بسم الله الرحمن الرحيم

جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا

كلية الهندسة

مدرسة الهندسة الكهربائية والنووية

شبكات النقل الكهربائية

(دراسة حالة: خطّي نقل)

{مشكور –المناقل}

{مارنجان –المناقل}

Electrical Transmission Networks

Case Study of Two Transmission Lines

{Mashkour – Elmanagil }

{Marngan – Elmanagil}

مشروع تخرج مقدم كمتطلب جزئي لنيل درجة البكلاريوس التكنولوجي الشرف في الهندسة الكهربائية

اعداد الطلاب:

1- أكرم جاه الرسول محمد علي الهادي

2-عبدالعظيم محمد سر الختم علي

3-عمار محمد احمد محمد صالح

4- علي عثمان علي محمد

5- يوسف عبدالله دفع الله أبو ادريس

اشراف الأستاذ:

عبد السلام عبد العزيز

نوفمبر 2020

بسم الله الرحمن الرحيم

الآية

قال تعالى:

{قَالُوا سُبْحَانَكَ لَا عِلْمَ لَنَا إِلَّا مَا عَلَّمْتَنَا إِنَّكَ أَنْتَ الْعَلِيمُ الْحَكِيمُ}

صدق الله العظيم

سورة البقرة، الآية (32)

إهـــــــــداء

إلى من أمرنا الله بطاعتهما وأن نقول لهما قولا كريماً وبالإحسان إليهما، والديّنا اللذان ربيانا صغارا إليهما نهدي هذا البحث.

وإلى اخوتنا واخواتنا، وإلى كل من علمنا شيئاً من ينابيع المعرفة، وإلى جميع طلبة العلم.

نهدي هذا الجهد المتواضع ونسأل الله أن يتقبله خالصا لوجهه وأن ينفع به

انه ولي ذلك، والقادر عليه

شكر وتقدير

في البدء نشكر الله سبحانه وتعالى الذي وفقنا لجمع وترتيب وإتمام هذا الجهد المتواضع، مع رجائنا أن يتقبله منا، وأن يوفقنا للمزيد من العلم، وما التوفيق الا من عنده، قال تعالى: (وقل ربي زدني علما)

وانطلاقا من قول النبي (صلى الله عليه وسلم) من

لا يشكر الناس لا يشكر الله.

نتقدم بخالص شكرنا وتقديرنا إلى من نصح ووجه، وتفضل علينا بقبول الإشراف على هذا البحث (الأستاذ عبد السلام عبد العزيز) متعه الله بالصحة والعافية وأبقاه ذخراً لطلاب العلم.

والشكر موصول إلى صرح العلم والمعرفة (جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا)

وإلى كل من ساعدنا في هذا البحث من كتابة طباعة وإخراج

مستخلص

دراسة لمحطة المناقل التحويلية التي تُغذي بخط ذو دائرة مفردة بجهد 110 KV من محطة مارنجان التحويلية وتتكون محطة المناقل التحويلية من محولين سعة كل منهما 35 KV اجمالي القدرة المسحوبة للمحطة 67.3 MVA مما يعني ان المحطة تكون عاجزة عن تلبية احتياجات التوسع الصناعي والسكني .

وفي هذه الدراسة تم ربط محطة المناقل بخط 220 KV من محطة مشكور التحويلية لتحقيق الربط الدائري قمنا بإضافة محولين سعة 150 MVA في جهة 220 KV وزيادة سعة محولي التوزيع للمحطة من 35 MVA الي 50 MVA بالإضافة الي تصميم نظام حماية لمكونات المحطة ونظام حماية لخطي النقل .

Abstract

A study of Elmanagil substation fed by 110 kv single Circuit line form Elmanagil substation consists of two transformers, each Marngan substation. with a capacity of 35MVA. The total power drawn for the stations 67.3MVA which means that the station in unable to meet the needs of industrial and In this study, the Elmanagil substation was connected residential expansion. to 220KV transmission line from Mashkour substation to achieve acicular Two Trans former with capacity of 150 MVA were added on cannectction. the 220kv side, and the capacity of the station two distribution transformers increased form 35 MVA to 50 MVA A Protection system was designed for the station components and A Protection system for the transmission lines.

فهرس المحتويات

الرقم	المحتوى	رقم الصفحة
	البسملة	
	الآية	
	الاهداء	I
	الشكر والتقدير	II
	المستخلص	III
	Abstract	IV
	الفهرس	V

الرقم	الباب الأول (مفاهيم عامة)	رقم الصفحة
1.1	المقدمة	1
2.1	مشكلة البحث	2
3.1	الأهداف	2
4.1	المنهجية	2
5.1	هيكلية البحث	3

الرقم	الباب الثاني (خطوط النقل الكهربائية)	رقم الصفحة
1.2	المقدمة	4
2.2	الخصائص الواجب توفرها في خطوط النقل	4
3.2	أنواع خطوط النقل	5
1.3.2	خطوط النقل القصيرة	5
2.3.2	خطوط النقل المتوسطة	8
4.2	تصنيفات جهود خطوط النقل	16
5.2	الابراج	16
1.5.2	أنواع الابراج	17
6.2	المواد المستعملة في صناعة الموصلات	18
7.2	الموصلات المستخدمة في خطوط النقل الهوائية	18
8.2	عوازل خطوط النقل	20
1.8.2	المتطلبات الرئيسية للعوازل	20
9.2	مواد العوازل الكهربائية	21
1.9.2	البورسلين	21
2.9.2	العوازل الزجاجية	21
3.9.2	الاسيتايت	22

10.2	أنواع العوازل المستخدمة في خطوط النقل	22
1.10.2	العوازل المسمارية	22
2.10.2	عوازل التعليق	22
3.10.2	عوازل الاجهاد	23
4.10.2	عوازل الدعم	23
5.10.2	عوازل البكرة	23
11.2	معاملات خطوط النقل	23

الرقم	الباب الثالث(حماية محطات وخطوط النقل الكهربائية)	رقم الصفحة
1.3	المقدمة	24
2.3	أعطال منظومة القدرة الكهربائية	24
3.3	وظيفة منظومة الوقاية	25
4.3	أنواع أجهزة الحماية	26
5.3	أنواع القواطع الكهربائية	28
1.5.3	قاطع باستخدام الهواء	28
2.5.3	قاطع مفرغ من الهواء	29
3.5.3	قاطع باستخدام زيت	29
4.5.3	قاطع باستخدام غاز سادس فلوريد الكبريت	29
6.3	العلاقة بين جهاز الوقاية والقواطع الكهربائية	29

7.3	مفاهيم أساسية في منظومة الوقاية	31
1.7.3	مناطق الحماية	31
2.7.3	الحماية الرئيسية والحماية الاحتياطية	31
3.7.3	الوقاية الاتجاهية	32
4.7.3	الحماية ضد زيادة الحمولة	33
5.7.3	الحماية ضد زيادة التيار	33
6.7.3	العوامل المؤثرة على قيمة تيار العطل	34
7.7.3	الحماية المسافية	35
8.3	الأنظمة المختلفة لفصل الأعطال	41
1.8.3	البدائل المتاحة في حماية خطوط النقل	42
9.3	حماية مكونات المحطات الفرعية	44
1.9.3	حماية محولات القدرة	44
2.9.3	قضبان التجميع والتوزيع	51
10.3	أسباب الأعطال	51
11.3	الحماية ضد الصواعق	54
1.11.3	ظاهرة الصاعقة الكهربائية	54
2.11.3	خصائص تيار الصواعق الرعدية	54
3.11.3	حماية خطوط النقل من الصواعق	55
4.11.3	مانعات الصواعق	55

الرقم	الباب الرابع (حسابات خطوط النقل)	رقم الصفحة
1.4	المقدمة	56
1.1.4	اختيار جهد الخط	57
2.1.4	اختيار الموصل المناسب	57
3.1.4	بيانات الموصل	57
4.1.4	حساب محاثة الخط	58
5.1.4	حساب مواسعة الخط	59
6.1.4	حسابات المعاوقة الخصائصية للخط	59
7.1.4	حساب سعة قدرة الخط	59
8.1.4	الفقودات في الخط	60
9.1.4	كفاءة خط النقل	60
10.1.4	الجهد عند الارسال	61
11.1.4	معامل تنظيم الجهد	61
2.4	حساب خط النقل (2) مارنجان – المناقل	61
1.2.4	اختيار جهد الخط	61
2.2.4	اختيار الموصل المناسب	61
3.2.4	حساب محاثة الخط (2)	63
4.2.4	كفاءة خط النقل (2) مارنجان – المناقل	63

5.2.4	الجهد عند الارسال	64
6.2.4	معامل تنظيم الجهد	64
3.4	حسابات الحماية	64
1.3.4	حماية المغذيات	64
2.3.4	حماية المحولات	67
3.3.4	حماية قضبان التوزيع	71

الرقم	الباب الخامس (الخلاصة والتوصيات)	رقم الصفحة
1.5	الخلاصة	76
2.5	التوصيات	77
3.5	المراجع والمصادر	82

الباب الأول
مفاهيم عامة

1.1 مقدمة:-

يتطلب نقل الطاقة الكهربائية من محطات التوليد الى مكان الاستهلاك رفع الجهد من جهد التوليد المنخفض نسبياً الى جهد متوسط او جهد عالي وذلك للحد من المفاقيد علي خط النقل.

يتم نقل القدرة عبر خطوط النقل الكهربائية لمسافات طويلة تصل الى الاف الكيلو مترات في بعض الشبكات مما يذيد معاوقة الخط وبالتالي من المفاقيد الحرارية الناتجة عن مرور التيار في الموصلات وللتقليل من هذه المفاقيد يتم انشاء محطة لرفع الجهد عند بداية خط النقل. حيث تقع محطات رفع الجهد عند بدايات خط النقل مباشرة بعد مرحلة التوليد وذلك لخفض التيار المنقول والحد من المفاقيد على الخط. يتم توليد القدرة في محطات التوليد تحت جهود مختلفة حسب نوع المولد { 6.6KV , 11KV , 13.8KV , 20.33KV } كحد اقصى . وذلك لاعتبارات فنية أهمها العزل داخل المولد وبالتالي يكون التيار الخارج من المولد عالي جداً لمئات الأمبير مما يستوجب تخفيضه دون المساس لكمية الطاقة الكهربية المنقولة، لذا يتم رفع الجهد من جهد التوليد الي جهود عالية { 66 , 110 , 132 , 220 , 380 , 400 , 750 KV } بواسطة محولات ثلاثية الطور ذات قدرة عالية توصل إلي المولدات تسمى بمحولات الرفع ، ومحطة أخرى لخفض الجهد حيث تقع هذه المحطة في الطرف الثاني للاستقبال حيث يتواجد المستهلك (مدن – مناطق صناعية) وليتعذر دخولها خطوط نقل هوائية ذات جهد عالي لذا يتم خفض الجهد الى مستويات متوسطة في محطات الخفض الرئيسية كمراحل أولية قبل الدخول إلي مناطق العمران تتكون هذه المحطات (الرافعة والخافضة) اساساً من محولات القدرة التي تعرف بمحولات النقل مع قضبان التوزيع والقواطع وأجهزه الوقاية والإنذار [5] .

يتم إنشاء محطات التحويل في العراء وتعرف بالمحطات المعزولة بالهواء. Air insulated outdoor substation ويعتمد فيها علي الهواء كعازل طبيعي ، كما طورت المحطات الحديثة وأصبحت محطات داخلية مغلقة يعتمد فيها على الغاز كعازل وتسمى المحطات المعزولة بالغاز Gas insulated substation

2.1 مشكلة البحث: -

- تكمن مشكلة البحث سعة محطة المناقل التحويلية حيث ان السعة الحالية للمحطة تبلغ 70 MVA وتحتوي علي محولين سعة كل منهما 35 MVA ويبلغ اجمالي القدرة المسحوبة من المحطة 67.3 MVA مقارنة بالسعة الكلية للمحطة مما يعني ان المحطة تكون عاجزة عن تلبية احتياجات التوسيع السكني والصناعي المتزايد في المنطقة .
- تغذي المحطة بخط ذوي دائرة مقدرة (Single Circuit) بجهد 110 Kv من محطة مارنجان التحويلية ويبلغ طول الخط 65.3 كيلومتر مما يسبب في عدم استقرار تغذية المحطة

3.1 الأهداف: -

- دراسة ربط محطة المناقل بمحطة مشكور لتحقيق الربط الدائري مما يساهم في استقراريه تغذية المحطة
- دراسة إضافة محولين سعة 2× 150 MVA لتحقيق الربط بين خط 220 KV مشكور وخط 110 KV مارنجان
- دراسة زيادة سعة محولات 35 MVA الى 2×50 MVA
- دراسة تصميم نظام حماية للمحطة وحماية لخط النقل

4.1 المنهجية: -

المنهج الواقع المتبع في هذا البحث هو وسائل التعليم المختلفة من مراجع علمية، زيارات ميدانية، أوراق علمية، استخدام برنامج ETAP

5.1 هيكلة البحث: -

يحتوي هذا البحث علي خمسة أبواب ، الباب الأول يتناول مفاهيم عامة عن البحث فيما يتحدث الباب الثاني عن خطوط النقل الكهربائية بينما يتحدث الباب الثالث عن حمايات محطات وخطوط النقل الكهربائية ويتحدث الباب الرابع عن حسابات خط نقل المناقل مشكور وخط نقل المناقل مارنجان ، واخيراً يتحدث الباب الخامس عن خلاصة المشروع والتوصيات التي يجب العمل عليها .

الباب الثاني

خطوط النقل الكهربائية

1.2 مقدمة

خط النقل هو المسؤول عن نقل القدرة الكهربائية لمسافات طويلة من محطات التوليد الى مراكز الاحمال. ويعتبر المكون الاساسي لنظام نقل القدرة الكهربائية هو خط النقل الكهربي والذي يكون في الغالب خط نقل هوائي الا إذا ادعت الحاجة الى استخدام الكابلات الارضية

تستخدم الخطوط الهوائية بصورة أكبر من الكابلات نسبة لأسباب عديدة منها:

- التكلفة الاقل بكثير من تكلفة الكابل الذي ينقل نفس كمية القدرة لنفس المسافة
- سهولة صيانة الخطوط الهوائية واكتشاف الاعطال وصيانتها

تتكون خطوط النقل في حالة التيار المتردد من دائرة مفردة ثلاثية الاوجه (Single Circuit three phase) او دائرة مزدوجة ثلاثية الاوجه (Double Circuit three phase)

تصنع خطوط النقل عادة من النحاس او الالومنيوم او الالومنيوم المقوى بالصلب كما تحمل هذه الموصلات على ابراج من الصلب او الخرسانة او الخشب على حسب الجهد المنقول عليها ايضا يتم استخدام عوازل كهربائية لعزل هذه الموصلات عن الابراج وتزداد القدرة المنقولة عبر الخط بزيادة الجهد الذي يعمل عنده الخط.

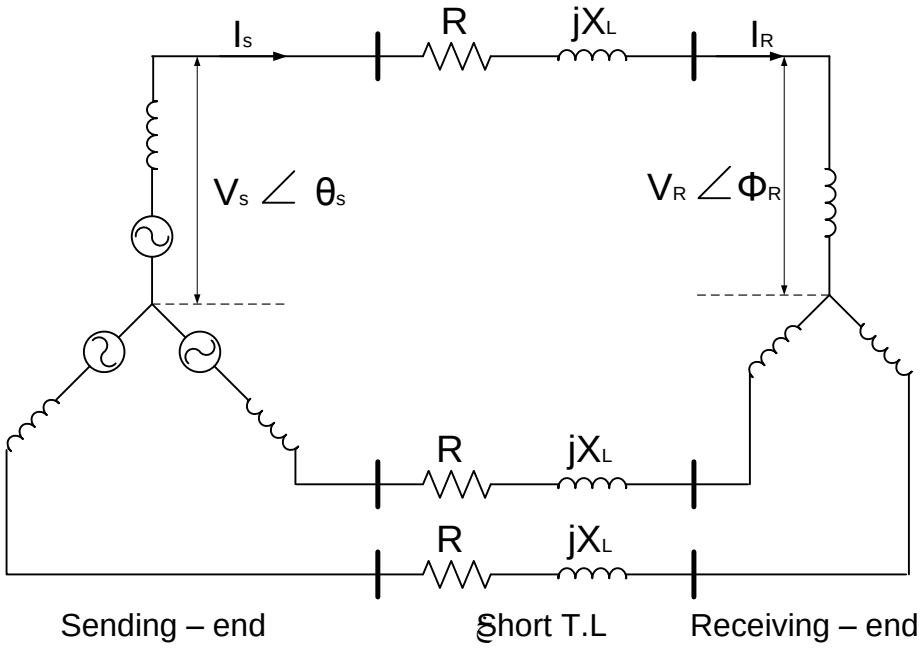
2.2 الخصائص الواجب توفرها في خط النقل: -

- ثبات الجهد على طول الخط
- الفقد في القدرة اقل ما يمكن حتى تكون كفاءة النقل عالية وتكلفة النقل اقل ما يمكن
- الا يتسبب الفقد في القدرة في تسخين الموصل لدرجة تسبب تغييرا في الخواص الكهربية والميكانيكية للموصل

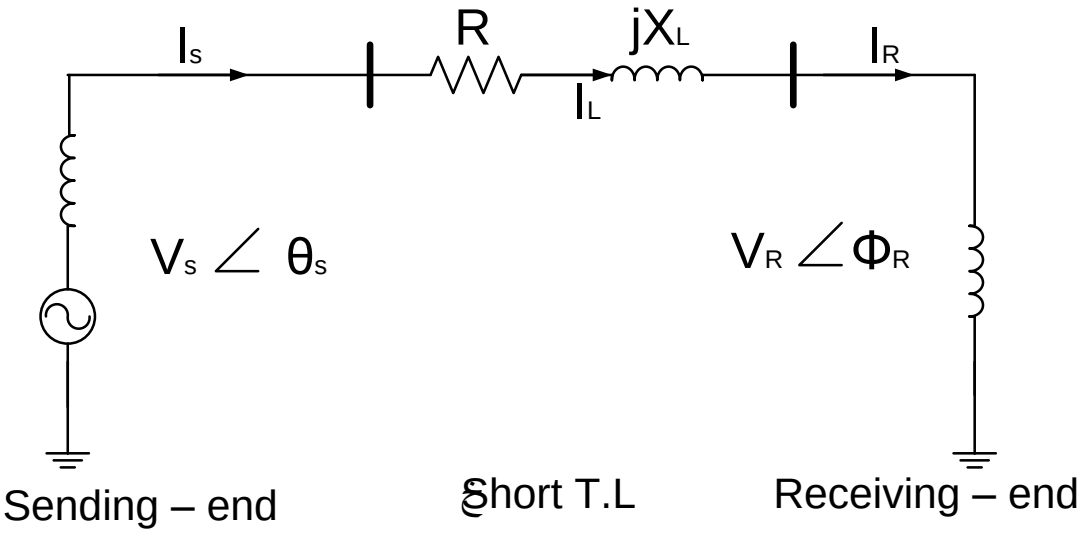
- يجب ان يتحمل الموصل الاجهاد الميكانيكي الواقع عليه نتيجة وزنه وكذلك نتيجة لتراكم الملوثات او تأثير ضغط الرياح عليه

3.2 أنواع خطوط النقل: -

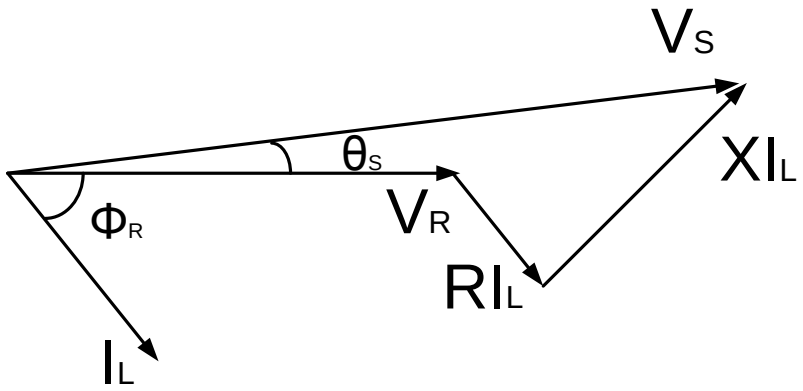
1.3.2 خطوط النقل القصيرة (Short T.L): ويبلغ طولها لغاية 80 كم



شكل 2-1 الدائرة المكافئة الثلاثية الطور لخطوط النقل القصير



شكل 2–2 الدائرة الأحادية الطور التي تمثل خطوط النقل القصيرة



شكل 2–3 المخطط الاتجاهي Pharos Diagram

الجهد عند الإرسال Sending – end Voltage

$$I_S = I_R = I_L \quad ؛ \quad V_S = V_R + ZI_R \qquad \text{.....(1.2)}$$

حيث :

$$Z = R + jX_L \quad ؛ \quad V_R = \frac{U_R}{\sqrt{3}} \quad ؛ \quad \phi_S = \phi_R + \theta_S \qquad \text{.....(2.2)}$$

ومعامل التنظيم لجهد الخط Voltage Regulation يعطى بالعلاقة التالية

$$\Delta V = \frac{V_S - V_R}{V_R} \times 100\ \% \qquad \text{.....(3.2)}$$

القدرة المفقودة على الخط

$$P_{loss} = P_S - P_R = 3RI_L^2 \qquad \text{.....(4.2)}$$

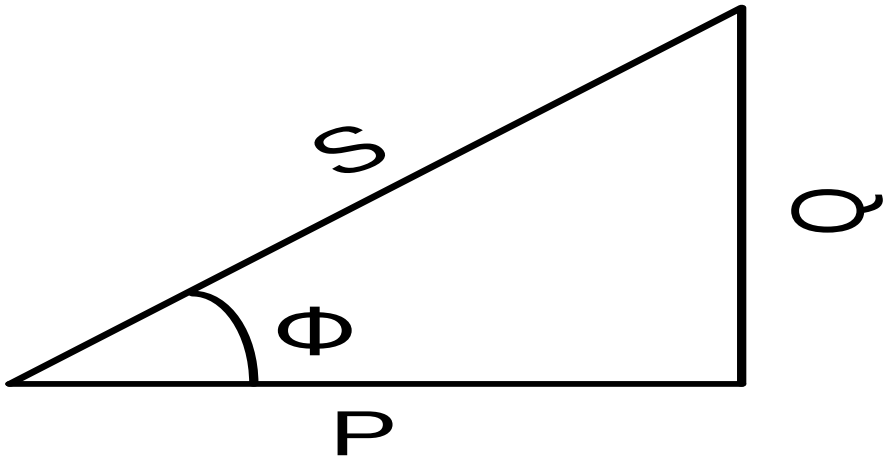
القدرة المفقودة المفاعلة (Reactive) على الخط Q_{Loss} وتقاس بـ (Var) كالتالي :-

$$Q_{loss} = Q_S - Q_R = 3X_L I_L^2 \qquad \text{.....(5.2)}$$

القدرة عند الإرسال والاستقبال

إذا كان الحمل متوازن بين الأطوار الثلاثة تكون القدرة الظاهرة عند الإرسال تعادل ثلاثة مرات قيمتها لكل طور

$$S_S = 3V_S I_L \quad ؛ \quad S_S = P_S + jQ_S \qquad \text{.....(6.2)}$$



الشكل 2-4 مثلث القدرة

$$P_S = 3V_S I_L \cos\phi_S \quad ؛ \quad Q_S = 3V_S I_L \sin\phi_S \qquad \text{.....(7.2)}$$

