

أ- تيار المجال	ب- جهد المصدر	
خواص الحمل لمحرك تيار مستمر توالي وإيجاد العلاقة بين التيار-العزم-الكفاءة- السرعة مع BHP.	العاشر	
خواص الحمل لمحرك تيار مركب توالي وإيجاد العلاقة بين التيار-العزم-الكفاءة- السرعة مع BHP.	الحادي عشر	
أ- تعيين كفاءة ماكينة تيار مستمر بدون تحميلها وبطريقة سولينبون. ب- تعيين كفاءة ماكينة تيار مستمر (مولد محرك) ذو تغذية متوازية بطريقة هوبكسن.	الثاني عشر	
فصل المفاتيح عن ماكينة تيار مستمر.	الثالث عشر	
اختبار الدائرة المغفودة والدائرة المقصورة لمحولة ذات طور واحد.	الرابع عشر	
اختبار الحمل لمحولة ذات طور واحد- حمل مقاوم- حمل حثي- حمل سعوي.	الخامس عشر	

عدد الوحدات	الساعات الاسبوعية	السنة الثانية- الفصل الاول	اسم المادة محطات توليد الطاقة وحمايتها
	م	ع	ن
4	4	2	2

المفردات النظرية

الاسبوع	تفاصيل المفردات
الاول والثاني	كيفية توليد الطاقة الكهربائية، تطور الطاقة، نظام القوة الكهربائية في التوليد وحتى الاستهلاك، الجهود القياسية
الثالث	محطات التوليد المائية، الحرارية
الرابع	محطات التوليد الغازية وفكرة عن بعض المحطات الأخرى مثل الديزل
الخامس	نظام القضبان العمودية (B.B) والمخططات لمحطات المحولات داخل وخارج المباني
السادس	الخطوط الهوائية، استخداماتها، تقسيم الخطوط الى قصيرة-متوسطة-طويلة
السابع	الخطوط الهوائية-الحسابات الميكانيكية ومنها: - حساب الشد والارتخاء عندما تكون الأبعاد عن سطح الأرض متساوية - حساب وزن الثلج المتراكم على السلك - حساب مقدار قوة ضغط الريح المؤثرة على السلك
الثامن	حسابات العناصر الأساسية للخطوط الهوائية- الحسابات الكهربائية ومنها: - حساب المقاومة - حساب المحاثة الداخلية والخارجية للسلك المفرد - حساب المحاثة للنظام الثلاثي المكون من ثلاث أسلاك تبعد عن بعضها بمسافات متساوية، أو بمسافات مختلفة أو تتبادل بالموقع - حساب السعة للنظام الأحادي، الثلاثي المكون من ثلاث أسلاك تبعد عن بعضها بمسافات متساوية، أو بمسافات مختلفة وتتبادل بالموقع
التاسع	حل مسائل متنوعة عن الأسبوع السابع والثامن
العاشر	حل الخطوط القصيرة ويشمل تمثيلها كدائرة كهربائية حساب كفاءتها

الحادي عشر	حل الخطوط المتوسطة ويقسم الى - تمثيلها كدائرة كهربية شكل حرف T - تمثيلها كدائرة كهربية شكل حرف ri
الثاني عشر	عوازل خطوط النقل الهوائية، انواعها، اشكالها، تركيبها، ظاهرة التفريغ، اسبابها الطرق المستخدمة للتخلص منها
الثالث عشر	القابلوات الارضية- مكوناتها- تقسيمها- مدى القابلوات
الرابع عشر	حساب السعة والمحاثة للقابلوات الارضية الاحادية والثلاثية القطب
الخامس عشر	تدرج الجهد في القابلوات، حساب الفقد وزاويته في العوازل الانهيار الحاصل للقابلوات

المفردات العملية

الاسبوع	تفاصيل المفردات
الاول	التعرف على الاجهزة المختبرية
الثاني و الثالث والرابع	تحميل محولات التوزيع باحمال ثلاثية مقاومة وحثية متزنة وغير متزنة على شكل Y , D واثر ذلك على جهد التعادل
الخامس	التزامن بين المحولة الترانزيمية الثلاثية الطور والشبكة الخارجية
السادس	رسم منحني الحمل
السابع	تحسين معامل القدرة للشبكات
الثامن والتاسع	دراسة نموذج خط النقل وحساب العناصر الاساسية باختبار الحمل والقصر
العاشر	دراسة خصائص نموذج خط النقل عند جهة الاستقبال عند تحميله باحمال مقاومة - حثية - سعوية
الحادي عشر	هبوط الجهد على نموذج خط النقل
الثاني عشر	التعويض الوجهي لخطوط نقل القدرة
الثالث عشر	تحديد الاعطال للقابلوات الارضية باستخدام 1- اتصال طور واحد بالارض 2- في حالة القصر بين الاطوار
الرابع عشر	ايجاد تيار القصر لشبكة مكونة من خط نقل مغذي من محولين مربوطين على التوازي
الخامس عشر	محولات التيار في حالة الاتزان وعدم الاتزان

عدد الوحدات	الاسابيع	السنة الثانية- الفصل الاول	اسم المادة أساسيات الالكترونيات القدرة
	م	ع	ن
5	5	3	2

Theoretical syllabus	Week
Power electronic ,electronic componts which used in high power control(power diodes, thyristor and power transistors)pevison of single phase rectifier circuites	1 st

- 1.Science and Reactor Fundamentals-Electrical CNSC Technical Training Group
- 2.Power System Stability-Vol.II,by S.B Grary,John Waley and Sons
- 3.Electric Power Transmission and Distribution by P.J Freeman
- 4.Acourse in Transnission and Distribution by S.K.Giradhar and G.C.Garg
- 5.Acourse in Electrical Power by M.I.Somi and P.V.Gupta
- 6.The Trasmission and Distribution of Electrical Power by H- Cotton and H-Barber
- 7.الملزمة النظرية لمادة الشبكات الكهربائية التي اعدت من قبل معهد التكنولوجيا ببغداد

طرق توليد الطاقة الكهربائية : (1,2)

سيكون الطالب في نهاية الدرس قادرا على :-

1- يعرف أنواع طرق التوليد

2- يعرف أنواع أنظمة القدرة

عملية توليد الطاقة الكهربائية :

إن عملية توليد وإنتاج الطاقة الكهربائية هي في الحقيقة عملية تحويل الطاقة من شكل إلى آخر حسب مصادر الطاقة المتوفرة في مراكز الطلب على الطاقة الكهربائية وحسب الكميات المطلوبة لهذه الطاقة الأمر الذي يحدد أنواع محطات التوليد وأنواع الاستهلاك وأنواع الوقود ومصادره هذه كلها تؤثر في تحديد نوع المحطة ومكانها وطاقتها.

مميزات الطاقة الكهربائية:

يفضل استخدام الطاقة الكهربائية في مجالات عديدة بسبب مميزات الفريدة ومنها:

1- إمكانية نقلها إلى مسافات بعيدة وبكفاءة عالية .

2- إمكانية إنشاء محطات للتوليد ذات ساعات كبيرة وبتكاليف مناسبة .

3- سهولة توزيعها على مناطق الاستهلاك .

4- سهولة تحويلها إلى أنواع أخرى من الطاقات كالحرارية والميكانيكية والضوئية وغيرها.

5- عدم وجود مخاطر صحية من جراء استخدامها.

مصادر الطاقة الكهربائية:

1-الوقود .

2-الطاقة المائية.

3-الرياح .

4-الطاقة الشمسية .

5- الطاقة الجيو حرارية .

6-الطاقة الذرية.

أنظمة القدرة :

من الممكن نقل الطاقة الكهربائية إما بواسطة التيار المستمر أو التيار المتناوب إلا أن أكثر مشاريع نقل الطاقة

الكهربائية تتم الآن بالتيار المتناوب . ويمثل الشكل رقم 1 نظاما نموذجيا للقدرة الكهربائية من النوع المتناوب.

إن الهدف الرئيس لأنظمة القدرة هو توليد الطاقة الكهربائية بكميات كافية في الأماكن الملائمة لتوليدها ونقلها بكميات كبيرة إلى مراكز الحمل وتوزيعها على المستهلكين بكلفة قليلة وخسائر اقل.

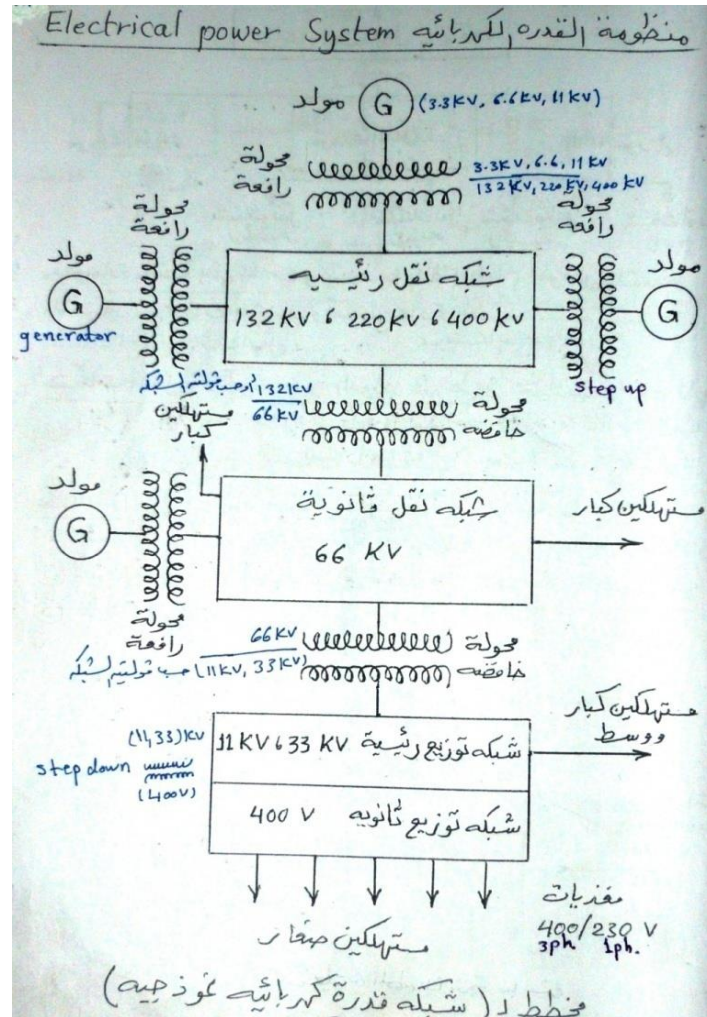
الجهود القياسية :

ويمكن تقسيم أنظمة القدرة الكهربائية إلى الأجزاء التالية توليد ونقل وتوزيع الطاقة الكهربائية وفق الجهود القياسية التالية:

1- محطات التوليد Generating Stations: تختلف فولتيات التوليد في محطات التوليد المختلفة حيث فولتيات التوليد Generation Voltage القياسية هي (3.3, 6.6, 11, 33) KV وتقوم المحولات برفع جهد التوليد الى نفس قيمة جهد شبكة النقل الرئيسية.

2- خطوط النقل Transmission Lines: يتم رفع جهد التوليد عن طريق محولات رافعة للجهد ويتوقف هذا الجهد على مسافة النقل وتكاليف الانشاء والعزل حيث فولتيات النقل Transmission Voltage القياسية هي (132, 220, 400)KV

3- أنظمة التوزيع Distribution systems: ويتم خفض جهد خط النقل عن طريق محولات خفض الجهد الى فولتيات التوزيع Distribution Voltage القياسية هي (6.6, 11, 33) KV.



الشكل رقم 1 نظام نموذجي للقدرة الكهربائية

تصنيف أنظمة التوزيع :

يمكن تصنيف أنظمة التوزيع إلى ما يلي:

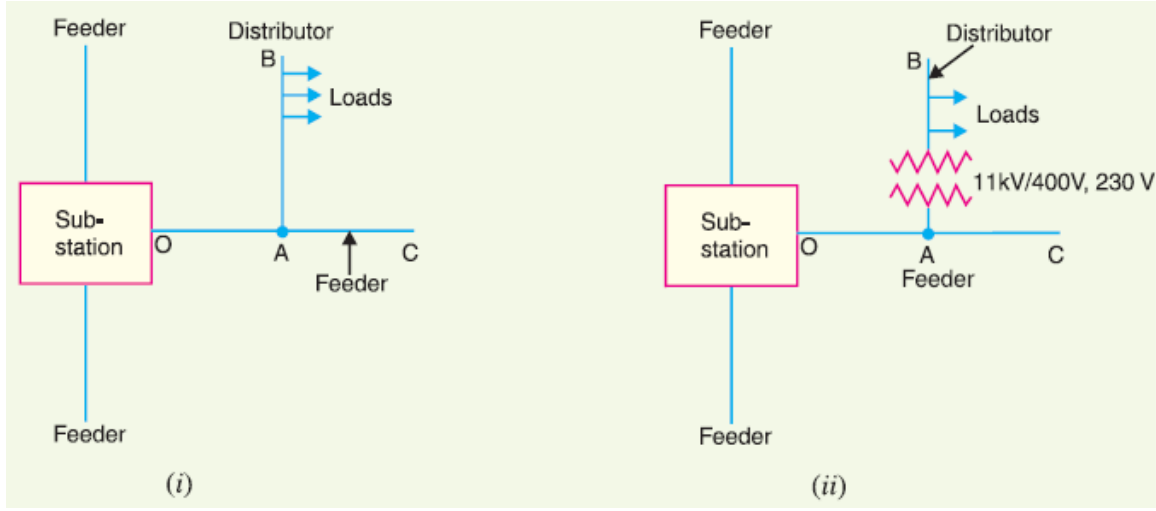
ا- حسب طبيعة التيار (مستمر أم متناوب).

ب- حسب طبيعة التنفيذ (أنظمة هوائية معلقة أم كابلات أرضية).

ج- حسب طريقة الربط : Connection schemes of distribution systems

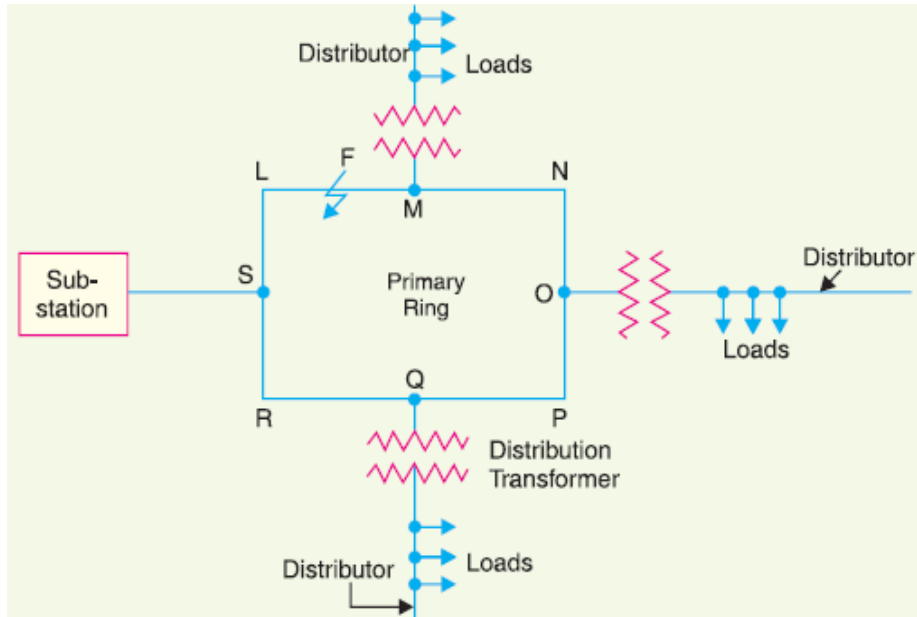
وتوجد ثلاثة أنواع من الربط لأنظمة التوزيع :

أولاً- النظام الشعاعي Radial system : وهو رخيص الكلفة إلا أنه لا يضمن استمرار وصول الطاقة الكهربائية إلى المستهلكين في حالة حصول خلل فيه كما في الشكل 2. لذا فنظام التغذية المزدوج يكون ضرورياً للمستهلكين الهامين.



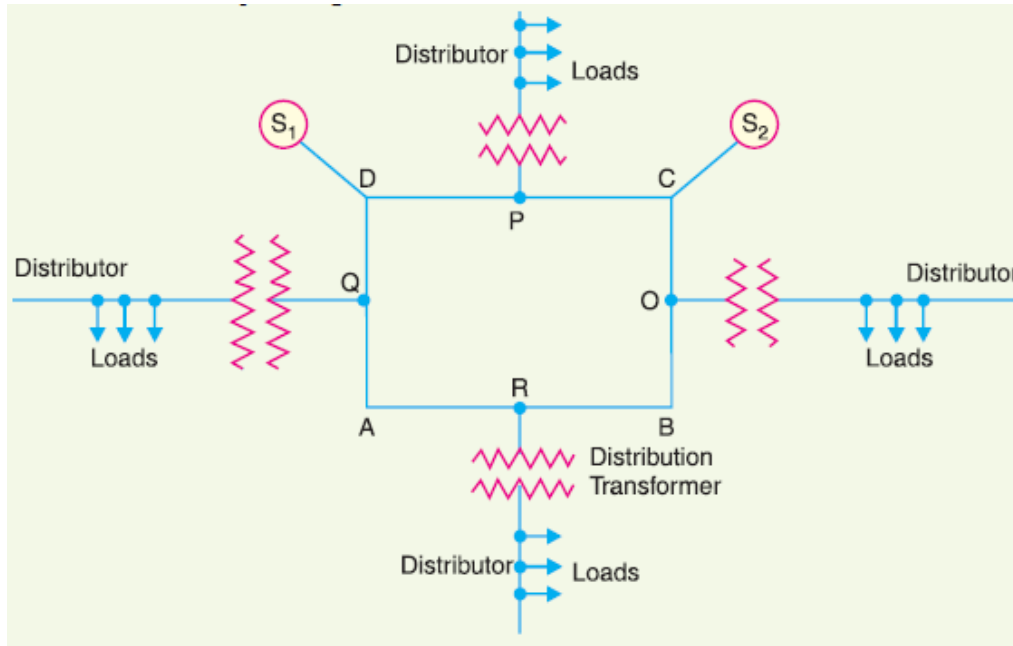
الشكل رقم 2 مخطط للنظام الشعاعي

ثانياً- النظام الحلقي Ring main system : وهو يعطي ضماناً لوصول الطاقة الكهربائية إلى المستهلكين لأنه يهيئ إصال الطاقة من عدة مناطق كما في الشكل 3.



الشكل رقم 3 مخطط للنظام الحلقي

ثالثاً- النظام المتداخل (المتربط): Interconnected system وهو تطوير للنظام الحلقي كما في الشكل 4.



الشكل رقم 4 مخطط للنظام المتربط

محطات توليد الطاقة الكهربائية: (3)

سيكون الطالب في نهاية الدرس قادرا على :-

1- يفهم أنواع محطات التوليد

2- يعرف محاسن ومساوئ كل نوع من أنواع محطات التوليد

محطات توليد الطاقة الكهربائية:

1- محطات التوليد الحرارية: وتقسم إلى : محطات توليد بخارية و محطات ذات محركات الاحتراق الداخلي

ومحطات ذات توربينات غازية.

2-محطات التوليد المائية.

3-محطات التوليد التي تعمل بالطاقة النووية.

4-محطات التوليد التي تعمل بالمد والجزر.

5-محطات التوليد التي تعمل بواسطة الرياح .

6-محطات التوليد التي تعمل بالطاقة الشمسية.

تربط المحطات جميعا بالشبكة الوطنية لإغراض التشغيل الاقتصادي وتقاسم الأحمال بطريقة تقلل من تكاليف

التشغيل وتضمن استمرارية تغذية الأحمال بالطاقة .

1-محطات التوليد الحرارية: Thermal station:

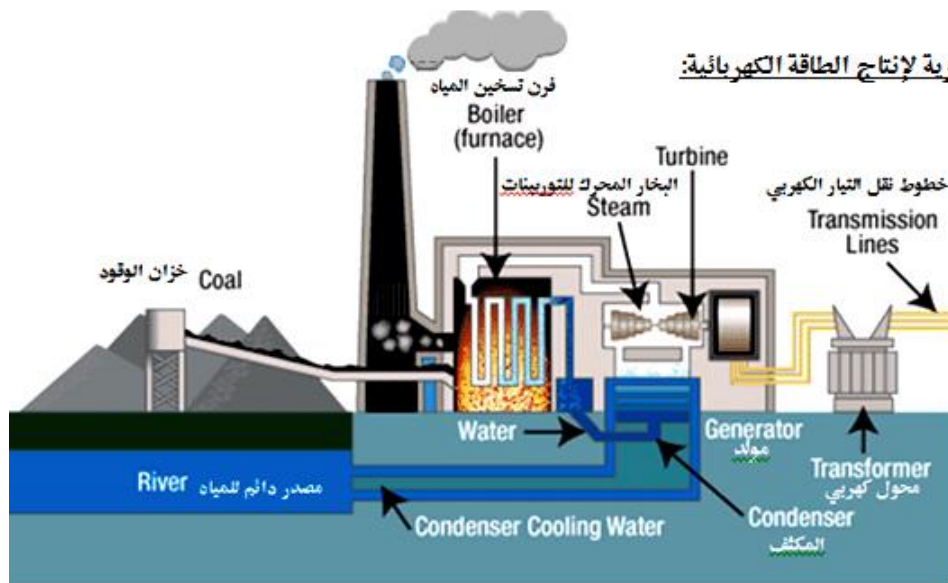
وتشمل الأنواع التالية:

أ/محطات توليد بخارية: Steam power station:

تعتبر هذه المحطات محولات للطاقة (Energy Converter) وتستخدم أنواع مختلفة من الوقود مثل الفحم الحجري

أو النفط أو الغاز. وتمتاز بكبر حجمها ورخص تكاليفها بالنسبة لإمكاناتها الضخمة ويمكن استخدامها في تحليه المياه

في نفس الوقت الأمر الذي يجعلها ثنائية الإنتاج.

