74.3	80.9	11.25	0.338	0.203
Skimmer	479	795	403	30/7	29/00	12.40	2	940	73.5	74.0	81.2	88.4	11.95	0.334	0.202
Mallard	495	795	403	30/19	28/96	12.42	2	910	73.5	74.0	81.2	88.4	11.95	0.334	0.202
Drake	469	795	403	26/7	28/14	10.36	2	900	73.3	74.0	81.2	88.4	11.43	0.337	0.203
Condor	455	795	403	54/7	27/74	9.25	3	900	73.4	74.1	81.4	88.6	11.22	0.339	0.204
Cuckoo	455	795	403	24/7	27/74	9.25	2	900	73.4	74.1	81.4	88.5	11.16	0.339	0.204
Tem	431	795	403	45/7	27/00	6.76	3	900	73.4	74.4	81.6	88.8	10.73	0.342	0.205
Coot	414	795	403	36/1	26/42	3.78	3	910	73.0	74.4	81.5	88.6	10.27	0.345	0.206
Buteo	447	715	362	30/7	27/46	11.76	2	840	81.8	82.2	90.2	98.3	11.34	0.338	0.204
Redwing	445	715	362	30/19	27/46	11.76	2	840	81.8	82.2	90.2	98.3	11.34	0.338	0.204
Starling	422	716	363	26/7	26/7	9.82	2	840	81.5	82.1	90.1	98.1	10.82	0.341	0.206
Crow	409	715	362	54/7	26/31	8.76	3	840	81.5	82.2	90.2	98.2	10.67	0.342	0.206

ملحق رقم (3)

Osprey	298	556	282	18/1	22.33	4.47	2	740	104.4	105.2	115.4	125.7	8.66	0.358	0.214
Hen	298	477	242	30/7	22.43	9.6	2	670	122.6	122.9	134.9	147.0	9.27	0.353	0.214
Hawk	281	477	242	26/7	21.79	8.03	2	670	122.4	122.7	134.8	146.9	8.84	0.357	0.215
Hickory	273	477	273	24/7	21.49	7.16	2	670	122.2	122.7	134.7	146.8	8.63	0.358	0.216
Pelican	255	477	242	18/1	20.68	4.14	2	680	121.7	122.4	134.4	146.4	8.02	0.364	0.218
Lark	248	397	201	30/7	20.47	8.76	2	600	147.2	147.4	161.9	176.4	8.44	0.360	0.218
Ibis	234	397	201	26/7	19.89	7.32	2	590	146.9	147.2	161.7	176.1	8.08	0.363	0.220
Brant	228	398	201	24/7	19.61	6.53	2	590	146.7	147.1	161.6	176.1	7.89	0.365	0.221
Chickadee	213	397	201	18/1	18.87	3.78	2	590	146.1	146.7	161.0	175.4	7.32	0.371	0.222
Oriole	210	336	170	30/7	18.82	8.08	2	530	173.8	174.0	191.2	208.3	7.77	0.366	0.222
Linnet	198	336	170	26/7	18.29	6.73	2	530	173.6	173.8	190.9	208.1	7.41	0.370	0.224
Widgeon	193	336	170	24/7	18.03	6.02	2	530	173.4	173.7	190.8	207.9	7.25	0.371	0.225
Martin	180	336	170	18/1	16.46	3.48	2	530	173.0	173.1	190.1	207.1	6.74	0.377	0.220
Piper	187	300	152	30/7	17.78	7.62	2	500	195.0	195.1	214.4	233.6	7.35	0.370	0.225
Ostrich	177	300	152	26/7	17.27	6.38	2	490	194.5	194.8	214.0	233.1	7.01	0.374	0.227
Gadwall	172	300	152	24/7	17.04	5.69	2	490	194.5	194.8	213.9	233.1	6.86	0.376	0.227
Phoebe	160	300	152	18/1	16.41	3.28	2	490	193.5	194.0	213.1	232.1	6.37	0.381	0.229
Junco	167	267	135	30/7	16.76	7.19	2	570	219.2	219.4	241.1	262.6	6.92	0.375	0.228
Partridge	157	267	135	26/7	16.31	5.99	2	460	218.6	218.9	240.5	262.0	6.61	0.378	0.229
Warwing	143	267	135	18/1	15.47	3.1	2	460	217.8	218.1	239.7	261.1	6.00	0.386	0.232

ملحق رقم (4)