ونفس التحليل السابق يتم لجهة الاستقبال كالتالي:

$$P_R = 3V_R I_L \cos\phi_R \quad ؛ \quad Q_R = 3V_R I_L \sin\phi_R \qquad .....(8.2)$$

$$S_S = P_S + jQ_S \quad ؛ \quad S_R = P_R + jQ_R \quad ؛ \quad S_R = 3V_R I_L \qquad (9.2)$$

كفاءة خط النقل

$$\xi = \frac{P_R}{P_S} \times 100\,\% \qquad .....(10.2)$$

2.3.2 خطوط النقل المتوسطة (Medium T.L) ويبلغ طولها من 80 كم لغاية 240 كم[∇]

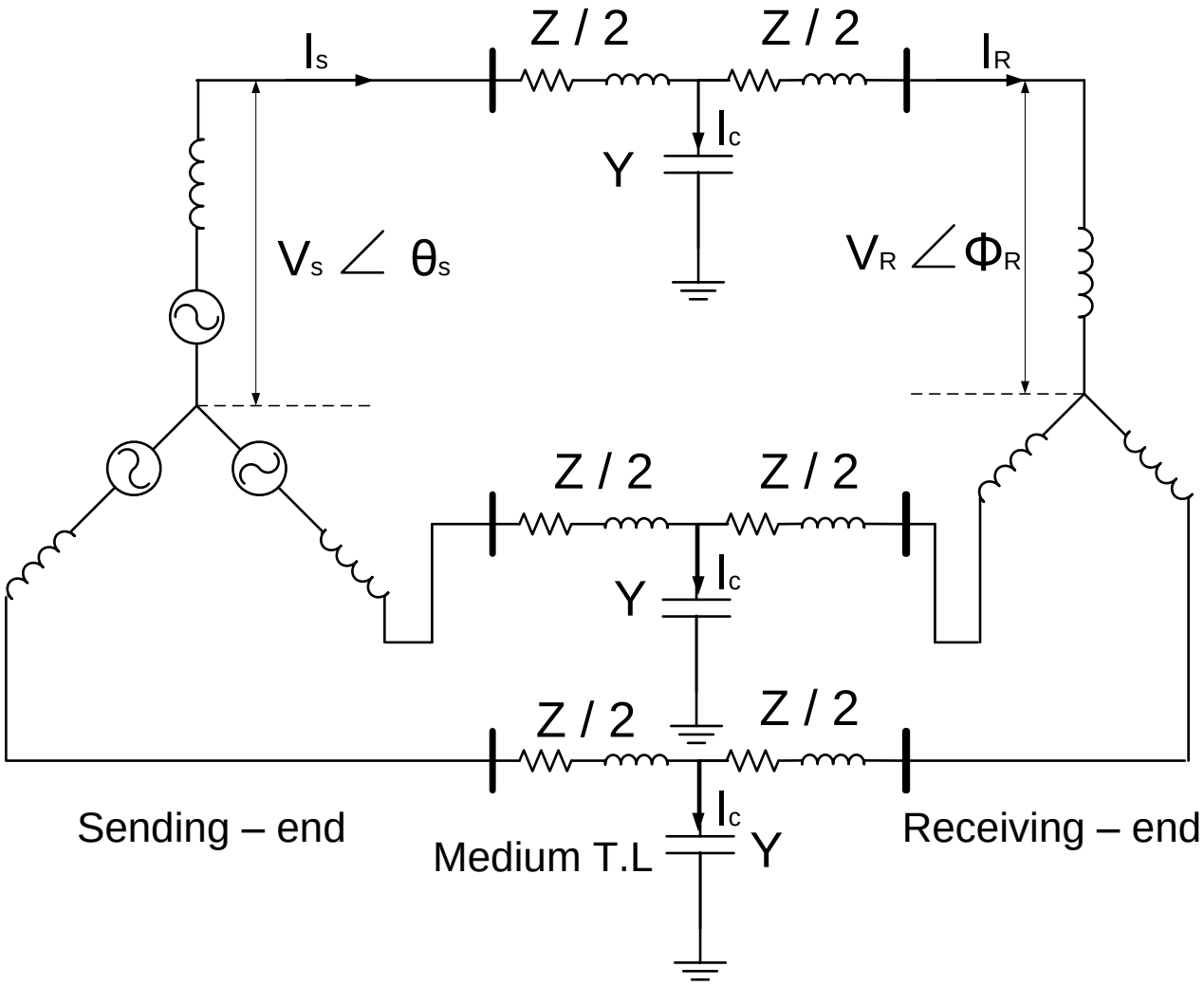
يتم تمثيل خطوط النقل المتوسطة بطريقتين :

(أ) طريقة T– Section

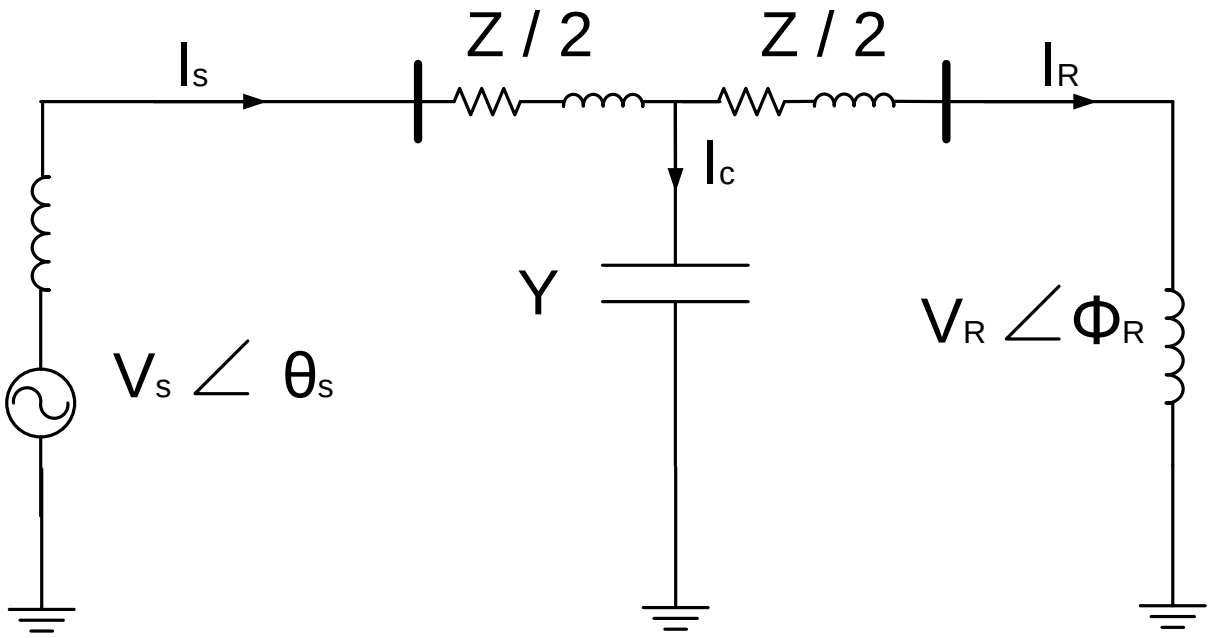
(ب) طريقة π– Section

وسوف يتم دراسة الطريقتين بالتفصيل .

(أ) طريقة T- Section

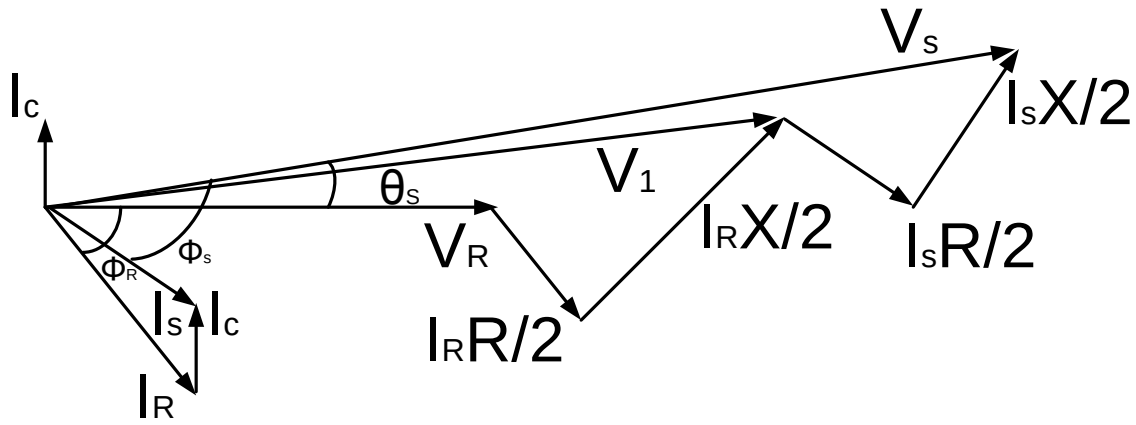


شكل 2-5 الدائرة المكافئة الثلاثية الطور لخطوط النقل المتوسطة بطريقة T-Section



الشكل 2-6 الدائرة الأحادية الطور التي تمثل خطوط النقل المتوسطة بطريقة T-Section

المخطط الاتجاهي Pharos Diagram



ال

شكل 2-7 المخطط الاتجاهي للدائرة المكافئة للخط

الجهد عند الإرسال

$$V_S = (1+\frac{ZY}{2})V_R + Z(1+\frac{ZY}{4})I_R \quad ؛ \quad I_S = \quad Y\,V_R \qquad +(1+\frac{ZY}{2})I_R \quad .(11.2)$$

معامل التنظيم لجهد الخط Voltage Regulation Of Line يعطى بالعلاقة التالية

$$\Delta V = \frac{V_S - V_R}{V_R} 100\ \% \qquad .....(12.2)$$

القدرة المفقودة على الخط

تحسب القدرة المفقودة الفعالة (Active) على الخط P_{Loss} وتقاس بـ (Watt) كالتالي :

$$P_{loss} = P_S - P_R = 3\frac{R}{2}(I_R^2 + I_s^2) \qquad .....(13.2)$$

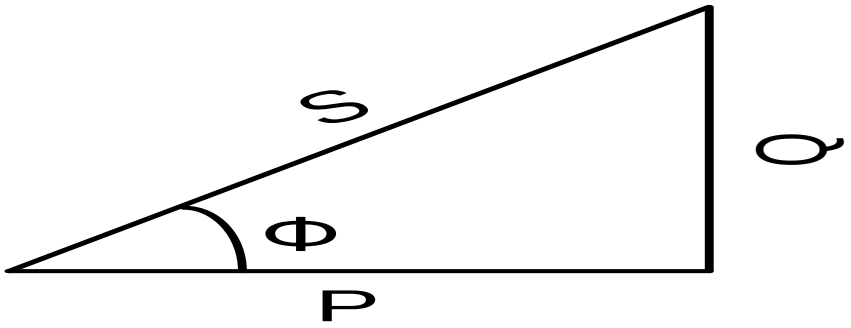
تحسب القدرة المفقودة المفاعلة(Reactive) على الخط Q_{Loss} وتقاس بـ (Var) كالتالي :

$$Q_{loss} = Q_S - Q_R = 3\frac{X_L}{2}(I_R^2 + I_s^2) \qquad .....(14.2)$$

القدرة عند الإرسال والاستقبال

إذا كان الحمل متوازن بين الأطوار الثلاثة تكون القدرة الظاهرة عند الإرسال تعادل ثلاثة مرات قيمتها لكل طور

$$S_S = 3V_S I_L \quad ؛ \quad S_S = P_S + jQ_S \qquad .....(15.2)$$



الشكل 2-8 مثلث القدرة

$$P_S = 3V_S I_S \cos\phi_S \quad ؛ \quad Q_S = 3V_S I_S \sin\phi_S \quad \text{.....(16.2)}$$

ونفس التحليل السابق يتم لجهة الاستقبال كالتالي:

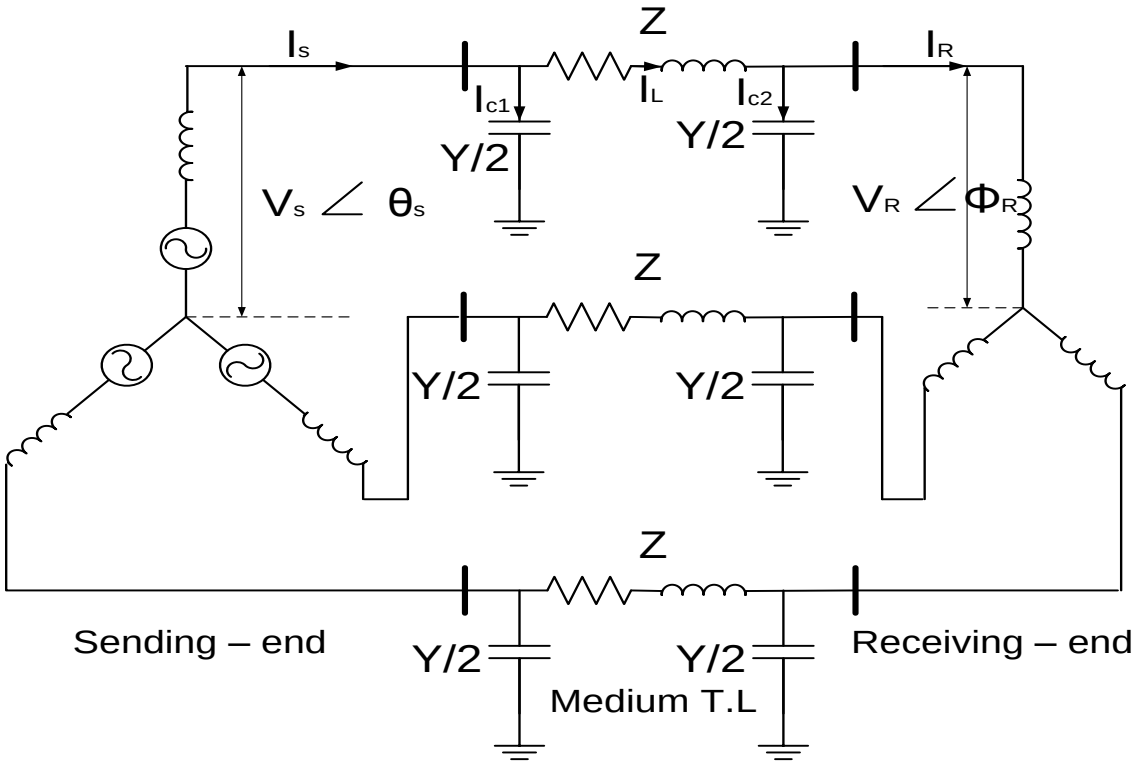
$$S_R = 3V_R I_R \quad ؛ \quad S_R = P_R + jQ_R \quad \text{.....(17.2)}$$

$$P_R = 3V_R I_R \cos\phi_R \quad ؛ \quad Q_R = 3V_R I_R \sin\phi_R \quad \text{.....(18.2)}$$

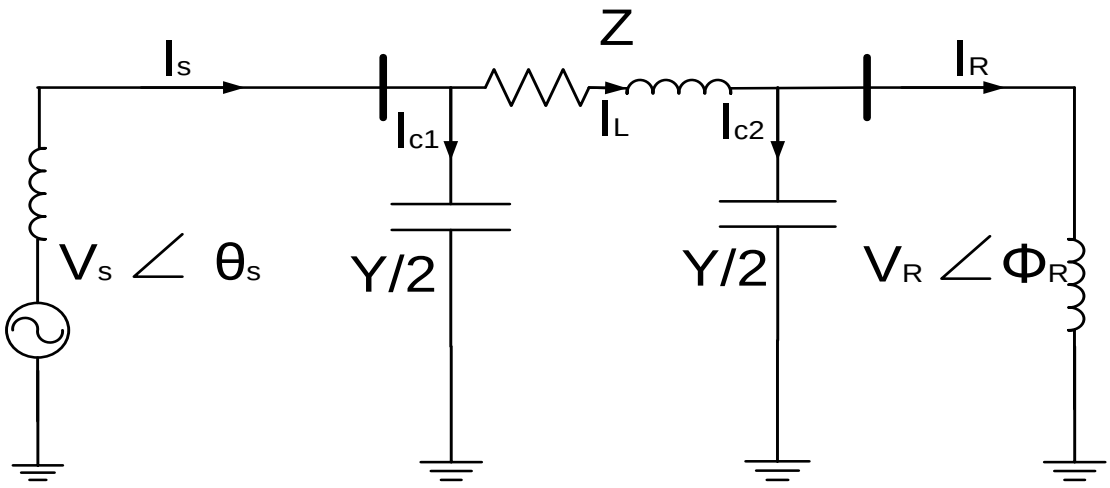
كفاءة خط النقل

$$\xi = \frac{P_R}{P_S} 100\% \quad \text{.....(19.2)}$$

(ب) طريقة π–Section

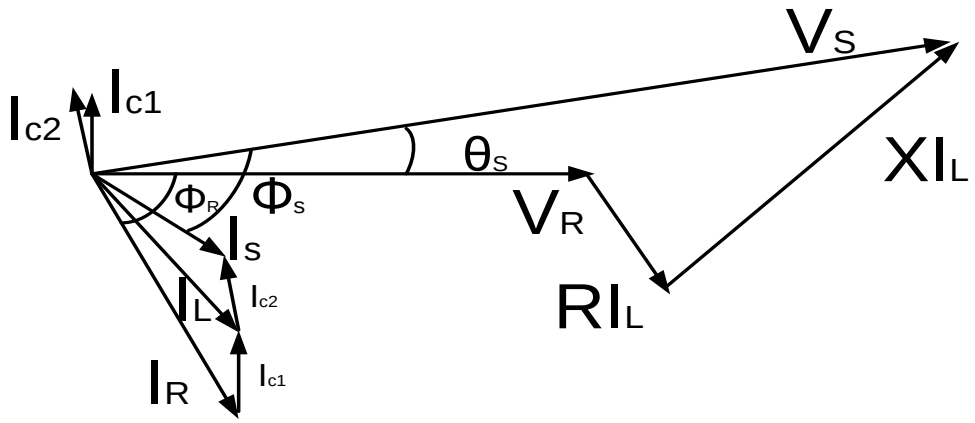


الشكل 2–9 تمثيل لخطوط النقل المتوسطة بطريقة π–Section ثلاثية الطور



الشكل 2–10 تمثيل لخطوط النقل المتوسطة بطريقة π–Section أحادية الطور

المخطط الاتجاهي Pharos Diagram



الشكل 2–11 المخطط الاتجاهي لخط نقل متوسط بطريقة π–Section

الجهد عند الإرسال

من الدائرة المبينة بالشكل 2–10 نستنتج أن:

$$V_S = (1+\frac{ZY}{2})V_R + Z I_R \quad ؛ \quad I_S = Y(1+\frac{ZY}{4})V_R + (1+\frac{ZY}{2})I_R \quad .(20.2)$$

معامل التنظيم لجهد الخط Voltage Regulation Of Line :

$$\Delta V = \frac{V_S - V_R}{V_R} * 100\ \% \qquad \text{.....(21.2)}$$

القدرة المفقودة على الخط

تحسب القدرة المفقودة الفعالة (Active) على الخط P_{Loss} وتقاس بـ (Watt) كالتالي :-

$$P_{loss} = P_S - P_R = 3RI_L^2 \qquad \text{.....(22.2)}$$

تحسب القدرة المفقودة المفاعلة (Reactive) على الخط Q_{Loss} وتقاس بـ (Var) كالتالي :-

$$Q_{loss} = Q_S - Q_R = 3X_L I_L^2 \qquad \text{.....(23.2)}$$

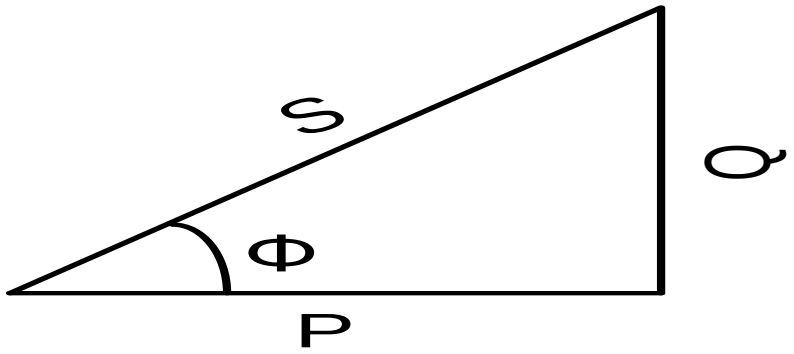
القدرة عند الإرسال والاستقبال

إذا كان الحمل متوازن بين الأطوار الثلاثة تكون القدرة الظاهرة عند الإرسال تعادل ثلاثة مرات قيمتها لكل طور

$$S_S = 3V_S I_L \qquad \text{.....(24.2)}$$

$$S_S = P_S + jQ_S \qquad \text{.....(25.2)}$$

ومن مثلث القدرة المبين بالشكل 2-12 سواء كان إرسال أم استقبال نستنتج أن



شكل 2-12 مثلث القدرة

$$P_S = 3V_S I_S \cos\phi_S \quad ؛ \quad Q_S = 3V_S I_S \sin\phi_S \qquad \text{.....(26.2)}$$

ونفس التحليل السابق يتم لجهة الاستقبال كالتالي :

$$S_R = 3V_R I_R \quad ؛ \quad S_R = P_R + jQ_R \quad ؛ \quad P_R = 3V_R I_R \cos\phi_R \qquad \text{..(27.2)}$$

$$Q_R = 3V_R I_R \sin\phi_R \qquad \text{.....(28.2)}$$

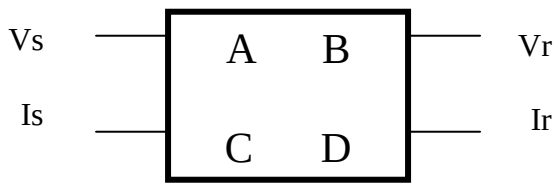
كفاءة خط النقل

$$\xi = \frac{P_R}{P_S} 100\,\% \qquad \text{.....(29.2)}$$

ثوابت الدائرة المكافئة لخط النقل

يمكننا اختصار الدائرة الكهربائية المكافئة لخط النقل بنظام ذي دخلين وهما الجهد والتيار عند الإرسال وخرجين وهما الجهد والتيار عند الاستقبال لكل طور، حيث تكون العلاقة بينهما كالتالي:

$$V_S = AV_R + BI_R \quad ؛ \quad I_S = CV_R + DI_R \qquad \text{.....(30.2)}$$



شكل (13.2) الدائرة الكهربائية المكافئة لخط النقل بنظام ذي دخلين

- إذا كان خط النقل قصير فإن

A=D=1 ; B=Z ; C=0 .....(31.2)

- إذا كان خط النقل متوسط T−Section

$$C = Y \;;\qquad B = Z(1+\frac{ZY}{4}) \;;\qquad A = D = 1+\frac{ZY}{2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(32.2)$$

- اذا كان خط النقل متوسط π−Section

$$C = Y(1+\frac{ZY}{4}) \quad ; \quad B = Z \quad ; \quad A = D = 1+\frac{ZY}{2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(33.2)$$

4.2 تصنيفات جهود خطوط النقل Classification of Voltage :−

- الجهد المنخفض اقل من 1KV
- الجهد المتوسط من 1 KV الى 35 KV
- الجهد العالي من 35 KV الى 230 KV
- الجهد الفائق من 230 KV الى 800 KV
- الجهد الفائق جدا اكبر من 800 KV

5.2 الابراج: −

عبارة عن تركيب شبكي من عناصر من الصلب المجلفن والتي يتم تجميعها معا بصواميل ومسامير لتكوَن شكل البرج وتعتبر الابراج الحديدية اكثر الابراج استخداما حيث انها :

الاعلى من حيث المتانة / الوزن

الاطول عمرا وذات تكلفة معقولة

يمكن نقل مكونات البرج بسهولة وتجميعها بسهولة ايضا في مكان التركيب وتعتمد ابعاد البرج وارتفاعه والمسافات بين الاذرع المستعرضة واتساعها على مستوى الجهد ويعتمد تصميم البرج وتثبيته على موقعه من الخط.