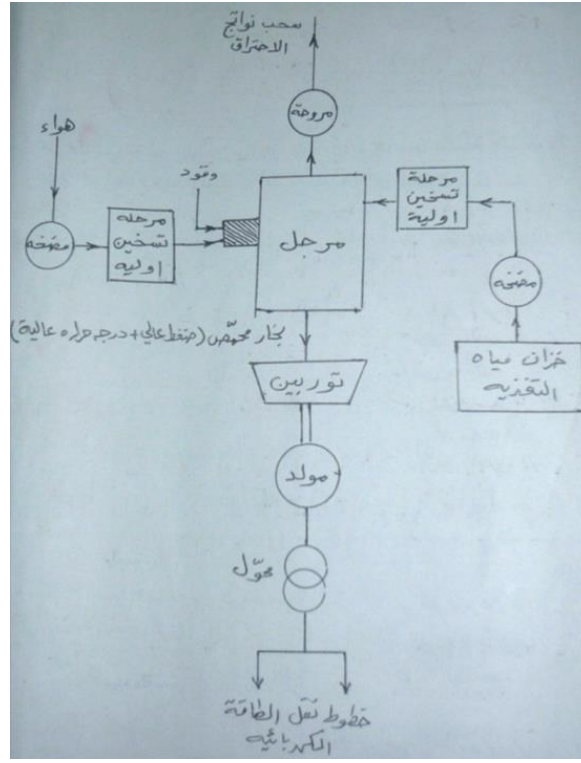


العوامل التي تؤثر على اختيار موقع المحطة:

من أجل أن تكون تكاليف إنتاج الطاقة الكهربائية أقل ما يمكن من المستحسن أن يكون موقع المحطة قريب من مركز الحمل ويجب أن يراعى ما يلي :

- 1- قربها من مركز المياه.
 - 2- القرب من مراكز الاستهلاك لتوفير تكاليف إنشاء خطوط النقل.
 - 3- سعر الأرض التي ستشيد عليها المحطة.
 - 4- إمكانية التوسع المستقبلية .
 - 5- توفر أماكن مناسبة لخزن الوقود.
 - 6- طبيعة الأرض وملائمتها للأساسات.
- الأجزاء الرئيسية لمحطات التوليد البخارية :

- 1- المرجل(Boiler): عبارة عن وعاء كبير يحتوي على مياه نقية تسخن بواسطة حرق الوقود لتتحول إلى بخار محمل بالطاقة الحرارية لإنتاج العزم اللازم لإدارة التوربين الذي يقوم بإدارة المولد الكهربائي .
 - 2- التوربين البخاري (Turbine): ويقوم بالسيطرة على عمل المولد الكهربائي من خلال البخار الداخل اليه والخارج منه .
 - 3- المولد الكهربائي (Generator): ويتكون من عضو دوار مربوط مباشرة مع محور التوربين وعضو ثابت ويقوم بإنتاج الطاقة الكهربائية.
 - 4- المكثف (Condenser): عبارة عن وعاء كبير من الصلب يدخل إليه من الأعلى البخار القادم من التوربين بعد ان يكون قد قام بتدويره وفقد الكثير من ضغطه وحرارته ، ويدخل من الأسفل ماء للتبريد داخل أنابيب حلزونية تعمل على تحويل البخار إلى ماء ثم يعود هذا الماء إلى المرجل مرة أخرى.
 - 5- المدخنة: وتكون عالية وتعمل على طرد الغازات الناتجة من الاحتراق إلى الجو.
- الكفاءة الكلية للمحطة البخارية = الحرارة المكافئة للطاقة الكهربائية الخارجة من المولد / حرارة الاحتراق
- الكفاءة الحرارية للمحطة البخارية = الحرارة المكافئة للطاقة الميكانيكية الداخلة إلى التوربين / حرارة الاحتراق .
- الكفاءة الكلية للمحطة = كفاءة المولد × كفاءة التوربين × كفاءة مجاري المياه (الفقد في أنابيب المياه).
- في هذه المحطات وجد ان أكثر من نصف الطاقة الحرارية المتولدة نتيجة احتراق الوقود تفقد على أساس أنها حرارة مفقودة في المكثف لذلك يجب الأخذ بنظر الاعتبار كفاءة المولد الكهربائي ، في هذه المحطات وفي أحسن الأحوال تكون الكفاءة الكلية بين 25-30%.



الشكل يبين مخطط محطة توليد حرارية

ب/محطات التوليد ذات محركات الاحتراق الداخلي:

يتكون محرك الاحتراق الداخلي من اسطوانة ومكبس حيث يتم حرق الوقود السائل بعد مزجه بالهواء بنسبة معينة داخل الاسطوانة وينتج غاز بضغط عالي والذي يقوم بتحريك المكبس وتمتاز بسرعة التشغيل والايقاف وسهولة التركيب. ولكنها تحتاج إلى كمية عالية من الوقود وبالتالي كلفة الطاقة المتولدة تكون عالية وقدرة التوليد قليلة لا تتجاوز 3MVA تستخدم هذه الأنواع في :

1-وحدات التوليد المتنقلة حيث يتم نقلها من مكان إلى مكان آخر حسب الحاجة .

2-كوحدة توليد احتياطية في الأماكن التي تحتاج إلى تجهيز مستمر كالمستشفيات والمصانع .

ج/محطات التوليد ذات توربينات الغاز: وتتكون من :

1- ضاغط هواء.

2- حراق.

3-توربين غازي .

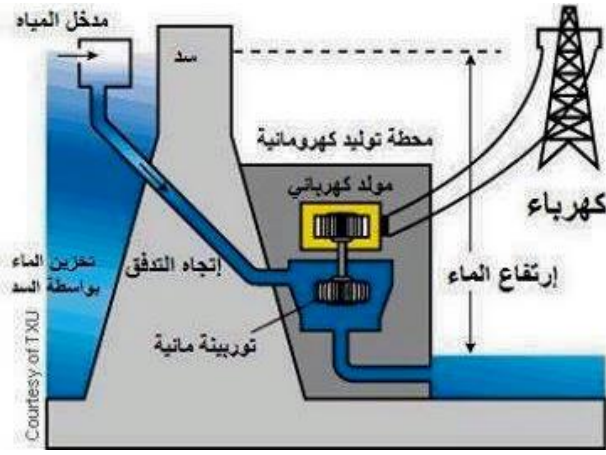
4-ملحقات أعمال التزييت والتحكم بالسرعة .

عندما يتم اشتعال الوقود ترتفع درجة حرارة الهواء ويزداد حجمه تحت ضغط ثابت يدخل هذا الهواء إلى التوربين حيث يقوم بإدارته لان الهواء يعطي الطاقة الحركية الموجودة فيه إلى ريش التوربين الذي بدوره يقوم بإدارة المولد .تستخدم أنواع مختلفة من الوقود .

محاسنها: تعتبر هذه المحطات رخيصة , سريعة التركيب ,وصيانتها سهلة .

مساوئها :تستخدم كميات كبيرة من الوقود وعمرها قصير.

2- محطات التوليد المائي: Hydroelectric power stations

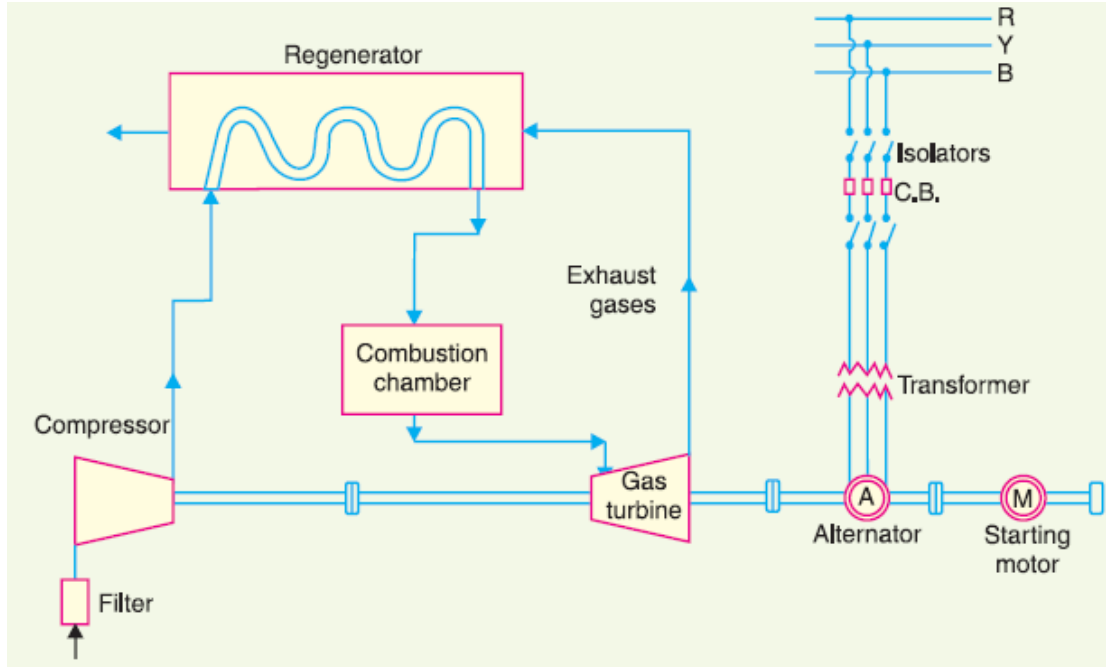


تنشأ هذه المحطات عادة بالقرب من السدود حيث يتم استغلال الطاقة المفقودة من مياه الأنهار أثناء سريانها إلى المصب من الأماكن المرتفعة. في التوربين المائي يتم تحويل الطاقة الحركية و طاقة الوضع للمياه إلى طاقة ميكانيكية والتي تستخدم لإدارة التوربين ومن ثم المولد والذي يقوم بدوره بتحويل الطاقة الميكانيكية الى طاقة كهربائية .

وتتألف من الأجزاء الرئيسية التالية : مساقط المياه والتوربين

الذي يكون عادة مع المولد في مكان واحد ومركبين على محور راسي واحد. في هذه المحطات وجد إن الكفاءة الكلية قد تصل إلى 90% في المحطات المتطورة.

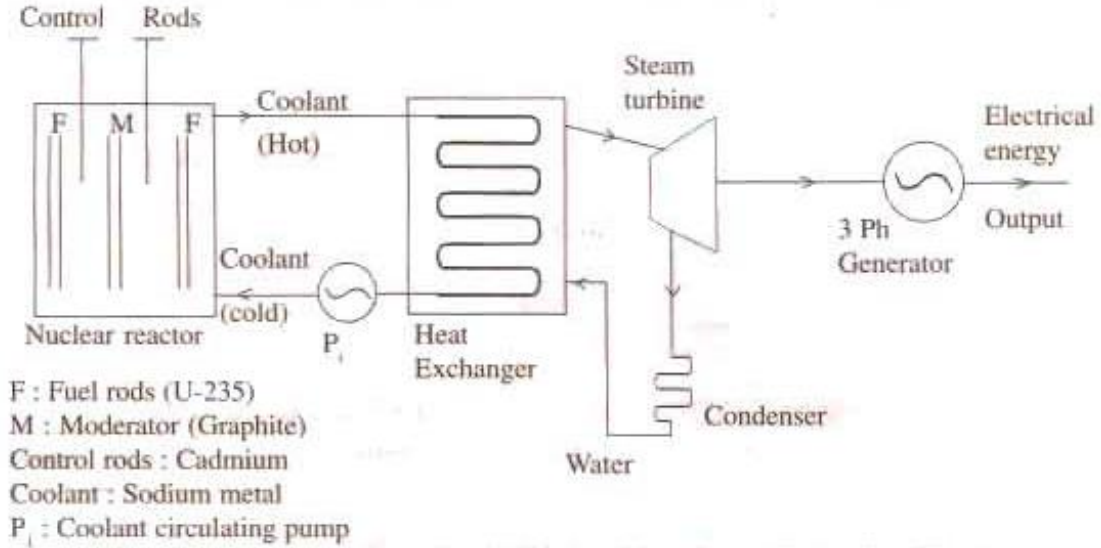
3-محطات التوليد الغازية: Gas turbine power plant (4)



وتستغل فيها الطاقة الحرارية للغازات الناتجة من بعض المصانع مثل مصانع تكرير البترول في ادارة التوربينات الغازية والتي تقوم بتدوير المولد الذي يولد الطاقة الكهربائية. هذا النوع من المحطات يعمل بطاقة محدودة نسبيا.

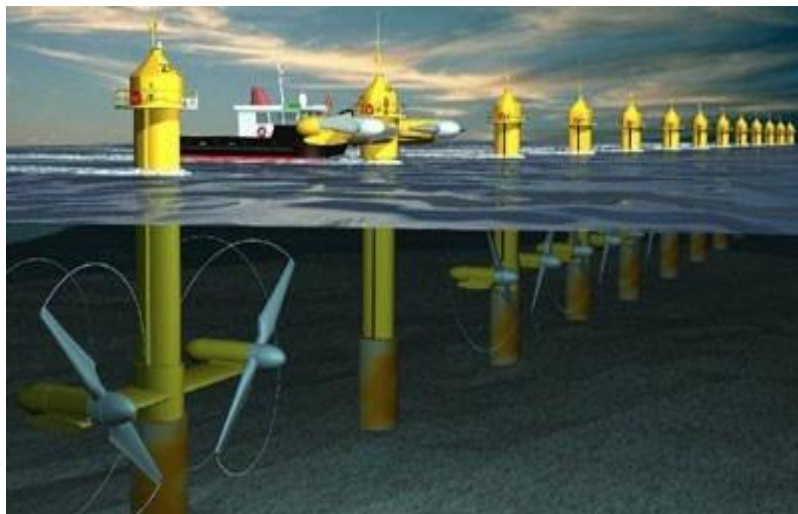
4- محطات التوليد الذرية: Nuclear power stations

إن المحطات الذرية في الواقع هي محطات حرارية تقوم بتوليد البخار بالحرارة حيث استبدل الفرن بمفاعل ذري والذي يحتاج الى جدار عازل وواق من الإشعاع الذري ، ويتم إنتاج الطاقة الحرارية في المفاعل الذري بانسطار نواة اليورانيوم (235) من الوقود الذري حيث تنتقل الطاقة الحرارية الناتجة من هذا الانسطار الى أنابيب المياه حيث سيتبخر الماء الى بخار بدرجة حرارة عالية وضغط عالي والذي يقوم بتدوير التوربين البخاري الذي بدوره يقوم بتدوير المولد الكهربائي ويتم انتاج الطاقة الكهربائية.



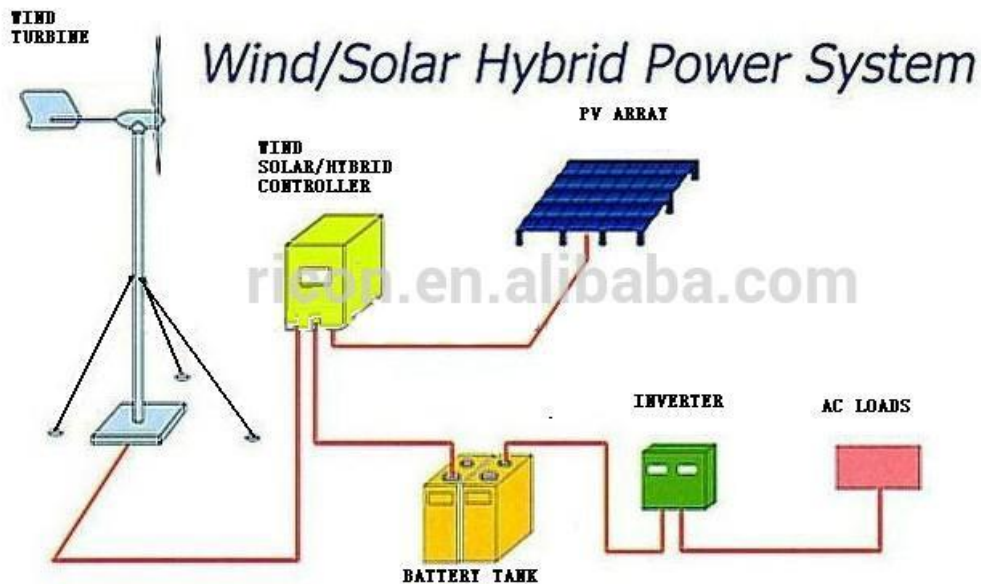
5- محطات التوليد من المد والجزر:

وهي من الظواهر الطبيعية الناتجة من جاذبية القمر عندما يكون القمر قريبا تحدث ظاهرة المد وعندما يكون بعيدا أي عندما يغيب القمر تحدث ظاهرة الجزر وقد أنشئت محطات لتوليد الطاقة الكهربائية في المناطق التي تحدث فيها هذه الظاهرة حيث توضع توربينات خاصة في مجرى المد فتديرها المياه الصاعدة ثم تعود المياه الهابطة وتديرها مرة أخرى هذه التوربينات تقوم بتدوير المولد الذي بدوره ينتج الطاقة الكهربائية.



6-محطات التوليد التي تعمل بالرياح:

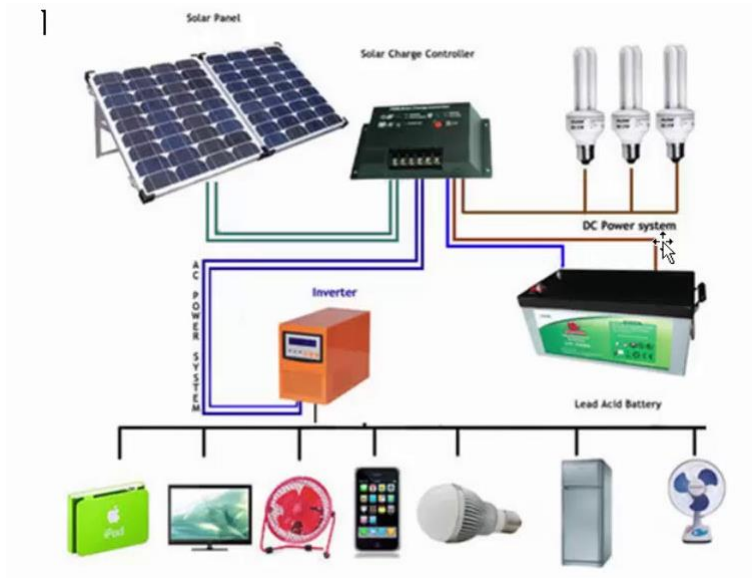
في الأماكن التي تعتبر مجارى دائمة للرياح تستغل الرياح لتدوير مراوح عالية وكبيرة لتوليد الطاقة الكهربائية



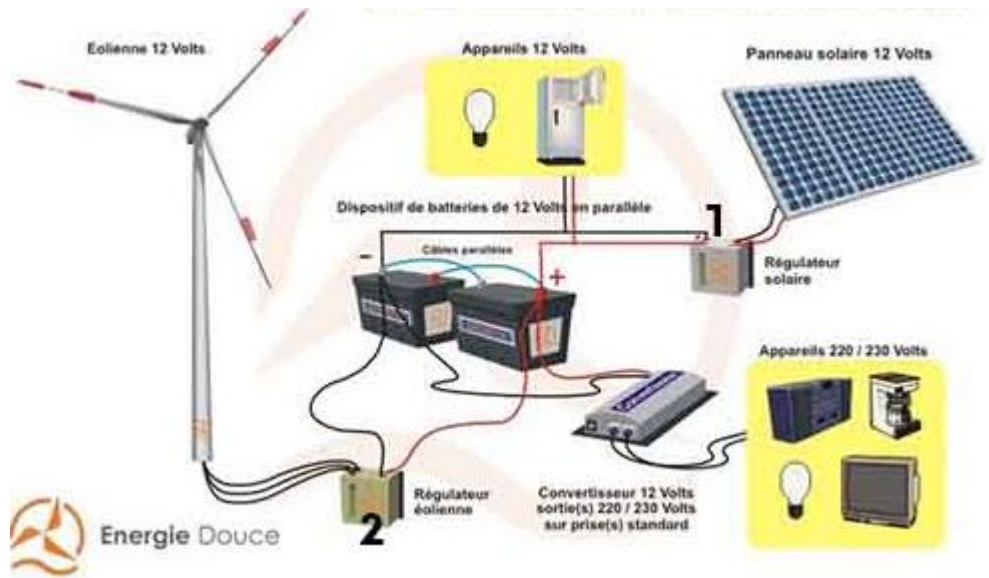
7- محطات تعمل بالطاقة الشمسية:

يتم استغلال الطاقة الشمسية لإنتاج الطاقة الكهربائية والاستعمال المنزلي وإنارة الشوارع وفي تسخين المياه.

تتكون المنظومة الشمسية من الألواح الشمسية Solar panel ومنظم الشحن Solar charge controller والعاكس Inverter والبطاريات Batteries والاحمال Loads.



والمنظومات الحديثة فيها عاكسات سولار Solar Inverter اي منظم الشحن يكون داخل العاكس (قطعة واحدة) وتكون فيها الاولوية للطاقة الشمسية .



كمية الحرارة والطاقة الميكانيكية:

السعرة (كالوري): هي كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة غم واحد من الماء درجة مئوية واحدة (وهي وحدة قياس كمية الحرارة في النظام المتري).

(B.T.U) وحدة حرارية بريطانية: كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة رطل واحد من الماء درجة فهرنهايت واحدة (وهي وحدة قياس كمية الحرارة في النظام العالمي).

$$1 \text{ رطل} = 453,6 \text{ غم} ,$$

$$1 \text{ درجة فهرنهايت} = 9/5 = 0,55 \text{ درجة مئوية} ,$$

$$1 \text{ درجة مئوية} = 9/5 \text{ درجة فهرنهايت} = 1,8 \text{ درجة فهرنهايت}.$$

$$1 \text{ (B.T.U)} = 453,6 \times (0,55) = 252 \text{ سعرة}$$

المكافئ الميكانيكي للحرارة: الحرارة والطاقة الميكانيكية لا يقبلان التغير ، حيث ان وحدة واحدة من الحرارة تولد كمية معينة من الطاقة الميكانيكية والعكس بالعكس.

$$1 \text{ سعرة (كالوري)} = 4,18 \text{ جول}$$

$$1 \text{ B.T.U} = 778 \text{ رطل.قدم}$$

وحدات القدرة : هي الواط او الحصان h.p

$$1 \text{ واط} = 10^7 \text{ أرك/ثا} = 1 \text{ جول/ثا}$$

$$1 \text{ حصان} = 550 \text{ رطل.قدم / ثا} = 746 \text{ واط}$$

وحدة الطاقة الكهربائية هي الكيلو واط. ساعة Kw.h

$$1 \text{ كيلو واط. ساعة} = 3600 \times 1000 = 3,6 \times 10^6 \text{ واط. ثا (جول)}$$

$$1 \text{ سعرة} = 4,18 \text{ جول}$$

$$\therefore 1 \text{ كيلو واط. ساعة} = (3,6 \times 10^6 \text{ جول}) / 4,18 = 8,6 \times 10^5 \text{ سعرة}$$

$$1 \text{ (B.T.U)} = 252 \text{ سعرة}$$

$$\therefore 1 \text{ كيلو واط. ساعة} = (8,6 \times 10^5) / 252 = 3412 \text{ B.T.U}$$

$$1 \text{ كيلواط. ساعة} = 3,6 \times 10^6 \text{ جول}$$

$$= 8,6 \times 10^5 \text{ سعرة}$$

$$= 3412 \text{ B.T.U}$$

القيمة الحرارية للوقود:

لكل مادة عند حرقها سرعات حرارية معينة فالفحم المستخدم في التدفئة في المنازل تختلف قيمته الحرارية عن الفحم المستخدم في محطات توليد الطاقة الكهربائية وكذلك النفط والبنزين الخ .
وحداتها أما كيلو سعره /كغم او B.T.U / رطل

س1/ تستخدم إحدى المحطات وقودا قيمته الحرارية 12000 B.T.U / رطل ماهي كمية الوقود المستهلكة لإنتاج 1 كيلو واط . ساعة طاقة كهربائية إذا علمت أن الكفاءة الكلية للمحطة 23,7%؟

الحل /

الكفاءة = الطاقة الخارجة / الطاقة الداخلة

$$23,7 / 100 = 1 \text{ (كيلو واط . ساعة) } / \text{ الطاقة الداخلة (كيلو واط . ساعة) }$$

$$\therefore \text{ الطاقة الداخلة } = (1 / 0,237) \text{ كيلو واط . ساعة } = 4,22 \text{ كيلو واط . ساعة}$$

$$\therefore 1 \text{ كيلو واط . ساعة } = 3412 \text{ B.T.U}$$

$$\therefore \text{ الطاقة الداخلة } = 4,22 \times 3412 = 14398,6 \text{ B.T.U من السؤال إن كل رطل من الوقود المستخدم له طاقة}$$

حرارية قيمتها 12000 B.T.U لذلك فإن :

$$\text{وزن الوقود المستخدم} = \text{الطاقة الداخلة} / \text{القيمة الحرارية للوقود} = 14398,6 / 12000 = 1,2 \text{ رطل .}$$

س2 / تستخدم إحدى المحطات 800 غم من الوقود لإنتاج طاقة كهربائية قدرها كيلو واط . ساعة ما هي كفاءة المحطة إذا علمت أن القيمة الحرارية للوقود المستخدم هي 7500 كيلو سعره / كغم .