1.5.2 أنواع الأبراج: -

1- برج تعليق او تثبيت (Suspension/Support Tower) :-

هو البرج الذي يستخدم لتعليق او تثبيت الموصلات وغالبية الابراج الموجودة على مسار الخط تكون من هذا النوع ويتميز هذا النوع بوجود عازل لكل موصل . يختلف برج التعليق عن برج التثبيت في وضع الموصل بالنسبة للعازل ففي برح التثبيت يكون العازل مثبتا راسيا لأعلى ويكون السلك موضوعا فوق العازل اما في برج التعليق يكون العازل مثبتا راسيا لا سفل ويكون السلك معلقا في اسفل العازل.

2- برج الشد (Tension Tower) :-

يمكن تمييز هذا البرج بوجود عازلين عند كل نقطة تثبيت حيث يكون الموصل بينه وبين البرج الذي يسبقه مربوطا بأحد العازلين والموصل بينه وبين البرج الذي يليه مربوطا بالعازل الثاني ويوضع برج من هذا النوع بعد كل عدة ابراج تعليق وذلك لتفادي سقوط السلك من على الابراج في حالة حدوث قطع فيه.

3- برج الزاوية (Angle Tower) :-

ويشبه لحد كبير برج الشد الا انه يستخدم في حالة حدوث تغير في اتجاه خط النقل ويكون طرفا السلك المربوطان به ليسا على استقامة واحدة مما يجعله معرضا لقوة شد تساوي محصلة الشد في الموصلين المربوطين فيه

4- برج النهاية (End Tower) :-

وهذا النوع من الابراج يوجد في بداية الخط وفي نهايته ويكون معرضا للشد من ناحية واحدة ويلزم اخذ هذا الشد في الاعتبار عند تصميم وتثبيت هذا البرج.

6.2 المواد المستعملة في صناعة الموصلات :-

يجب ان تكون المادة التي يصنع منها الموصل ذات متانة ميكانيكية عالية تجعلها تتحمل الاجهادات الواقع عليها وان تكون خفيفة الوزن حتى تكون قوة الشد المؤثرة على الموصل قليلة وحتى يمكن زيادة المسافة بين الابراج لتقليل تكلفة انشاء الخط

- عموما فان اختيار مادة الموصل في خطوط النقل يخضع لعدة اعتبارات منها :
- المسافة بين البرجين
- مقدار الترخيم المسموح به
- مقدار الشد في الموصلات
- حالة الجو المحيط بالموصل واحتوائه على مواد تسبب تأكل الموصلات
- حالة تعرض الخط للاهتزازات
- الفقد في القدرة في الخط
- مساحة مقطع الموصل

7.2 الموصلات المستخدمة في خطوط النقل الهوائية :-

معظم الموصلات المستخدمة في خطوط النقل الهوائية تكون عبارة عن جديلة مكونة من قلب عبارة عن سلك واحد مستقيم محاط بطبقة او اكثر من الاسلاك المجدولة بطريقة حلزونية حول هذا القلب ويكون اتجاه جدل الاسلاك في كل طبقة مخالفا لاتجاه الجدل في الطبقة السابقة

بالإضافة للموصلات المجدولة المصنوعة من النحاس او من سبيكة النحاس و الكادميوم يوجد عدة انواع من الموصلات المبنية على الألمونيوم والتي تعطي افضل الحلول لمتطلبات خطوط النقل الهوائية في الظروف المختلفة

1- الالومنيوم المقوى بالصلب (Aluminum Conductor Steel Reinforced) :-

يتكون هذا الموصل من قلب عبارة عن طبقة او اكثر من اسلاك الصلب المجلفن المحاطة بطبقة او اكثر من اسلاك الألمونيوم ويتم تعريف هذه الموصلات بعدد اسلاك الالمونيوم واسلاك الصلب واكثر موصلات هذا النوع شيوعا 26/7 أي تتكون من 26 سلك المونيوم و7 اسلاك من الصلب ويتميز هذا النوع من الموصلات ان له متانة اعلى من موصلات الالمونيوم ولذلك يستخدم عندما تكون المسافة بين الابراج اكبر كما يمكنه تحمل الظروف الجوية السيئة وله معامل مرونة اعلى ومعامل تمدد حراري اقل من الالمونيوم و يمكن التحكم في خصائصه الميكانيكية بتغيير نسبة الالمونيوم الى الصلب في الموصل المجدول

2- موصلات سبائك الالمونيوم (All Aluminum Alloy Conductor) :-

هذا النوع عبارة عن سبيكة متجانسة معالجة حراريا من الالمونيوم والمغنيزيوم والسليكون وهذا النوع له خصائص تميزه عن AAC و ACSR حيث ان له متانة عالية جدا وذلك يتيح زيادة المسافة بين الابراج والتقليل في تكلفة انشاء الخط وزيادة قدرة حمل التيار عند استخدامه على الابراج الموجودة فعلا وتحسين اداء الخط وله مقاومة كهربائية اقل وبالتالي يسبب فقد اقل في القدرة على الخط وغير معرض لمشكلة تآكل الجلفنة كما في موصلات ACSR تركيباته اقل تعقيدا واسطحه اقل عرضة للتلف

3- سبيكة الألمونيوم المقوى بالصلب

(Aluminum Alloy Conductor Steel Reinforced) :-

هو مشابه ل ACSR حيث يحتوي على قلب مكون من اسلاك الصلب ولكن تستبدل اسلاك الالمونيوم باسلاك سبيكة الالمونيوم ويتميز هذا النوع بمتانة ميكانيكية عالية على حساب الموصلية وكذلك يستخدم هذا النوع من الموصلات عندما تكون مثل هذه الخصائص مرغوبة خصوصا في اسلاك الأرضية.

8.2 عوازل خطوط النقل :-

لمنع تسرب التيار الكهربائي للأرض من نقاط تثبيت خطوط النقل او التوزيع الكهربائية فان كل هذه النقاط يجب تأمينها باستخدام عوازل صلبة بين الخطوط الكهربائية واجسام الابراج الحاملة لها ، لذلك فان العوازل الكهربائية تلعب دورا مهما وحيويا في التشغيل الأمن والناجح لخطوط النقل والتوزيع

1.8.2 المتطلبات الرئيسية للعوازل هي :-

- القوى الميكانيكية
- شدة العزل العالية
- مقاومة عزل عالية جدا ضد تيار التسرب
- خالية تماما من الشوائب او الشروخ الداخلية
- يجب أن تكون غير مسامية
- مادة غير قابلة لنفاذ الغازات او السوائل الى داخل المادة
- ألا تتأثر بتغير درجة الحرارة المحيطة
- مقاومة للانهيار الداخلي (Puncture) وكذلك الانهيار السطحي (Flashover)

9.2 مواد العوازل الكهربائية :-

هنالك العديد من المواد التي تستخدم في صناعة عوازل خطوط النقل الكهربائية

1.9.2 البورسلين :-

تكون شدة عزله (شدة المجال الكهربائي التي يتحملها العازل دون انهيار في حدود 60 kv/cm وقوة الضغط والشد الميكانيكي له في حدود 500kg/cm2 و70kg/cm2

2.9.2 العوازل الزجاجية : -

تستخدم في عمليات العزل الكهربائي حتى الجهود المتوسطة

ويكون له المميزات التالية :

- شدة عزل عالية جدا في حدود 140kv/cm من سمك المادة
- يصبح للمادة مقاوميه عالية عندما تتقسى جيدا
- يكون له معامل تمدد حراري منخفض
- يكون تصميم العازل الزجاجي بسيطا عندما يتطلب الجهد المطبق عبر العازل شدة عزل عالية ويمكن استخدام قطعة عزل واحدة تفي بالغرض
- له شدة ضغط ميكانيكي عالية مقارنة بعازل البورسلين
- عازل شفاف مما يجعل رؤية أي شوائب او فقاعات غازية او شروخ ممكنة بالعين المجردة في معظم الاحيان
- مادة متجانسة جدا ورخيص السعر مقارنة بالبورسلين

3.9.2 الاسيتايت: -

له قوة شد ميكانيكية عالية مقارنة بعازل البورسلين ويمكن استعمالها بكفاءة في ابراج الشد التي تكون عند الدورانات الحادة للخط الكهربائي

10.2 انواع العوازل المستخدمة في خطوط النقل :-

هنالك العديد من انواع العوازل المستخدمة في خطوط النقل الكهربائية.

1.10.2 العوازل المسمارية (Pin Type Insulator) :-

في الجهود المنخفضة يستخدم عادة قطعة واحدة من العازل ، وفي الجهود المتوسطة تستخدم أجزاء متعددة من العازل المسماري مربوطة ببعضها باستخدام الاسمنت البورتلاندي.

2.10.2 عوازل التعليق (Suspension Type Insulator) :-

تستخدم عوازل التعليق الجهود المرتفعة ويربط عدد منها على التوالي برابط معدني لتكوين سلسلة وتعلق موصلات الخط الكهربائي في نهاية سلسلة العوازل ويتميز بالاتي :

- تصمم كل وحدة من عوازل التعليق لتتحمل 11kv
- عند انهيار احدى الوحدات بالسلسلة يمكن استبدالها بسهولة واقل تكلفة
- تقل الاجهادات الميكانيكية على السلسلة لمرونة تعليق الخط الكهربائي وامكانية تأرجحه وتكون الاجهادات في هذه الحالة من قوى الشد فقط
- عند استخدام سلسلة العوازل مع الابراج المعدنية تكون موصلات الخط الكهربائي اقل تأثيرا بالصواعق الكهربائية
- استخدام أكثر من موصل لكل وجه من الخط الكهربائي لا تمثل مشكلة ولا تكلف اكثر

3.10.2 عوازل الاجهاد: -

تستخدم في خطوط الجهد العالي والتي تتكون من عوازل تعليق وهي عبارة عن خطين او ثلاثة من عوازل التعليق متوازيين ومرتبطين ببعضهما

4.10.2 عوازل الدعم: -

تستخدم في سلك الشد ويكون غالبا من البورسلين ويصمم حيث انه في حالة انهيار العازل لا يسقط سلك التثبيت على الارض

5.10.2 عوازل البكرة :-

تستخدم عادة في خطوط التوزيع الكهربائية ذات الجهود المنخفضة وتستخدم في الوضع الراسي او الافقي

11.2 معاملات خطوط النقل :-

- مقاومة الخط R
- محاثة الخط L
- سعة الخط C
- مواصلة التوازي للخط G [1].

الباب الثالث

حماية محطات وخطوط النقل الكهربائية

1.3 مقدمة :-

منظومة القوة الكهربائية تبدأ من المولد الذي ينتج الكهرباء وهو عادة ما يكون من النوع المتزامن (Synchronous Generator) مرورا بالمحول الذي يرفع قيمة جهد التوليد إلى قيمة عالية بغرض خفض قيمة التيار ومن ثم خفض الفقد في القدرة المنقولة من مكان لأخر ثم يلي ذلك خطوط نقل القدرة وهي غالبا إما تكون محمولة على أبراج عالية (Overhead Transmission Lines) أو في صورة كابلات مدفونة في الأرض (Underground Cables) لاسيما داخل المدن ، ثم تنتهي خطوط النقل بمجموعة من محولات التوزيع (Distribution Transformers) التي تخفض الجهد إلى قيم مختلفة لتوزيعه على المستهلكين في المناطق الصناعية (جهد متوسط) والمناطق السكنية (جهد منخفض) خلال شبكة من الكابلات تنتهي بمجموعات متنوعة من اللوحات الكهربائية (Distribution Boards) ويتم ربط عناصر المنظومة ببعضها من خلال ما يسمى بقضبان التوزيع (Bus Bars) وهذه القضبان يركب عليها عدد من خلايا الدخول والخروج.

وهذه المنظومة المتكاملة معرضة للأسف لأنواع كثيرة من الأعطال وذلك لأسباب قد تكون داخلية تتعلق بتصميم عناصرها وتحملها لقيم محددة للتيار والجهد أو تكون لأسباب خارجية نتيجة العوامل الجوية المؤثرة على الأجزاء الخارجية من هذه المنظومة.

2.3 أعطال منظومة القدرة الكهربائية :-

الأعطال في منظومة القدرة الكهربائية هي كل ما يسبب تغير غير طبيعي في قيم التيار أو الجهد وأكثر ما يسبب ذلك هو حدوث انهيار في العازل الموجود علي الموصلات بسبب ضغوط ميكانيكية أو كهربائية وربما نتيجة لظروف جوية لسبب تلامس مع الأرض أو تلامس بين خطين إلي غير ذلك من الأسباب التي تؤدي إلي

حدوث انهيار العازل ومن ثم تحدث تغير غير طبيعي في قيم التيار أو الجهد أو كلاهما وقد يكون العطل نتيجة لتحميل زائد (Over Load)

وتصنف الأعطال طبقا لعدد الأوجه المتأثرة بالعطل كالاتي :

- خط واحد متلامس مع الأرض
- خطين متلامسين مع الأرض
- خطين متلامسين معا
- ثلاثة خطوط متلامسة مع الأرض
- ثلاثة خطوط متلامسة معا

3.3 وظيفة منظومة الوقاية :-

نشير هنا أولا إلى أن منظومة الوقاية ليست منع حدوث العطل، وذلك شبح مستحيل لان كثير من الأعطال قد تكون خارجية لا قدرة لأجهزة الحماية على منعها لكن دور منظومة الوقاية هو:

- سرعة فصل الأعطال بدقة
- إكتشاف الأعطال وتحديد مدى خطورتها ومكانها
- عزل العناصر المتأثرة بالعطل فقط

وبناء على هذا التوضيح فإننا يمكن أن نحصر عناصر منظومة الحماية في عنصرين رئيسين هما :

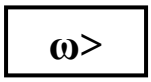
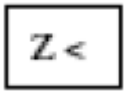
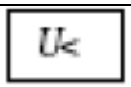
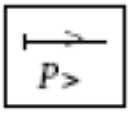
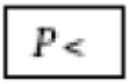
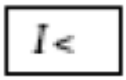
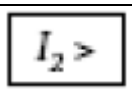
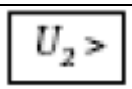
1- أجهزه الحماية Protective Relays PR

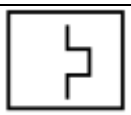
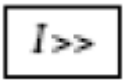
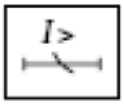
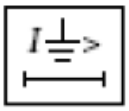
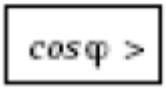
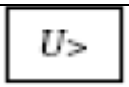
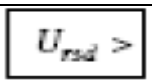
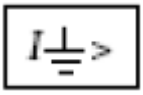
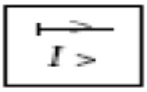
2- قواطع الدائرة الكهربائية Circuit Breakers CB

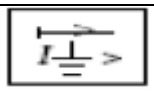
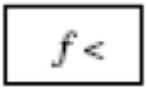
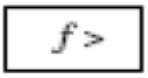
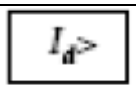
ويضاف إليها عنصر ثالث مسئول عن تغذية أجهزة الحماية بالإشارات اللازمة ليبدأ عملية الفحص والتحليل ومن ثم اتخاذ القرار وهذا العنصر هو محولات الجهد والتيار (VT) (CT)

4.3 أنواع أجهزة الحماية: -

جدول 3-1 يوضح انواع اجهزة الحماية

Description	ANSI	IEC 60617
Over speed Relay	12	
Distance Relay	21	
Under Voltage Relay	27	
Directional Over Power Relay	32	
Under Power Relay	37	
Under Current Relay	37	
Negative Sequence Relay	46	
Negative Sequence Voltage Relay	47	

Thermal Relay	49	
Instantaneous Over Current Relay	50	
Inverse Time Over Current Relay	51	
Inverse Time Earth Fault Over Current Relay	51G	
Definite Time Earth Fault Over Current Relay	51N	
Power Factor Relay	55	
Over Voltage Relay	59	
Neutral Point Displacement Relay	59N	
Earth-Fault Relay	64	
Directional Over Current Relay	67	

Directional Earth Fault Relay	67N	
Under Frequency Relay	81U	
Over Frequency Relay	81O	
Differential Relay	87	

5.3 أنواع القواطع الكهربائية :-

عند حدوث عطل في منطقة ما فان القواطع المركبة على بداية ونهاية هذه المنطقة يتم فتحها بناء على إشارة من جهاز الوقاية (Relay) وذلك لوقف مرور تيار العطل ، واخطر ما سيواجه هذا القاطع عندما يبدأ في العمل هو الشرارة أو (القوس الكهربي) التي تنشأ بين طرفي القاطع وهذه الشرارة يمكن أن تسبب مشاكل خطيرة ، ومن ثم فهناك أنواع عديدة من القواطع تتفق جميعا على هدف واحد وهو سرعة إطفاء الشرارة التي تنشأ بين أقطاب القاطع عند فتحها ولكنها فيما بينها في الطريقة المستخدمة لهذه المهمة ، وفيما يلي أنواع القواطع بناء على طريقة إطفاء الشرارة

1.5.3 قاطع باستخدام الهواء Air Circuit Breaker :-

يستخدم فيه ضاغط هواء (Air Compressor) لدفع الهواء بين قطبي القاطع عند حدوث شرارة لإطفائها

2.5.3 قاطع مفرغ من الهواء Vacuum Circuit Breaker : -

في هذا النوع لا يوجد هواء مطلقا في المنطقة المحيطة بأقطاب القاطع وبالتالي لن تحدث شرارة لكن يعيبه انه إذا حدث تسرب للهواء داخل القاطع فانه يؤدي إلى حدوث شرارة كبيرة.

3.5.3 قاطع باستخدام الزيت :Oil Circuit Breaker -

في هذا النوع يستخدم الزيت كوسط لإطفاء الشرارة.

4.5.3 قاطع باستخدام غاز سادس فلوريد الكبريت SF6 :-

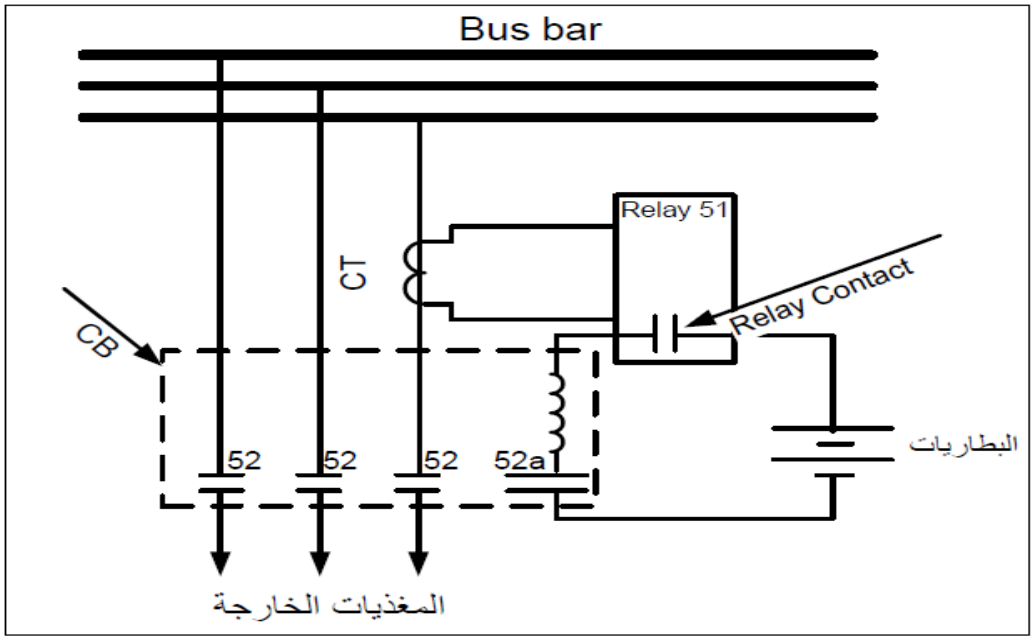
في هذا النوع يستخدم غاز (SF6) كوسط لإطفاء الشرارة حيث يتميز بأنه غير قابل للاشتعال، ومستقر كيميائيا، وغير سام، وعازل جيد للكهرباء حيث تزيد كفاءة عزل هذا الغاز عشر مرات عن عزل الهواء للكهرباء تحت ضغط الجو العادي.

6.3 العلاقة بين جهاز الوقاية والقواطع الكهربائية :-

تبدأ العملية بدخول إشارات (Relaying Signals) ألي جهاز الحماية (Relay) بواسطة محول الجهد أو التيار ثم يقوم جهاز الحماية بناء علي هذه الإشارات بإرسال إشارة فصل إلي ملف فصل القاطع (CB Trip Coil) ليتم فتحها.

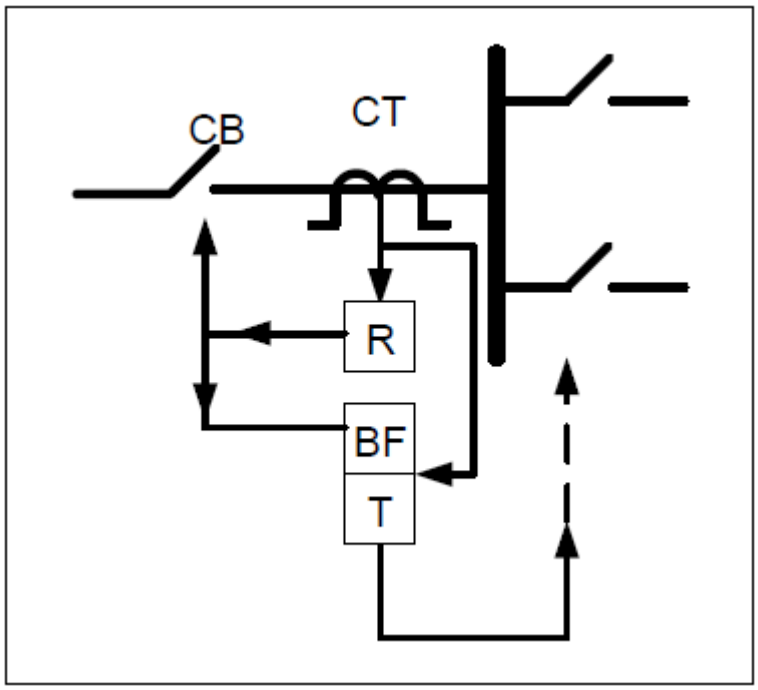
مثال لما يحدث عندما يقوم جهاز الحماية (Relay) باكتشاف عطل يقوم جهاز الحماية بغلق (Relay Contacts) ومن ثم يصل تيار البطارية إلي (CB Trip Coil) الذي يقوم بفتح (CB poles)

آن الزمن الذي يأخذه جهاز الوقاية ليصل إلي قرار (Trip or Block) يكون في العادة سريع جدا وفي حدود 20ملي ثانية أو اقل بينما الزمن الذي يستغرقه القاطع لإتمام فتح الدائرة يكون اكبر من ذلك ويتراوح بين 50 إلي 100 ملي ثانية ومجموع الزمنين معا يمثل الزمن الحقيقي لإزالة العطل



شكل 3-1 العلاقة بين جهاز الوقاية والقواطع الكهربائية

ومن المشاكل التي قد تقع عندما يكتشف جهاز الحماية (Relay) العطل ويفشل القاطع في عملية الفصل نتيجة لعطل ميكانيكي في القاطع نفسه ولحل هذه المشكلة دائما يستخدم جهاز حماية خاص يسمي (Breaker Failure)



شكل 3- 2 Breaker Failure [فشل القاطع]

7.3 مفاهيم أساسية في منظومة الوقاية :-

منظومة القدرة الكهربائية هي منظومة ضخمة ومتداخلة ومعقدة في بعض أجزائها لذا فلا يمكن تصميم جهاز واحد فقط لحمايتها ككل ولذا تقسم إلي مناطق حماية

1.7.3 مناطق الحماية :-

في الواقع العملي فان الشبكة الكهربائية تقسم إلى مناطق صغيره (Zones) ويصبح دور جهاز الوقاية هو حماية هذه المنطقة الصغيرة فقط كدور أساسي مع إمكانية آن يقوم بحماية غيرها من المناطق بصورة احتياطية ويجب أن تتعاون أجهزة الوقاية في هذه المجموعات لضمان اعلي درجات الحماية وعمليا فان لكل مولد له منطقة حماية خاصة به وكذلك كل محول وكذلك كل خط يقع بين محطتين

2.7.3 الحماية الرئيسية والحماية الاحتياطية :-

عند تقسيم الشبكة إلي مناطق محددة ، يصبح لكل منطقة نظام حماية خاص بها فان نظام الحماية الرئيسي لمنطقة ما يمكنه أيضا أن يصبح نظام حماية احتياطي لمناطق أخرى ، بشرط أن يكون هناك قواعد للتنسيق بين

نظم الحماية المختلفة تجعل الحماية الاحتياطية تعمل بعد فترة من الزمن ، أي بعد التأكد من عجز الحماية الأصلية من اكتشاف العطل .

وتبرز أهمية الوقاية الاحتياطية بصورة كبيرة في حالة العطل المعروف باسم (Breaker Failure) وفي هذه الحالة يجب فتح كل القواطع علي الخطوط المغذية لهذا القاطع المعطل ، وهذه احد ادوار الوقاية الاحتياطية.

3.7.3 الوقاية الاتجاهية: –

مع تعقد الشبكات الكهربائية أصبح التنسيق بين عمل أجهزة الوقاية المختلفة صعبا للغاية وفي الشكل أدناه عند حدوث عطل عند النقطة (F) فان أجهزة الوقاية ستشعر كلها بالعطل لمرور تيار العطل خلالها،

وطبقا لما سبق شرحه فإننا نحتاج إلى فصل الدائرة المعطلة فقط، وفي حالتنا هذه نريد فصل (R3, R4) فقط علما بأننا يمكننا تأجيل عمل الأجهزة (R1, R6) بعدة طرق ابسطها بإضافة زمن تأخير (Time Delay) إليهما ، لكن المشكلة تكمن في (R2, R5) فتيار العطل خلالهما ، ومسافة العطل التي يراها كل منهما تتشابه تماما مع التيار والمسافة التي يراها (R3, R4) ونحن نريد بالطبع أن يشتغل (R3, R4) فقط ، لان لو اشتغل (R2, R5) فسيتم فصل التغذية عن بقية الخطوط الخارجة من المحطة (B) وكذلك المحطة (C) بدون داع .

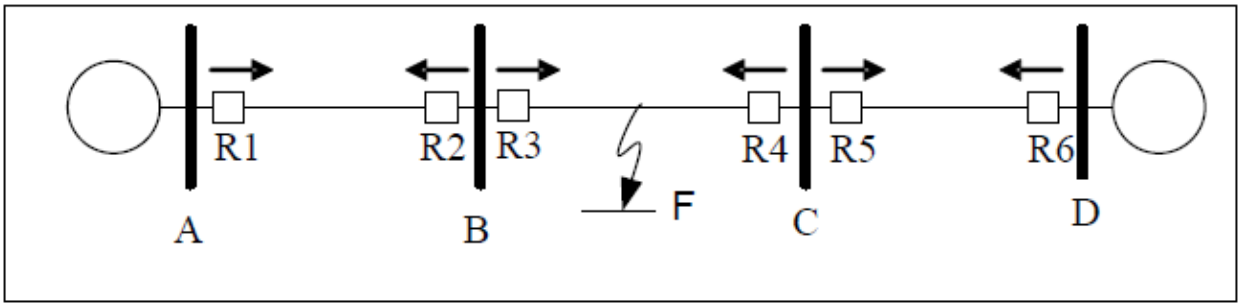
فلا بد من وجود طريقة لمنع (R2, R5) من الاشتغال الخاطئ وهذه الطريقة هي تحديد اتجاه العطل باعتماد مبدأ الوقاية الاتجاهية (Directional Protection) في أجهزة الوقاية.

وخلاصة هذا المفهوم أن كل جهاز حماية يمكن أن يفصل العطل الذي أمامه فقط ، وعلى هذا عند حدوث عطل عند نقطة (F) في الشكل أدناه فان (R2, R5) لا يمكنها رؤية هذا العطل أبدا حيث انه يقع في المنطقة الخلفية لمجال عملهما بينما (R1, R3, R4, R6) ترى جميعها هذا العطل إمامها وتصبح مسئولة عن فصله بدرجة محددة طبقا لقواعد التنسيق فيما بينها.

ومن هنا فانه يمكن إضافة نوعين جديدين إلي أنواع الأعطال السابقة الذكر وهما

- الأعطال الأمامية Forward Faults
- الأعطال الخلفية Reverse Faults

فالعطل (F) في الشكل أدناه هو عطل إمامي بالنسبة إلى (R1, R3, R4, R6) بنما نفس هذا العطل يعتبر عطل خلفي بالنسبة إلى (R5, R2)



شكل 3-3 الوقاية الاتجاهيه

4.7.3 الحماية ضد زيادة الحمولة :-

زيادة الحمولة هي عبارة عن زيادة في كمية التيار المار في خط النقل نتيجة لزيادة الأحمال علي ذلك الخط عن الحد المسموح به. ومرور التيار في خط النقل دائما يولد حرارة خلال المقاومة للخط وتكون هذه الحرارة طبيعية في حالة مرور التيار المقنن للخط ، ولكن عند زيادة التيار عن المعدل الطبيعي نتيجة لزيادة التيار المسحوب بواسطة الأحمال التي تم إضافتها لتتغذي من ذالك الخط .

ولذلك نستخدم مرحلة الحماية من زيادة التيار لحماية خطوط النقل من زيادة الحمولة.

5.7.3 الحماية ضد زيادة التيار (OVERCURRENT PROTECTION) :-

مرحلات زيادة ألتيار (Over Current Relays)هي من أقدم و أشهر وأوسع أجهزة الحماية انتشارا و ذلك لان معظم الأعطال ينتج عنها زيادة في التيار و لذلك فان هذه الأجهزة تقوم بمتابعة التغير في قيمة التيار المار

في أي عنصر من عناصر منظومة القوى و فصل التيار مباشرة عنه إذا تعدت قيمته حدا معينا خاصا بهذا العنصر .

6.7.3 العوامل المؤثرة على قيمة تيار العطل :-

1-مكان العطل

من المعلوم انه كلما ابتعد العطل عن موقع المرحلة Relay زادت المقاومة التي تراها المرحلة Relay و بالتالي تقل قيمة تيار العطل و هذا يدل على صعوبة اكتشاف الأعطال البعيدة عن المصدر حيث يكون الارتفاع في قيمة تيار العطل طفيفا .

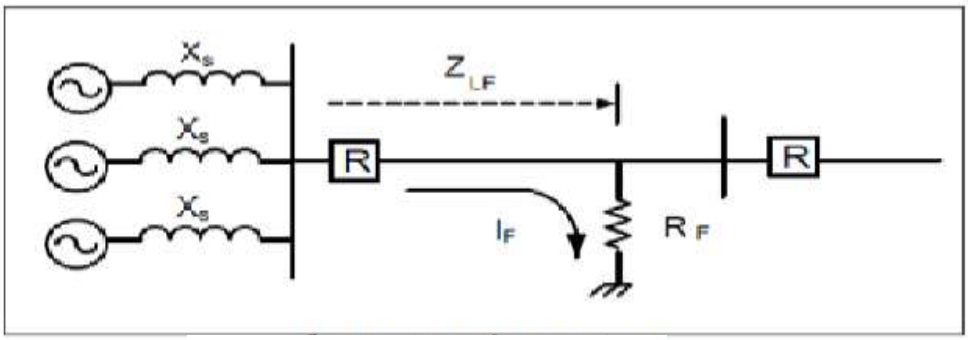
2- قيمة مقاومة العطل Rf

عندما يقع خط هوائي مثلا على الأرض و يحدث قصر الدائرة Short Circuit فان تيار العطل يمر في المسافة من مكان جهاز الحماية R إلى موضع العطل خلال مقاومة الخط Zlf ثم يمر في مقاومة أخرى تسمى مقاومة العطل Rf (Fault Resistance)

هذه المقاومة تتأثر بنوعية التربة (صخرية أو طينية .....) كما تتأثر بوجود شرارة في موضع العطل من عدمه، و عوامل أخرى متنوعة و بالتالي فتيار العطل إذا أخذنا في الاعتبار قيمة مقاومة العطل يصبح

$$If = \frac{Vs}{Zlf + Rf} \qquad \text{.....(1.3)}$$

هذه المعادلة تفسر السبب في صعوبة اكتشاف الأعطال ذات المقاومة العالية high impedance fault لكون الارتفاع في قيمة تيار العطل يكون طفيفا و قيمة المقاومة غير ثابتة و غير محددة.



شكل 3-4 مقاومة العطل Rf

3-قوة مصدر التغذية

وهي من العوامل الأساسية أيضا و يعبر عنها بانخفاض المقاومة Low Source Impedance ، فلو افترضنا محطة تغذية بها ثلاث مولدات و أن جميع المولدات في الخدمة و موصلات على التوازي فان قيمة معاوقة المصدر المكافئة لها ستكون $\frac{Xs}{3}$ و بالتالي فالمعاقة الكلية من المصدر حتى موضع العطل ستكون صغيرة و من ثم يكون التيار العطل كبيرا و يسمى المصدر في الحالة الأولى strong source .

ولو فرضنا أن مولدا واحد فقط هو الموجود بالخدمة فإنها ستكون المصدر هي Xs و ليس $\frac{Xs}{3}$ كما فى الحالة السابقة و بالتالي تكون المعاوقة الكلية من المصدر حتى موضع العطل كبيرة و يكون تيار العطل صغيرا و يسمى المصدر في هذه الحالة(Weak Source).

7.7.3 الحماية المسافية DISTANCE PROTECTION :-

تعتبر أجهزة (Distance Relays) هي الأهم ضمن منظومة الحماية المستخدمة مع خطوط نقل القوى الكهربائية خاصة في الجهود العالية حيث تتميز هذه النوعية من الأجهزة بميزة هامة مقارنة مع أجهزة زيادة التيار Over Current Relay وهي القدرة علي تحديد مكان العطل وليس فقط اكتشاف العطل .

1- الفكرة الأساسية لعمل أجهزة الحماية المسافية :-

الفكرة الأساسية لهذه النوعية من الأجهزة أنها تتبع ناتج قسمة الجهد الذي تقيسه المرحلة Relay ويرمز له ب VR علي التيار المار بالمرحلة Relay ويرمز له I R ،بصورة مستمرة كما في الشكل 3-4 .ففي الظروف الطبيعية يمثل خرج هذه القسمة قيمة عالية ويساوي (Z load + Z line) ، أما عند حدوث عطل فسينشأ short circuit قصر الدائرة علي معاوقة الحمل ولا يتبقى من المعاوقة السابقة سوي الجزاء الممثل لخط من مكان المرحلة Relay إلى نقطة العطل ، ويرمز له بالرمز Zf .

وحيث إن هذه المعاوقة تتناسب طرديا مع مسافة العطل ، فالبتالي يمكن معرفة مسافة العطل بمعلومية معاوقته . وهذا هو المبدأ الذي بني علية هذا النوع من أجهزة الوقاية . فلو فرضنا مثلا إن معاوقة العطل تساوى 10 أوم وان المعاوقة Z لكل كيلو متر من طول الخط تساوي 0.1 أوم فهذا يعني أن العطل علي بعد 100 kmمن جهاز الوقاية وهذه المعلومة التي حصلنا عليها (مسافة العطل) علي درجة كبيرة من الأهمية لأنها تمكن جهاز الوقاية من معرفة منطقة العطل ، ومن ثم زمن الفصل المناسب حيث ان لكل منطقة زمن فصل معين حسب بعدها من جهاز الوقاية .

2- تحديد اتجاه العطل

من الأمور الهامة في أجهزة الحماية أو الحماية المسافية ضرورة تحديد اتجاه العطل و هل هو أمامي أم خلفي و يفضل الرجوع إلى أساسيات الحماية الاتجاهية و لكننا سنسترجع هنا فقط بعض الأمور المتعلقة بالحماية المسافية .

من المعلوم انه عند حدوث عطل أمامي (Forward Fault) فان التيار يندفع إلى الإمام في اتجاه نقطة العطل و تعتمد قيمة الزاوية Phase Angleبينه و بين جهد نفس الوجه phase على قيمتي X AND R المقيستين

من مكان المرحلة relay حتى نقطة العطل و غالبا في حالة الخطوط الهوائية فان x line تكون اكبر بكثير من , R line و بالتالي فان زاوية العطل تكون حوالي 80 درجة أو تقريبا من ذلك .

أما في حالة الأعطال الخلفية reverse fault فان التيار عموما يتجه للخلف و تكون زاويته تقريبا 180 درجة بالنسبة لجهد نفس الوجه phase و بالتالي فان المعاوقة zr المقيسة بواسطة جهاز الحماية تكون زاويتها في منطقة المربع الثالث من مخطط R–X بمعنى أنها بمنطقة منع الاشتغال BLOCKING ZONE .

3- المشاكل التي تواجه المرحلة المسافية DISTANCE REALY problem

رغم المحاولات السابقة للوصول إلى الأداء الجيد لأجهزة الحماية المسافية Distance Relay فلا يزال هناك عدة مشاكل مشهورة تأثر على أداء المرحلة المسافية Distance relay من أهمها :

(أ) - مشكلة المدى الأكبر (Over–Reach)

نتيجة أخطاء أجهزة القياس التي اشرنا إليها من قبل فان جهاز الحماية المسافية يمكن أن يرى العطل البعيد كأنه قريب (إذا كان الخطأ بالسالب) بمعنى أن الجهاز يرى معاوقة اصغر من المعاوقة الحقيقية و في هذه الحالة نقول أن الجهاز قد حدث له Over reachبمعنى انه صار يمكنه أن يغطى للخطأ مدى اكبر من المدى الحقيقي له لأنه مادام الخطأ الذي يضاف إليه بالسالب فسيظل الجهاز يعتقد أن العطل لا يزال في مداه الطبيعي مشكلة الخطأ(Parallel Lines)

من أشهر المشاكل التي تصنف على أنها من مشاكل إلي Over reachمشكلة خروج احد خطين متوازين من الخدمة و بقاء الآخر فقبل خروج هذا الخط كانت المعاوقة التي يراها كل مرحلة Relay تتأثر بما يعرف المعاوقة المتبادلة mutual impedance بين الخطين و يرمز لها بالرمز Zm و يطرح تأثيرها من الحسابات عند ضبط الجهاز .

الآن عند خروج احد الخطين دون التعديل في قيمة الضبط يظل الجهاز الذي بقى في الخدمة يطرح قيمة zm من قيمة معاوقة أي عطل رغم أن إلzm لم يعد لها وجود و بالتالي فقد يرى الجهاز أعطال المرحلة الثانية كأنها مرحلة أولى ومن ثم فنحن أمام مشكلة المدى الكبير over reach ، لان الجهاز يرى معاوقة اقل من الحقيقة و تجدر الإشارة إلى انه في أجهزة الحماية الرقيمة digital relays يتم حل هذه المشكلة ببساطة عن طريق تخزين مجموعتين من قيم الضبط تكون إحداهما مناسبة إذا كان الخطان معا في الخدمة و الأخرى مناسبة عند خروج احد الخطين من الخدمة على أن يتم تفعيلها بمجرد خروج الخط الأخر من الخدمة .

(ب) – مشكلة المدى الأصغر under reach

والعكس إذا رأى الجهاز العطل القريب كأنه بعيد (إذا كان الخطأ في القياس موجب) بمعنى أن المعاوقة z التي يراها الجهاز اكبر من المعاوقة الحقيقية في هذه الحالة نقول أن الجهاز قد حصل له under reach ، بمعنى انه لم يعد قادرا على التغطية الصحيحة إلا لمدى اصغر من الطبيعي و خارج هذا المدى القصير سيرى الجهاز بالخطأ أن العطل خارج تغطيته ، مما يعنى انه يعانى مشكلة المدى الصغير under reach .

(ج) – مشكلة التغذية الإضافية In–Feed

من أشهر أمثلة المدى الصغير under reach وجود تغذية إضافية عند نهاية الخط remote in–feed problem كما في الشكل 4–18 . فالجهد الذي سيظهر عند طرفي الجهاز R1 يتأثر بالتيارين I2&I1 و يساوى:

$$VR = I1 \times ZL + (I1+I2) \times Zf \quad \text{.....(2.3)}$$

بينما التيار الذى يقاس عند طرفي جهاز الحماية يساوى I1 فقط و عند قسمة VR على IR ستكون المعاوقة التي سيراها الجهاز تساوى

$$ZR = Zl + Zf + \left(\frac{I2}{I1}\right) Zf \quad \text{.....(3.3)}$$

و هي اكبر من المعاوقة الحقيقية التي كان يتبقى أن تقاس و التي تساوى Zl+Zf .

و المثال الأخر لهذه المشكلة هو معاوقة العطل العالية high impedance fault حيث يرى الجهاز معاوقة اكبر من المعاوقة الحقيقية و بالتالي لا يستطيع أن يغطى بدقة المدى الكامل له

4- طرق البدء في اكتشاف العطل Starting

حتى يبدأ جهاز الحماية المسافية في العمل فلا بدا من وجود إشارة لتنبيهه إلى حدوث عطل starting function و تسمى أيضا detection ، و هذا الأسلوب يستخدم في أجهزة الحماية من النوع الالكتروميكانيكية electro mechanic فقط أما الأجهزة من النوع الرقمي digital فهي لا تحتاج إلى ذلك و انموا تقيس المعاوقة بصورة مستمرة طول الوقت حتى تنخفض قيمتها .

وتتنوع الأساليب المستخدمة في العمل في مرحلة البدا starting في هذه الأجهزة لكن بصفة عامة لابد من توفر بعض الشروط في كل الأساليب المستخدمة.من أهم هذه الشروط أن يكون للأسلوب المستخدم القدرة على تمييز أعطال الوجه phase fault و خاصة الأعطال من النوع single phase حيث سيترتب على هذا النوع من الأعطال فصل الوجه المتعطل faulted phase فقط بواسطة single pole tripping أن وجد . و حتى إذا لم يستخدم هذا النوع من المفاتيح breaker فانه من الضروري في مرحلة البداء starting أن يتم تحديد نوعية العطل و هل هو على وجه واحد أو اثنين أو أكثر لان ذلك سيترتب عليه أمر هام جدا و هو تحديد نوعية المعادلات المستخدمة في حساب معاوقة العطل Zf كما سبق أن بينا .

و هنالك ثلاثة طرق اساسية لبدء أجهزة الحماية المسافية هي :

متابعة ارتفاع التيار

متابعة انخفاض الجهد

متابعة تغيير قيمة المعاوقة

(أ) – الطريقة الأولى البدء عند الارتفاع في التيار over current starting

هي أسهل وأوسع الطرق انتشارا و تستخدم أساسا مع الخطوط التي تكون Z فيها صغيرة في الوضع الطبيعي و غالبا يتم ضبطها على قيم محددة لتيار البدء مع مراعاة استخدام قيمتين في حالة الخطوط المتوازية Parallel line لان التيار سيتضاعف بصورة طبيعية في حالة خروج احد الخطين من الخدمة و لابدا من اخذ هذه النقطة في الاعتبار عند ضبط الخطوط المتوازية .

(ب)– الطريقة الثانية البدء عند انخفاض الجهد under voltage starting

تستخدم هذه الطريقة إذا كان تيار القصر short circuit current صغيرا خاصة في حالة weaking system أو في حالة التأريض باستخدام المقاومة العالية high impedance في المحولات و المولدات ففى هذه الحالة يصبح تيار القصر SC صغيرا و لا يكفى لعمل البدء Starting، و عندها نستخدم الانخفاض في الجهد كعامل مساعد في اكتشاف الأعطال مع الآخذ في الاعتبار حالة خاصة و هي حالة فصل الخط تماما shut down حيث يجب تجنب أن يخدع الجهاز و يقوم ببدء خاطئ في هذه الحالة لمنع حدوث ذلك فان الجهاز يعتبر الانخفاض في الجهد مؤشر على العطل بشرط وجود حد أدنى من التيار minimum current و من ثم فعند حدوث ارتفاع طفيف في التيار فان الجهاز يختبر هل انخفض الجهد إلى حوالي 70% ؟ فإذا كانت الإجابة نعم يبدأ المرحلة المسافية distance relay في العمل مع ملاحظة انه إذا كان الارتفاع في التيار كبير فغالبا لا ينظر لقيمة الجهد كما في الطريقة الأولى.

(ج)– الطريقة الثالثة البدء عند انخفاض المعاوقة under impedance starting

هي من الأنواع المشهورة أيضا في طرق حث أجهزة الحماية المسافية على البدء ما يسمى الانخفاض في المعاوقة Under impedance ، و في هذه الحالة فان المرحلة relay بالإضافة إلى الدوائر الثلاثة التي تمثل حدود الحماية protection zone فانه يزود بدائرة رابعة خارجية اكبر منهم وأوسع و التي سبق أن تحدثنا عنها

و هي المعروفة بالمنطقة الرابعة zone4 ، و بمجرد أن تقع قيمة z المحسوبة داخل حدود هذه الدائرة الكبيرة يبدأ الجهاز في starting :فأما أن تنتقل نقطة التشغيل إلى إحدى الدوائر الداخلية الثلاث (حالة العطل) و أما أن تظل في الخارج فيتم عمل blocking أي منع التشغيل مثل حالة تأرجح القدرة power swing و تتميز أجهزة الحماية الرقمية بالقدرة على تشكيل دائرة starting بطرق هندسية متنوعة و ذلك لتعين الجهاز على تجنب التشغيل الخاطئ فى حالة الحمل الثقيل heavy loading .