الحل :

الكفاءة = الطاقة الخارجة / الطاقة الداخلة

وزن الوقود المستخدم = الطاقة الداخلة / القيمة الحرارية للوقود

$$\text{الطاقة الداخلة} = \text{وزن الوقود} \times \text{القيمة الحرارية للوقود} = 7500 \times 0,8 = 6000 \text{ كيلو سعره}$$

$$\text{الطاقة الداخلة} = 100000 \times 8,6 / 6000000 = 6,97 \text{ كيلو واط . ساعة}$$

$$\text{الكفاءة} = 14,33 \%$$

واجب بيتي :

س1 / تستخدم إحدى المحطات وقود قيمته الحرارية 6000 كيلو سعره / كغم فإذا علمت أن الكفاءة الكلية للمحطة 25% جد :

1- عدد السرعات (كالورى) اللازمة لإنتاج طاقة كهربائية قيمتها 1 كيلو واط . ساعة

2- كمية الوقود اللازمة لإنتاج هذه الطاقة ؟

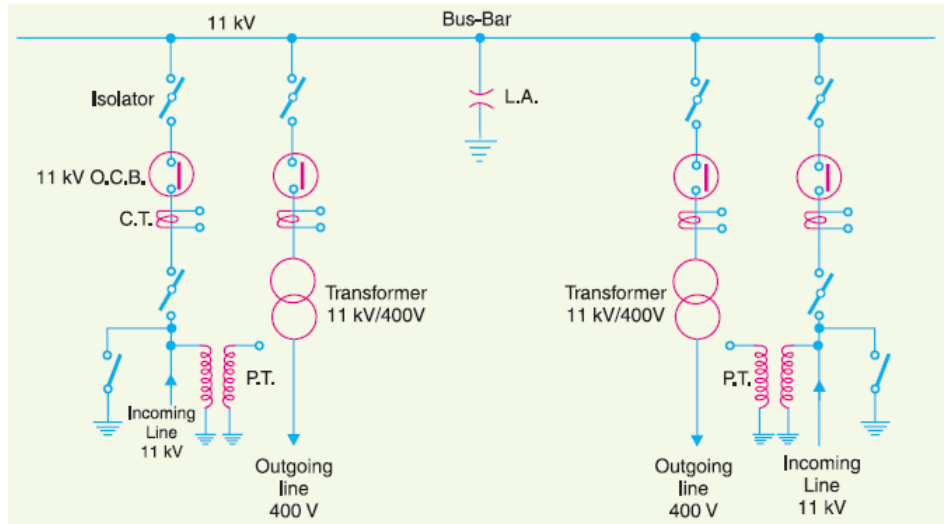
نظام القضبان العمودية : (Bus-Bar) : (5)

تكون عادة من النحاس أو الألمنيوم وتنقسم إلى :

أ-القضبان العمودية المفردة Single Bus Bar : ويتألف من قضيب مفرد تربط خلاله الخطوط الداخلة الى المحطة والخارجة منه.

محاسنه:القضبان العمودية المفردة مكوناته بسيطة ورخيصة

مساوئه: في حالة حدوث خلل أو عطب على القضبان يحدث إطفاء كلي للمحطة (shut down) لذلك لا يستخدم هذا النوع لفولتية أعلى من (KV33).



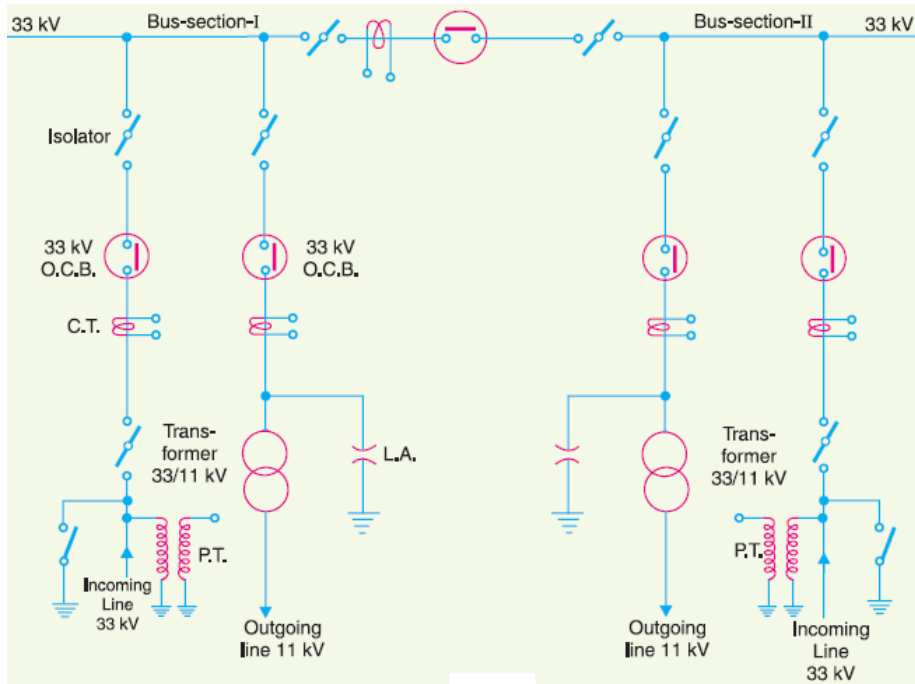
شكل 6 القضبان العمودية المفردة

ب-القضبان العمودية المفردة مع مجزئ القضبان: Single Bus Bar System With Section

Alisation: يتم تجزئة القضيب إلى مقطعين ويتم توزيع الحمل بالتساوي بين جميع المقاطع ويربط كل مقطعين خلال قاطع دورة وفاصلين.

ميزاته:

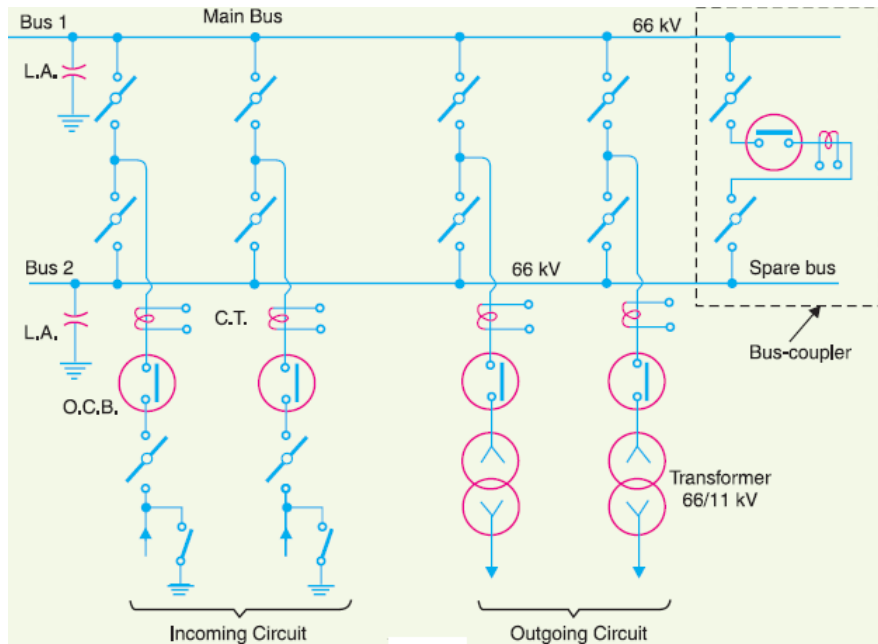
- 1- يمكن إزالة الخطأ في مقطع دون فصل الطاقة الكهربائية عن المقطع الآخر.
- 2- يمكن صيانة أي مقطع مع استمرارية التغذية للمقطع الآخر وبذلك يضمن عدم الإطفاء الكلي للمحطة.
- 3- ممكن أن يستخدم هذا النوع لفولتية أعلى من (33KV) =



شكل 7 القضبان العمودية المفردة مع مجزئ القضبان

ج-القضبان العمودية المزدوجة: Double Bus Bar

يتألف هذا النوع من القضبان من مجموعتين أحدهما رئيسية والأخرى احتياط ،سعة كل منهما تساوي سعة المحطة ،يمكن ربط الخطوط الداخلة والخارجة إلى أي من القضبان بواسطة مقرن القضبان (Bus -Coupler) والذي يتألف من قواطع دورة وفواصل ، تربط الخطوط الداخلة والخارجة من المحطة إلى القضيبي الرئيسي عادة، يتم بقاء استمرارية تجهيز القدرة الكهربائية وذلك بتحويل الخطوط إلى القضيبي الاحتياط ،يستخدم هذا النوع للفولتيات من (66 KV) فما فوق.



شكل 8 القضبان العمودية المزدوجة

مزايا النقل للقدرة الكهربائية على الجهود العالية حسابيا: (Advantages of H.V transmission):

يتم نقل القدرة الكهربائية بواسطة أسلاك نحاسية أو أسلاك من سبائك النحاس والألمنيوم الخ لتكن مقاومة السلك الناقل

$$R =$$

$$P = I \cdot V \cos \Phi$$

P = power per phase

V = voltage per phase

$$I = p / V \cos \Phi$$

Let K = power losses in transmission line /phase

K = ليكن الفقد في خط النقل / طور

$$K = I^2 R$$

$$\therefore R = \frac{\rho L}{A} \therefore K = \frac{P^2}{V^2 \cos^2 \phi} \times \frac{\rho L}{A} \therefore \rho, A, L, P \text{ ثوابت} \therefore K \propto 1/V^2 \cos^2 \phi$$

نلاحظ ان K الخسائر النحاسية للسلك الناقل تتناسب عكسيا مع مربع الجهد و كذلك مع مربع معامل القدرة .

مثال: خط نقل ذات قدرة مقدارها 150 MVA عند معامل قدرة 0.8 متأخر تنقل الى مسافة قدرها 360 KM

بواسطة خط نقل هوائي ثلاثي الأوجه بفرض بقاء مادة الموصل ثابتة . قارن بين استخدام الفولتيتين (100KV ,

200KV) من ناحية : 1-حجم مادة الموصلات . 2- الهبوط في الجهد على الموصل . 3- المفاقد في الخط .

الحل :

مساحة المقطع في حالة 100KV ضعف مساحة المقطع في حالة 200KV لذلك يتناسب مساحة مقطع السلك عكسيا مع الفولتية .

$$\text{At (100KV)} \quad I = S / \sqrt{3} V = (150 \times 10^6) / (\sqrt{3} \times 10^5) = 866 A$$

$$\text{At (200 KV)} \quad I = S / \sqrt{3} V = 433 A$$

$$\text{At (100 KV)} \quad \text{Let resistance / phase} = R \Omega$$

$$\therefore \text{At (200 KV)} \quad \text{resistance / phase} = 2R \Omega$$

$$\text{At (100 KV)} \quad V_D = IR = 866 * R = 866 R \quad V$$

$$\text{At (200 KV)} \quad V_D = IR = 433 * 2R = 866 R \quad V$$

Voltage drop is constant

$$\text{At (100KV)} \quad K = I^2 R = (866)^2 \quad R = 749956 R$$

$$\text{At (200KV)} \quad K = I^2 R = (433)^2 \quad 2R = 374978 R$$

اذن المفاقيد تقل الى النصف عند رفع الفولتية الى الضعف اي المفاقيد تتناسب عكسيا مع الفولتية . اذن كلما ارتفع الجهد في النقل كان افضل من الوجهة الاقتصادية بالرغم من كبر الابراج والعوازل وتكاليف المحولتين عند الجهد .

النقل للجهود العالية بالتيار المستمر :

يتميز استخدام التيار المستمر بالمزايا التالية عن استخدام التيار المتردد :

- 1- حجم الموصلات يقل عند نفس القدرة للحمل .
- 2- لا وجود للمتسعات بالنتيجة لا وجود لتيار المتسعات .
- 3- لا وجود للمحاثات بالنتيجة لا وجود لهبوط للجهد عليها .
- 4- مصاعب العزل اقل منها في حالة التيار المتردد.
- 5- لا توجد مفاقيد هسترة في المادة العازلة للكابلات الأرضية .

لكن عيوبه : —————

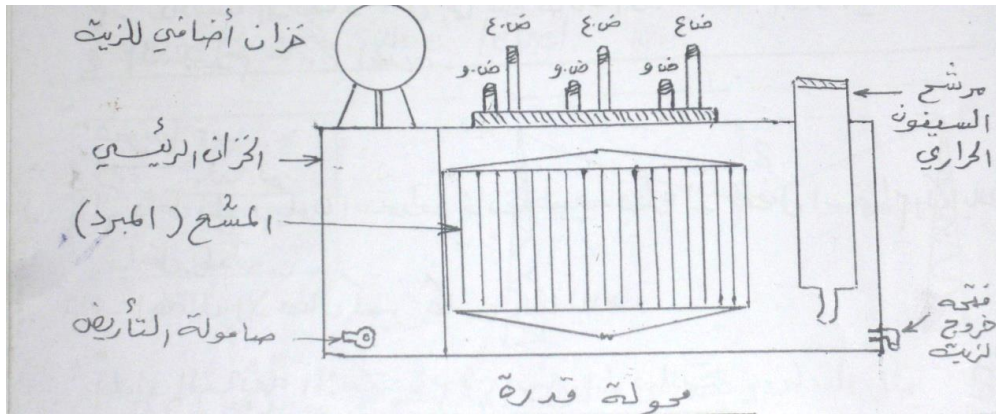
يجب تحويل التيار المتردد إلى مستمر عند جهة الإرسال وتحويل التيار المستمر إلى متردد عند جهة الاستقبال ومع أن هذا ممكن بكفاءة عالية وتكاليف معقولة إلا أن استخدام التيار المستمر يتحدد طبقا للتطبيقات المطلوبة مقابل عيوب استخدام هذا النظام (يستخدم كابل DC بين بريطانيا وفرنسا تحت البحر حاليا).

محطات المحولات (المحطات الثانوية) : Sub Stations

يجب أن تكون المحطات على مسافة مناسبة من مراكز التوزيع ومراكز استخراج الوقود على سبيل المثال يجب أن تكون المحطات التي تستخدم الفحم كوقود قريبة من مراكز استخراج الفحم لتوفير تكلفة النقل بينما المحطات التي تعمل بالطاقة النووية يجب أن تكون بعيدة عن المدن لتوفير الأمان للكائنات الحية و يتحكم في موقع المحطات المائية خزانات المياه ومساقط المياه . ولهذا قد تصل المسافة بين محطة التوليد ومركز التوزيع إلى 160 كم في بعض الحالات وفي الدول المتقدمة تزداد الحاجة إلى زيادة الطاقة للمستهلكين للأغراض الصناعية والتجارية . ولنجاح عملية نقل الطاقة لمسافات بعيدة يجب أن تزداد فولتية الخط إلى 400 كيلو فولت ويسمى بفولتية الضغط الفائق وفي بعض الدول المتطورة تصل الفولتية إلى 800 كيلو فولت . يتم ربط محطات التوليد وشبكات النقل ومراكز التوزيع بخطوط هوائية ثلاثية الأوجه .

محولات القدرة :

تعد محولات القدرة من أهم مكونات المحطات الثانوية بينما تعد الأجهزة الأخرى أجهزة مساعدة وثانوية لإغراض التحكم والسيطرة ، تكون محولات القدرة عادة ثلاثية الأطوار وتختلف سعة هذه المحولات تبعا لسعة المحطة ، وتكون أما محولات رافعة للجهد وهذه المحولات تكون قريبة من محطات التوليد أو محولات خافضة للجهد والتي تكون قريبة من المستهلكين .



شكل 9 محولات القدرة

محطات المحولات داخل المباني	محطات المحولات خارج المباني
1- تستخدم لجهد KV11-6 2- يجب تحديد أبعاد المبنى تبعاً لحجم المعدات المركبة و المسافات التي يجب تركها بين الأجزاء الحاملة للتيار وأجزاء المبنى. 3- قد تتكون هذه المحطات من طابقين أو ثلاثة حسب القدرة الكلية للمحطة وتصميم القضبان العمومية وعدد الخطوط وأنظمتها . 4- في بعض الأحيان تقام محطات المحولات ذات جهد KV 100-33 داخل المباني في حالة عدم توفر المساحة الكافية خارج المباني أو إذا احتوى الهواء المحيط على مواد لها تأثير ضار.	1- تستخدم لجهد KV 800-35 2- توضع جميع الأجهزة والمعدات الحاملة للتيار في العراء وتثبت على هياكل حديدية. المحاسن / 1- التوفير في إقامة المباني . 2- تقليل خطوة امتداد التلف لبعده المسافات . 3- سهولة تركيب وفك المعدات عند استبدالها . العيوب / 1- استخدام مساحة ارض اكبر . 2- صعوبة التشغيل ، حيث يجب اختبار المعدات مهما كانت الأحوال الجوية . 3- تعرض المعدات لتغيرات شديدة في درجات حرارة الهواء والأترربة مما يستلزم تصميم خاص .

خطوط النقل الهوائية : (6) Over –Head Transmission Lines

الغرض من خطوط النقل الهوائية هو لنقل القدرة الكهربائية من محطات توليد الطاقة الكهربائية الى المحطات الثانوية ومن ثم الى المستهلك.

تصنيف خطوط النقل حسب الأطوال :

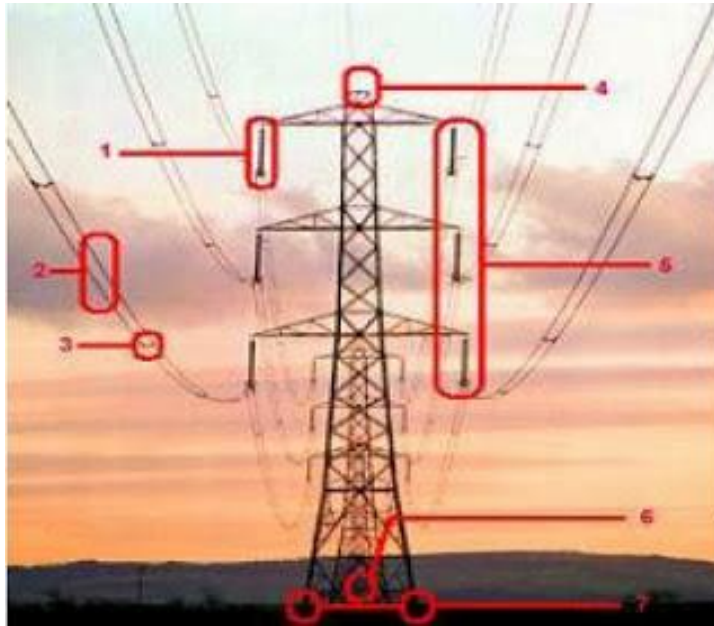
- لا تختلف الخطوط فيما بينها من ناحية المكونات والتركيب .
- 1- خط النقل القصير (الطول > 80 كم) يهمل تأثير المتسعة المتوازية للخط القصير.
 - 2- خط النقل المتوسط (80 كم $>$ الطول > 250 كم)
تحتسب قيمة المتسعة المتوازية للخط المتوسط وتعتبر متمركزة في نقطة او نقطتين .
 - 3- خط النقل الطويل (الطول < 250 كم)
نحتاج إلى حسابات بدلالة المعاملات (Parameters) الموزعة على طول الخط الطويل .

محاسنها : Advantages

- 1- سهولة تحديد الأعطال .
- 2- سهولة الإنشاء .
- 3- تكاليف الإنشاء اقل مما في حالة الكابلات الأرضية .
- 4- تستخدم خارج المدن .

عيوبها : Disadvantages

- 1- داخل المدن يكون استخدامها ذات طبيعة خطيرة لذا يفضل استخدام الكابلات داخل المدن .
 - 2- احتمال الأعطال كبير عكس الكابلات .
- يوضح الشكل أدناه صورة لبرج نقل كهربائي جهد 220 ك ف موضحا عليه بعض مكوناتها الرئيسية وهي :



- (1) Insulator سلسلة العازل
- (2) Bundle of two conductors حزمة من اثنين من الموصلات
- (3) Spacer فاصل بين الموصلات
- (4) Steel wire or OPGW wire سلك الأرضي في أعلى البرج
- (5) الثلاث موصلات يشكلون دائرة كهربية واحدة
- (6) Identity or Notice plate لوحة تعريفية توضح هوية الخط وتحذر من مخاطر الصعق الكهربائي
- (7) Anti-climbing مانع التسلق (اسلاك شائكة).

خطوط النقل والكابلات: تستخدم الخطوط الهوائية و الكابلات الأرضية في نقل القدرة الكهربائية من محطات التوليد وعبر محطات المحولات مختلفة الجهود حتى تصل الى مناطق الاستهلاك .

مقارنة بين الخطوط و الكابلات الأرضية

وجه المقارنة	الخطوط الهوائية	الكابلات الأرضية
التكلفة الاقتصادية	التكلفة رخيصة	التكلفة كبيرة
الأعطال	زمن إصلاح العطل قليل سهولة تحديد مكان العطل	زمن إصلاح العطل طويل صعوبة تحديد مكان العطل
الصيانة	غير مكلفة	مكلفة
الفقد في القدرة المنقولة	كبير	قليل
المسارات	خارج نطاق الكتلة السكنية	داخل نطاق الكتلة السكنية

المواد الشائعة الاستخدام في صنع الموصلات :تتكون موصلات الخطوط الهوائية من أسلاك عارية , تكون أما موصلات مجدولة وهذه الموصلات مساحة مقطعها لا تزيد عن 16 ملم² أو موصلات مصمتة solid conductor وتكون مساحة مقطعها أكثر من 16 ملم².

1- النحاس وسبائك النحاس :يمتاز بموصلية عالية ومقاومة ميكانيكية عالية نسبيا ومعدل تأكسد النحاس في الهواء بطيء وقابلية اللحام عالية وسعرها غالي.

2- الألمنيوم و سبائك الألمنيوم: يمتاز بخفة وزنه فالألمنيوم أخف من النحاس ب 3,3 مرة

3- الألمنيوم المقوى بالصلب Steel – Cord Aluminum .

العوامل التي تؤثر على اختيار مادة الموصل :

1- الموصلية .

2- المقاومة الميكانيكية .

3- الجهد العالي .

4- الوزن .

أما الحسابات فتجري بالقيم الطورية .

أبراج خطوط النقل :

الغرض من استخدام لأبراج الكهربائية هو الحفاظ على الموصلات على ارتفاع آمن من الأرض وكذلك على مسافة آمنة بينها وبين بعضها البعض وتعتمد تكلفة البرج الكهربائي على جهد الخط وتصميمه ونقل المعدات وظروف العمل وبعده عن الطرق.

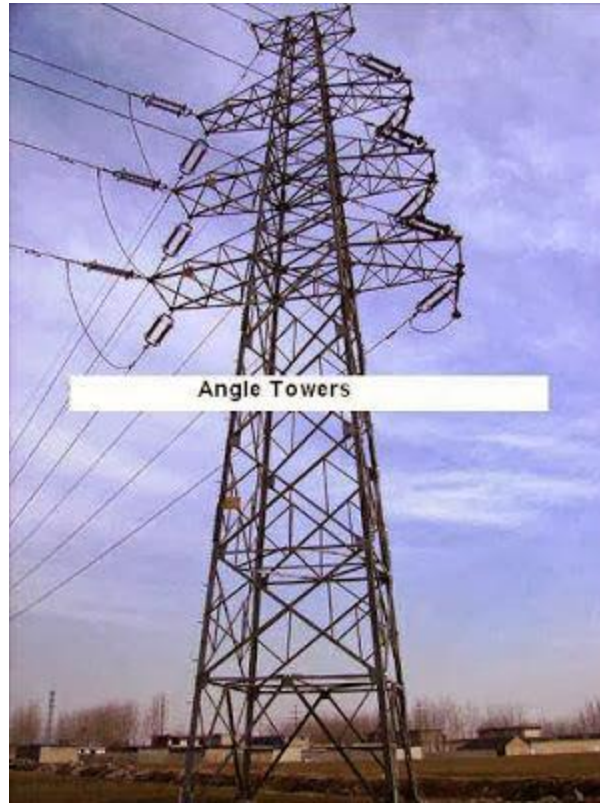
وهناك عدة أنواع من الأبراج الكهربائية ويمكن بناؤه من الخشب **Wood** أو الصلب المجلفن **Galvanized Steel** غير أن النوع الثاني هو الأكثر شيوعاً في الجهود العالية ويمكن أن يحمل البرج الكهربائي دائرة كهربائية واحدة (الدائرة تحمل ثلاثة أوجه **three phases**) أو اثنين (في بعض الدول المتقدمة توجد أبراج تحمل أربع دوائر) ويجب أن يراعى عند تصميم الأبراج وجود مسافات أمان بين الموصلات والأرض.