8.3 الأنظمة المختلفة لفصل الأعطال :-

بعد حساب قيم المعاوقة داخل المرحلة Relay تكون الخطوة التالية هي إرسال إشارة لفصل القاطع CB مع ملاحظة انه يجب فصل القواطع CBs الموجودة في بداية ونهاية الخط الذي عليه العطل في وقت واحد وفي نفس اللحظة.

وهذا يستلزم نوع من التخاطب communication بين المرحلة Relays الموجودة على طرفي الخط.

وأسلوب التخاطب هذا ضروري ومفيد لسبب آخر وهو إن بعض الأعطال لاسيما التي تقع قرب احد طرفي الخط قد تكتشف بسهولة بواسطة احد إلRelaysلكنها في الغالب لا تكتشف أو تكتشف بزمن تأخير بواسطة المرحل الموجود عن الطرف الآخر ومن هنا فانه باستخدام التخاطب communication بين أجهزة الحماية على طرفي الخط فإننا يمكننا تسريع عملية الفصل لكلا الجهازين.

وعموما فان إي جهاز عند إي طرف من طرفي الخط إذا تمكن من اكتشاف عطل ما فانه لن يتخذ قرارا بالفصل إلا بناء على بروتكول متفق عليه بين أجهزة الحماية على طرفي الخط ، أو ما يعرف باسم pilot schemes وسائل إرسال الإشارة communication ومن أهم هذه الوسائط ما يعرف بالpilot wire و هو كابل خاص مخصص فقط لنقل هذه الإشارات و يكون معزولا جيدا حتى لا يتأثر بالذبذبات و الجهود المحيطة به والتي يمكن إن تولد فيه Induced voltage بطريقة الخطأ و يصلح هذا الكابل للأطوال حتى 25 كيلومتر

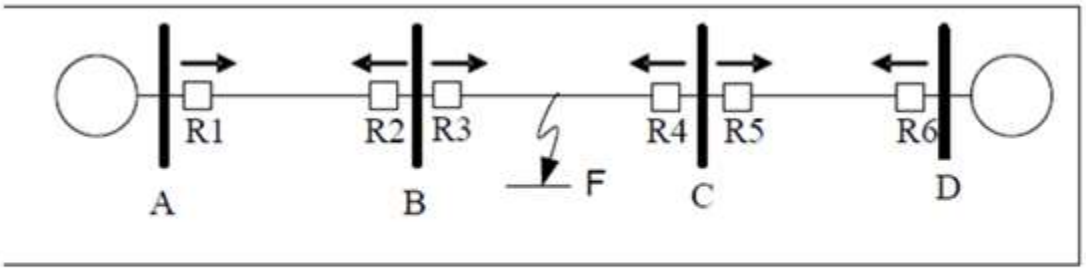
و من الطرق المستخدمة لنقل الاشارات استخدام ما يعرف بpower line carrier plc حيث يتم نقل إشارات الاتصال communication sig على خط النقل نفسه ، و هذه الطريقة هى الانسب لاسيما مع الخطوط الطويلة التى تصل الى عدة مئات من الكيلومترات .

يمكن ايضا حديثا استخدام fiber optic cables لنقل الاشارات خلالها و هى الاكثر كفاءة بين طرق النقل لكنها بالتاكيد الاعلى تكلفة و عادة تستخدم فى الخطوط حتى 150 كيلومتر .

و فى كل الاحوال و ايا كانت وسيلة نقل الاشارات فاننا بالطبع نستخدم اشارات ذات تردد مختلف عن تردد الشبكة لمنع التداخل بينها و غالبا اجهزة تعديل التردد العالي high frequency modulator للارسال و الاستقبال عند كلا الطرفين.

1.8.3 البدائل المتاحة في حماية خطوط النقل :-

في البداية نود أن نعقد مقارنة بين استخدم مرحلات زيادة التيار Oc Relays واستخدام المرحلات المسافية Distance Relays في حماية خطوط النقل . ولتوضيح الفرق نضرب مثلا بسيطا . فلو افترضنا إن لدينا عدد من الخطوط (المحطات) المتتالية كما في الشكل 3-7 مربوطة بخطوط نقل طويلة T L.



شكل 3-7 وقاية المحطات المتتابعة

(أ)- الحالة الأولى

لو افترضنا أن أجهزة الحماية المستخدمة عند كل محطة هي فقط مرحلات زيادة التيار over current relay في حالة حدوث عطل عند النقطة F في الشكل السابق فان جميع أجهزة زيادة التيار over current في المحطات A–B–C–D سوف تكتشف العطل ومن ثم تفصل جميعا ، و هذا شئ غير مرغوب فيه ; لان المفروض إن يفصل R4 وR3 الموجودان في المحطة C &B فقط ، فإذا فشلا فيجب أن يعمل R6،R1 عند A&D وهكذا . و بالتالي فقدرة أجهزة زيادة التيار Over current على حماية هذا النوع من الخطوط محدودة جدا و غير ذات كفاءة .ولا ننسى ان هنالك مشكلة أخرى لأجهزة زيادة التيار OC Relay عند استخدامها في حماية الخطوط الطويلة و هي مشكلة تغيير قيمة تيار العطل حسب قوة مصدر التوليد و هذا يعنى أن بعض الأعطال يكون تيارها ضعيفا و لا تستطيع مرحلة زيادة التيارOC أن يكتشفه.

(ب)- الحالة الثانية

لو افترضنا إن أجهزة الحماية كانت من نوع المرحلات المسافية Distance relay ففي هذه الحالة و طبقا لأساسيات عمل هذا الجهاز فسيمكنه تحديد مسافة العطل و من ثم يمكنه تحديد منطقة العطل و هل هي بين المحطة A&B أو هي بين C&D إلى أخره و بناءا على معلومات منطقة العطل فسيمكن الجهاز تحديد زمن الفصل المناسب بل أكثر من ذلك انه يمكنه ان يحدد زمن الفصل المناسب لأعطال خارج منطقة الحماية الرئيسية له ، بمعنى إن يفصل بعد زمن تأخير مناسب طبقا لقواعد التنسيق بين الأجهزة .

فجهاز الحماية R1 الموجود في المحطة A على سبيل المثال يعمل كحماية أساسية ضد الأعطال في المنطقة بين A&B لكنه في نفس الوقت يعمل كحماية احتياطية في حالة كون الأعطال خارج هذه المنطقة و من هذا المثال يتبين أن لجهاز الحماية المسافية Distance relay ميزة أخرى خلاف قدرته على تحديد مكان العطل و هي انه يعمل كحماية أساسية واحتياطية في نفس الوقت

9.3 حمـــاية مـــكونات المحـــطات الفرعيــة: -

تتكون المحطات التحويلية من جزأين رئيسين هما

- المـحولات Transformers
- قضبان التجميع والتوزيع Bus bar

1.9.3 اولا حماية محولات القدرة power transformers protection: -

كلما زادت أهمية العنصر في منظومة القوى الكهربائية زاد الاهتمام بحمايته من تأثير الأعطال التي يمكن إن يتعرض لها.

المحولات تعتبر من أكثر العناصر انتشاراً فى الشبكة و لذا يجب فهم خصائصها جيدا و تفهم الطرق المتنوعة لحمايتها و تتفاوت اساليب الحماية المتبعة في المحولات تبعا لمستوى القدرة فى كل محول ففى المحولات الصغيرة ربما نكتفى فقط باستخدام الفيوز كحماية رئيسية لها بينما تتعدد مستويات الحماية الى اكثر من خمسة انواع فى المحولات الكبيرة منها الحماية التفاضلية ، زيادة التيار و العطل الارضي و غيرها .

1- الأعطال في المحول

تتنوع الاعطال فى المحول فبعضها نادر مثل phase to phase و مثلاً الاعطال بين لفات الوجه الواحد phase التى تسمى interturn fault وهذه النوعية من الاعطال تكون نادرة فى المحولات المستخدمة فى الجهود المنخفضة بينما يزداد وجودها فى حالة المحولات التى تتصل بخطوط النقل ذات الجهد العالى بسبب تعرض لفات المحول خاصة النهائية للجهد النبضي impulse voltage ذات القيمه العالية جدا مقارنة بالجهد المقنن rated voltage للمحول .

وبعض الاعطال يمكن ان تحدث فى القلب الحديدى core fault وذلك نتيجة مرور التيارات الدوامية Eddy current العالية التى تسبب سخونة فى القلب الحديدى خاصة عند مسامير الربط وهذه الاعطال خاصة فى

المحولات الزيتية ، تسبب سخونة فى الزيت وتحللة وهذا مايسهل اكتشاف هذا العطل من خلال bochholz relay .

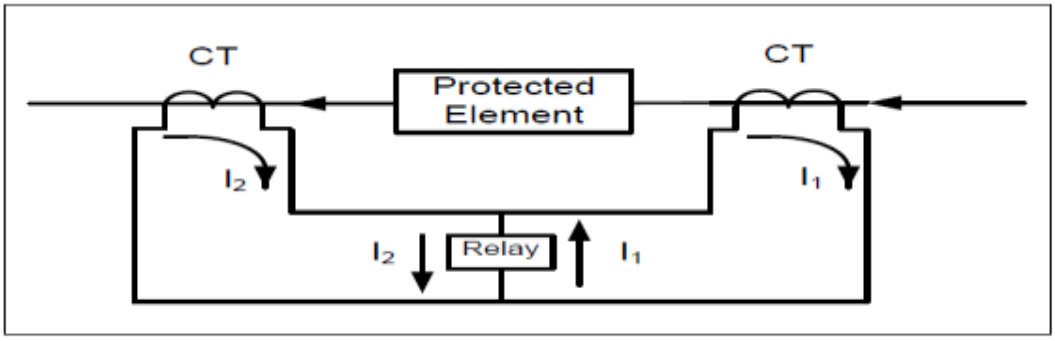
2- الحماية التفاضلية Differential protection

هى الحماية التى تتميز بالقدره على التمييز بين الاعطال داخل منطقة الحماية وخارجها ، وتعرف بوقاية الوحدة Unity protection لانها قابلة على حماية وحدة واحدة من الشبكة .

وفى كل الاحوال فان الحماية التفاضلية Differential relay لن يعمل الا اذا كان العطل داخل العنصر المراد حمايته فقط .

3- المبادئ الاساسية للحماية التفاضلية

الفكرة الأساسية لهذا النوع من الحماية تنبني على ان التيار الداخل على جهاز الحماية هو الفرق بين التيار الداخل للعنصر المراد حمايته والتيار الخارج من نفس العنصر $(I1 - I2)$ ويسمى هذا التيار differential current ففي الظروف الطبيعية بدون اعطال لا بد بان يكون $(I1 = I2)$ و بالتالي فان التيار الداخل الى جهاز الوقاية يساوى صفر اما في حالة وجود عطل داخل العنصر المراد حمايته فان تيار الدخل حتما سيختلف عن تيار الخرج و يحدث فرق يسبب تشغيل جهاز الحماية .وحدود المنطقة المحمية protective zone تتحدد بمحولي التيار ونلاحظ ايضا ان الجهاز لا يتأثر بالأعطال الخارجية external faults و من هنا جاءت تسميته بحماية الوحدة unity protection .



شكل 3-8 مبادئ الوقاية التفاضلية

4- المشاكل العلمية التى تواجه الحماية التفاضلية

اولى هذه المشاكل ان تيار الدخل يختلف فعلا عن تيار الخرج حتى فى الظروف الطبيعية و لا يساوى صفر و ذلك لعدة اسباب :

عدم تماثل محولى التيار فحتى لو كانا من شركة واحدة فيظل بينهما فروق تجعل التيار فى الجانب الثانوى لكل منهما مختلف عن الاخر حتى لو كان التيار الابتدائى متساويا تماما و هذا يعزى احيانا لعيوب التصنيع .

وجود مكثفات شاردة فى العنصر المراد حمايته stray capacitance قد تكون بسبب الكابلات او العوازل للعنصر المراد حمايته و هذه المكثفات يتسرب من خلالها جزء من تيار الدخول الى الارض مما يترتب عليه اختلاف تيار الدخول عن تيار الخروج حتى لو فرضنا ان محولى التيار متماثلين تماما .

فى حالة حدوث عطل خارجى فهنالك احتمال ان يحدث تشتبع saturation لاحد محولى التيار مما يترتب عليه انخفاض قيمة التيار الذى يقراه المحول بدرجة كبيرة رغم ارتفاع التيار فى جانبة الابتدائى و لهذا فسيحدث فرق كبير بين تيارى الدخل و الخرج و يترتب عليه حدوث فصل خاطئ .

5- معالجات مشاكل الحماية التفاضلية

و لعلاج هذه المشاكل تم استخدام biased\percentage differential relay . وقد تم اجراء بعض التعديلات على الفكرة المبسطة المذكورة سابقا في (الشكل 3-8) لتصبح فى صورة معدلة كما هو موضح فى

الشكل (3-9) . وبعد اجراء التعديل على الحماية التفاضلية نجد ان جهاز الحماية يمر فيه عدة تيارات مختلفة الاول هو Differential current و يساوى I_1-I_2 و يسمى تيار التشغيل Operating current و يمر فى ملفات التشغيل Operating coil و لكن الجديد الان ان العزم الناتج عن هذا التيار سيجد عزما مقاوما restraining torque ناشئا من تيارين اخرين منفردين كل منهما يساوى

$N * \frac{(I1+I2)}{2}$ حيث Nملفات ملف المقاومة Restraining coil و يسمى هذا التيار mean through current و سينتج عزما مقاوما يتناسب مع قيمة هذا التيار .فاذا تغلب عزم التشغيل عن عزم المقاومة فسيقوم الجهاز بفصل الدائرة و العكس بالعكس و عادة يكون عدد لفات ملف المقاومة اقل من عدد لفات ملف التشغيل.

استخدام الحماية التفاضلية لحماية المحولات

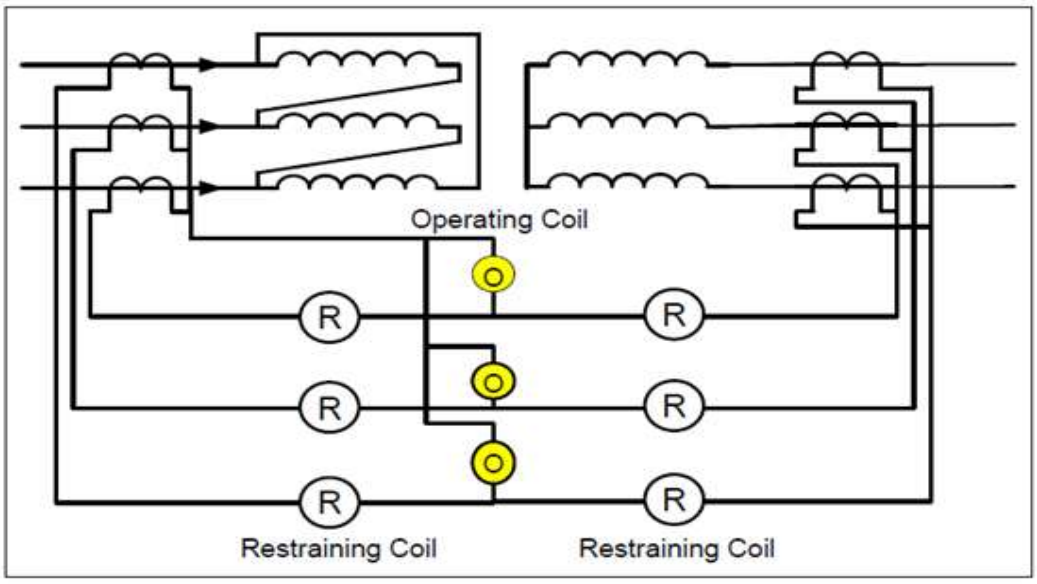
عند استخدا المرحلات التفاضلية Differential Relay لحماية محولات القدرة تظهر عدة مشاكل بلأضافة الي المشاكل التي ذكرنها عندما تحدثنا عن الحماية التفاضلية سابقا وهذه المشاكل يمكن ان نلخصها كلاتي :

وجود فروق طبيعية بين التيار الداخل و الخارج الى المحول نتيجة اختلاف عدد لفات الملف الابتدائى عن الثانوى و هذه المشكلة يمكن حلها باستخدام قيم مختلفة لCTR فى الابتدائى عنه فى الثانوى .

بعض المحولات تكون مزودة بما يسمى بمغير النسبة Tap changer و غالبا ما يكون من النوع الذى يستخدم اثناء وجود المحول فى الخدمة On load tap changer مما يترتب عليه تغيير قيمة تيار الجانب المزود بالTap chager دون حدوث تغيير فى الجانب الاخر و هذا اذا لم يؤخذ فى الاعتبار فانه يمكن ان يسبب فصلا خاطئا و هو يعالج باختيار ميل slope مناسب لتجنب اكبر خطأ متوقع .

و هنالك مشكلة ثالثة تتعلق بطريقة توصيل المحولات الثلاثية و هى مثلا (استار – استار) او(دلتا – استار) او (استار – دلتا) ا و (دلتا – دلتا) لكل طريقة من هذه الطرق التى وتنشا علاقة بين التيار الابتدائى و الثانوى مختلفة فى القيمة و الاتجاه عن الطرق الاخرى و هذه الازاحه في الوجه phase shift يمكن تجاوز تاثيره

بتوصيل محولات قياس التيار (CT) فى الجانب STARعلى شكل دلتا و العكس بالعكس و هذه القاعدة هامة و ضرورية فى توصيل حماية المحولات .



شكل 3-9 يوضح توصيل المحولات الثلاثية

و من المعروف إن التوصيل على شكل دلتا يمنع مرور التيارات الصفرية Zero sequence current و لذلك فان التوصيل بهذه الطريقة محول القوى موصل على شكل دلتا استار ،و محولات التيار توصل ستار دلتا يفيد أيضا فى منع ظهور التيارات الدوامية zero sequence current فى كلا الجانبين ; لان توصيلة الدلتا الموجودة فى كل جانب ستقوم بهذه المهمة سواء ان كانت توصيلة الدلتا الخاصة بالمحول نفسه او توصيلة الدلتا الخاصة بمحولات التيار .

ومن المعروف أيضا أن Zero sequence current تدور داخل الدلتا و لا تنتقل الى الجانب الأخر ، وبالتالي فالتيار الواصل لجهاز الوقاية ألان يخلو من هذه التيارات وهذا يعنى ان جهازالحماية لن يتأثر حماية المحولات باستخدام over current protection بالأعطال الخارجية الأرضية التى تتميز عادة بقيمة عالية من هذه التيارات

تجدر الاشارة الى ان هنالك ملف ثالث فى اغلب المحولات يسمى tertiary winding وهو يعتبر ملفا ثالثا فى المحول بالاضافة الى الملفات الابتدائية و الثانوية و يوصل دائما على شكل دلتا و يستخدم لمرور مركبة التيارات الصفرية zero sequence current فى حالة عدم اتزان الأحمال على المحول .

و تختلف قيمة القدرة فى هذا الملف عن الملفين الرئيسين ، و فى كثير من الأحيان تكون قدرته ثلث قدرة الملفات الاخرى و فى احيان كثيرة لا يتم استخدام هذا الملف لانتاج القدرة و لكن لمرور مركبة التيارات الصفرية فقط

هنالك اعطال لا تكتشفها الوقاية التفاضلية مثل الاعطال الخارجية او الاحمال الزائدة over load التى تسبب سخونة فى المحول فمثل هذه النوعية من الاعطال لا تكتشف الاباستخدام over current relay . كما ان بعض الاعطال الخطيرة جدا يكون instantaneous oc relay الاسرع فى فصلها .و تجدر الاشارة الى ضرورة مراعاة زمن الفصل للمرحلة oc relay الذى يركب فى جانب الجهد العالي HV SIDE عن المرحلة OC الموجود فى جانب الجهد المنخفض LV و الذى يجب ان يكون هو الاسرع . لكن يجب التاكد من عدم تاثير هذا المرحلة relay OC لتيارات الاندفاع inrush current .

6- الحمايـــة الأرضية للمحول Earth Fault protection

فى حالة تاريض المحول خلال مقاومة عالية فان استخدام مرحلة زيادة التيار Over Current العادى او استخدام مرحلة الحماية من العطل الارضي Earth Fault العادى لان تيار العطل غالبا ما يكون منخفض وفى مثل هذه الحالات يلزم استخدام وقاية ضد الاعطال الارضية تكون اكثر حساسية هـ وهى ما تعرف ب Restricted earth fault protection و الميزة الأساسية لهذه الطريقة مقارنة بطرق الحماية من العطل الارضي EF protection التقليدية هى انه فى هذه الطريقة لا يعمل الجهاز الا اذا وقع العطل داخل المنطقة المحمية والتى تحدد حدودها مواقع ال CTs .

التراكم الحرارى داخل المحول :

نظرا لأن محولات القوة يمر خلالها تيارات عالية جدا فى الملفات الابتدائية و الثانوية فى الظروف الطبيعية ، و هذه التيارات ينتج عنها حرارة عالية فى الملفات فان هذه الحرارة لا بد من طردها اولا باول حتى لا تتراكم داخل المحول وتتسبب فى انهيار العوازل لهذه الملفات و لذا فان من اهم اساسيات تصميم اى محول هو تصميم نظام التبريد و هنالك عدة انظمة للتبريد فى المحولات حسب حجم المحول فمنها

- التبريد الطبيعى بالهواء
- التبريد بالهواء المدفوع
- التبريد الطبيعى بالزيت
- التبريد بالزيت المدفوع

وفى الاحوال الطبيعية فى المحولات الكبيرة تكون هنالك مضختان تضخان الزيت داخل المحول و تجعله يدور بقوة داخلة فى دائرة مغلقة ليحمل الحرارة من الملفات الداخلية ثم يخرج الى مبردات امامها مراوح هوائية لطرد هذه الحرارة فى الجو و يرجع الزيت داخل دائرته المغلقة و قد تخلص من الحرارة التى حمل بها .

الوظيفة الاساسية للزيت فى المحول هى العزل و التبريد و يوجد فى كل محول خزان زيت رئيسى يغمر به الملفات الابتدائية و الثانوية للمحول كما يوجد خزان تعويضى مركب على الخزان الرئيسى و يتصل بالخزان الرئيسى عن طريق انبوب و يتميز بوجود وحدة تنفيس تسمى خزان التمدد و هو يحافظ على جعل الخزان الرئيسى مملؤ بالزيت فى جميع الاوقات مما يتيح فرصة التمدد و الانكماش نتيجة مرور تيار عالى .

7- استخدام البوخلز Buchholz Relay

ونظرا لاهمية الحفاظ على كمية الزيت بالمحول بدون نقص فقد زودت جميع المحولات الزيتية فى المسافة بين خزان الزيت التعويضى و بين المحول نفسه بجهاز يسمى بالبوخلز Buchholz Relay عموما انه فى هو من اقل عناصر منظومة القوى الكهربائية حالة الاعطال SC فان تيارا عاليا سيمر خلال ملفات المحول و يتسبب فى ارتفاع كبير فى درجة حرارة الزيت فاذا استمر هذا العطل مدة طويلة دون ان يتم فصله بواسطة نظام الحماية الخاصة بالمحول (التى تعتمد على الاشارات الكهرابائية كما هو الحالى فىDifferential-O C-EF) ان درجة حرارة المحول سترتفع بشدة و قد يتسبب ذلك فى انفجار المحول و لذا فقد تم اضافة نوع اخر من اجهزة الوقاية الى المحولات .

2.9.3 قضبان التجميع والتوزيع (Bus bar(BB :-

تعرضا لوقوع اعطال عليه لكنه فى نفس الوقت يعتبر الاخطر بين كافة اجزاء المنظومة لانه عند حدوث عطل او خطأ ما عليه فان الحل الوحيد امام الوقاية الخاصة به هو فصل جميع مصادر التغذية الداخلة عليه و كذلك فصل جميع الاحمال الخارجة منه و بالتالى فهو فعلا الاكثر حساسية فى منظومة الحماية ، و من هنا يجب توخى الحذر الشديد قبل اصدار قرار بتشغيل وقاية BB . مع ملاحظة ان تخصيص اجهزة الحماية للBB لا يتم سوى فى الانظمة الكبيرة فقط بينما يكتفى بالوقاية الاحتياطية لبقية عناصر منظومة القوى للعمل كوقاية للBB .

علما بان عدم اكتشاف اعطال الBB لا يتسبب فقط فى خسارة الBB لكنه يتسبب فى احتراق المحطة بالكامل ، لان كافة عناصر المحطة مرتبطة بدرجة ما بالBB .

10.3 اسباب الاعطال :-

تتنوع اعطال القضبان فمن واقع المحطة يتبين ان احد هذه الاسباب عمليا هو سقوط شئ غريب على هذه القضبان مما يتسبب فى حدوث قصر بينها (SC) و غالبا ما يكون ذلك فى المنظومات الصغيرة نسبيا ، او

يكون السبب احيانا هو نسيان مفتاح التاريض مغلقا بعد الانتهاء من اعمال الصيانة او بسبب حدوث CB failure او حدوث انهيار فى محولات التيار .

فيلاحظ ان اعطال القضبان تتميز بانها من النوع الدائم و ليست اعطال عابرة و هذا مما يضيف بعدا اخر لخطورة هذه الاعطال . و يترتب ايضا على هذه الملاحظة ان انظمة وقاية القضبان يلزم ان تفصل القواطع CBs ثم تجعلها locked بعد فصلها لانه لا يوجد احتمال ان يكون العطل من النوع العابر transient fault

خطورة القصر فى القضبان BB

لابد من الاجابة على الاجابة على سؤال هام ماهى توابع الاعطال فى القضبان و ما مدى خطورتها ؟و الواقع ان عطلا على القضبان BB يمكن ان يتسبب فى تدمير المحطة بالكامل اذا لم يتم فصله بسرعة ، معلوم ان سلكين يحملان تيار شدته اbالامبير و بينهما مسافة(S) بالمليمتر فانه تنشا بينهما قوة مغناطيسية (F) تتناسب طرديا مع مربع التيار المار فيهما كما تتناسب عكسيا مع المسافة بينهما حسب المعادلة التالية

$$Fmax = 2\frac{I^2}{S} \times 10^{-4}\ N.m \qquad \text{.....(3.4)}$$

وتتوقف قيمة هذه القوى فى حالة النظام الثلاثي three phase system

حسب الphase الذى حدث عليه العطل ،و هل هو على الطرف الخارجى ام فى المنتصف .و عند حدوث عطل مسببا تيار عاليا فان القوى المغنايسية بين القضبان يمكن ان تتسبب (خلع) القضبان من مسامير تثبيتها فى Switchgear مما قد ينشا عنه خسائر كبيرة فى المحطة و قد تشمل حتى الافراد الموجودين بالموقع بالقر من القضبان BB .

الاساليب المستخدمة فى حماية القضبان BB

تتعدد الطرق المستخدمة فى حماية القضبان طبقا لنوع القضيب و درجة التعقيد فى تصميمه و درجة اهميته لكن فى كل الاحوال يجب ان تتميز حماية القضبان عموما باعتمادية عالية high reliability و قدر عالية

على تمييز الاعطال discrimination و السرعة ، نوع التاكد من فصل الحد الادنى من الدوائر دون التوسع فى الفصل خشية خروج المحطة بالكامل من الخدمة .

(أ)- الطريقة الاولي الحماية باستخدام زمن تاخير

من ابسط الطرق المستخدمة فى حماية القضبان و تعرف هذه الطريقة remote time delay protection حيث يتم حماية كل خط خارج من القضبان بواسطى OVERCURRENT RELAY بالاضافة الى حماية احتياطية للجميع و هذه الاخيرة تعتبر حماية رئيسية بالنسبة لقضبان.

فى حالة حدوث عطل على احد المغذيات الخارجة من القضيب فان جهاز OC الخاص بهذا المغذى يرسل اشارة منع BLOCK لجهاز الOC الخاص بالقضيب BB . و بالطبع يلزم وجود فارق زمنى معقول بين مجموعة OC الخاصة بالمغذيات وبين OC الخاصة بالقضبان.

(ب)- الطريقة الثانية Differential overcurrent

بستثناء الطريقة الاولى السابقة فان اغلب الطرق التالية تعتمد على تطبيق قانون Kirchhoff current KCL law

لكن من عيوب هذه الطريقة ان احتمالية حدوث saturation فى محول التيار الرئيسى هو احتمال كبير مما يعنى انه قد يتسبب فى تشغيل خاطئ لحماية القضيب .

(ج)- الطريقة الثالثة Frame leakage protraction

وهي من الطرق البسيطة والاقتصادية تعتمد فكرتها علي الاستفاده من القضبان الموجود داخل Switchgear frame وعند حدوث عطال ارضي علي القضبان فان تيار العطل سيتسرب خلال هذا الحوامل Frame الي الارض ، وبالتالى فان وضعنا جهاز حماية من النوع المرحلات من العطل الارضي Earthfault relay .

يعيب هذه الطريقة انها لاتميز بين الاعطال على الاجزاء sectionsالمختلفة للقضيب اذا كانت هذه الاجزاء sectionsالموجودة داخل frame واحد يجمعها ، ويجب في هذه الطريقة مراعاة الا يحدث تماس بين مسامير ربط frame مع حديد تسليح القاعده الخرسانية التي سيوضع عليها والا فسترتفع قيمة التيار المتسرب في الظروف الطبيعية . هذه الطريقة لاتصلح الا لاكتشاف الاعطال الارضية فقط .

(د)- الطريقة الرابعة Directional comparison scheme

هذه الطريقة تعتمد علي انه في الظروف الطبيعة فان اتجاه التيار في كافة الخطوط الخارجة من اي BB يكون موحدا في اتجاه الخاروج في حدوث عطل خارجي فسيظل الاتجاه دون تغير علي الاقل في الخط الذي وقع علية العطل ولكن عند حدوث عطل علي القضبان BB فان اتجاه التيار سينعكس الي الداخل في جميع الخطوط ويستفاد من هذه الحقيقة في عمل نظام الحماية الذي يوضح ان اشارة الفصل لقضيب BB لن تصدر الا اذا انعكس التيار في كافة الخطوط بلا استثناء.

11.3 الحماية ضد الصواعق: -

1.11.3 ظاهرة الصاعقة الكهربائية: -

عبارة عن تفريغ هائل للشحنات من سحابة الي اخرى مجاورة او من سحابة للأرض وتكون المسافة بين السحابتين او السحابة والأرض كبيرة جدا وتكون الشحنات الموجبة اعلى السحابة والشحنات السالبة اسفل السحابة وبينهما طبقة من الثلج والشحنة داخل السحابة من 1 حتى 100 كولوم وقد يصل الجهد الى 10^7او10^8 فولت وتدرج الجهد قد يصل الى 10 كيلوفولت /سم وطبقا لنظرية سمسون عندما تكون سرعة الريح 800 سم / ثانية تنتشر الشحنات الموجبة داخل السحابة ويلقى بالشحنات السالبة فى الهواء .

2.11.3 خصائص تيار الصواعق الرعدية: -

يوضح الشكل ادناه التيار للموجات الدفعية على خطوط النقل الكهربائية ويوضح الشكل ان التيار يزداد في زمن قصير جدا 100 ميكروثانية ثم يقل تدريجيا حتى يصل للصفر فى زمن اطول نسبيا وتسمى الموجة التى يرتفع فيها التيار الي قيمته القصوى موجة الامام او Front Wave أما الموجة التي ينخفض فيها التيار تدريجيا الى الصفر فتسمى موجة الذيل (Tail Wave) وتأخذ وقتا اطول وهى المسوؤل عن انهيار المعدات الكهربائية .

3.11.3 حماية خطوط النقل من الصواعق: -

يتم حماية خطوط النقل من الصواعق بالطرق الآتية :-

1- الحماية باستخدام سلك الارضى

هو موصل كهربائى يصنع من الصلب المجلفن موجودا اعلى الابراج الكهربائيه وهذا الموصل يعمل على حماية خط النقل من الشحنات المتولدة من السحب وكذلك من تفريغ الصواعق الرعدية

2- الحماية باستخدام القضبان الأرضية

هى قضبان من الحديد المجلفن او النحاس وتكون مدفونة فى الارض وموصلة بقائم البرج ويعتمد عدد القضبان وعمق الدفن على القيمة المطلوبة للمقاومة الارضية ويكون قطرها حوالى 15 ملم وتتراوح طولها بين 2.5 و3.5 فى الارض .

4.11.3 مانعات الصواعق :-

هي أجهزه تستخدم في المحطات التحويلية عند بداية ونهاية الخط لتفريغ الجهود الزائدة للصواعق الرعدية والجهود الدفعية إثناء عمليات الفصل والتوصيل للقواطع الكهربائية ، ومانعات الصواعق لها جهد انهيار سطحي اقل من أي عازل او الأجهزة الموجودة بالمحطات الكهربائية ، والفكرة الأساسية التي تبنى عليها مانعات الصواعق هي وجود أقراص مصنعة من عناصر ذات مقاومه غير خطية تكون عازلة تماما عند قيم الجهود

العادية للخط ولكن عند وجود تفريغ صاعقة على الخط تحول هذه العناصر إلي مواد موصلة تماما حتى يتم تفريغ الشحنة الزائدة الى الارضى ثم ترجع الى طبيعتها الأصلية.

الباب الرابع

حسابات خطوط النقل

1.4 حسابات خط النقل (1) مشكور – المناقل :-

مقدمة :-

من خلال زيارتنا للمحطة وجدنا أن السعة الحالية للمحطة تبلغ 70 MVA وتحتوي علي محولين سعة كل منهما 35 MVA

تُغذى المحطة بخط ذو دائرة مفردة (single circuit) بجهد 110 KV من محطة مارنجان التحويلية ويبلغ طول الخط 65.3 كيلو متر. وخرج المحطة عبارة مستويين من الجهد ،

- المستوي الأول يتكون من أربعه مغذيات بجهد 33 KV
- المستوي الثاني يتكون من أربعة مغذيات بجهد 11 KV

تبلغ إجمالي القدرة المسحوبة حاليا من المحطة 67.3 MVA مقارنة بالسعة الكلية للمحطة مما يعني أن المحطة ستكون عاجزة على تلبية احتياجات التوسع السكني والصناعي المتزايد في المنطقة.

لذلك قمنا بعمل هذا المشروع والذي يهدف إلى حل هذه المشاكل حيث قمنا بعمل دراسة لربط محطة المناقل بمحطة اخرى بهدف تحقيق الربط الدائري مما يساهم في استقرارية تغذية المحطة

وبعد دراسة المحطات المجاورة لمحطة المناقل التحويلية وجدنا انه من الافضل ان يتم ربطها بمحطة مشكور التحويلية التي تبعد عنها مسافة 80 كيلومتر وهي الاقرب لمحطة المناقل التحويلية.

وكذلك قمنا بدراسة اضافة محولين بسعة 2*150 MVA لتحقيق الربط بين خط 220 KV من مشكور وخط 110KV من مارنجان . وكذلك زيادة سعة محولات التوزيع للمحطة إلى 2×50 MVA اضافة الى تصميم نظام حماية للمحطة ونظام حماية لخطي النقل

يبلغ الطول الكلي لخط النقل (مشكور – المناقل) 80 كيلو متر

لذلك يعتبر خط نقل من النوع المتوسط Medium Transmission Line

1.1.4 اختيار جهد الخط (Choice of Voltage) :-

$$KV = 5.5 \times \sqrt{\frac{km}{1.6} + \frac{kw}{100}} \qquad \text{.....(1.4)}$$

$$KV = 5.5 \times \sqrt{\frac{80}{1.6} + \frac{150 \times 0.85 \times 10^3}{100}} \qquad \text{.....(2.4)}$$

$$KV = 200.2 \cong 220 \qquad \text{.....(4.3)}$$

2.1.4 اختيار الموصل المناسب (Selection of Conductor) :-

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \times VL \times Cos\theta} \quad or, I = \frac{S}{\sqrt{3} \times V} \qquad \text{.....(4.4)}$$

$$\text{.....(5.4)}$$

$$I = \frac{150 \times 10^6}{\sqrt{3} \times 220 \times 10^3} = 393.65\ A$$

3.1.4 بيانات الموصل (Conductor data) :-

نوع الموصل (ACSR125/30) Aluminum Conductor Steel Reinforced

قطر الموصل (Diameter)= 16.1 ملم

مقاومة الموصل (Dc resistance) لكل كيلومتر عند درجة حرارة $20^{\circ}C$ = 0.2259 Ω/km

مقاومة الموصل لكل كيلومتر عند درجة حرارة 50 درجة مئوية تحسب بالعلاقة التالية :

$$R50 = R20\{1 + \alpha(T1 - T2)\} \qquad \text{.....(6.4)}$$

$$R50 = (0.2259) \times \{1 + 0.00403(50 - 20)\}$$

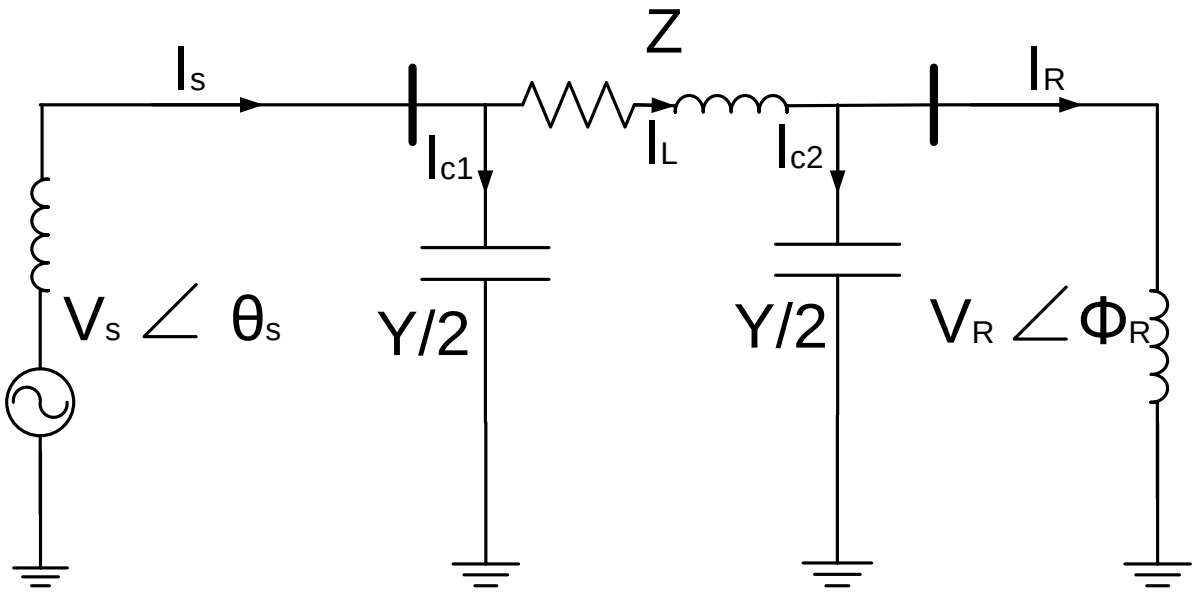
$$R50 = 0.2532\ \Omega/km$$

.....(7.4)

Sub−conductor distance 0.4m .....(8.4)

المقاومة الكلية للموصل = المقاومة لكل كيلومتر * الطول الكلي للخط

$R_{Total}=0.2532\times80=20.2569\ \Omega$



شكل 4-1 تمثيل خط النقل (1) وفق Single line diagram

4.1.4 حساب محاثة الخط (1) Line Inductance :-

$$L = (\mu o/2\pi)\times\{\frac{\ln(Dm\times Dm1)}{rB\times Dm1}+\frac{1}{4n}\} \quad .....(9.4)$$

$$Dm = \sqrt[3]{Dry\times Dyb\times Drb} \quad .....(10.4)$$

$$Dm1 = \sqrt[3]{DrR\times DyY\times DbB} \quad .....(11.4)$$

$$Dm2 = \sqrt[3]{DRy\times DYb\times DRb}$$

$$rB = GMR = n\sqrt{n\times r\times ro\hat{}(n-1)} \quad .....(12.4)$$

$$ro = \frac{s}{2\sin(\pi/n)}$$

Dm, Dm1, Dm2 = Geometric Main Distance (GMD)

rB = Bundle Conductor Equivalent Radius (GMR)

μo = Constant of Magnetic Field = $4\pi\times10^{-7}$ H/m

ro = radius of bundle circle (m)

n = number of sub-conductor

$$ro = \frac{0.4}{2\sin(\frac{\pi}{2})} = 0.2\text{m}$$

$$r = \frac{D}{2} = \frac{16.1 \div 2}{1000} = 0.00805\,\text{m}$$

$$rB = \sqrt{\{2 \times 0.00805 \times 0.2\}} = 0.056745\,\text{m}$$

$$Dm = \sqrt[3]{6.5 \times 6.5 \times 13} = 8.19\,\text{m}$$

$$Dm1 = \sqrt[3]{(10 \times 10 \times 10)} = 10\,\text{m}$$

$$Dm2 = \sqrt[3]{(11.9 \times 11.9 \times 16.4)} = 13.24\,\text{m}$$

$$L = 4\pi \times 10^{-7} \times \{\frac{\ln(8.19 \times 13.24)}{(0.056745 \times 10)} + 0.125\}$$

$$L = 1.0506 \times 10^{-6}\ \text{H/m}$$

$$L_{Total} = 1.0506 \times 10^{-6} \times 80 \times 1000 = 84\text{mH}$$

5.1.4 حساب مواسعة الخط (1) Line Capacitance :-

$$C = (2\pi \times Eo) \times \frac{\ln(Dm \times Dm2)}{(rB \times Dm1)},\ (\text{F/m}) \qquad \text{.....(13.4)}$$

$$Eo = \text{Dielectric Constant} = 8.85 \times 10^{-12}\ \text{F/m}$$

$$C = 2\pi \times 8.854 \times 10^{-12} \times \frac{\ln(8.19 \times 13.24)}{0.056745 \times 10}$$

$$C = 1.0591 \times 10^{-11}\ \text{F/m}$$

$$Ctotal = 1.0591 \times 10^{-11} \times 80 \times 1000 = 0.847\mu\,\text{F}$$

6.1.4 حساب المعاوقة الخصائصية للخط Zo (Surge Impedance) :-

$$Zo = \sqrt{\frac{L}{C}},\ (\Omega)$$

$$Zo = \sqrt{\frac{(1.0506 \times 10^{-6})}{(1.0591 \times 10^{-11})}} = 314.96\,\Omega$$

7.1.4 حسابات (سعة) قدرة الخط Surge Impedance Load (SIL) :-

$$SIL = \frac{V^2}{Zo},\ (Mw) \qquad \text{.....(14.4)}$$

$$SIL = \frac{220^2}{314.96} = 153.67\ Mw$$

8.1.4 الفقودات في الخط Line losses (1) :-

$$X_L = 2\pi \times 50 \times 0.084 = 26.4\Omega$$

$$S_R = 150 \times [0.85 + j\sin(A\cos(0.85))]$$

$$S_R = 127.5 + j79, S'_R = S_R + Q_C/2$$

$$Q_{XC} = V^2 \times 2\pi \times f \times C$$

$$Q_{XC} = 220^2 \times 2\pi \times 50 \times 0.847 \times 10^{-6} = 12.89 Mvar$$

$$I_L = \frac{S'_R}{V}$$

$$Q_{XL} = 3X_L \times I \times I, \quad Q_{XL} = 3 \times 26.4 \times [\frac{(127.5 + j66.575)}{(220)}]^2$$

$$Q_{XL} = 27.78 Mvar$$

$$P_{Loss} = 3R \times I \times I, \quad P_{Loss} = 3 \times 20.2569 \times [\frac{(127.5 + j66.575)}{(220)}]^2$$

$$P_{loss} = 14.46 MW$$

القدرة عند الإرسال

$$S' = S_R + \frac{Q_C}{2} = 127 + j(79 - 6.445)$$

$$S'' = S' + P_{LOSS} + Q_{XL}$$

$$S'' = 127.5 + 14.46 + j(66.575 + 27.78)$$

$$S_s = 141.96 + j(.94.355 - 6.445) = 166.97 \angle 31.77° MVA$$

9.1.4 كفاءة خط النقل :-

تعطى كفاءة خط النقل بالمعادلة التالية :

$$\xi = \frac{P_R}{P_S} \times 100\ \% \therefore \xi = \frac{127.5}{141.96} \times 100 = 89.81\%$$

60

10.1.4 الجهد عند الارسال Sending-end Voltage :-

$$V_S = V_R + Z \times I_R \quad Z = R + jX_L \quad I_S = I_R = I_L \quad Z = 10.1 + j19.56$$

$$V_S = 220000 + (20.2569 + j26.4) \times (393.65 - 29.27) = 227.6KV$$

11.1.4 معامل تنظيم الجهد Voltage Regulation :-

$$V.R = \frac{V_S - V_R}{V_R} \times 100\ \%$$

$$V.R = \frac{227.6 - 220}{220} \times 100 = 3.45\ \%$$

2.4 حسابات خط النقل (2) مارنجان - المناقل :-

يبلغ الطول الكلي لخط النقل (مارنجان – المناقل) 65.3 كيلو متر ، لذلك يعتبر خط نقل من النوع القصير

Short Transmission Line

1.2.4 اختيار جهد الخط (Choice of Voltage) :-

$$KV = 5.5 \times \sqrt{\frac{km}{1.6} + \frac{kw}{100}}$$

$$KV = 5.5 \times \sqrt{\frac{65.3}{1.6} + \frac{90 \times 0.85 \times 10^3}{100}}$$

$$KV = 156.64 \cong 110$$

2.2.4 اختيار الموصل المناسب (Selection of Conductor) :-

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \times VL \times Cos\theta} \quad \text{or}, I = \frac{S}{\sqrt{3} \times V}$$

$$I = \frac{90 \times 10^6}{\sqrt{3} \times 110 \times 10^3} = 472.38\ A$$

بيانات الموصل للخط (2) Conductor data

نوع الموصل (170/40 ACSR)

Aluminum Conductor Steel Reinforced

قطر الموصل (Diameter) = 18.9 ملم

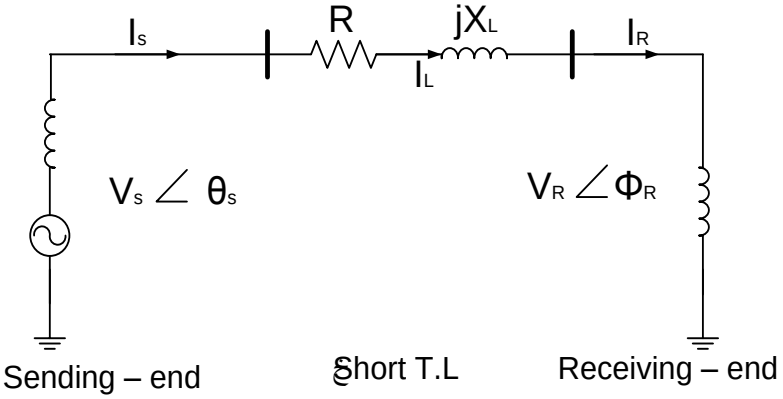
مقاومة الموصل (DC Resistance) لكل كيلومتر عند درجة حرارة $20C^{o}$ = 0.1682 Ω/km