العوامل التي تؤثر في تصميم الأبراج الكهربائية:

- 1- الجهد الكهربائي المستخدم.
 - 2- عدد الدوائر التي يحملها البرج.
 - 3- العوامل الميكانيكية التي يتعرض لها الخط (رياح – ثلوج.....)
 - 4- أقطار الموصلات والمسافة بينها.
 - 5- المسافة بين الأبراج.
- ترتب أبراج خطوط النقل تبعاً لنوع المادة المصنوعة منها ووظيفتها وهي :
- 1- أبراج التعليق (**Suspension**): ويستخدم هذا النوع من الأبراج لحمل الموصلات على استقامة الخط ولا يتحمل أي زاوية انحراف والمسافة بين كل برجين من 325 إلى 350 متر وتشكل هذه الأبراج حوالي 80 % من إجمالي عدد الأبراج في الخط.



2- أبراج الزاوية: Angle Tower وفائدتها تغيير مسار الخط ويستخدم عند وجود تغيير في مسار الخط بزوايا .



3- أبراج الشد : Tension Towers : يستخدم في الخط بزوايا انحراف 45° كحد اقصى وفائدتها تحمل الشد في الخط.



- 4- أبراج التبادل : **Transposition Towers** : يستخدم لتغيير اتجاه الاسلاك في الخطوط ذات المسارات الطويلة ويتم بتبادل الاوجه على مسافات متساوية بطول الخط لكي يحدث تعادل أو تساوى للسعة Capacitance والمحاثة Inductance للأوجه الثلاثة بطول الخط.



Transposition Towers

- 5- أبراج التعليق والزاوية :

- 6- أبراج البداية النهاية : **Terminal Towers** : وتستخدم عند بداية ونهاية خط النقل أو مدخل ومخرج محطات النقل الكهربيه وهى أبراج شد وفانديتها تحمل الشد من جهه واحده .

-7



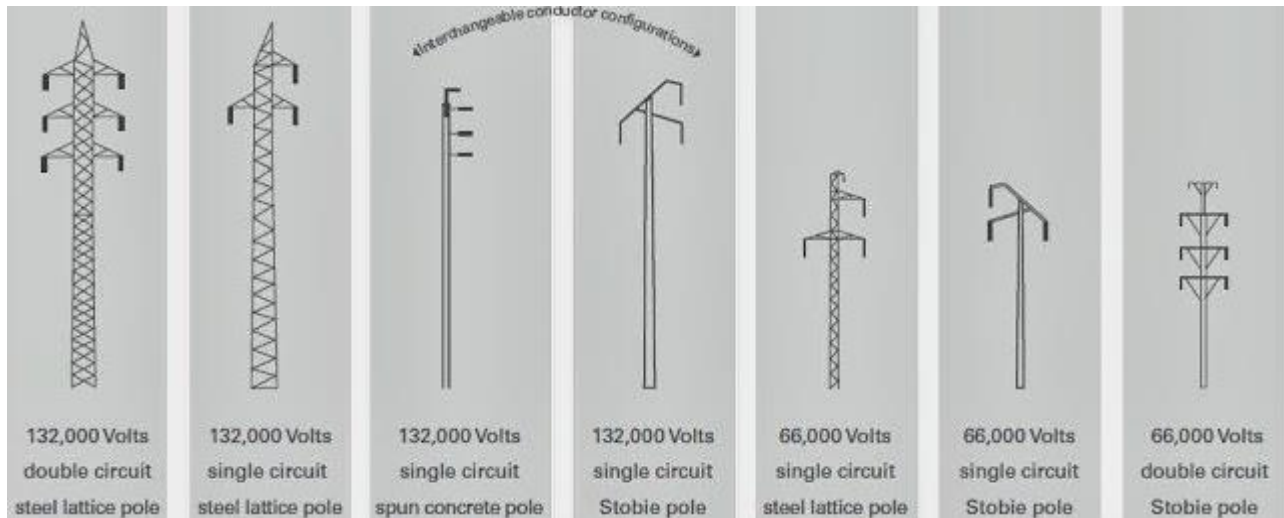
25

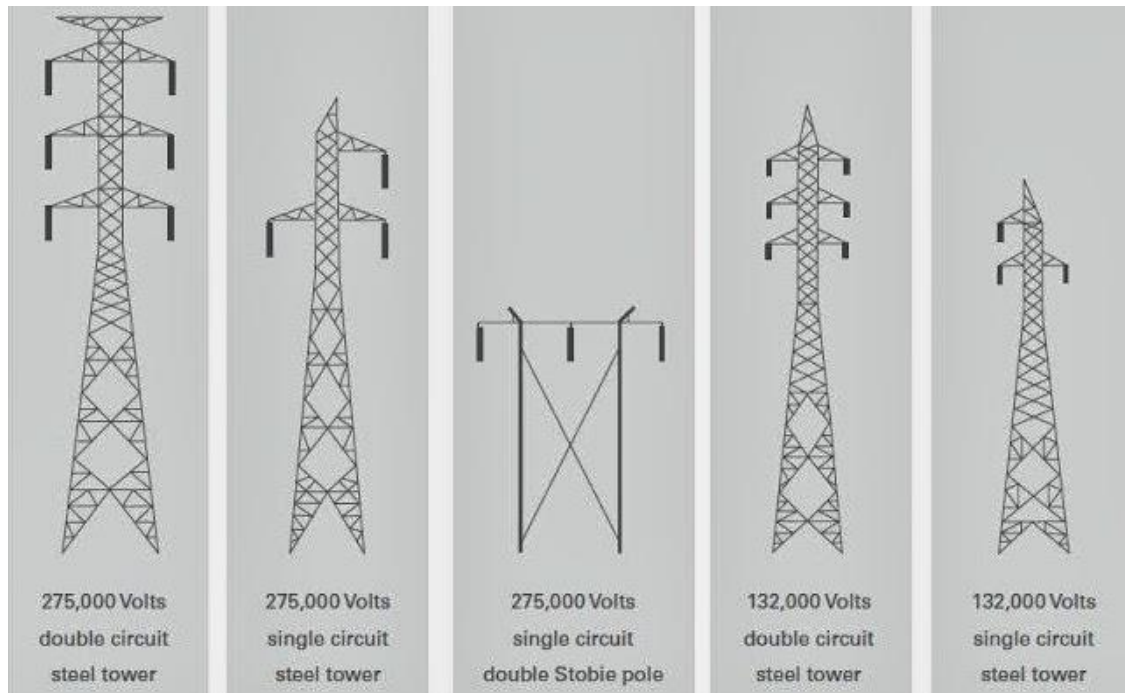
7- أبراج التوزيع :

8- أبراج العبور : **Crossing Towers** وتستخدم عند عبور الأنهار أو الجسور أو الطرق السريعة التي لها ارتفاعات عالية أو غير ذلك من التقاطعات .



والأشكال التالية توضح بعض نماذج من الأبراج الشائعة الاستخدام في خطوط النقل الهوائية





مخاطر السكن قرب الابراج الكهربائية :

هناك مجال كهرومغناطيسي يحيط بأبراج وشبكات وخطوط الضغط العالي. وقد وجدت في بعض الدراسات أن هذا المجال الكهرومغناطيسي المنبعث من الأسلاك بالتوتر العالي يسبب أمراضاً للسكانين بقرب هذه الأبراج وهناك دراسات أجريت في بريطانيا وأمريكا وقد أظهرت هذه الدراسات وجود خطورة للسكان القريب من أسلاك الكهرباء وأبراج الطاقة أو التوتر العالي أو محولات الطاقة الكهربائية بسبب المجال الكهرومغناطيسي الذي ينبعث منها، فقد وُجد أنه يضاعف من احتمال حدوث سرطان الدم عند الأطفال، وأشارت إلى ضرورة ترك مسافة خمسين متر على الأقل كمسافة آمنة. وهناك أمراض أخرى يُقال: إن لها علاقة مع هذا التعرض، مثل أمراض القلب وبعض الأمراض العصبية إلا أن ذلك لم يثبت، وتحدد الدول مسافة آمنة حول هذه الأبراج.

منحنى الحمل :

تسمى العلاقة بين الحمل والزمن بمنحنى الحمل وعادة تكون القدرة الكيلو واط أو الميكا واط والزمن بالساعات وتبدأ من منتصف الليل وتسمى بمنحنى الحمل اليومي . ومن منحنى الحمل يمكن الحصول على عدة معلومات ومنها:

- 1- المساحة تحت المنحنى تمثل الطاقة الكهربائية بالكيلو واط ساعة .

- 2- أعلى قيمة للمنحنى وتمثل أقصى قيمة للحمل المطلوب في ذلك اليوم .

- 3 - المساحة تحت المنحنى مقسومة على عدد الساعات يمثل معدل الطلب في ذلك اليوم .

- 4- معامل الحمل .

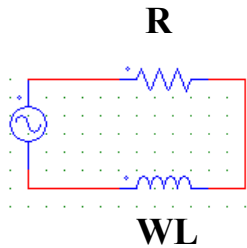
انواع الأحمال :

الأحمال المنزلية - الأحمال الصناعية - الأحمال التجارية - الأحمال البلدية - أحمال النقل بالقاطرات أحمال الإرواء جميعها احمال حثية .

اعتماد القدرة على الفولتية والتردد:

تتألف معظم الأحمال المربوطة على قضبان أنظمة النقل والتوزيع من محركات كهربائية حثية وأحمال ساكنة ، تتألف من مقاومة ومحاثة يمكن تمثيلها بالدائرة الكهربائية المجاورة . التغير في القدرة يعتمد على الفولتية والتردد وكذلك على معدل تغير الفولتية ومعدل تغير التردد مع الزمن .

$$p = \left(\frac{R}{R^2 + (wl)^2} \right) V^2$$

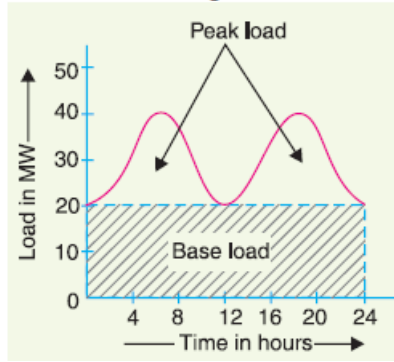


$$Q = \left(\frac{wl}{R^2 + (wl)^2} \right) V^2$$

1-الحمل المربوط : Connected Load : يقصد به مجموع مقننات القدرة المستمرة لجميع الأجهزة المربوطة على نظام التجهيز فمثلا إذا كان لدى مستهلك 5 مصابيح سعة 100 واط لكل واحد وحمل آخر يستهلك 500 واط لذلك فان مجموع الأحمال المربوطة هي 1000 واط .

2-الحمل الأساس : Base Load : ويقصد به الحمل الثابت الذي لا يتغير طوال الليل والنهار .

3-حمل الذروة : Peak Load : يمثل النهايات العظمى على المنحنى والتي تقع أعلى الحمل الأساس للمحطة بأقصى حمل وتكون هذه الطلبيات جزء من الحمل الكلي .



4- الطلب : Demand: هو الحمل خلال فترة زمنية محددة وبما انه يعني الحمل المعدل على فترة زمنية معينة لذلك لا يوجد ما يسمى الطلب اللحظي .

5 - متوسط الطلب : Average Demand: متوسط القدرة المطلوبة خلال فترة زمنية معينة مثلاً يوم او شهر او سنة .

القدرة المستهلكة خلال فترة زمنية (Kwh)

$$\text{متوسط طلب القدرة} = \frac{\text{القدرة المستهلكة خلال فترة زمنية (Kwh)}}{\text{عدد الساعات خلال الفترة}}$$

6- أقصى طلب : Maximum Demand: هو أعلى طلب يحدث ضمن فترة زمنية معينة ولمعرفته يجب ان تحدد الأمور التالية:

أ/ بيان تاريخ الفترة المطلوب إيجاد أقصى حمل فيها

ب/ بيان مدى الفترة الزمنية التي يتم على أساسها احتساب أقصى طلب

7- عامل الطلب : Demand factor: هو النسبة بين أقصى طلب حقيقي الى مجموع الأحمال المربوطة.

أقصى طلب

$$\text{عامل الطلب} = \frac{\text{أقصى طلب}}{\text{مجموع الأحمال المربوطة}}$$

س1/ أوجد عامل الطلب لمغذي يجهز الأحمال التالية 3 مصابيح 100 واط 10 مصابيح 40 واط 5 مصابيح 60 واط افترض أن أقصى طلب لفترة 30 دقيقة هو 650 واط .

$$\text{عامل الطلب} = \frac{\text{أقصى طلب}}{\text{مجموع الأحمال المربوطة}} = \frac{650}{3 \times 100 + 10 \times 40 + 5 \times 60} = 65\%$$

8- عامل الحمل Load Factor: النسبة بين متوسط الطلب إلى أقصى طلب .

معدل الطلب

$$\text{عامل الحمل} = \frac{\text{معدل الطلب}}{\text{أقصى طلب}}$$

أقصى طلب

إن من الضروري معرفة الفترة الزمنية التي يتم فيها احتساب أقصى طلب ومتوسط القدرة بدقة .

إذا احتسب أقصى طلب لمدة 30 دقيقة ومتوسط القدرة على مدى شهر يكون عامل القدرة (نصف ساعة – شهري)

$$\text{عامل الحمل اليومي} = \frac{\text{عدد الوحدات المجهزة فعلياً/ يوم}}{\text{أقصى قدرة مطلوبة} \times 24} \text{ الوحدة (كيلو واط ساعة)}$$

عدد الوحدات المجهزة فعلياً/ شهر

$$\text{عامل الحمل الشهري} = \frac{\text{عدد الوحدات المجهزة فعلياً/ شهر}}{\text{أقصى قدرة مطلوبة} \times 24 \times 30}$$

أقصى قدرة مطلوبة $\times 24 \times 30$

متوسط عدد الوحدات المجهزة فعلياً/ سنة

$$\text{عامل الحمل السنوي} = \frac{\text{متوسط عدد الوحدات المجهزة فعلياً/ سنة}}{\text{أقصى قدرة مطلوبة} \times 24 \times 365}$$

أقصى قدرة مطلوبة $\times 24 \times 365$

س 2/ محطة توليد ربط عليها حمل قيمته 43 Kw أقصى طلب كان 20 Kw فإذا علمت إن عدد وحدات التوليد / سنة

$10^6 \times 61,5$ w.h احسب عامل الطلب D.F، عامل الحمل L.F ؟

الحل /

أقصى طلب 20 Kw

$$\text{عامل الطلب} = \frac{20 \text{ Kw}}{43 \text{ Kw}} = 0,465$$

مجموع الأحمال المربوطة 43 Kw

متوسط عدد الوحدات المجهزة فعلياً/ سنة $10^6 \times 61,5$

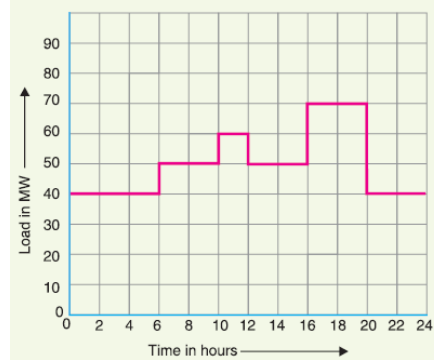
$$\text{عامل الحمل السنوي} = \frac{10^6 \times 61,5}{365 \times 24 \times 8760 \times 10^3 \times 20} = 35,1\%$$

أقصى قدرة مطلوبة $\times 24 \times 365$

مثال 3 / محطة توليد لها دورة حمل يومي كما يلي :

الزمن (ساعة)	6-0	10-6	12-10	16-12	20-16	24-20
الحمل (Mw)	40	50	60	50	70	40

ارسم منحنى الحمل وأوجد أ/ أقصى حمل ب/ عدد وحدات التوليد باليوم ج/ معدل الحمل د/ عامل الحمل .
أقصى حمل = 70 MW



عدد وحدات التوليد باليوم $10^3 \times (4 \times 40 + 4 \times 70 + 4 \times 50 + 2 \times 60 + 4 \times 50 + 6 \times 40) =$

$$\text{Mwh } 1200 = \text{Kwh } 1200000 =$$

$$\text{Kw } 50000 = \frac{1200\ 000}{24} = \frac{\text{عدد الوحدات المجهزة فعلياً في اليوم}}{24} = \text{معدل الحمل}$$

$$\text{عامل الحمل} = \frac{\text{معدل الحمل}}{\text{أقصى حمل}} = \frac{50000}{70000} = 0.714 = 71.4\%$$

س 4 / محطة توليد لها منحنى دورة حمل يومي كما يلي :

الزمن (ساعة)	6-0	10-6	12-10	16-12	20-16	24-20
الحمل (MVA)	20	30	40	50	0	90

ارسم منحنى الحمل وجد: 1- أقصى طلب 2- عدد وحدات التوليد باليوم 3- معدل الحمل 4- عامل الحمل
الحل : أقصى طلب هو 90 ميكا واط

عدد وحدات التوليد باليوم $= 20 \times 6 + 30 \times 4 + 40 \times 2 + 50 \times 4 + \text{صفر} + 90 \times 4 = 880$ ميكا واط

معدل الحمل $= \frac{\text{باليوم التوليد وحدات عدد}}{\text{(ساعة 24)}} = \frac{24}{880} = 36.66$ ميكا واط

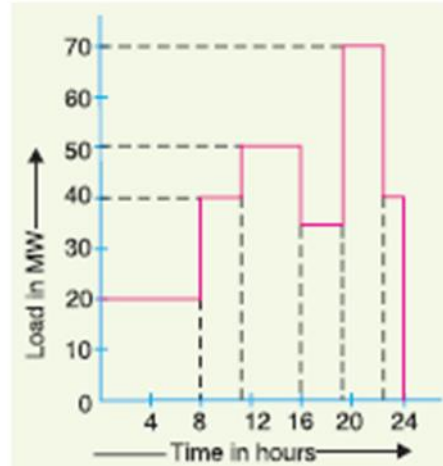
عامل الحمل $= \frac{\text{(الحمل معدل)}}{\text{(حمل أقصى)}} = \frac{90}{36.66} = 40\%$

س 5 / محطة توليد لها ذروة حمل يومي وكما يلي :

Time in hours	6-8	8-11	11-16	16-19	19-22	22-24	24-6
Load in MW	20	40	50	35	70	40	20

ارسم منحنى الحمل وجد : معدل الحمل . 2- عامل الحمل .

$$\begin{aligned}
\text{Units generated per day} &= \text{Area (in kWh) under the load curve} \\
&= 10^3 [20 \times 8 + 40 \times 3 + 50 \times 5 + 35 \times 3 + 70 \times 3 + 40 \times 2] \\
&= 10^3 [160 + 120 + 250 + 105 + 210 + 80] \text{ kWh} \\
&= 925 \times 10^3 \text{ kWh} \\
\text{Average load} &= \frac{925 \times 10^3}{24} = 38541.7 \text{ kW} \\
\text{Load factor} &= \frac{38541.7}{70 \times 10^3} \times 100 = 55.06\%
\end{aligned}$$



واجب بيتي :

س 6 / محطة توليد بسعة M. w 100 تجهز M. w 100 لفترة 2 ساعة / يوم ، M. w 50 لفترة 6 ساعة / يوم ، وتبقى بدون توليد لبقية اليوم كما أنها لا تعمل 45 يوم لأغراض الصيانة . ارسم منحنى الحمل وأوجد عامل الحمل السنوي ؟

س 7 / محطة توليد لها ذروة حمل يومي وكما يلي :

الزمن (ساعة)	24-20	20-16	16-12	12-10	10-6	6-0
الحمل (Mw)	20	35	25	30	25	20

ارسم منحنى الحمل وأوجد أ / أقصى حمل ب/ عدد وحدات التوليد باليوم ج/ معدل الحمل د/ عامل الحمل.

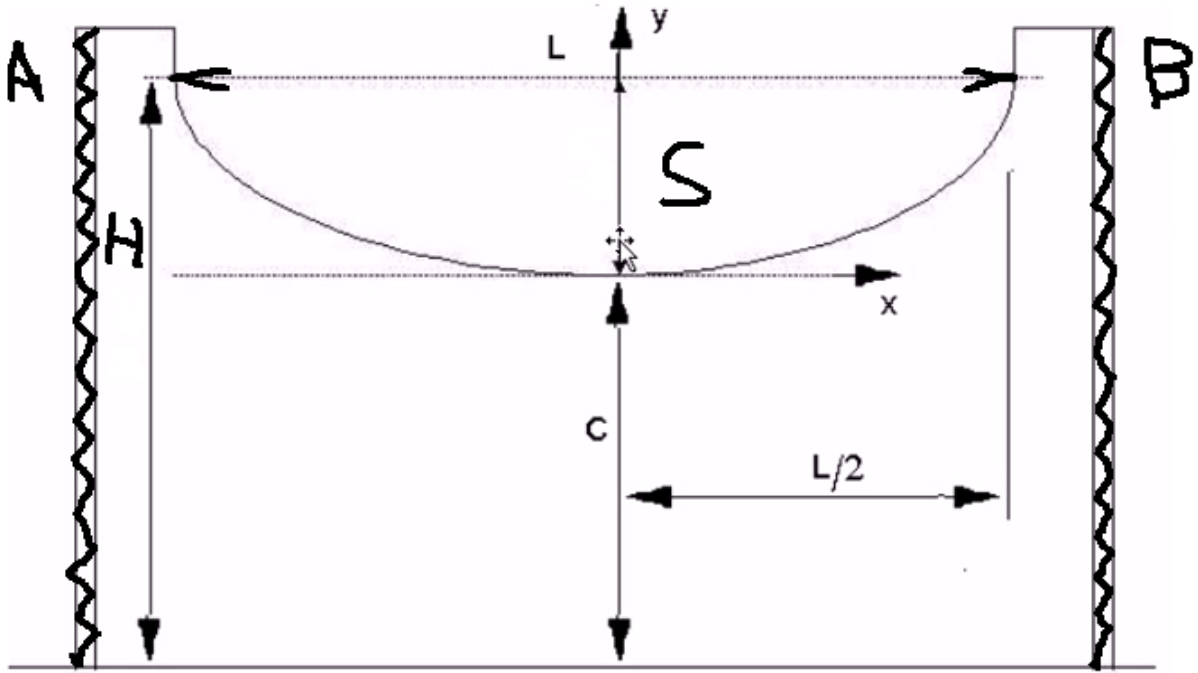
س 8 / محطة توليد بسعة M. w 150 تجهز M. w 100 لفترة 6 ساعة / يوم و M. w 75 لفترة 6 ساعة / يوم ، بدون توليد لبقية اليوم كما أنها لا تعمل شهرين لأغراض الصيانة . ارسم منحنى الحمل وأوجد: 1 / أقصى حمل 2 / عدد وحدات التوليد باليوم 3 / معدل الحمل 4 / عامل الحمل .

الحسابات الميكانيكية للخطوط الهوائية: (7)

التدلي Sag: هي المسافة العمودية بين خط مستقيم واصل بين برجين وادنى نقطة على السلك الموصل بينهما ويعتمد التدلي على :

- 1- قوة الشد
- 2- وزن الموصل
- 3- درجة الحرارة حيث يزداد التدلي بزيادة درجة الحرارة .
- 4- المسافة بين الابراج .
- 5- العوامل المناخية .

حساب التدلي في حالة كون المساند بمستوى واحد : Supports at same level



التدلي (الترخيم) لبرجين بمستوى واحد

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

$$H = S + C$$

S يمثل التدلي ويقع في منتصف الخط الهوائي ووحداته المتر (م)

T يمثل شد الموصل ووحداته نيوتن (نت)

W يمثل وزن الموصل ووحداته نيوتن / متر (نت/م)

L المسافة بين البرجين ووحداتها المتر (م)

ارتفاع البرج A يساوي ارتفاع البرج B = H ووحداتها المتر (م)

C = المسافة بين اوطا نقطة على السلك و سطح الارض ووحداتها المتر (م)

س 1/ خط نقل هوائي بطول (152م) مسنود بمساند على مستوى واحد ، القطر الفعال للموصلات (2,062 سم) ، مساحة المقطع للسلك (3,065 سم²) وكتلته (2,292 كغم / م) ، أوجد التدلي ؟ علما ان أقصى قوة شد على الموصلات (1054,63 كغم / سم²).

الحل:

$$W = 9.81 \times 2.292 = 22.484 \text{ N/m}$$

لإيجاد الوزن ب (نت / م)

$$T = 1054.63 \times 3.065 = 3232.44 \text{ Kg}$$

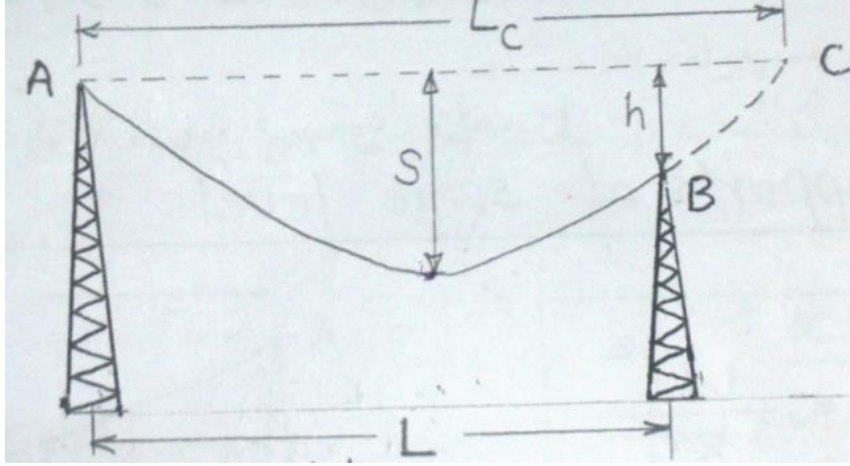
لإيجاد قوة الشد الكلية على الموصل

$$T = 3232.44 \times 9.81 = 3.17 \times 10000 \text{ نيوتن}$$

$$S = \frac{WL^2}{8T} = \frac{22.484 \times (152)^2}{8 \times 3.171 \times 10000} = 2.05 \text{ m}$$

حساب التدلي كون المساند ليست بمستوى واحد:

قد تكون الأبراج بمستويات مختلفة في كثير من الأحيان وخاصة عند مرور الشبكات الكهربائية في مناطق جبلية أو عند تقاطعها مع حواجز طبيعية كالأنهار مثلا .



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

$$Lc = L + \frac{2Th}{WL}$$

h = ارتفاع البرج العالي – البرج الواطئ ووحداته (متر M)

Lc = الطول الافتراضي بين البرجين بنفس المستوى ووحداته (m)

L = الطول الفعلي للخط الهوائي ووحداته (m)

S = التدلي ووحداته (m)

W = وزن الموصل ووحداته (N/m) (نت/م)

T = شد الموصل ووحداته (N) (نت)

- س2/ خط نقل هوائي بطول (336m) ، مسنود على طرفي نهر بمسندين (برجين) ارتفاعهما (29m) ، (33.6m) عن مستوى الماء ، وزن الموصل (8.33N/m) إذا كان الشد على الموصل لا يتجاوز $N(10000 \times 3.34)$ احسب
- 1- المسافة بين أوطا نقطة على الموصل والماء = C
 - 2- بعد أوطا نقطة على الموصل عن البرج المنخفض (أقصر مسافة بين أوطا نقطة والعمود الواطي)
- الحل :**

$$L_c = L + \frac{2TH}{WL}$$

$$H = h_1 - h_2 = 33.6 - 29 = 4.6 \text{ m}$$

$$L_c = 336 + \frac{2 \times 3.34 \times 10000 \times 4.6}{336 \times 8.33} = 445.79 \text{ m}$$

$$S = \frac{WL_c^2}{8T} = \frac{8.33 \times (445.79)^2}{8 \times 3.34 \times 10000} = 6.195 \text{ m}$$

- أوطاً نقطة تنخفض (6.195)م عن البرج الأعلى والذي يرتفع (33.6) م عن سطح الماء = C
- لذا فإن المسافة بين أوطا نقطة و سطح الماء
- $$C = h_1 - S = 33.6 - 6.195 = 27.405 \text{ m}$$
- المسافة بين أوطاً نقطة والبرج العالي هي منتصف L_c
- $$Y = 0.5 L_c = 445.79 \times 0.5 = 222.89 \text{ m}$$
- المسافة بين أوطاً نقطة على الموصل والبرج الواطي
- $$X = L - \frac{1}{2} L_c = 336 - 222.89 = 113.11 \text{ m}$$

- س3 / خط نقل مسند ببرجين عبر نهر ارتفاعهما (50 متر) ، (55 متر) عن مستوى الماء ، المسافة الأفقية بين البرجين (300 متر) قوة الشد على الموصل (2000كغم) ، وزن الموصل (0,85كغم / م) جد :
- 1- ادنى مسافة بين الموصل والماء = C .
 - 2- بعد ادنى نقطة على الموصل عن البرج العالي = Y
 - 3- بعد ادنى نقطة على الموصل عن البرج الواطي = X.

$$H = h_1 - h_2 = 55 - 50 = 5 \text{ m}$$

$$L_c = L + \frac{2TH}{WL} = 300 + \frac{2 \times 2000 \times 9.81 \times 5}{0.85 \times 9.81 \times 300} = 378.5 \text{ m}$$

$$S = \frac{WLc^2}{8T} = \frac{0.85 \times (378.5)^2}{8 \times 2000} = 7.6 \text{ m}$$

أوطاً نقطة تنخفض (7.6) م عن البرج الأعلى والذي يرتفع (55) م عن سطح الماء C= لذا
فان المسافة بين اوطاً نقطة و سطح الماء C= h1-S = 55 - 7.6 = 47.4 m

$$Y = 0.5 Lc = 0.5 \times 378.5 = 189.25 \text{ m}$$

أوطاً نقطة والبرج العالي هي منتصف Lc

$$X = L - \frac{1}{2} Lc = 300 - 189.25 = 110.75 \text{ m}$$

المسافة بين أوطاً نقطة على الموصل والبرج الواطي

تأثير الرياح والجليد على حسابات التدلي :

ربما يتعرض الموصل بالإضافة الى وزنه إلى تأثيرات أخرى وهي ضغط الرياح أو زيادة الوزن بسبب الجليد المتجمع حول الموصل وهذه العوامل تؤثر على الوزن الكلي للموصل وبالتالي على التدلي .

$$S = \frac{F_t Lc^2}{8T}$$

$$F_t = \sqrt{(W + W_i)^2 + F_w^2}$$

حيث أن : W = وزن مادة الموصل ووحداته (نت / م)

W_i = وزن الجليد ووحداته (نت / م)

F_w = ضغط الرياح ووحداته (نت / م)

F_t = محصلة القوى الكلية ووحداتها (نت / م)

واجب بيته :

س 4 / خط نقل هوائي مسند ببرجين عبر نهر ارتفاعهما (60) م ، (75) م عن مستوى سطح الماء المسافة الافقية بين البرجين (500) م قوة الشد على الموصل (1000) كغم وزن الموصل (0.9) كغم / م . جد أدنى مسافة بين الموصل و سطح الماء علماً أن الموصل يتعرض لتأثير ربح مقداره (0.5) نت/م.

س 5 / أعد حل السؤال السابق معتبراً أن خط النقل تحت تأثير تجمع جليد حول الموصل بحيث أن وزن الجليد (2) نت / م .

الحسابات الكهربائية لخطوط النقل الهوائية: (8)

حساب العناصر الأساسية للخطوط :

حساب المقاومة : The Resistance

R_0 هي مقاومة الموصل للتيار وتسمى المقاومة الفعالة في حالة كون التيار موزع بانتظام على مساحة المقطع .

$$R_0 = \frac{\rho L}{A} \quad \rho \text{ المقاومة النوعية لمادة الموصل ووحداتها أوم . متر (} \Omega \cdot \text{m)}$$

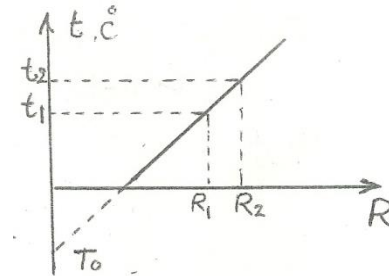
L طول الموصل ووحداته متر (m)

A مساحة المقطع العرضي للموصل ووحداتها m^2

العوامل التي تؤثر في مقاومة موصلات خطوط النقل :

1- الموصلات المجدولة تزيد المقاومة بحدود 1% الى 2%.

2- درجة الحرارة وتزداد المقاومة زيادة خطية مع درجة الحرارة .



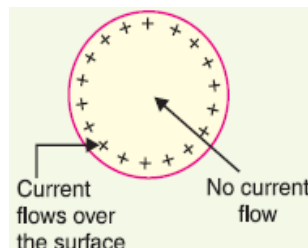
حيث T_0 ثابت يعين من المنحني ويختلف حسب نوع المادة

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{T_0 + t_2}{T_0 + t_1}$$

3- ظاهرة القشرة (Skin effect):

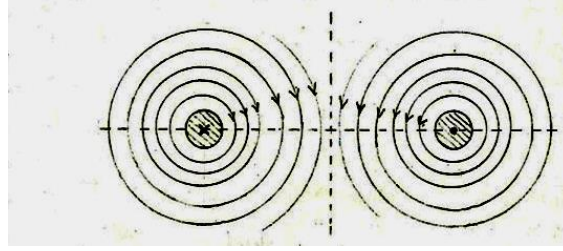
المقاومة النوعية لمادة الموصل تبقى ثابتة في حالة التيار المتناوب والمستمر الا ان المقاومة الكلية للموصل لاي موصل تكون اكبر في حالة التيار المتناوب منها في حالة التيار المستمر . وذلك بسبب المجال المغناطيسي المتناوب الذي يظهر في حالة التيار المتناوب والذي يعمل على توليد قوة دافعة كهربائية مضادة لهذا المجال حث تكون قيمتها عند مركز الموصل اكبر منها في محيط الموصل الخارجي. وبالتالي التيار المتناوب النهائي يسري في الموصل بالقرب من السطح الخارجي له مما ينتج عنه تقليل مساحة المقطع الفعلية فتزداد قيمة المقاومة الكلية للموصل وهذا هو ما يعرف بظاهرة القشرة للموصلات عند استخدام التيار المتناوب. لذا يكون التيار موزعا بالتساوي على مساحة مقطع الموصل في حالة التيار المستمر DC فقط . ولكن في حالة التيار المتناوب مع زيادة التردد يكون التوزيع غير منتظم للتيار ويزداد مع زيادة التردد وتتركز كثافة التيار على القشرة الخارجية للموصل.

وبذلك تزداد المقاومة مع زيادة التردد $R \propto \sqrt{f}$



حساب محاثّة خطوط النقل الهوائية : Calculation the Inductance of O.H.T.L

عند مرور تيار كهربائي في دائرة كهربائية فسينشأ عنه فيض مغناطيسي في الفضاء ويمكن تحديد شكل هذا المجال من الشكل الهندسي للدائرة ولما كان التيار يمر في دائرة مغلقة فإن المجال المغناطيسي سيحلق حول الدائرة التي يمر فيها التيار .



عند تغيير التيار المار في الدائرة مع الزمن فإن التدفق المغناطيسي المحيط بالدائرة سيتغير أيضا مع الزمن وحسب قانون فاراداي فإن جهد مستحث ينتج في الدائرة يعمل على معارضة التغير الأصلي في التيار وتسمى خاصية توليد دائرة الجهد الحثي الذي يعارض أي تغيير في التيار المار في الدائرة نفسها بالمحاثّة الذاتية .

$$e = - \frac{d\Phi}{dt} = - L \frac{di}{dt}$$

$$L = \frac{d\Phi}{di} \quad (\text{weber / amper}) \quad (\text{للوّسط الغير خطي})$$

$$L = \frac{\Phi}{I} \quad (\text{weber / amper}) \quad (\text{للوّسط المغناطيسي الخطي}) \quad \text{حيث } \Phi \text{ التدفق المغناطيسي Flux}$$

المحاثّة الذاتية = التدفق المحيط بالدائرة / التيار المار في الدائرة

حساب المحاثّة الداخلية والخارجية للسلك المفرد : Calculation the Inductance of soli d circular single conductor

لحساب محاثّة الموصل يجب أن نفرق بين المحاثّة الداخلية والمحاثّة الخارجية له .
المحاثّة الداخلية : هي (مقدار مساهمة الفيض المغناطيسي الذي يقطع الموصل فعلا) ويمر بداخل الموصل.

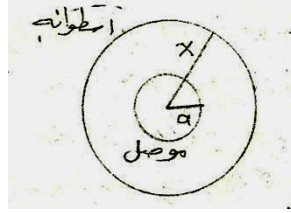
$$Li = \frac{\mu}{8\pi} \dots \dots \dots \left(\frac{H}{m} \right) \quad (\text{هنري / متر}) \quad \text{المحاثّة الداخلية للموصل}$$

$$Li = \frac{4\pi \times 10^{-7}}{8\pi} = 0.5 \times 10^{-7} \frac{h}{m} \quad \text{حيث } \mu = 4\pi \times 10^{-7}$$

$$Li = 0.05 \times 10^{-6} \frac{h}{m} = 0.05 \frac{mh}{km}$$

وهذه المعادلة تبين أن المحاثّة الذاتية الداخلية لموصل اسطوانى لا تعتمد على قطر الموصل .

لحساب المحاثّة الخارجية (Le) يجب حساب الفيض المحصور بين سطح الموصل الذي نصف قطره a واسطوانة نصف قطرها x .



المحاثّة الخارجية : هي مقدار مساهمة التدفق .
وتعطى من العلاقة التالية:

$$Le = \frac{\mu}{2\pi} \ln \frac{x}{a} \dots \dots \dots \frac{h}{m} \quad \text{المحاثّة الخارجية} \dots \dots \dots$$

$$Le = \frac{4\pi \times 10^{-7}}{2\pi} \ln \frac{x}{a} = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{x}{a} = 0.2 \times 10^{-6} \ln \frac{x}{a} \dots \dots \dots \frac{h}{m}$$

$$Le = 0.2 \ln \frac{x}{a} \dots \dots \dots \frac{mh}{km}$$

$$L = L_i + L_e \quad \text{المحاثّة الكلية للموصل} :$$

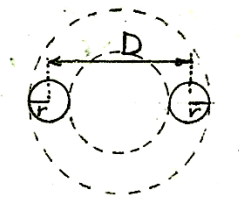
$$L = 0.05 + 0.2 \ln \frac{x}{a} \dots \dots \dots \frac{mh}{km}$$

حساب المحاثّة للنظام الاحادي المكون من سلكين : Calculation the Inductance of single phase (two wires)

أعتبر خط نقل هوائي يتكون من سلكين مستقيمين طويلين متوازيين مقطع كل منهما دائري ونصف قطر كل منهما r .
أفرض المسافة بين محوري الموصلين D حيث D أكبر بكثير من r علما أن الموصلان يحملان تيارين متساويين بالمقدار ومتعاكسين بالاتجاه .

المحاثّة الكلية للنظام الاحادي = 2 × محاثّة السلك المفرد

$$L_{loop} = 2 \times \left(0.05 + 0.2 \ln \frac{D}{r} \right) = 0.1 + 0.4 \ln \frac{D}{r} \quad mh/km$$



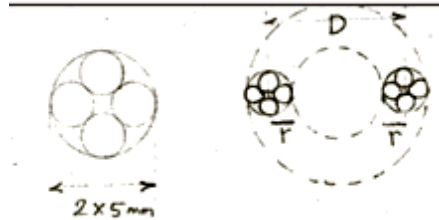
مثال 1/ جد قيمة المحاثّة لنظام أحادي متكون من موصلين وكل موصل مكون من أربعة أسلاك قطر كل سلك (5 ملم)

كما مبين بالشكل افرض أن المسافة بين محوري الموصلين (20 سم) علما أن طول الخط (2 كم).
 $D = 20 \text{ cm} = 0.2 \text{ m}$

$$r = 5 \text{ mm} = 0.005 \text{ m} = 5 \times 10^{-3} \text{ m}$$

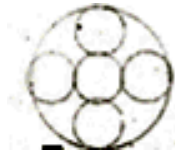
$$L_{loop} = 0.1 + 0.4 \ln \frac{D}{r} \quad \text{mh/km}$$

$$L_{loop} = 0.1 + 0.4 \ln \frac{0.2}{5 \times 10^{-3}} = 1.575 \text{ mh/km}$$



لان طول الخط = 2 كم اذن $L = 2 \times 1.575 = 3.15 \text{ mH}$

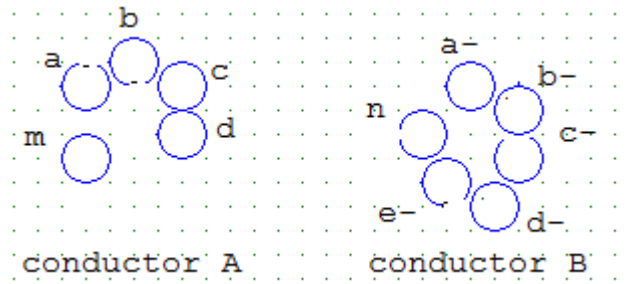
س2 / أعد السؤال السابق أعلاه معتبرا أن كل موصل مكون من خمسة أسلاك ؟



حساب المحاثة لنظام أحادي مكون من موصلين مركبين :

Calculation the Inductance of single phase line with composite conductor:

في الشكل ادناه موصلين مركبين من عدة اسلاك يرمز للموصل الاول A وعدد اسلاكه m والموصل الثاني B وعدد اسلاكه n . حيث $n \neq m$



المحاثة في الموصل A هو L_A والمحاثة في الموصل B هو L_B المحاثة الكلية تساوي مجموع المحاثتين :

$$L = L_A + L_B \quad L_A = 0.2 L_n \frac{Dm}{DSA} \quad \text{mh/ km}$$

(Dm) = Geometric mean distance معدل البعد الهندسي

(Ds) = Geometric mean radius معدل النصف قطري الهندسي

$$D_m = \{ (D_{aa} \bar{D}_{ab} \bar{D}_{ac} \dots \bar{D}_{an}) (D_{ba} \bar{D}_{bb} \bar{D}_{bc} \dots \bar{D}_{bn}) \dots (D_{ma} \bar{D}_{mb} \bar{D}_{mc} \dots \bar{D}_{mn}) \}^{1/mn}$$

$$D_{SA} = \{ (D_{aa} D_{ab} D_{ac} \dots D_{am}) (D_{ba} D_{bb} D_{bc} \dots D_{bm}) (D_{ma} D_{mb} \dots D_{mm}) \}^{1/m^2}$$

$$D_{aa} = D_{bb} = D_{cc} = \dots \dots \dots D_{mm} = (r e^{-1/4}) = 0.7788 r$$

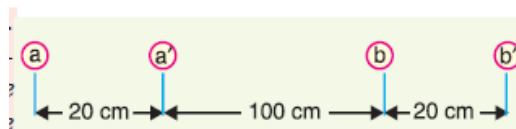
كذلك يمكن حساب L_B بنفس الطريقة .

س1 / خط احادي الوجه كما موضح بالشكل ادناه :

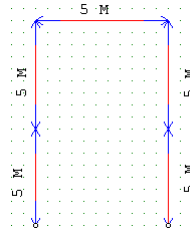
الموصلان للذهاب على التوازي مع الموصلين (a) (a')

للاياب أحسب المحاثة الكلية للخط لكل كم معتبرا التيار المار في الموصلين متساويين وأن قطر كل موصل 2 سم . (b) (b')

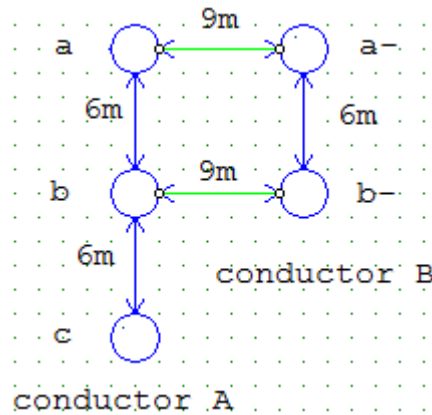
الحل : المحاثة الكلية تساوي 1.36 mH / Km



س2/ أحسب المحاثة لكل كم لخط نقل أحادي كما مبين في الشكل علما أن نصف قطر الموصل الاول 0,2 سم ونصف قطر الموصل الثاني 0,4 سم .



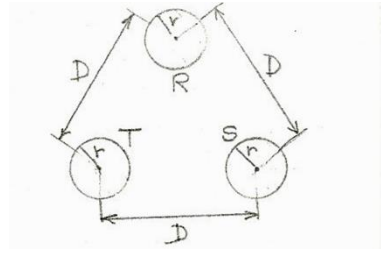
مثال HW 3 : أحسب المحاثية لكل كم لخط نقل أحادي الوجه والموضح أدناه علما ان قطر الموصل $A = 0.25$ سم وقطر الموصل $B = 0.5$ سم .
الحل : ($L_A = 0.62$ mh/ km & $L_B = 0.85$ mh/km)
 $L = 1.47$ mh/ Km



حساب محاثة خط نقل ثلاثي الاوجه : Calculation Inductance the Three Phase

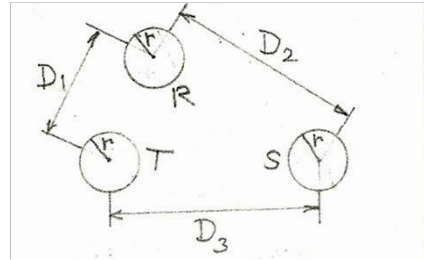
O.H.T.L.

أ- الموصلات على أبعاد متساوية (متماثلة) Symmetrical



$$L / \text{phase} = 0.05 + 0.2 L_n \frac{D}{r} \dots \dots \dots \text{mH/Km} \quad \text{D متساوي بين الموصلات}$$

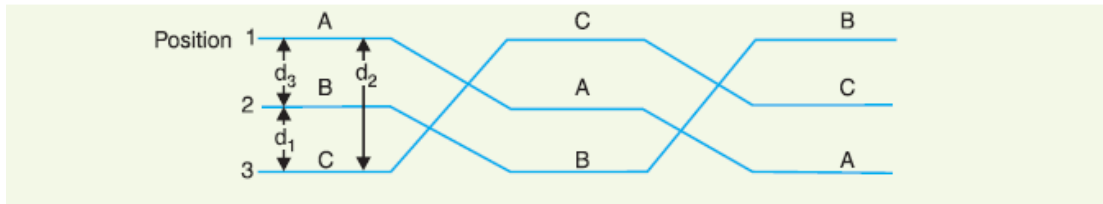
ب- محاثة خط نقل هوائي ثلاثي الاوجه غير متماثل: Unsymmetrical:



$$D_1 \neq D_2 \neq D_3$$

$$L / \text{phase} = 0.05 + 0.2 L_n \frac{\sqrt[3]{D_1 D_2 D_3}}{r} \text{mH/Km}$$

بما ان $D_3 \neq D_2 \neq D_1$ ان $L_3 \neq L_2 \neq L_1$ ينتج من هذا عدم تساوي جهود الاوجه وللتغلب على هذه الحالة يجب تغيير مواقع الاوجه change position الى ثلاثة مسافات متساوية لنضمن تساوي المحاثة ونمنع تداخل اللاسلكي في خطوط النقل .