مقاومة الموصل لكل كيلومتر عند درجة حرارة $50C^{o}$ تحسب بالعلاقة التالية :

$$R50 = R20\{1+\alpha\,(T1-T2)\}$$
$$R50 = (0.1682)\times\{1+0.00403(50-20)\}$$
$$R50 = 0.1885\,\Omega/km$$

المقاومة الكلية للموصل = المقاومة لكل كيلومتر × الطول الكلي للموصل

$$RTotal = 0.1885\times 65.3 = 12.3\Omega$$



شكل 4-2 تمثيل خط النقل (2) وفق Single line diagram

3.2.4 حساب محاثة الخط (2) (Line Inductance) :-

$$L = (\frac{\mu o}{2\pi}) \times \{\frac{\ln Dm \times Dm1}{r_B \times Dm1} + \frac{1}{4n}\}$$

$$ro = \frac{0.4}{2\sin(\pi/2)} = 0.2m$$

$$r = \frac{D}{2} = \frac{18.9/2}{1000} = 0.00945\,m$$

$$r_B = \sqrt{\{2 \times 0.00945 \times 0.2\}} = 0.0615\,m$$

$$D_m = \sqrt[3]{4.5 \times 4.5 \times 9} = 5.67\,m$$

$$D_{m1} = \sqrt[3]{(7 \times 7 \times 7)} = 7\,m$$

$$D_{m2} = \sqrt[3]{(8.32 \times 8.32 \times 11.4)} = 9.24\,m$$

$$L = 4\pi * 10^{-7} \times \{\frac{\ln(5.67 \times 9.24)}{(0.0615 \times 7)} + 0.125\}$$

$$L = 9.605 \times 10^{-7}\ H/m$$

$$L_{Total} = 9.605 \times 10^{-7} \times 1000 \times 65.3 = 62.7\,mH$$

3.2.4 الفقودات في الخط (2) Line losses :-

$$P_{loss} = 3 \times RI_L^2$$

$$P_{loss} = 3 \times 12.3 \times (472.38)^2 = 8.234MW$$

القدرة غير الفعالة المفقودة (Reactive) في الخط :-

$$X_L = 2 \times \pi \times f \times L = 2\pi \times 50 \times 0.0627 = 19.7\Omega$$

$$Q_{loss} = 3 \times X_L \times I^2$$

$$Q_{loss} = 3 \times 19.7 \times (472.83)^2 = 13.19M3.1$$

4.2.4 كفاءة خط النقل (2) مارنجان – المناقل :-

القدرة عند الإرسال

$$S_S = S_R + P_{LOSS} + Q_{LOSS}$$

$$S_R = 90 \times (0.85 + j\sin(A\cos 0.85))$$

$$S_R = 76.5 + j47.4$$

$$S_S = (76.5 + 8.234) + j(47.4 + 13.19)$$

$$S_S = 84.734 + j60.6 = 104.174 \angle 35.57°MVA$$

تعطى كفاءة خط النقل بالمعادلة التالية :

$$\xi = \frac{P_R}{P_S} \times 100\% \therefore \xi = \frac{76.5}{84.734} \times 100 = 90.28\%$$

5.2.4 الجهد عند الارسال Sending-end Voltage :-

$$V_S = V_R + Z \times I_R \quad Z = R + jX_L \quad Z = 10.1 + j19.56 \quad I_S = I_R = I_L$$

$$V_S = 110000 + (12.3 + j19.7) \times 472.38 = 115.8KV$$

6.2.4 معامل تنظيم الجهد Voltage Regulation :-

$$V.R = \frac{V_S - V_R}{V_R} \times 100\ \%$$

$$V.R = \frac{115.8 - 110}{110} \times 100 = 5.27\%$$

3.4 حسابات الحماية :-

1.3.4 حماية المغذيات :-

قمنا باستخدام الحماية باستخدام زمن تاخير حيث يتم حماية كل خط خارج من قضبان التوزيع BB بواسطة مرحلات زيادة التيار Overcurrent Relay بالاضافة الى حماية احتياطية للجميع وهذه الاخيرة تعتبر رئيسية بالنسبة لقضبان التوزيع.

اولا- يتم حساب التيار الطبيعي المار في المغذيات وقضبان التوزيع من خلال مخطط تدفق القدرة Power Flow

ثانيا – يتم اختيار محول التيار المناسب من خلال معرفة التيار الفعلي المار في الغذيات وقضبان التوزيع بعد ضربه في معامل الامان 1.2 لان هذا التيار يمثل التيار الذي سيمر في الجانب الاولي لملف محول التيار

ثالثا – يتم حساب تيار العطل تمهيدا لاختيار زمن الفصل المناسب

رابعا – يتم فرض Tms1=0.025s

خامسا – يتم حساب زمن الفصل المناسب اعتمادا على قيمة تار العطل والتيار الطبيعي عن طريق المعادلة التالية :

$$T = \frac{0.14 \times Tms}{(If / Is)^{0.02} - 1} \quad \text{.....(15.4)}$$

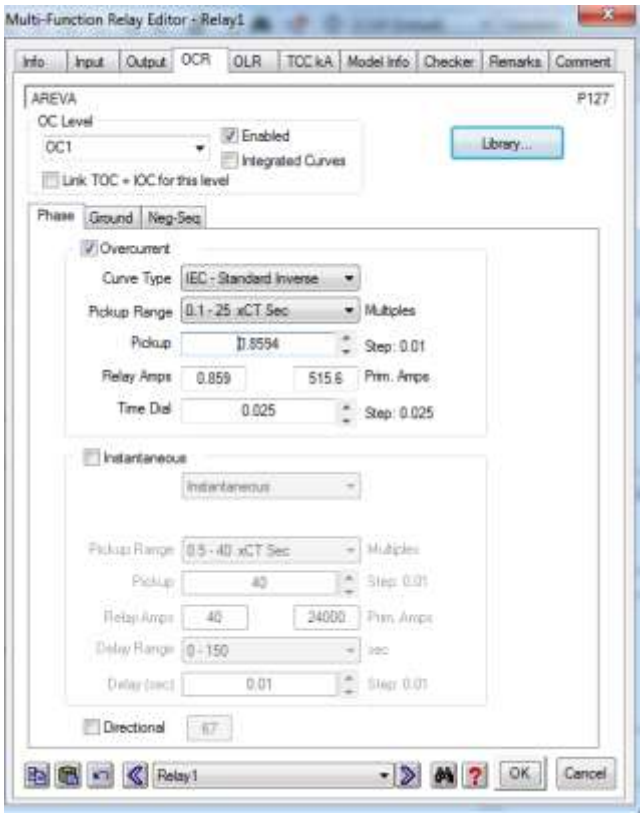
سادسا – يتم حساب قيمة Tms لاختيار المنحنى المناسب لزمن الفصل المطلوب

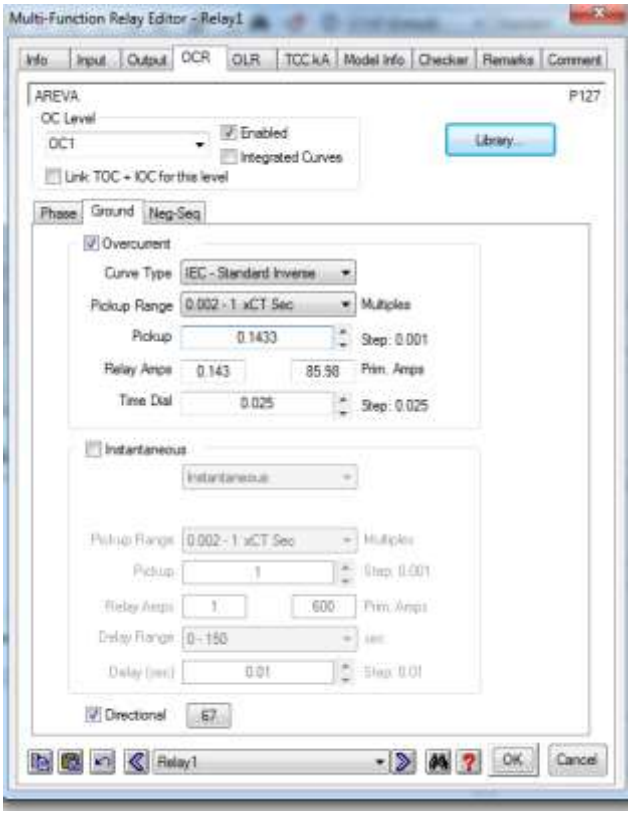
$$Tms = T \times \frac{[(If / Is)^{0.02} - 1]}{0.14} \quad \text{.....(16.4)}$$

جدول 4–1 يوضح حسابات الحماية لمحطة المناقل التحويلية

Relay Number	Actual Current (A)	Actual Current *1.2 (A)	CT Ratio	Fault Current (KA)	T	Tms Phase	Tms Ground
1	429.7	515.64	600/1	13.1	0.0625	0.025	0.025
2	375.2	450.24	600/1	12.51	0.0605	0.025	0.025
3	429.7	515.64	600/1	13.1	0.3625	0.0145	0.2447
4	375.2	450.24	600/1	12.51	0.3605	0.0149	0.2484
5	187.4	224.88	300/1	1.29	0.6625	0.05166	0.2262
6	161.8	194.16	300/1	1.24	0.6605	0.06175	0.2361
7	54.8	65.76	100/1	0.585	0.9625	0.016	0.2342
8	54.8	65.76	100/1	0.585	0.9605	0.016	0.9337
9	1.2	1.44	50/1	0.003	1.2625	0.3988	0.0844
10	1.2	1.44	50/1	0.003	1.26025	0.3982	0.0842

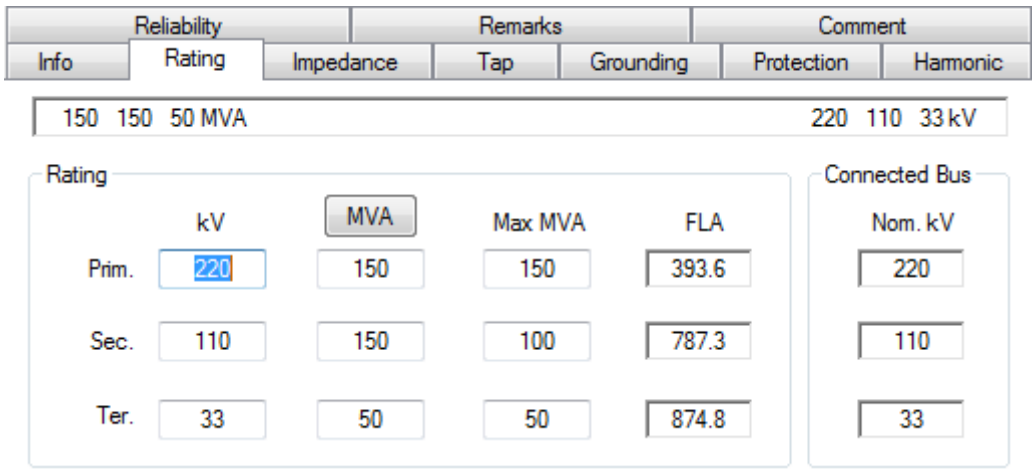
استخدمنا مرحل موديل P127 من انتاج شركة AREVA

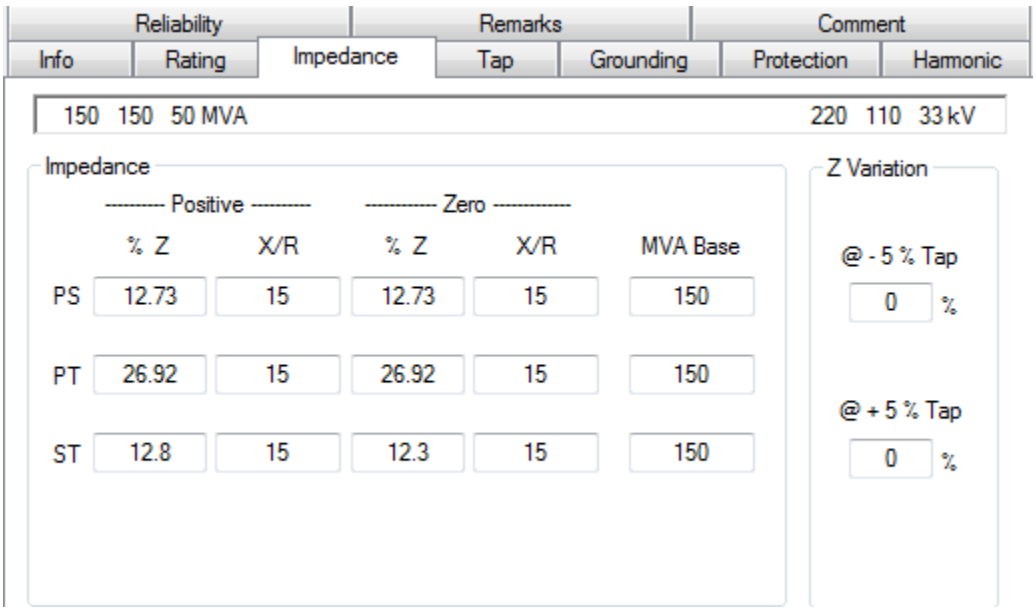




2.3.4 حماية المحولات :-

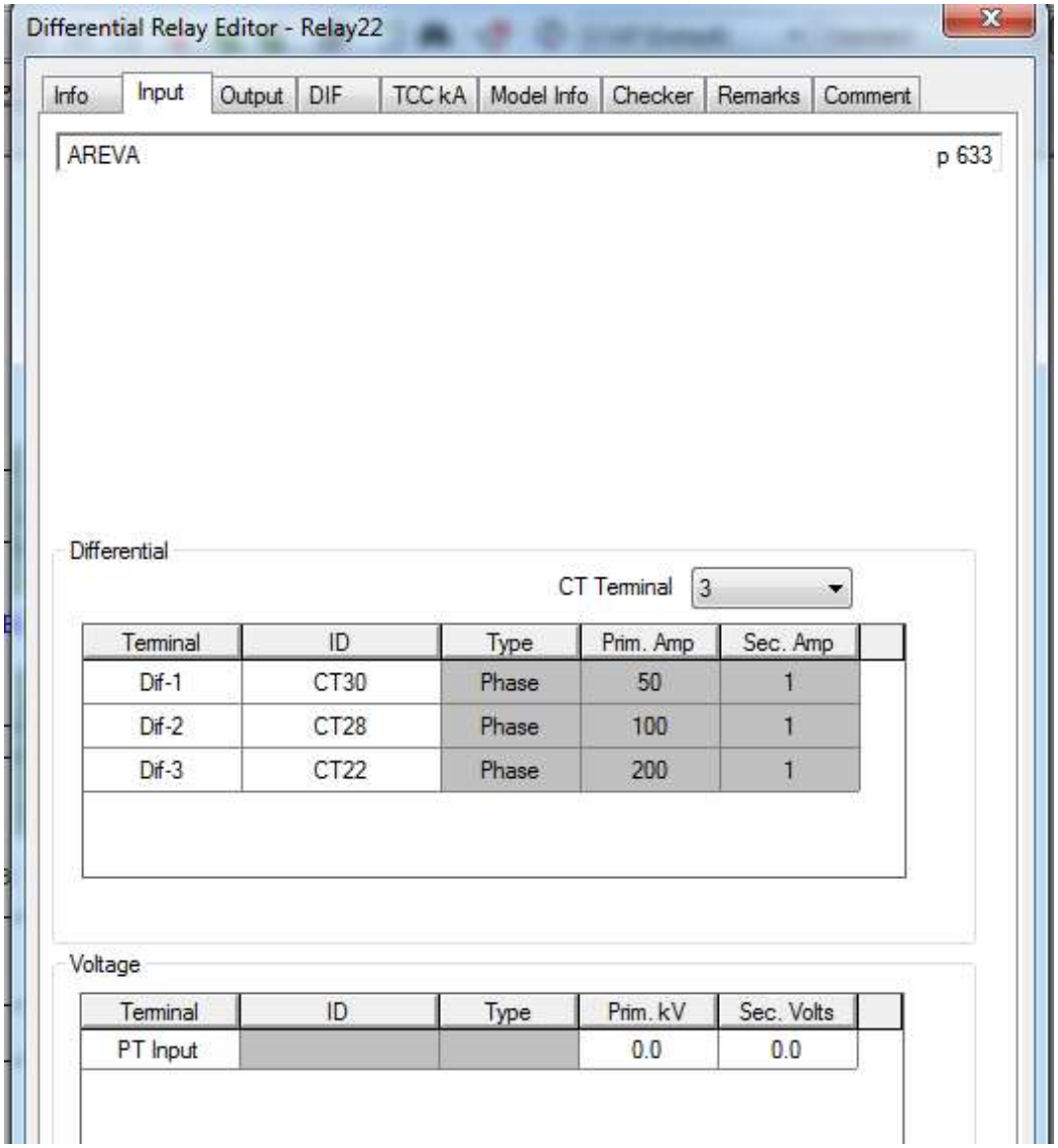
في محولات القدرة الخاصة بالربط الدائري قمنا باستخدام محولين Three Winding Transformer 33/110/220Kv بسعة 150 MVA





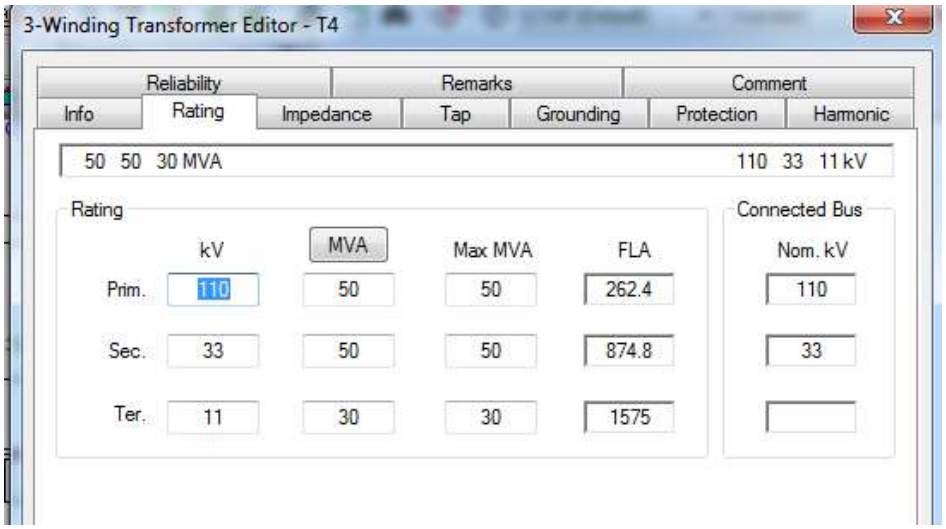
مخطط (1) يوضح بيانات محولات القدرة المستخدمة

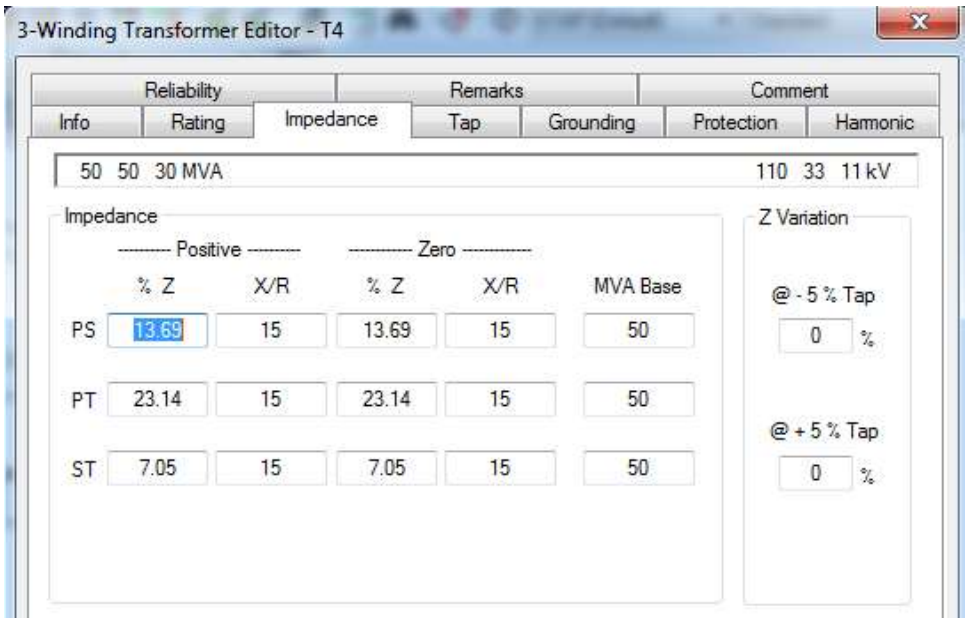
لحماية المحولات قمنا باستخدام نظام الحماية التفاضلية وكذلك قمنا باستخدام مرحلات الوقاية التفاضلية موديل P633 من انتاج شركة AREVA كما موضح بالشكل ادناه



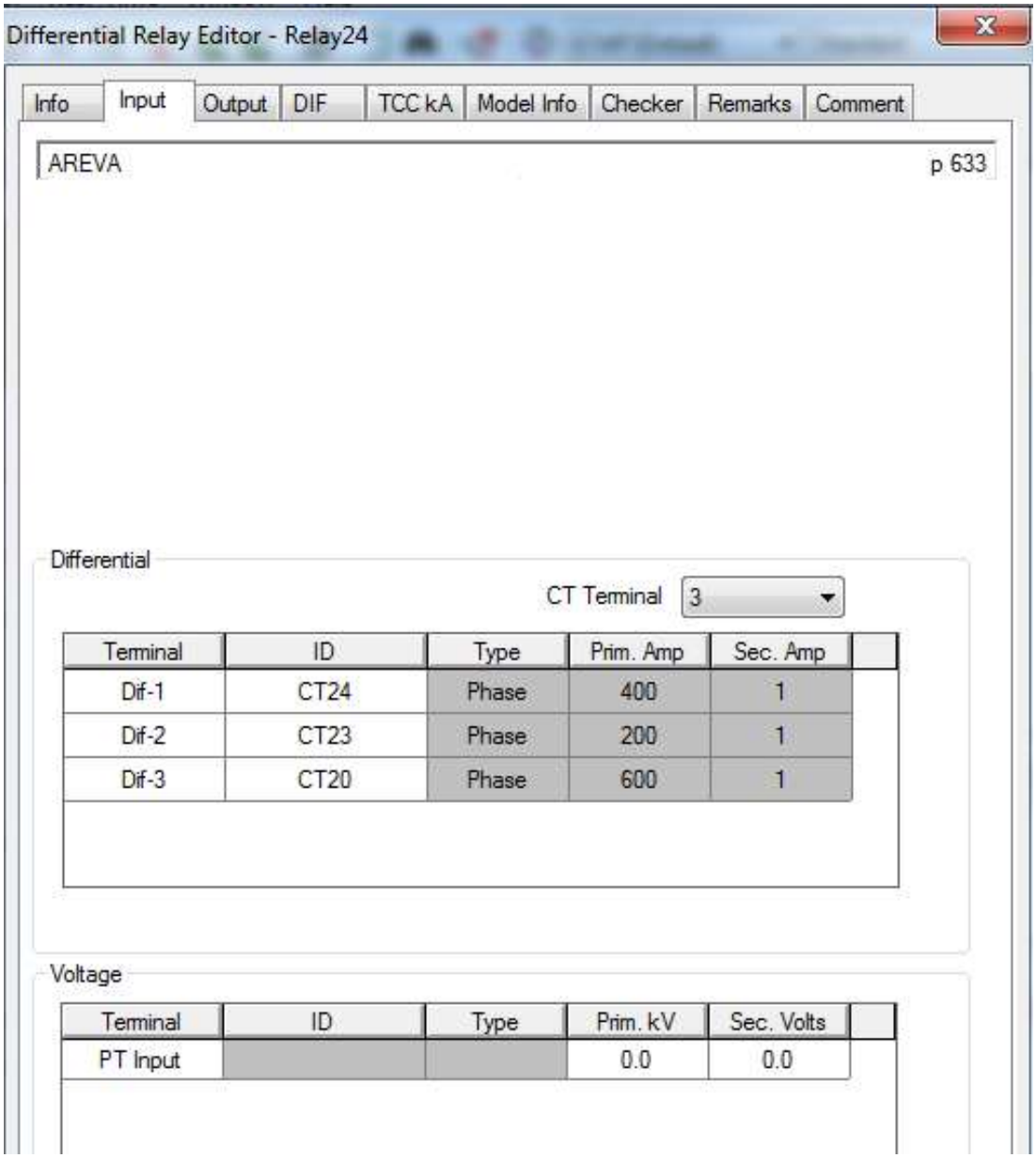
مخطط(2) يوضح بيانات مرحل الوقاية التفاضلية المستخدم في وقاية المحولات