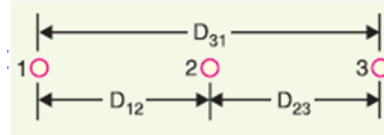


وكذلك في حالة عدم تساوي جهود الاوجه فأن الفيض المشتبك والمحاثة لكل وجه ستكون غير متساوية وهذا بدوره يؤدي الى عدم تساوي X_L أي $X_{L3} \neq X_{L2} \neq X_{L1}$ والذي يؤدي الى عدم تساوي الهبوط في الجهد للأطوار الثلاثة حتى في حالة كون تساوي التيارات في أوجه الخطوط الثلاثة . لذلك فأن الجهد في جهة الاستقبال سيكون مختلفا بالنسبة للأطوار الثلاثة . ولمنع هذه الحالة الغير مرغوب فيها يتم تبادل المواقع للأطوار الثلاثة فيما بينها على طول الخط وبمسافات منتظمة ومتساوية كما مبين في الشكل أعلاه وتسمى هذه العملية بتبادل المواقع . لذلك فأن محاثات الاطوار الثلاثة ستساوي.

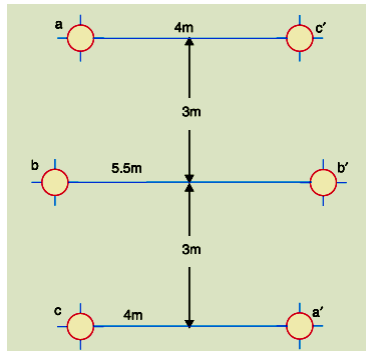
$$L = L_A = L_B = L_C = 0.2 L_n \frac{Deq.}{r} \quad \text{mH / Km / phase}$$

$$D_{eq.} = \sqrt[3]{D_1 D_2 D_3}$$

مثال 1 : أحسب محاطة كل موصل لخط نقل ثلاثي الاوجه الموصلات موضحة بالشكل ادناه و تتبادل المواقع وقطر الموصل 2.5 سم المسافة من 2-1 هي 2 متر ومن 3-2 هي 2 متر ايضا .
(الحل : 1.11 mH)



مثال 2 / أحسب محاطة كل وجه لكل كم لخط نقل ثلاثي الاوجه مزدوج كما موضح في الشكل ادناه قطر كل موصل 0.75 سم علما ان الموصلات تتبادل المواقع على طول الخط.



O O O O O O
a a⁻ b b⁻ c c⁻

الجواب :

Equivalent mutual G.M.D. is

$$D_m = \sqrt[3]{D_{AB} \times D_{BC} \times D_{CA}}$$

$$\text{where } D_{AB} = \sqrt[3]{D_{ab} \times D_{a'b'} \times D_{a'b} \times D_{a'b'}} = \sqrt[3]{3.1 \times 5.62 \times 5.62 \times 3.1}$$

$$= 4.17 \text{ m} = D_{BC}$$

$$D_{AB} = \sqrt{0.75^2 + 3^2} = 3.1$$

$$D_{CA} = \sqrt[3]{D_{ca} \times D_{c'a'} \times D_{c'a} \times D_{c'a'}} = \sqrt[3]{6 \times 4 \times 4 \times 6} = 4.9 \text{ m}$$

$$\therefore D_m = \sqrt[3]{4.17 \times 4.17 \times 4.9} = 4.4 \text{ m}$$

Ds تساوي

$$= \sqrt[3]{(0.584 \times 10^{-2}) \times (7.21) \times (0.584 \times 10^{-2}) \times (7.21)}$$

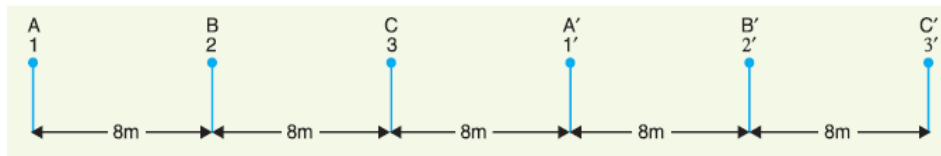
$$= 0.205 \text{ m} = D_{AB}$$

$$\begin{aligned}
 D_{s2} &= \sqrt[4]{(D_{bb} \times D_{bb'} \times D_{b'b} \times D_{b'b'})} \\
 &= \sqrt[4]{(0.584 \times 10^{-2}) \times (5.5) \times (0.584 \times 10^{-2}) \times 5.5} = 0.18 \text{ m} \\
 \therefore D_s &= \sqrt[3]{0.205 \times 0.18 \times 0.205} = 0.195 \text{ m} \\
 \therefore \text{Inductance/phase/m} &= 10^{-7} \times 2 \log_e D_m/D_s = 10^{-7} \times 2 \log_e 4.4/0.195 \text{ H} \\
 &= 6.23 \times 10^{-7} \text{ H} = 0.623 \times 10^{-3} \text{ mH} \\
 \text{Inductance/phase/km} &= 0.623 \times 10^{-3} \times 1000 = \mathbf{0.623 \text{ mH}}
 \end{aligned}$$

مثال 3 / أوجد المحاثة لكل طور لكل كم لخط نقل ثلاثي متبادل المواقع Transposed اذا كان قطر كل موصل 2 سم والابعاد بين الاطوار الثلاثة 1.8 m , 2 m , 2.5 m .

الحل : 1.12 mh/ Km

مثال 4 / في الشكل ادناه احسب المحاثة لكل وجه لكل كم لخط نقل ثلاثي الاوجه مزدوج مع العلم أن قطر كل موصل هو 5.3 سم . علما ان الموصلات تتبادل المواقع على طول الخط.

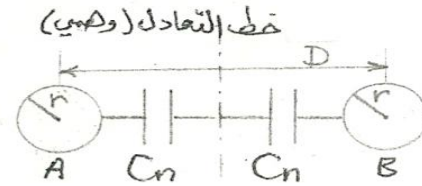
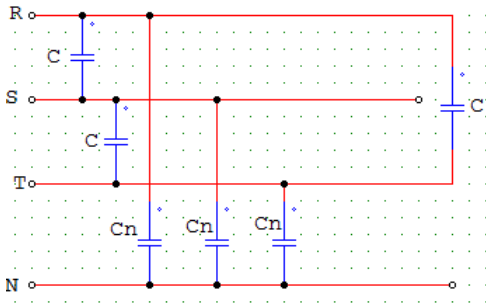


O O O O O O
 a a⁻ b b⁻ c c⁻

$$\begin{aligned}
 \text{G.M.R. of conductor} &= 0.7788 r = 0.7788 \times 5.3 \times 10^{-2} = 0.0413 \text{ m} \\
 \text{Equivalent self-G.M.D. of one phase is} \\
 D_{s1} &= (D_{AA} \times D_{AA'} \times D_{A'A} \times D_{A'A'})^{1/4} = (0.0413 \times 24 \times 0.0413 \times 24)^{1/4} = 0.995 \text{ m} \\
 D_{s2} &= (D_{BB} \times D_{BB'} \times D_{B'B} \times D_{B'B'})^{1/4} = (0.0413 \times 24 \times 0.0413 \times 24)^{1/4} = 0.995 \text{ m} \\
 \text{Similarly} \quad D_{s3} &= 0.995 \text{ m} \\
 \therefore D_s &= \sqrt[3]{0.995 \times 0.995 \times 0.995} = 0.995 \text{ m} \\
 \text{Equivalent mutual G.M.D. is} \\
 D_m &= (D_{AB} \times D_{BC} \times D_{CA})^{1/3} \\
 \text{where} \quad D_{AB} &= (D_{AB} \times D_{AB'} \times D_{A'B} \times D_{A'B'})^{1/4} = (8 \times 32 \times 16 \times 8)^{1/4} = 13.45 = D_{BC} \\
 D_{CA} &= (D_{CA} \times D_{CA'} \times D_{C'A} \times D_{C'A'})^{1/4} = (16 \times 8 \times 40 \times 16)^{1/4} = 16.917 \text{ m} \\
 \therefore D_m &= (13.45 \times 13.45 \times 16.917)^{1/3} = 14.518 \text{ m} \\
 \text{Inductance/phase/m} &= 10^{-7} \times 2 \log_e D_m/D_s \text{ H/m} \\
 &= \mathbf{5.36 \times 10^{-7} \text{ H/m}}
 \end{aligned}$$

حساب متسعة خط هوائي أحادي الطور : Calculation the Capacitance of Single Phase O.H.T.L.

أعتبر ان موصلين هوائيين متوازيين نصف قطر كل منهما r متر والبعد بين مركزيهما D متر كما في الشكل



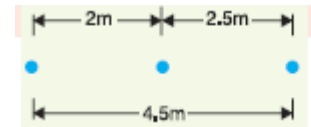
$$C = \frac{1}{36 \ln \frac{D-r}{r}} \dots \mu F / Km$$

C هي المتسعة بين الموصلين A, B وسبب ظهور المتسعة على خط النقل المتوسط وهو وجود فرق جهد بين الاطوار ووجود عازل متمثلة بالهواء بين الاطوار . وتتناسب قيمتها طرديا مع مربع فولتية خط النقل ويظهر تأثير المتسعة كتيار متسرب للأرض وتعتبر المتسعة كمصدر لتوليد القدرة الخيالية ويكون التيار متقدم على الفولتية .

$$C_n = 2 C = \frac{1}{18 \ln \frac{D-r}{r}} \dots \mu F / Km$$

حيث C_n هي المتسعة بين كل موصل وخط التعادل .

مثال 4 : خط نقل هوائي ثلاثي الوجة فولتية الارسال 66 كيلو فولت وبتردد 50 هيرتز كما موضح بالرسم قطر الموصل 1.25 سم طول الخط 100 كم . احسب : متسعة الوجة (المتسعة بين الخط ونقطة التعادل) ثم احسب تيار شحن المتسعة. علما ان الخط يتبادل المواقع .



$$D = \sqrt[3]{D_1 D_2 D_3} = \sqrt[3]{2 \times 2.5 \times 4.5} = 2.82 \text{ m}$$

$$C_n = 2 C = \frac{1}{18 \ln \frac{D-r}{r}} \dots \mu F / Km$$

$$= 0.625 \quad r = \frac{1.25}{2}$$

$$C_n = 0.0091 \quad \mu F / Km$$

(ii) Charging current per phase is

$$I_C = \frac{V_{ph}}{X_C} = \frac{66,000}{\sqrt{3}} \times 2\pi f C$$

$$= \frac{66,000}{\sqrt{3}} \times 2\pi \times 50 \times 0.91 \times 10^{-6} = 10.9 \text{ A}$$

مثال

5H.W : أحسب متسعة خط نقل هوائي ثلاثي طوله 100 كم يتكون من ثلاثة موصلات قطر كل موصل 2 سم والمسافة بين كل موصلين 2.5 متر.

مثال 6 H.W : خط نقل معلق احادي الوجه قطر كل من موصليه 0.625 سم والبعد بينهما 60 سم المقاومة النوعية 1.675 مايكرو اوم. سم اذا كان طول الخط = 12.8 كم . أحسب القيمة الكلية للمقاومة والمحاثة والمتسعة .

$$R = \frac{\rho L}{A} = 1.75 \Omega \text{ اكتب المعادلة هنا}$$

$$R = 1.75 \times 2 = 3.5 \Omega$$

$$L = 0.2 \ln \frac{60}{0.3125} = 1.0514 \frac{mH}{Km} \times 12.8 = 13.459 mH$$

$$C = ?$$

مثال 7 : احسب المفاعلة السعوية لخط نقل طوله 200 كم ونصف قطر الموصل 3 سم والمسافة بين كل طور و طور 5 متر والتردد 50 هيرتز.
الحل :

$$C = \frac{1}{36 \ln \frac{D-r}{r}} = \frac{1}{36 \ln \frac{5-0.03}{0.03}} = 0.00543 \dots \mu F / Km$$

$$C = 0.00543 \times 200 = 1.087 \mu F$$

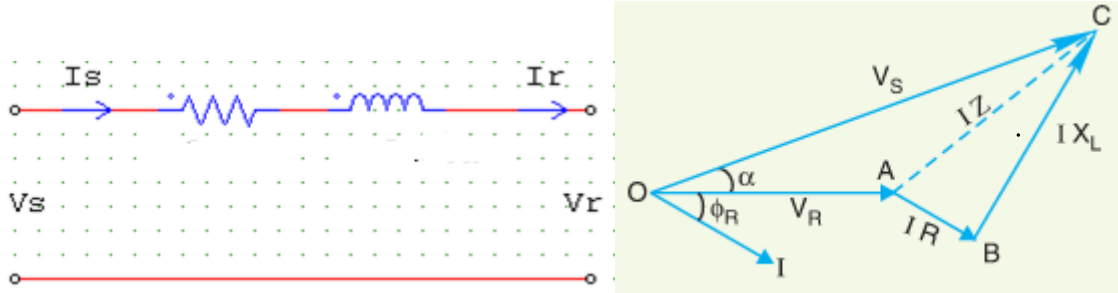
$$X_C = \frac{1}{2\pi f c} = \frac{1}{2 \times 3.14 \times 50 \times 1.087 \times 10^{-6}} = 2929.2 \Omega$$

حسابات العناصر الأساسية للخطوط الهوائية : (10)

عند تحليل ودراسة الخطوط الثلاثية الأوجه المتماثلة (3 phase symmetrical system) يفترض من الفولتيات المعطاة هي فولتية خط - خط وجميع التيارات تمثل تيارات الخطوط وكذلك الفولت أمبير - القدرة الفعالة - القدرة الغير فعالة كلها ثلاثية الأوجه . أما معامل القدرة فيمثل معامل القدرة للوجه الواحد .

جميع الحسابات تجرى بالقيم الطورية (In phaser Diagram)

خط النقل القصير : Short Transmission Line



يمكن احتساب ممانعة التوالي فقط لان تأثير متسعة التوازي تهمل لان قيمتها قليلة....

$$I_s = I_r$$

$$\vec{V_s} = \vec{V_r} + I_r \vec{Z}$$

$$V_s = V_r + I_r R \cos \Phi_r + I_r X \sin \Phi_r$$

تنظيم الجهد Voltage Regulation لخط النقل :

يعرف تنظيم الجهد بانه ارتفاع فولتية الاستلام حينما يرفع حمل كامل ذو معامل قدرة معينة بينما تبقى فولتية الارسال ثابتة ويعبر عنه بالنسبة المئوية للحمل الكامل علما بأن فولتية الاستلام غير الحملية تساوي فولتية الارسال V_s .

$$\% \text{ Reg.} = \frac{|V_s| - |V_r|}{|V_r|}$$

$$\% \text{ Reg.} = \frac{I_r R \cos \Phi_r \pm I_r X \sin \Phi_r}{V_r} \times 100\%$$

الاشارة + تعني عامل قدرة متأخر Lagging power factor

الاشارة - تعني عامل قدرة متقدم Leading power factor

حالة خاصة : عندما يكون التنظيم = صفر

$$V_s = V_r \rightarrow \Phi_s = \Phi_r$$

$$V_s = V_r + I_r R \cos \Phi_r + I_r X \sin \Phi_r$$

للخط القصير

$$-I_r R \cos \Phi_r = I_r X \sin \Phi_r$$

$$-R \cos \Phi_r = X \sin \Phi_r$$

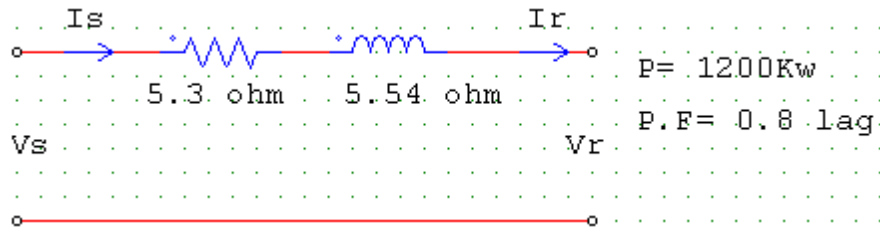
$$\tan \Phi_r = -R / X$$

مفايد القدرة في الخط هي مفايد نحاسية ($I^2 R$)

كفاءة النقل : النسبة بين القدرة المستلمة الى القدرة المرسله .

$$\eta_{trans} = \frac{\text{القدرة المستلمة}}{\text{القدرة المرسله}}$$

مثال 1 : خط نقل ثلاثي الاطوار بطول 15 Km (قصير) مقاومة الخط / طور (5.3) أوم المفاعلة الحثية / طور (5.54) أوم فولتية الارسال (11 كيلو فولت) الحمل في نهاية الاستلام (1200) كيلو واط بعامل قدرة (0.8) متأخر . جد الفولتية والتيار في جهة الاستلام ؟ وأحسب كفاءة خط النقل ؟



$$V_s / \text{ph} = \frac{11000}{\sqrt{3}} = 6351 \text{ V} \quad P.F = \cos \Phi$$

$$P = 3 V_r I_r \cos \Phi_r$$

تيار الطور I_r , فولتية الطور V_r

$$I_r / \text{ph} = \frac{P}{3 V_r \cos \Phi_r} = \frac{1200000}{3 \times V_r \times 0.8} = \frac{500000}{V_r}$$

$$\sin \Phi_r = \sqrt{1 - \cos^2 \theta_r}$$

$$V_s = V_r + I_r R \cos \Phi_r + I_r X \sin \Phi_r \quad \text{للخط القصير}$$

$$6351 = V_r + \frac{500000 \times 5.3 \times 0.8}{V_r} + \frac{500000 \times 5.54 \times 0.6}{V_r}$$

$$V_r = 5685 \text{ Volt} \quad \left\{ X = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A} \right\} \quad \text{(الحل بالدستور)}$$

$$I_r = \frac{500000}{V_r} = \frac{500000}{5685} = 87.95 \text{ Amp.}$$

$$\Phi_s = \Phi_r$$

أحسب كفاءة النقل للخط أعلاه

طول الخط 15 Km (قصير) لذلك يمكن اعتبار

$$P_o = \sqrt{3} V_r I_r \cos\phi_r = 1200 \text{ Kw}$$

$$P_i = \sqrt{3} V_s I_s \cos\phi_s$$

$$\eta = \frac{\text{القدرة المستلمة}}{\text{القدرة المرسلية}} = \frac{1200000}{\sqrt{3} \times 11000 \times 87.95 \times 0.8} \times 100\% = 89.5\%$$

مثال 2 : ماهو اقصى طول بالكم لخط نقل احادي الوجه مساحة مقطع الموصل 0.775 سم² وقدرة الحمل 200 كيلو واط ومعامل قدرة يساوي واحد وبفولتية قدرها 3300 V وكفاءة الخط 90 % وبمقاومة 1.725 μΩ لكل سم .

$$\therefore l = \frac{Ra}{\rho} = \frac{3.025 \times 0.775}{1.725 \times 10^{-6}} = 1.36 \times 10^6 \text{ cm} = 13.6 \text{ km}$$

Medium Transmission Lines

خط النقل المتوسط :

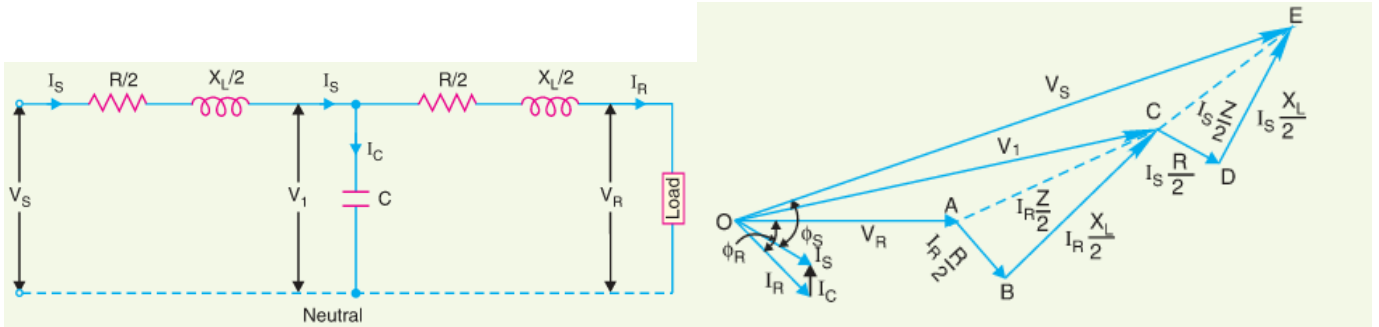
وهي الخطوط التي يتراوح طولها بين 80 و 250 كم و يظهر تأثير متسعة التوازي في هذه الخطوط ويمكن تجميع متسعة الخط في نقطة واحدة أو نقطتين لدراسة تأثيرها.

ظاهرة فرانتني : هي ظاهرة ارتفاع جهد الاستقبال بالنسبة لجهد الإرسال في حالة الأحمال السعوية أو في حالة اللاحمل للخطوط المتوسطة والطويلة.

ويقسم خط النقل المتوسط الى :

أ - دائرة T الاسمية : وسميت بهذا الاسم لانها تشبه الحرف T باللغة الانكليزية .

تتمركز المتسعة الكلية لكل موصل في منتصف الخط . لذلك تكون مسامحة التوازي متمركزة في الوسط وممانعة التوازي مجزأة الى جزئين متساويين .



رسم خط النقل المتوسط نوع T

المخطط الطوري

$Y = j \omega c L$ & $L =$ طول الخط & $Y =$ سمادية المتسعة

$$V_1 = V_r + I_r \frac{Z}{2}$$

$$I_c = V_1 Y = \left(V_r + I_r \frac{Z}{2} \right) Y$$

$$I_s = I_r + I_c = I_r + V_r Y + \frac{I_r Z Y}{2} = V_r Y + \left(1 + \frac{Z Y}{2} \right) I_r$$

$$V_s = V_1 + I_s \frac{Z}{2} = V_r + I_r \frac{Z}{2} + V_r Y \frac{Z}{2} + \left(1 + \frac{Z Y}{2} \right) \frac{Z}{2} I_r$$

$$\therefore V_s = \left(1 + \frac{Z Y}{2} \right) V_r + \left(1 + \frac{Z Y}{4} \right) Z I_r$$

مثال 1 : خط هوائي ثلاثي الاطوار بطول 200 كم مقاومته 48.7 أوم / طور المفاعلة الحثية 80.2 أوم / طور متسعة

الخط / محايد تساوي 8.42 نانوفراد / كم يجهز حملا قدره 13.5 ميكا واط بفولتية 88 كيلو فولت وبعامل قدرة قدره 0.9

متأخر أستخدم دائرة T الاسمية لايجاد فولتية الإرسال وتيار الإرسال وزاوية الطور وتنظيم الجهد .

$$Z = R + jX_L = 48.7 + j 80.2 = 93.83 \angle 58.73^\circ \Omega / \text{phase}$$

$$Y = j\omega C L = j \times 2\pi \times 50 \times 8.42 \times 10^{-9} \times 200 = 529 \times 10^{-6} \angle 90^\circ \text{ Siemens}$$

$$I_r = \frac{P}{\sqrt{3} V_r \cos \varphi_r} = \frac{13.5 \times 10^6}{\sqrt{3} \times 88 \times 10^3 \times 0.9} = 98.41 \angle -\cos^{-1} 0.9 = 98.41 \angle -25.84^\circ \text{ A}$$

$$V_r = \frac{88000}{\sqrt{3}} = 50808.3 \angle 0^\circ \text{ Volt}$$

$$V_s = \left(1 + \frac{ZY}{2}\right) V_r + \left(1 + \frac{ZY}{4}\right) Z I_r$$

عوض عن القيم واكمل الحل الى أن تصل الى النتيجة التالية

$$V_s = 57647.2 \angle 5.62^\circ \text{ Volt فولتية الطور}$$

$$V_s (\text{L-L}) = \sqrt[2]{3} \times 57647.2 = 99.85 \text{ Kv} \angle 5.62^\circ$$

$$I_s = V_r Y + \left(1 + \frac{ZY}{2}\right) I_r$$

اكمل الحل

$$I_s = 87.25 - j 13.95 = 88.36 \angle -9.08^\circ \text{ A} = \text{تيار الارسال}$$

$$V_s = \left(1 + \frac{ZY}{2}\right) V_r + \left(1 + \frac{ZY}{4}\right) Z I_r$$

في حالة الماحمل $I_r = 0$

$$V_s = \left(1 + \frac{ZY}{2}\right) V_r$$

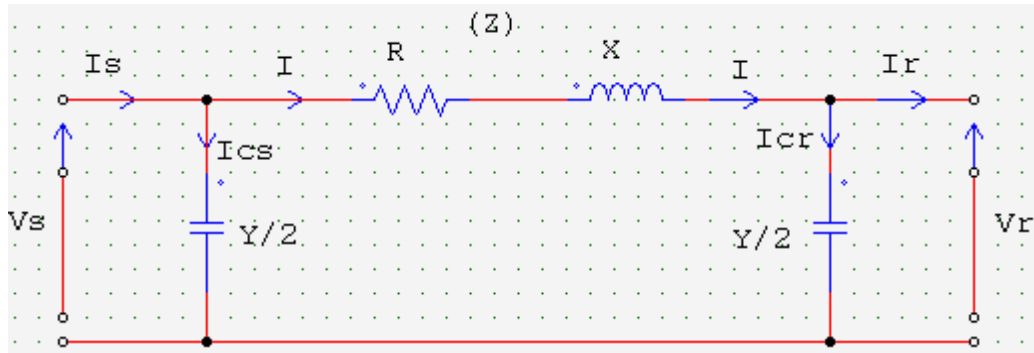
$$V_r = \frac{V_s}{1 + \frac{ZY}{2}} = \text{اكمل الحل} = 58890.98 \text{ V}$$

$$\% \text{ Reg.} = \frac{V_r (\text{no load}) - V_r (\text{load})}{V_r (\text{load})} = \frac{58890.98 - 50808.3}{50808.3} = 0.159 = 15.9\%$$

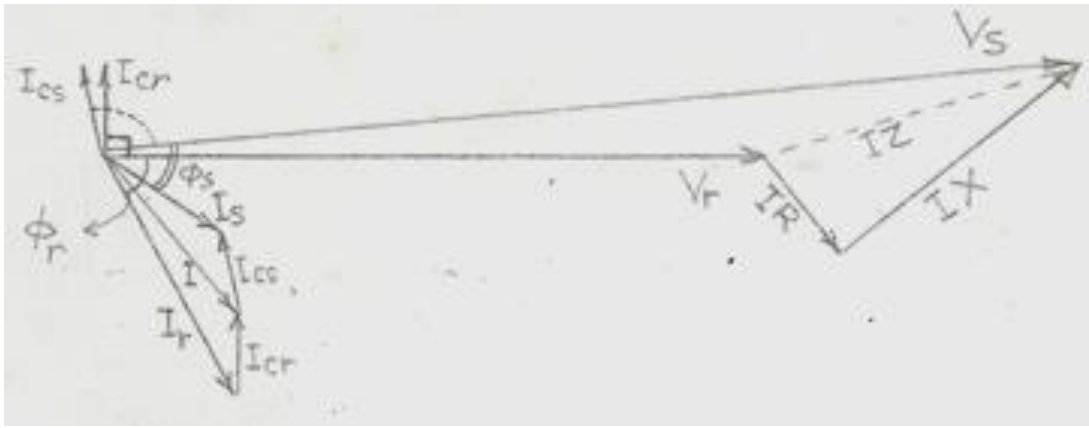
مثال 2 واجب / خط هوائي ثلاثي الاوجه بطول 100 كم له مقاومة 0.25 أوم / كم / طور والمحاثة 2 ملي هنري / كم / لكل طور ومتسعة الخط / محايد 0.015 μF إذا كان الحمل عند الاستقبال 10 MVA وجهد 120 كيلوفولت ومعامل قدرة متأخر 0.8 أوجد الجهد عند جهة الارسال وتنظيم الجهد. (استخدم طريقة T)

دائرة (π) الاسمية لخط النقل المتوسط :

وتوضع نصف المتسعة الكلية في نهايتي الدائرة (طرفي الدائرة) وتبقى المقاومة والمحاثة بنفس قيمتهما.



رسم دائرة خط النقل المتوسط نوع π



المخطط الطوري لخط النقل المتوسط نوع π

$$I = I_r + I_{cr} = I_r + V_r \frac{Y}{2}$$

$$V_s = V_r + IZ = V_r + Z \left(I_r + \frac{V_r Y}{2} \right) = V_r + ZI_r + \frac{V_r ZY}{2}$$

$$V_s = \left(1 + \frac{ZY}{2} \right) V_r + ZI_r$$

$$I_s = I + I_{cs} = I_r + V_r \frac{Y}{2} + \frac{Y}{2} \left\{ \left(1 + \frac{ZY}{2} \right) V_r + ZI_r \right\}$$

$$I_s = I_r + \frac{V_r Y}{2} + \frac{Y}{2} \left(1 + \frac{ZY}{2} \right) V_r + \frac{ZYI_r}{2} = V_r Y \left(1 + \frac{ZY}{4} \right) + I_r \left(1 + \frac{ZY}{2} \right)$$

من الملاحظ عدم وجود فرق في الحسابات في كل من الطريقتين T و π في خطوط النقل المتوسطة .

تحويل من Rectangular form الى Polar form :

$$Z_1 = A_1 + j B_1 \quad \text{rectangular form}$$

$$Z_2 = A_2 + j B_2 \quad \text{rectangular form}$$

$$Z_1 + Z_2 = A_1 + A_2 + j (B_1 + B_2)$$

$$Z_1 - Z_2 = A_1 - A_2 + j (B_1 - B_2)$$

$$A \angle \Phi \times B \angle \phi = AB \angle \Phi + \phi \quad \text{polar form}$$

$$A \angle \Phi \div B \angle \phi = A/B \angle \Phi - \phi \quad \text{polar form}$$

$$\mathbf{Ex} : Z = 20 + j 31.4$$

$$Z = \sqrt{20^2 + 31.4^2} = 37.2$$

$$\tan \phi = \frac{31.4}{20} = 1.57 \quad \rightarrow \phi = \tan^{-1} 1.57 = 63.89 \approx 64^\circ$$

$$\therefore Z = 20 + j 31.4 = 37.2 \angle 64^\circ$$

تحويل من Polar form الى Rectangular :

$$\mathbf{Ex} : 37.2 \angle 64^\circ$$

$$Z = 37.2 (\cos 64^\circ + j \sin 64^\circ) = 37.2 (0.5358 + j 0.844) = 19.93 + j 31.4$$

$$Z \approx 20 + j 31.4$$

EX:

Find V_s when:

$$Z = R + j X = 48.7 + j 80.2 = 93.83 \angle 58.73^\circ \Omega \text{ per phase}$$

$$Y = j \omega c l = j 2\pi \times 50 \times 8.42 \times 10^{-9} \times 200 = 529 \times 10^{-6} \angle 90^\circ \text{ mho}$$

$$V_r = 50808 \angle 0^\circ \text{ Volt} \quad I_r = 98.41 \angle -25.84^\circ \text{ A}$$

$$V_s = \left(1 + \frac{ZY}{2}\right) V_r + \left(1 + \frac{ZY}{4}\right) Z I_r$$

Solution :

μ Solution :

$$V_s = 50808.3 \angle 0^\circ \left(1 + \frac{93.83 \angle 58.73^\circ \times 529 \times 10^{-6} \angle 90^\circ}{2} \right) +$$

$$98.41 \angle -25.84^\circ \times 93.83 \angle 58.73^\circ \left(1 + \frac{93.83 \angle 58.73^\circ \times 529 \times 10^{-6} \angle 90^\circ}{4} \right)$$

$$V_s = 50808.3 \angle 0^\circ \left(1 + 0.0248 \angle 148.73^\circ \right) + 9233.8 \angle 32.89^\circ \times$$

$$\left(1 + 0.0124 \angle 148.73^\circ \right)$$

$$V_s = 50808.3 + 1260 \angle 148.73^\circ + 9233.8 \angle 32.89^\circ + 114.5 \angle 181.62^\circ$$

$$V_s = 50808.3 + 1260 (\cos 148.73^\circ + j \sin 148.73^\circ) + 9233.8 (\cos 32.89^\circ + j \sin 32.89^\circ) + 114.5 (\cos 181.62^\circ + j \sin 181.62^\circ)$$

$$V_s = 50808.3 - 873 + j 908.55 + 8028.66 + j 4561.1 - 109.76 + j 32.6 = 57854.2 + j 5502.25$$

$$V_s = 58115 \angle 6.03^\circ$$

عوازل خطوط النقل الهوائية : (11)

العوازل : وهي معدات كهربائية تؤمن عزل الموصلات عن بعضها البعض وعن الارض في جميع الظروف الجوية .



وتتميز بالخصائص التالية :

- 1- تحملها لفولتيات النقل والفولتيات العالية الناتجة من الصواعق والفولتيات الناتجة من فتح وغلق قواطع الدورة الكهربائية وفي جميع الظروف الجوية .
- 2- خلوها من الشوائب والشروخ .
- 3- غير مسامية .



4- عدم تأثرها بالغازات والسوائل.

تصنع العوازل في الغالب من المواد التالية :

- 1- البورسلين (الخزف الصيني) : وهي عبارة عن سليكات الالمنيوم مضافة اليها مواد مساعدة.
- 2- الزجاج : ويمتاز بشدة عزل وشفافية ورخص السعر لكن من سلبياته قابليته للكسر بسهولة.

3- المطاط : هي مواد بلاستيكية ذات عازلية عالية وخفيفة الوزن وذات مرونة عالية.

تربط العوازل بالمساند بواسطة اذرع توصيل وتمر الاسلاك خلال ماسكة العوازل (Clamps) . تنقسم العوازل نسبة الى مادة تصنيعها الى نوعين :

1- العازل الخزفي : ويمتاز العازل الخزفي بما يلي :

أ- بقوته الميكانيكية العالية.

ب- تأثره القليل بالحرارة .

ت- قلة مشاكله التسريبية بسبب العازل الجيد .

أن وجود أي فقاعة هوائية يؤدي الى انخفاض شدة العزل لذلك من الضروري أن يكون الخزف المستعمل للعوازل نظيفا وخاليا من السوائل والغازات .

2- العازل الزجاجي المتين : ويمتاز بامتلاكه قوة عزل عالية ونظرا لشفافيته يمكن رؤية الفقاعات الهوائية بسهولة ولكن من مساوئ هذا النوع سهولة تجمع الغبار والمواد العالقة على سطح العازل .
ومن أهم انواع العوازل المستخدمة في الخطوط الهوائية والمحطات :

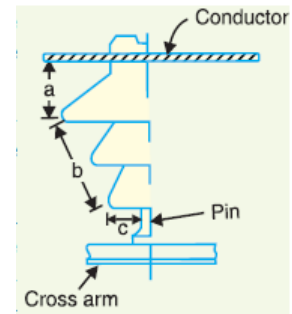
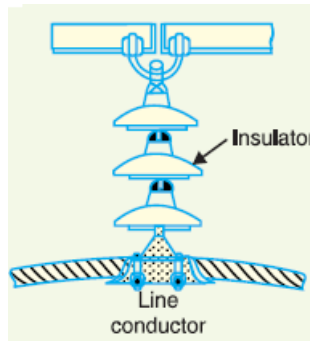
أ-

ب-

ت- العازل المسماري Pin Isolator :



Pin type insulator



يثبت هذا النوع على مسمار في ذراع العمود . ويستخدم هذا النوع حتى (11KV) وتصنع هذه العوازل من قطعة واحدة أو قطعتين أو أكثر وفي حالة أعلى من 20KV يصنع من مادة خزفية .

ث- العازل المعلق (Suspension Insulator) :



تتألف من مجموعة من العوازل تربط سوياً وتعلق على ذراع التوصيل وتحمل الموصل في نهايته السفلى ؛ يكون الفضاء المطلوب بين الموصل وأعمدة التثبيت (الابرار) في العوازل المعلقة أكبر مقارنة مع العوازل المسمارية وهذا يعني أن ذراع التوصيل أطول . وتمتاز العوازل المعلقة إضافة الى كونها اقتصادية أفضل من العوازل المسمارية لفولتيات أكثر من Kv33 وتمتاز بما يلي :

- 1- كل عازل يصمم لتحمل فولتية (11 KV) لذا عند فوصلتية (132 KV) مثلاً نحتاج الى 12 عازل .
- 2- يتم استبدال العازل المعطوب فقط وليس السلسلة بالكامل في حالة حدوث عطب بالعازل .
- 3- بما أن الموصل والعوازل تتأرجح سوياً في حالة هبوب الرياح فإن الاجهادات الميكانيكية في نقطة التوصيل تقل مقارنة مع العوازل المسمارية التي تكون ثابتة .
- 4- يمكن زيادة فولتية التشغيل لخط ما بزيادة عدد العوازل في السلسلة بدلاً من تبديل العوازل كلها في العوازل المسمارية .
- 5- تمتاز ببساطة التصميم .



ج – العوازل الاجهادية (الشد) : **Strain Insulator** : هي عبارة عن عوازل معلقة من حيث التصميم والشكل وتستخدم لامتناس الاجهادات الناتجة من الموصلات في :

- 1- نهاية الخطوط .
 - 2- نقاط تغيير مسار الخط .
 - 3- التقاطعات مع الطرق .
 - 4- ربط نهايات الكابلات بالخطوط الهوائية .
- تثبت العوازل الاجهادية بوضع افقي مقارنة بالعوازل المعلقة التي تثبت بوضع رأسي .



توزيع الفولتيات على العوازل :

كحالة مثالية تتوزع الفولتية السلطة على سلسلة من العوازل المتماثلة بالتساوي بشرط أن تكون هذه العوازل (نظيفة وجافة و بدون أجزاء معدنية) . أما الحالة الاعتيادية يمكن تمثيل كل قرص كمتسعة C والسلسلة بالكامل تعمل كمقسم فولتية سعوي . تؤرض الابراج في التطبيق العملي ويكون الغطاء المعدني واللولب المسماري مع البرج المؤرض متسعة شاردة ولهذه المتسعات الشاردة تاثير مهم على توزيع الفولتية فالعوازل القريبة من الخط ذات فولتية أعلى من تلك القريبة من نهاية البرج .

يمكن تعريف كفاءة السلسلة التي تحتوي على n من العوازل

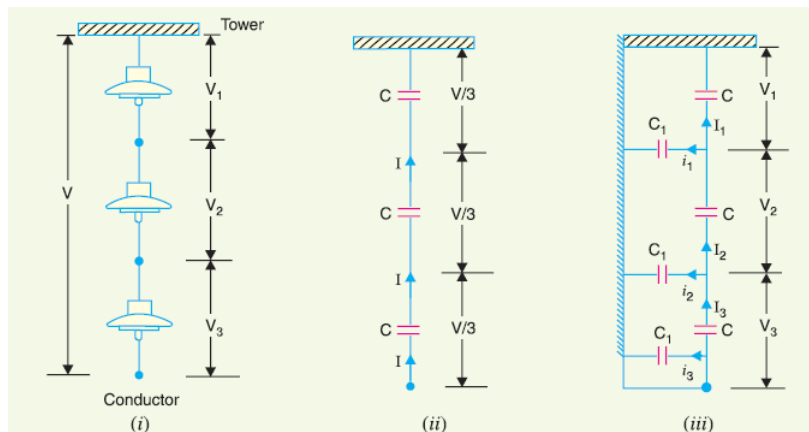
$$\text{كفاءة السلسلة} = \frac{\text{فولتية الشرر العرضي للسلسلة}}{\text{فولتية الشرر العرضي للعازل الاخير} \times \text{عدد عوازل السلسلة } n}$$

وتقل هذه الكفاءة بزيادة عدد عوازل وبما أن توزيع الفولتية عبر العازل غير متكافئ لان العوازل القريبة من الخط معرضة الى اجهادات عالية بينما القريبة من نهاية البرج معرضة لاجهادات واطئة و ينتج عن هذا الاختلاف خسارة في المادة العازلة .

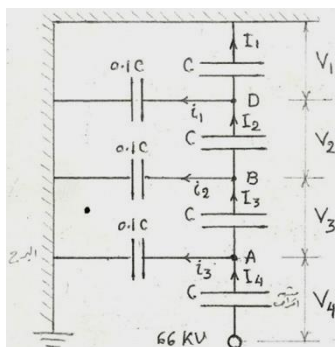
أن كفاءة السلسلة توضح هذه الخسارة الى حد ما ويمكن تقليلها بعدة طرق منها :

- 1- وضع حلقة معدنية كبيرة في نهاية العوازل وتربط مع الخط وتسمى هذه الحلقة (حلقة التدرج Grading Ring)
- أذن تتولد متسعات إضافية بين نقاط اتصال العوازل ببعضها والخط وبالتالي زيادة المتسعة المؤثرة للعوازل السفلية .
- 2- يثبت على نهايتي سلسلة العوازل في بعض الاحيان ما يسمى ب (أقران التفريغ Arcing Horn) وهي عبارة عن زوجين من الموصلات تستخدم لحماية العوازل المركبة على انظمة النقل الكهربائية ذات الجهد العالي من الانهيار

خلال فترة حصول الوميض الناتج من الصواعق او عند فتح وغلق القواطع . اذ يحصل التفريغ الكهربائي من خلالها وذلك لحماية سلسلة العوازل من الشرارات الناتجة من فولتيات الشرر العرضي Flash OverVoltage وليس لها علاقة بتوزيع الجهد عبر العوازل.



مثال 1 : تتكون سلسلة عوازل لخط 66 كيلو فولت من 4 أقراص متسعة التوازي بين كل نقطة اتصال والبرج 10% من قيمة متسعة الاقراص أحسب الفولتية عبر الاقراص المختلفة ثم أحسب كفاءة السلسلة؟



نفرض أن متسعة كل قرص C

المتسعة بين النقاط A, B, D والبرج $C = 0.1$

بتطبيق قانون كيرشهوف للتيار في نقطة D

$$I_2 = I_1 + i_1$$

$$\frac{V_2}{\frac{1}{wc}} = \frac{V_1}{\frac{1}{wc}} + \frac{V_1}{0.1wc} \times$$

$$wcV_2 = wc V_1 + 0.1 wc V_1$$

Wc يختصر من طرفي المعادلة اذن

$$V_2 = 1.1 V_1$$

$$I_3 = I_2 + i_2 \quad \text{في نقطة B}$$

)

$$wcV_3 = wcV_2 + 0.1wc(V_1 + V_2)$$

$$wcV_3 = wcV_2 + 0.1wcV_1 + 0.1wcV_2$$

$$V_3 = 1.1V_2 + 0.1V_1$$

Wc يختصر من طرفي المعادلة اذن

$$V_2 = 1.1V_1 \quad \text{بما ان}$$

$$V_3 = 1.1(1.1V_1) + 0.1V_1 = 1.31V_1$$

$$I_4 = I_3 + i_3$$

في نقطة A

$$wcV_4 = wcV_3 + 0.1wc(V_1 + V_2 + V_3)$$

$$wcV_4 = wcV_3 + 0.1wcV_1 + 0.1wcV_2 + 0.1wcV_3$$

$$V_4 = 1.1V_3 + 0.1V_1 + 0.1V_2 \quad \text{Wc يختصر ويعوض عن قيم } V_1 \text{ و } V_2 \text{ اذن}$$

$$V_4 = 1.65V_1$$

$$V_1 + V_2 + V_3 + V_4 = \frac{66Kv}{\sqrt{3}} = 38.1Kv$$

$$V_1 + 1.1V_1 + 1.31V_1 + 1.651V_1 = 38.1Kv$$

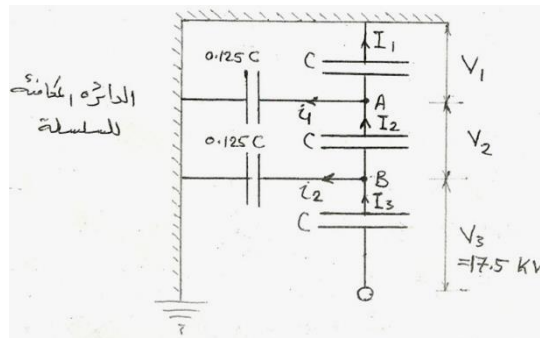
$$V_1 = 7.53Kv,$$

$$V_2 = 8.28Kv, \quad V_3 = 9.86Kv, \quad V_4 = 12.34Kv$$

$$\text{كفاءة السلسلة } (\eta) = \frac{\text{فولتية الشرر العرضي للسلسلة}}{\text{فولتية الشرر العرضي للعازل الاخير} \times \text{عدد عوازل السلسلة}} = \eta$$

$$\eta = \frac{38.1}{12.34 \times 4} \times 100\% = 76.6\%$$

مثال 2 / نظام ثلاثي الأطوار هوائي معلق بواسطة (3) عوازل متشابهة . الفولتية عبر العازل القريب من الخط هي (17,5) كيلو فولت . احسب فولتية الخط محايد بفرض ان متسعة التوازي ثمن متسعة العازل ثم احسب كفاءة السلسلة .



نفرض ان متسعة كل قرص C

$$C \times \frac{1}{8} = 0.125 C \quad \text{اذن متسعة التوازي}$$

$$I_2 = I_1 + i_1$$

نطبق قانون كيرشهوف للتيار في نقطة A

$$\frac{V_2}{\frac{1}{wc}} = \frac{V_1}{\frac{1}{wc}} + \frac{V_1}{\frac{1}{0.125wc}} \quad *$$

$$wcV_2 = wc V_1 + 0.125 wc V_1$$

$$V_2 = 1.125 V_1$$

Wc يختصر من طرفي المعادلة اذن

$$I_3 = I_2 + i_2 \quad \text{في نقطة B}$$

)

$$wcV_3 = wc V_2 + 0.125 wc (V_1 + V_2)$$

$$wcV_3 = wc V_2 + 0.125 wc V_1 + 0.125 wc V_2$$

$$V_3 = 1.125 V_2 + 0.125 V_1$$

Wc يختصر من طرفي المعادلة اذن

$$V_2 = 1.125 V_1 \quad \text{بما ان}$$

$$V_3 = 1.125 (1.125V_1) + 0.125V_1 = 1.39 V_1$$

$$V_1 = \frac{V_3}{1.39} = \frac{17.5}{1.39} = 12.59 Kv \quad \text{الفولتية عبر القرص العلوي}$$

$$V_2 = 1.125 \times 12.59 = 14.16 Kv \quad \text{الفولتية عبر القرص الوسطي}$$

$$\text{الفولتية بين الخط و المحايد} = V_1 + V_2 + V_3 = 12.59 + 14.16 + 17.5 = 44.25 Kv$$

$$\frac{\text{فولتية الشرر العرضي للسلسلة}}{\text{فولتية الشرر العرضي للعازل الاخير} \times \text{عدد عوازل السلسلة} n} = \text{كفاءة السلسلة}$$

$$\eta = \frac{44.25}{17.5 \times 3} \times 100\% = 84.28 \%$$

س3/ خط هوائي ثلاثي الاطوار كل خط معلق بواسطة سلسلة من العوازل مكونة من 3 عوازل الفولتية المسلطة على

العازل العلوي 10 كيلو فولت والوسطي 11 كيلو فولت احسب :

1 - نسبة متسعة التوازي الى المتسعة الذاتية لكل قرص .