في محولات التوزيع قمنا باستخدام محولين Three Winding Transformer بجهد 11/33/110 KV بقدرة 50 MVA ولحماية المحولات قمنا باستخدام نظام الحماية التفاضلية وكذلك قمنا باستخدام مرحلات الوقاية التفاضلية موديل P633 من انتاج شركة AREVA كما موضح بالشكل ادناه





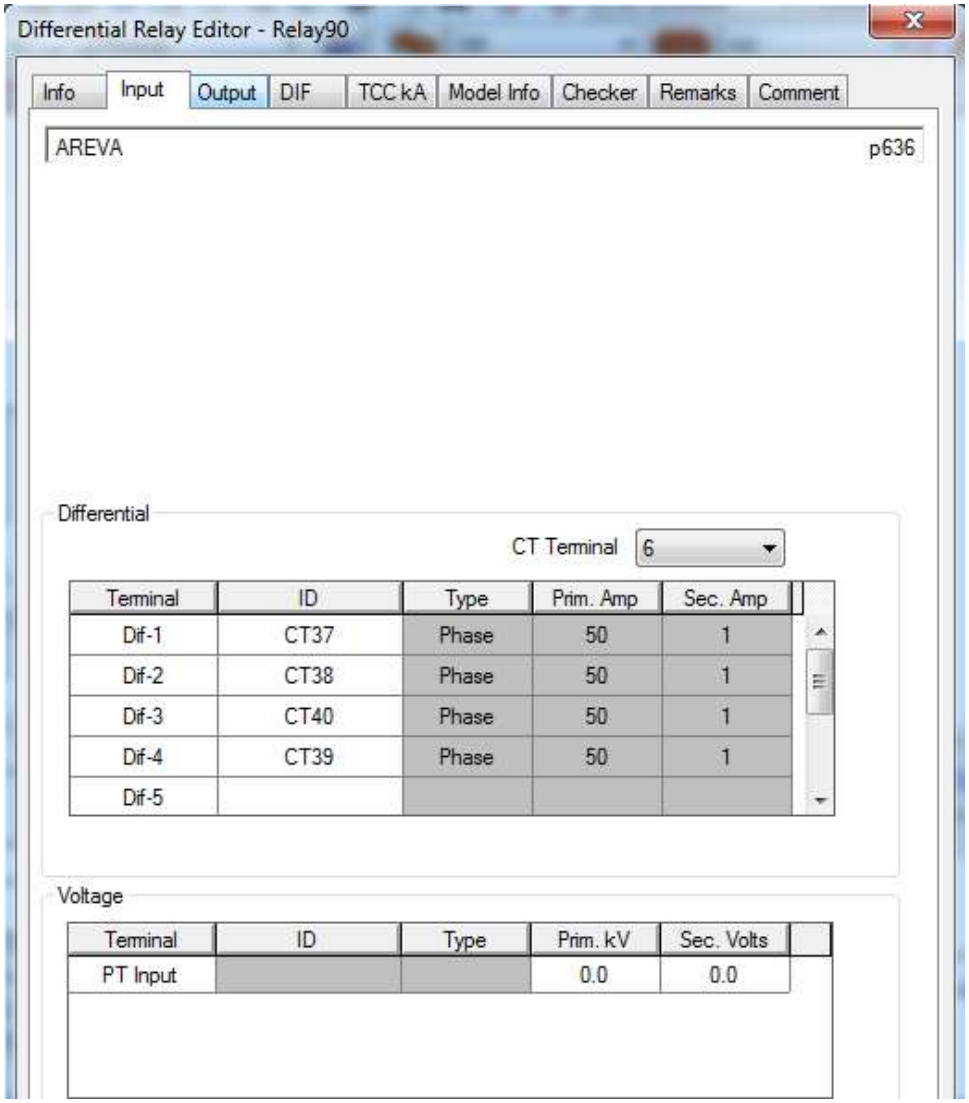
مخطط(3) يوضح بيانات محولات التوزيع المستخدمة



مخطط(4) يوضح بيانات مرحل الوقاية التفاضلية

3.3.4 حماية قضبان التوزيع Bus Bars Protection :-

قمنا باستخدام الحماية التفاضلية Differential Protection والحماية ضد زيادة التيار Overcurrent Protection بواسطة مرحلات الوقاية التفاضلية P633 من انتاج شركة AREVA



مخطط(5) يوضع بيانات مرحل الوقاية المستخدم في وقاية قضبان التوزيع

LOAD_FLOW_REPORT

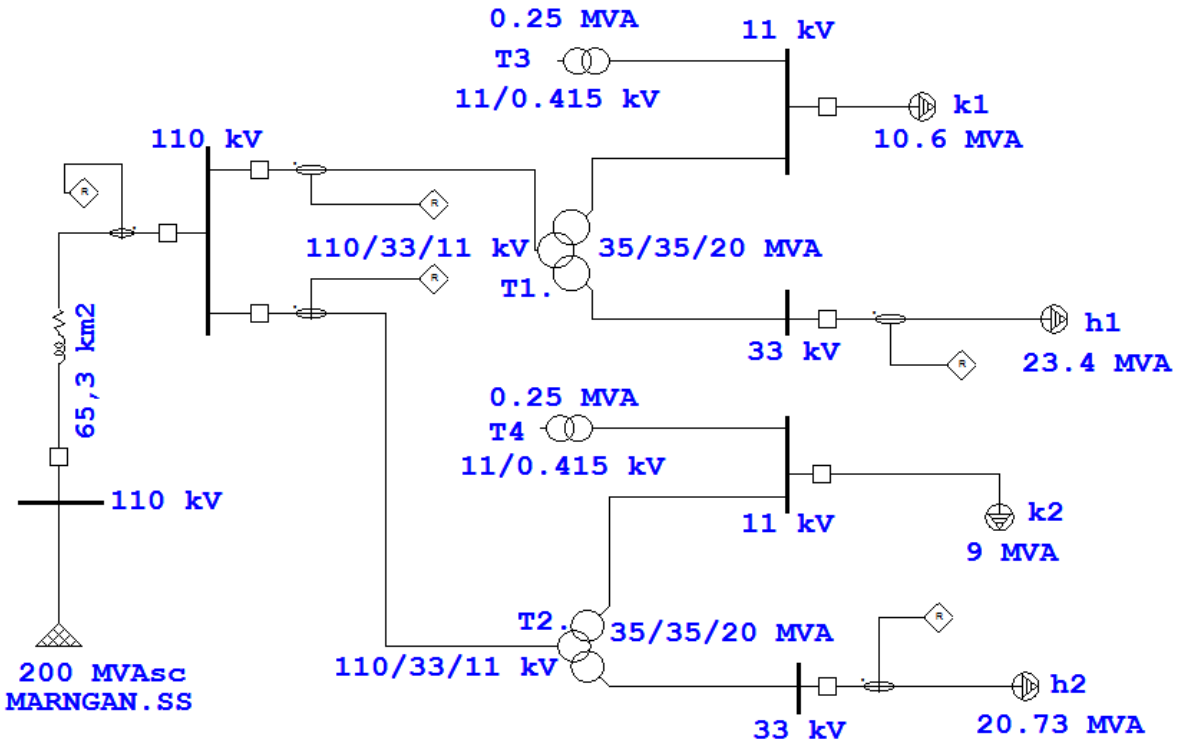
Bus		Voltage		Generation		Load		Load Flow					XFMR
ID	kV	%	Ang.	MW	Mvar	MW	Mvar	ID	MW	Mvar	Amp	%P	%Tap
*BB.1			0.0	-0.864	-0.148	0	0	BB.3	-0.576	-0.099	1.5	98.6	
								BB.3	-0.288	-0.049	0.8	98.6	
BB2	33.000	99.496	0.4	0	0	8.483	5.257	BB.3	-8.483	-5.257	175.5	85.0	
								&BB.4					
*BB.2			0.0	71.322	50.406	0	0	BB.4	35.661	25.203	229.2	81.7	
								BB.4	35.661	25.203	229.2	81.7	
BB3	33.000	99.496	0.4	0	0	8.483	5.257	BB.3	-8.483	-5.257	175.5	85.0	
								&BB.4					
BB.3			0.0	0	0	0	0	BB.1	0.576	0.099	1.5	98.6	
								BB.1	0.288	0.049	0.8	98.6	
								BB.4	-0.432	-0.074	1.2	98.6	
								&BB2					
								BB.4	-0.432	-0.074	1.2	98.6	
								&BB3					
BB4	11.000	92.339	5.9	0	0	8.744	5.419	BB.4	-8.744	-5.419	584.8	85.0	
								&BB6					
BB.4		99.996	0.0	0	0	0	0	BB.2	-35.659	-25.202	229.2	81.7	
								BB.2	-35.659	-25.202	229.2	81.7	
								BB2	8.921	5.417	54.8	85.5	
								&BB.3					
								BB3	8.921	5.417	54.8	85.5	
								&BB.3					
								BB6	28.576	21.398	187.4	80.0	
								&BB4					
								BB8	24.901	18.173	161.8	80.8	
								&BB10					
BB6	33.000	93.763	4.7	0	0	19.575	12.132	BB4	-19.575	-12.132	429.7	85.0	
								&BB.4					
BB8	33.000	94.665	4.0	0	0	17.254	10.693	BB10	-17.254	-10.693	375.2	85.0	
								&BB.4					
BB10	11.000	93.456	5.0	0	0	7.456	4.621	BB.4	-7.456	-4.621	492.7	85.0	
								&BB8					

* Indicates a voltage regulated bus (voltage controlled or swing type machine connected to it)
# Indicates a bus with a load mismatch of more than 0.1 MVA

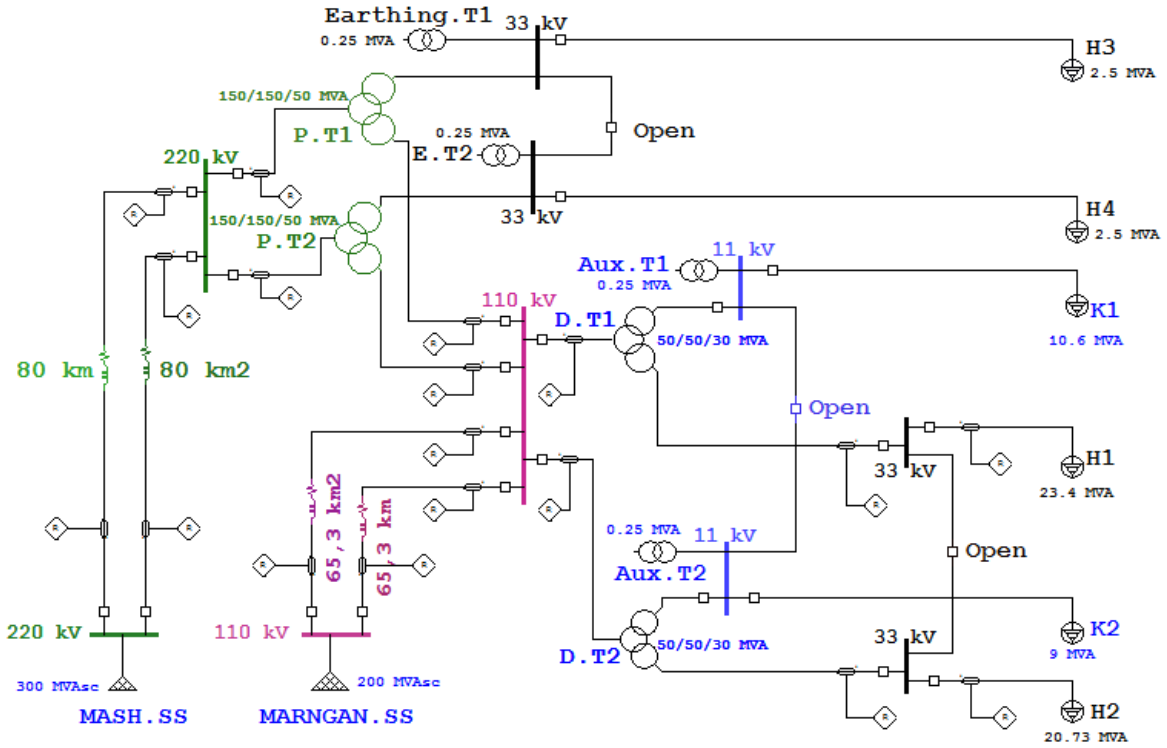
LOAD_FLOW_REPORT

Bus		Voltage		Generation		Load		Load Flow					XFMR
ID	kV	%	Ang.	MW	Mvar	MW	Mvar	ID	MW	Mvar	Amp	%P	%Tap
*BB.2			0.0	59.829	42.612	0	0	BB.4	59.829	42.612	385.5	81.5	
BB4	11.000	75.00	98.7	0	0	8.222	5.095	BB.4 &BB6	-8.222	-5.095	676.8	85.0	
BB.4		88.07	32.3	0	0	0	0	BB.2	-51.143	-39.616	385.5	79.1	
								BB6 &BB4	26.992	23.592	213.6	75.3	
								BB8 &BB10	24.150	16.024	172.7	83.3	
BB6	33.000	77.36	96.3	0	0	18.293	11.337	BB4 &BB.4	-18.293	-11.337	486.7	85.0	
BB8	33.000	85.20	30.3	0	0	16.655	10.322	BB10 &BB.4	-16.655	-10.322	402.3	85.0	
BB10	11.000	86.10	61.0	0	0	7.254	4.496	BB.4 &BB8	-7.254	-4.496	520.2	85.0	

* Indicates a voltage regulated bus (voltage controlled or swing type machine connected to it)
# Indicates a bus with a load mismatch of more than 0.1 MVA



شكل 4-3 مخطط يمثل محطة المناقل الحالية



شكل 4-3 مخطط يمثل محطة المناقل المستقبلية بعد التعديل

الباب الخامس

الخلاصة والتوصيات

1.5 الخلاصة:-

يحتوي البحث علي دراسة لمحطة المناقل التحويلية التي تُغذي بخط ذو دائرة مفردة بجهد 110kv من محطة مارنجان التحويلية التي تبعد عنها مسافة 65.3 km ويعتبر خط نقل من النوع القصير وتتكون محطة المناقل التحويلية من محولين سعة كل منهما 35/35/20 MVA ويبلغ إجمالي السعة للمحطة 70 MVA وخرج المحطة عبارة مستوين من الجهد

- المستوى الأول يتكون من أربعة مغذيات بجهد 33 KV.
- المستوى الثاني يتكون من أربعة مغذيات بجهد 11 KV .

ويبلغ إجمالي القدرة المسحوبة حالياً من المحطة 67.3 MVA مقارنة بالسعة الكلية للمحطة 70 MVA مما يعني أن المحطة عاجزة عن تلبية إحتياجات التوسع الصناعي السكني المتزايد في المنطقة ، ولحل هذه المشكلة قمنا بدراسة خط لربط محطة المناقل بخط نقل 220 KV من محطة مشكور التحويلية ويبلغ الطول الكلي له 80 KM لذلك يعتبر من النوع المتوسط لتحقيق الربط الدائري مما يساهم في إستقرارية تغذية المحطة كما قمنا بدراسة إضافة محولين سعة كل منهما 150 MVA في جهة خط 220 KV القادم من مشكور وكذلك قمنا بدراسة زيادة سعة محولي التوزيع من 35 MVA الي 50 MVA بالإضافة إلي تصميم نظام حماية لمكونات المحطة ونظام حماية لخطي النقل . وتم إختيار نوع الموصل المناسب بناءاً علي حساب التيار وكان نوع الموصل (ACSR125/30). وقطر الموصل 16.1 mm .

2.5 التوصيات: -

1 نوصي الباحثين بدارسة إضافة معوضات القدرة الغير فعالة الإستاتيكية (Static var compensation) للمحطة وذلك لتقليل الهبوط في الجهد وتحسين معامل القدرة وزيادة كفاءة النقل.

2 نوصي الباحثين بدراسة نظام حماية لخط النقل (المناقل مشكور).

Overhead Line Conductors

German Sizes DIN 48 204 – APR 1984

ACSR

TABLE-11

Area					Stranding and wire diameter		Overall diameter	Weight			Breaking	DC Resistance at 20°C	Current Rating
Nominal													
Alumi-nium	Steel	Alumi-nium	Steel	Total	Alumi-nium	Steel		Alumi-nium	Steel	Total			
mm^2	mm^2	mm^2	mm^2	mm^2	mm	mm	mm	kg/km	kg/km	kg/km	kN	ohm/km	A
16	2.5	15.3	2.6	17.9	6/1.80	1/1.80	5.4	42	20	62	5.81	1.8793	105
25	4	23.8	4	27.8	6/2.25	1/2.25	6.8	65	32	97	9.02	1.2028	140
35	6	34.3	5.7	40	6/2.70	1/2.70	8.1	94	46	140	12.70	0.8353	170
44	32	44	31.7	75.7	14/2.00	7/2.40	11.2	122	250	372	45.46	0.6573	-
50	8	48.3	8	56.3	6/3.20	1/3.20	9.6	132	64	196	17.18	0.5946	210
50	30	51.2	29.8	81	12/2.33	7/2.33	11.7	141	237	378	44.28	0.5644	-
70	12	69.9	11.4	81.3	26/1.85	7/1.44	11.7	193	91	284	26.31	0.4130	290
95	15	94.4	15.3	110	26/2.15	7/1.67	13.6	260	123	383	35.17	0.3058	350
95	55	96.5	56.3	153	12/3.20	7/3.20	16	266	446	712	80.20	0.2992	-
105	75	105.7	75.5	182	14/3.10	19/2.25	17.5	292	599	891	106.69	0.2736	-
120	20	121.6	19.8	141	26/2.44	7/1.90	15.5	336	158	494	44.94	0.2374	410
120	70	122	71.3	193	12/3.60	7/3.60	18	337	564	901	98.16	0.2364	-
125	30	127.9	29.8	158	30/2.33	7/2.33	16.1	353	238	591	57.86	0.2259	425
150	25	148.9	24.2	173	26/2.70	7/2.10	17.1	411	194	605	54.37	0.1939	470
170	40	171.8	40.1	212	30/2.70	7/2.70	18.9	475	319	794	77.01	0.1682	520
185	30	183.8	29.8	214	26/3.00	7/2.33	19	507	239	746	66.28	0.1571	535
210	35	209.1	34.1	243	26/3.20	7/2.49	20.3	577	273	850	74.94	0.1380	590
210	50	212.1	49.5	262	30/3.00	7/3.00	21.3	587	394	981	92.25	0.1363	610
230	30	230.9	29.8	261	24/3.50	7/2.33	21	638	239	877	73.09	0.1249	630
240	40	243	39.5	283	26/3.45	7/2.68	21.9	671	316	987	86.46	0.1188	645
265	35	263.7	34.1	298	24/3.74	7/2.49	22.4	728	274	1002	82.94	0.1094	680
300	50	304.3	49.5	354	26/3.86	7/3.00	24.5	840	396	1236	105.09	0.0949	740
305	40	304.6	39.5	344	54/2.68	7/2.68	24.1	843	317	1160	99.30	0.0949	740
340	30	339.3	29.8	369	48/3.00	7/2.33	25	983	242	1180	92.56	0.0851	790
380	50	382	49.5	432	54/3.00	7/3.00	27	1056	397	1458	120.91	0.0757	840
385	35	386	34.1	420	48/3.20	7/2.49	26.7	1067	277	1344	104.31	0.0748	850
435	55	434.3	56.3	491	54/3.20	7/3.20	28.8	1203	450	1653	138.27	0.0666	900
450	40	448.7	39.5	488	48/3.45	7/2.68	28.7	1241	320	1561	120.19	0.0644	920
490	65	490.3	63.6	554	54/3.40	7/3.40	30.6	1356	510	1866	152.85	0.0590	960
550	70	550	71.3	621	54/3.60	7/3.60	32.4	1520	572	2092	167.42	0.0526	1020
560	50	561.7	49.5	611	48/3.86	7/3.00	32.2	1553	401	1954	146.28	0.0514	1040
680	85	678.8	86	765	54/4.00	19/2.40	36	1868	702	2570	209.99	0.0426	1150

Current rating:
Values are valid upto 60Hz, assuming wind velocity of 0.6m/s, an initial ambient temp. of 35°C due to the effect of solar radiation and a conductor final temp. of 80°C.

جدول (1) الموصلات المستخدمة في خطوط النقل الهوائية

صورة توضح محول التيار ومحول الجهد والقواطع لمحطة المناقل التحويلية

محولات التوزيع لمحطة المناقل الحالية

قضبان التوزيع لمحطة المناقل التحويلية

3.5 المراجع والمصادر: -

1-أ.د. محمود جيلاني .... نظم الحماية الكهربائية علم وفن.

2-د. أحمد صفي الدين ...الوقاية من الناحية العملية في محطات المحولات

3-المؤسسة العامة للتعليم الفني والمهني ...المملكة العربية السعودية /تقنية الجهد العالي

4-المؤسسة العامة للتعليم الفني والمهني ... المملكة العربية السعودية / حماية النظم الكهربائية

5-المؤسسة العامة للتعليم الفني والمهني .... المملكة العربية السعودية / المحطات التحويلية

6-المؤسسة العامة للتعليم الفني والمهني ... المملكة العربية السعودية / خطوط النقل الكهربائية

7-الإدارة العامة لتطوير المناهج.... المملكة العربية السعودية / التوليد ومحطات التحويل الرئيسية

8-مجلة مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية / الطاقة الكهربائية

9-الزيارات الميدانية للمحطات التحويلية: -

المناقل، المقرن، كيلو عشرة، الخرطوم شرق