2- كفاءة السلسلة .

3- فولتية الخط .

س4/ سلسلة ذات اربعة عوازل المتسعة الذاتية تعادل اربعة مرات متسعة التوازي احسب كفاءة السلسلة؟

س 5 / تتكون سلسلة عوازل لخط نقل ثلاثي الأوجه 66 كيلو فولت من (5) أقراص متسعة التوازي بين كل نقطة اتصال والبرج هي 5% من قيمة متسعة الأقراص أحسب الفولتية عبر كل الأقراص المختلفة ثم أحسب كفاءة السلسلة ؟

س 6 / خط هوائي ثلاثي الاطوار كل خط معلق بواسطة سلسلة من العوازل مكونة من 3 عوازل الفولتية المسلطة على العازل السفلي 12 كيلو فولت والوسطي 11 كيلو فولت احسب :

1 – نسبة متسعة التوازي الى المتسعة الذاتية لكل قرص .

2- كفاءة السلسلة .

3- فولتية الخط .



القابلات الكهربائية هي إحدى المعدات التي تستخدم لنقل الضغط الواطيء والعالي والضغط الفائق وتوزيع القدرة الكهربائية أي نقل القدرة الكهربائية من المصدر إلى المستهلك وتكون الأسلاك فيها معزولة بعضها عن بعض وعن الأرض بواسطة مادة عازلة وتكون إما مدفونة تحت الأرض أو داخل مجاري خاصة بالقابلات وتكون المجاري إما مفتوحة أو مغلقة. ويتم تأمين اتصال القدرة الكهربائية فيها أكثر أماناً من خطوط النقل الهوائية كونها أقل عرضة للحوادث والظروف الجوية المختلفة. وأثناء عملية نقل الطاقة تحدث بعض الظواهر مثل ارتفاع درجة حرارة الكابل نتيجة للمفاقيد وكذلك هبوط الجهد وتكوين المجالات الكهرومغناطيسية حول الكابل بالإضافة إلى الحث المتبادل بين دائرة الكابل والدوائر المجاورة. تستخدم الكابلات الأرضية في المدن سواء كان ذلك في نقل أو في توزيع الطاقة الكهربائية ويكون التوزيع إما بالخطوط الهوائية المعلقة أو بالقابلات الأرضية.

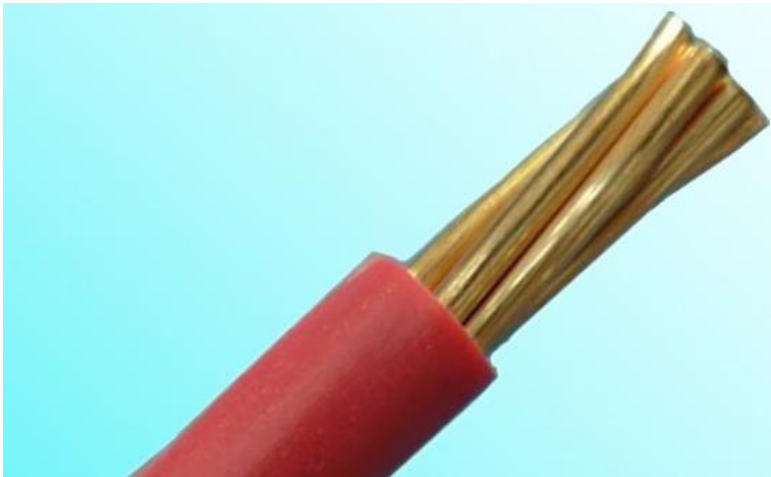
تصنع القابلات إما بقلب واحد Single Core أو قلبين أو ثلاثة قلوب Three-Cores وربما أكثر من ذلك

و يتكون القابل وحيد القلب من:

- الموصل
- العازل
- غطاء
- والحماية الخارجية .

وتمتاز القابلات بعدة خصائص وهي :

- 1- قلة احتمالية حدوث انهيار بسبب غياب العواصف والصواعق .
- 2- قلة كلفة الصيانة .
- 3- قلة حدوث الأعطال .
- 4- أفضلية مظهرها الخارجي .

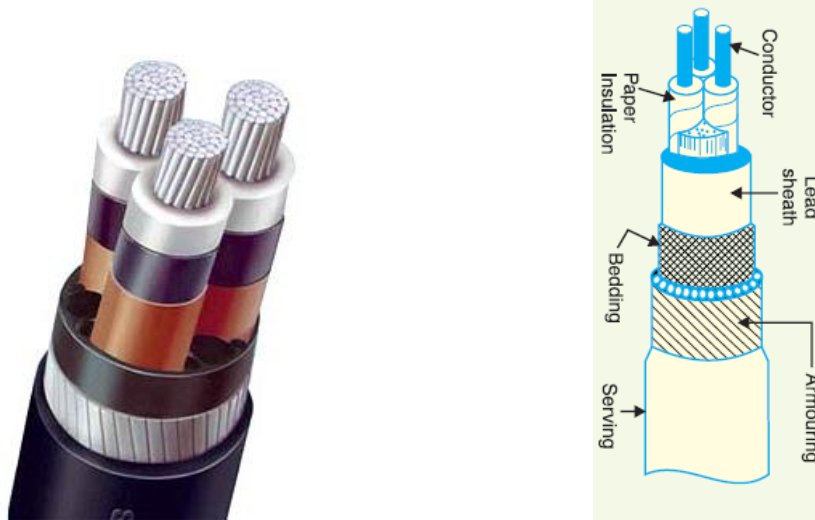


المتطلبات الأساسية للقابلو :

- 1- الموصلات المستخدمة في القابلوات قد
- 2- تكون من النحاس أو الألمنيوم المطلي بالقصدير .
- 3- حجم الموصل يجب ان يتحمل التيار المطلوب دون حصول ارتفاع في درجة الحرارة .
- 4- يجب ان يكون للقابلو عزل مناسب ليعطي درجة كافية من الامان .
- 5- يجب أن يمتاز القابلو بقوة ميكانيكية كافية لكي يتحمل عمليات النقل والدفن .
- 6- يجب أن تمتاز المواد المستخدمة في تصنيع القابلوات باستقرارية كيميائية وفيزيائية .

مكونات القابلو : Construction of cable

القابلو الثلاثي القلب : ويمكن القول بصفة عامة أن استخدام القابلوات ثلاثية القلب يؤدي إلى خفض التكاليف وخفض هبوط الجهد أما القابلو أحادي القلب فهو أكثر مرونة وأسهل في التركيب والتوصيل وعلى ذلك فإن استخدام القابلوات وحيدة القلب يكون أفضل داخل المباني التجارية نظراً لكثرة تعرض القابلو من انحناءات وكذلك كثرة التفريعات والتوصيلات على القابلو. ويتكون من :



1- الموصلات Conductor أو القلب :يصنع قلب القابلو من مادة عالية التوصيليه الكهربائية و يستعمل النحاس أو الألومنيوم في صناعة الموصل القابلو وعادة ما يفضل استخدام موصلات النحاس لسبب خواصها الكهربائية والميكانيكية والكيمائية الأفضل أما موصلات الألومنيوم فإنها تستخدم أيضاً على نطاق واسع بسبب رخص ثمنها وخفة وزنها بالنسبة للموصلات النحاس وذلك لنفس قيمة التيار . و في المباني السكنية و المنشآت التجارية والإدارية تستخدم الموصلات النحاسية المصمتة حتى مساحة (16) مم² على الأكثر وتستخدم الموصلات المجذولة للقطاعات الأعلى من ذلك للحصول على المرونة.

2- العازل Insulator: يعتبر الورق المشرب والقماش المطلي بالوارنيش من العوازل الأساسية لقابلو القدرة

الكهربائية ويعتمد سمك العازل على فولتية الخط . وهناك معايير لجودة العازل وهي :

أ- المتانة الكهربائية للعازل

ب- معامل قدرة العازل أو زاوية الفقد

ت- مدى تحمل العازل للثني وهناك أنواع أخرى من العوازل والتي تستخدم في صناعة بعض القابلات وهي المطاط والمواد اللدنة مثل P.V.C .

3- غلاف معدني : ويكون عادة من الرصاص أو الألمنيوم ويستخدم لحماية العازل من الرطوبة ولمنع تسرب الزيت الى الخارج.

4- الفرشة : وتكون فوق الغلاف المعدني وتتكون من طبقة من الجوت أو لاصق شفاف لحماية الغلاف المعدني من التآكل أو الإصابة الميكانيكية من التسليح .

5- التسليح (الدرع): ويستخدم فوق طبقة الفرشة ويكون أما من أسلاك الفولاذ أو شرائح الفولاذ والغاية منه حماية القابلو المدفون .

6- الغطاء الواقي :ويصنع من مواد بلاستيكية وهو الطبقة الأخيرة لعزل مكونات القابلو من الظروف الخارجية المحيطة بالقابلو .

توجد في القابلات كما في الخطوط الهوائية محاثّة داخلية وتكون ثابتة ولا تعتمد على نصف القطر وتساوي mh/km (0,05) ومحاثّة خارجية والمحاثّة الكلية تسوي المحاثّة الداخلية + المحاثّة الخارجية في الترددات العالية تهمل المحاثّة الخارجية والداخلية أما في الترددات 50 و60 هيرتز فتهمل المحاثّة الداخلية .

البيئة المار فيها القابلو :

قد يمر مسار القابلو بمناطق ذات درجات حرارة مرتفعة مما يتطلب أنواعاً خاصة من العازل كما قد يمر القابلو بمناطق خطرة أو معرضة للحرائق أو الانفجارات أو تحتوي على مواد كيميائية حارقة أو معرضة لإجهادات ميكانيكية عالية وفي مثل هذه الحالات يجب اختيار القابلو المناسب من حيث مواد العزل والحماية الخارجية أو التسليح الميكانيكي وقد يتطلب الأمر في بعض الأحيان اختيار كابل بمرونة عالية نظراً لتعرض مساره للانحناءات الحادة المتكررة .

أنواع القابلات :

يمكن تصنيف القابلات الى انواع عدة حسب عدد القلوب ذو قلب واحد او عدة قلوب ويقسم الى :

1- قابلات النوع المصمت : Solid Type Cable

يكون الضغط على الورق المشبع بالزيت أقل من الضغط الجوي وقد يهبط الى قيمة أقل في الفجوات وهذا يؤدي الى انهيار العازل عند الاجهادات الكهربائية العالية لذلك فإن هذا النوع لا يستعمل لفولتيات تزيد على 33 Kv .

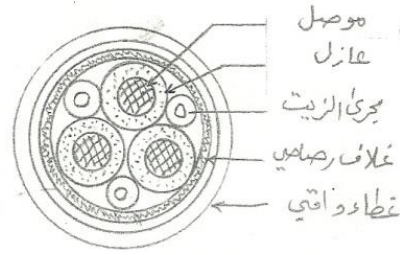
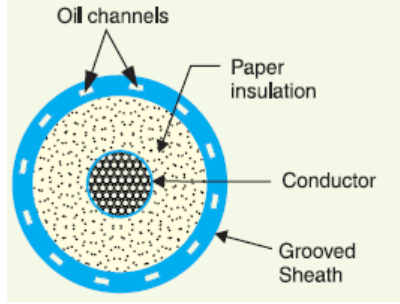


2- القابلات المضغوطة : Pressure Cables

تستخدم هذه القابلات لفولتيات أكثر من 66 كيلو فولت لان استخدام القابلات المصمتة يشكل خطرا بسبب تكوين فجوات هوائية مما يؤدي الى انهيار العازل بينما يمكن في القابلات المضغوطة إزالة هذه الفجوات بزيادة ضغط المركب العازل (الزيت). تقسم القابلات المضغوطة الى نوعين هما :

1- القابلات المملوءة بالزيت : Oil – Filled Cables

في هذا النوع تجهز قنوات داخل الكابل لدوران الزيت لأغراض التبريد ويتم استمرارية تجهيز الزيت داخل القنوات تحت ضغط ثابت بواسطة خزانات توضع على طول الخط وجود الزيت بضغط عالي يؤدي الى عدم تكوين فجوات هوائية أو تلاشيها في حالة وجودها مما يجعل هذا النوع ملائم لفولتيات تصل الى 230 كيلو فولت.



محاسنها :

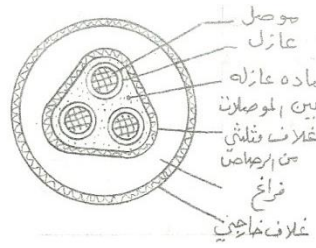
- 1- قلة حدوث الفجوات الهوائية وتآينها .
- 2- زيادة مدى الحرارة المسموح بها مع زيادة قوة العزل .
- 3- تلاشي التيارات التسريبية في الغطاء الرصاصي مما يقلل حدوث أعطاب أرضية .

مساوئها :

- 1- كلفتها الابتدائية عالية .
- 2- تحتاج الى أنظمة توصيل معقدة .

2- القابلات المضغوطة بالغاز : Gas Pressure Cables

مكونات القابلو مشابهة للقابلات العادية عدا الشكل المثلاثي وكذلك سمك طبقة الرصاص الشكل المثلاثي يقلل من وزن القابلو ويعطي مقاومة حرارية واطئة يحمي الغلاف الرصاصي بشريط معدني رقيق يدفن القابلو في أنبوب فولاذي يملأ بغاز النتروجين تحت ضغط حوالي (15 ضغط جوي) يولد ضغط الغاز انضغاطا محوريا مسببا انفعال الفجوات الهوائية التي ربما تتولد بين طبقات العازل الورقي. يتحمل هذا النوع تيارات عالية ويعمل عند فولتيات عالية مقارنة مع القابلات الطبيعية الاخرى إضافة الى قلة كلفة الصيانة ولكن من مساوئ هذا النوع زيادة كلفتها الابتدائية.



مقاومة العزل للقابلو ذي اللب المفرد : (13) Insulation Resistance of Single Core

يجوز القابلو بمادة عازلة ذات سمك مناسب لمنع التيارات التسريبية Leakage current. الممانعة التي يبديها العازل ضد التيارات التسريبية تسمى **مقاومة العزل** . يجب أن تكون مقاومة العزل عالية جدا لكي يكون التشغيل جيدا.

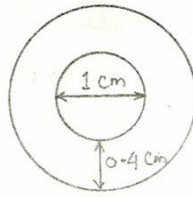


$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \ln \frac{r_2}{r_1}$$

حيث : r_1 نصف قطر الموصل و r_2 نصف قطر الموصل والعازل و L طول الكابل و ρ المقاومة النوعية للعازل .

مثال 1 / قابلو ذو لب مفرد قطر موصله 1 سم

م وسمك العازل 0.4 سم اذا كانت المقاومة النوعية للعازل 5×10^{14} أوم . سم احسب مقاومة العازل لكابل طوله 2 كم .



$$r_1 = \frac{D}{2} = \frac{1 \text{ cm}}{2} = 0.5 \text{ cm}$$

$$L = 2 \text{ Km} = 2000 \text{ m}$$

$$\rho = 5 \times 10^{14} \Omega \cdot \text{cm} = 5 \times 10^{12} \Omega \cdot \text{m}$$

$$r_2 = 0.5 + 0.4 = 0.9 \text{ cm}$$

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \ln \frac{r_2}{r_1}$$

$$= \frac{5 \times 10^{12}}{2\pi \times 2000} \ln \frac{0.9}{0.5} = 234 \text{ M}\Omega$$

س 2 / اوجد سمك العازل لقابلو ذي لب مفرد قطر موصله 2,5 سم المقاومة النوعية للعازل $4,5 \times 10^{14}$ أوم . سم
علما ان مقاومة العزل للقابلو 495 ميكا اوم / كم .

الحل:

$$r_1 - r_2 = \text{سمك العازل}$$

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \ln \frac{r_2}{r_1} \quad 495 \times 10^6 = \frac{4.5 \times 10^{12}}{6.28 \times 1000} \ln \frac{r_2}{r_1}$$

$$0.687 = \ln \frac{r_2}{r_1} = \ln r_2 - \ln 1.25$$

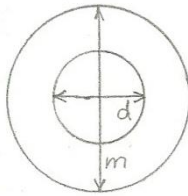
$$\ln r_2 = \ln 1.25 + 0.687 = 0.91 \quad e^{\ln r_2} = e^{0.91} \quad r_2 = 2.48$$

$$\text{السلك} = 1.23 = 1.25 - 2.48$$

وكذلك توجد متسعَات بين الموصلات كما في الخطوط الهوائية.

المتسعة في القابلو ذي اللب المفرد : Capacitance of Single Core Cable

يمكن تمثيل القابلو ذي لب مفرد باسطوانتين متمركزتين أذ يمثل الموصل الاسطوانة الداخلية بينما يمثل الغلاف الرصاصي الاسطوانة الخارجية وعادة تكون مؤرضة .



$$C = \frac{\epsilon r L \times 10^{-9}}{41.4 \log (m/d)} \text{ Farad}$$

حيث d قطر الموصل L طول القابلو و ϵr نفاذية نسبية للعازل m قطر الغلاف الداخلي (العازل + الموصل)
مثال HW : القابلو ذو لب مفرد قطر الموصل 1 سم قطر الغلاف الداخلي 1.8 سم استخدم الورق المزيّت ذو النفاذية النسبية 4 كعازل أحسب متسعة القابلو لطول 1 كم ؟ الحل = 378 nF

فقد العزل وزاوية الفقد : Dielectric losses and losses angle

يقسم فقد العزل في القابلوات الى نوعين :

- 1- الفقد نتيجة التردد : وهي الطاقة المفقودة نتيجة تردد المجال الكهربائي في العزل لقابلوات التيار المتردد وهذا التردد يسبب تغيير مستمر في مسار الالكترونات حول النواة في البناء الذري للعازل وينتج عنه طاقة على شكل حرارة .

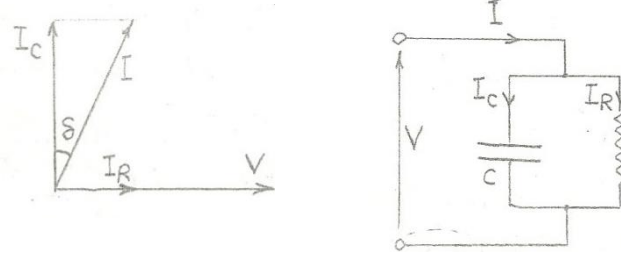
2- الفقد نتيجة تيار التسرب : وهو يعطى من العلاقة التالية $I^2 R$ حيث I هو تيار التسرب و R هي مقاومة العزل أو V^2 / R حيث V جهد الموصل – الارضي .

التأين في قابلوات القدرة :

عادة لا يسمح للقابلوات المعزولة بالورق المشرب بالوارنيش أن ترتفع درجة حرارتها الا بقدر صغير نسبيا والسبب في ذلك كما يلي .. عندما تسخن القابلوات بسبب التحميل فإن المركب الذي تشرب الورق العازل به يتمدد أكثر من الورق ويضغط على الغلاف الرصاصي فيتمدد وعندما يبرد الكابل فإن المركب ينكمش ولكنه لا يعود الى وضعه الاصلي وبالتالي فإن هناك احتمال كبير في ان تتكون فجوات داخلية كما يمكن أن تتشكل فراغات وجيوب غازية وسط العازل نتيجة عدم جودة عملية التشريب وكثرة ثني القابلو ونتيجة لذلك فإن المجال الكهربائي داخل القابلو قد يصل 3 أو 4 مرات المجال الكهربائي في العزل المحيط ونتيجة لذلك يحدث تأين داخل الفجوات ويحدث ما يسمى بالتفريغ الداخلي أو التفريغ الجزئي وتؤدي هذه التفاعلات الكيميائية الى انهيار العازل بالتدريج .

زاوية الفقد في العازل : Losses Angle

يعتبر القابلو غير المحمل مثال لسلك سيء العزل لذلك يمكن تمثيل القابلو بمكثف مثالي على التوازي مع مقاومة عند رسم المخطط الطوري نلاحظ ان تيار الشحن يتقدم الجهد المسلط بزاوية أقل من 90 درجة (مقدار الزاوية الصغيرة δ تسمى زاوية الفقد) .



حيث I_C تيار العازل و I_R هو تيار مقاومة العازل زاوية الطور بين التيار المار في عازل القابلو والذي هو عبارة عن تيار حقيقي يمر في مقاومة العازل وتيار خيالي يمر عبر متسعة القابلو والفولتية تمثل مقدار زاوية الفقد في العازل δ والتي تساوي $90 - \delta$. اذا δ قليلة القابلو جيد .
عند مرور تيار قليل في القابلو والقابلو يسخن اذن العزل غير جيد وكلما δ عالية. القدرة المفقودة في القابلو تكون عالية .
وتيار الحمل في القابلو يتقدم على الفولتية بزاوية ϕ بسبب متسعة القابل

و.

فقد العزل في العازل

$$Delectric losses = VI \sin \delta + VI \cos \delta$$

حيث δ زاوية صغيرة جدا

$$\therefore \sin \delta = 0 \quad \& \quad \cos \delta = 1$$

$$Delectric losses = VI \therefore I = VWc$$

$$Delectric losses = V^2 Wc$$

يثبت من ذلك أن فقد العزل في الكابل يتناسب طرديا مع مربع الجهد ويعد ذلك ذو أهمية عظمى في حالة كابلات الضغط العالي حيث تقدر جودة الكابل بزاوية الفقد δ .

تقنين التيار في القابلو :

يعتمد تقنين (تحديد) قيمة التيار المار في القابلو على عدة عوامل :

- 1- مساحة مقطع الموصل : ويعتبر من اهم المحددات التي تقنن من قيمة التيار.
- 2- الفقد في الموصل : والذي يمثل المصدر الرئيسي للحرارة في القابلو .
- 3- المقاومة الحرارية للعازل : عند تصميم القابلو يراعى ان تكون المادة العازلة تسمح بتسرب الحرارة الى الخارج

4- المقاومة الحرارية للوسط المحيط بالقابلو : ويفضل دائما ان تكون المقاومة الحرارية قليلة وذلك لتسريب الحرارة الى الخارج .

انهيار العازل في القابلو :

يحدث الانهيار في العازل لأسباب متعددة وهي :

- 1- الانهيار بسبب الحالة العابرة : ويعود ذلك الى تعرض القابلو الى اجهاد كهربائي عالي بسبب الفولتية العالية الناتجة مثلا من الصواعق الكهربائية او اعمال التوصيل والفصل او اي ظاهرة عابرة اخرى .
- 2- انهيار العازل بسبب التأين : أن وجود الشوائب أو الفقاعات الغازية أو الهوائية في العازل يؤدي الى حدوث تأين وانهيار العازل لذلك النظافة مهمة في القابلوات .
- 3- الانهيار الحراري : تبدأ خواص العازل في الانهيار عند التعرض الى حرارة عالية بسبب التحميل الزائد أو التعرض الى حالات القصر .
- 4- تدهور خواص العازل : بسبب التقادم بالزمن أو تسرب الرطوبة وكثرة الاستخدام .

أعطال القابلو بسبب الغلاف المعدني :

للغلاف المعدني تأثير كبير على عمل القابلو وخاصة في ضمان توزيع المجال الكهربائي في العازل وهناك بعض الاسباب التي تؤدي الى تضرر وشروخ في الغلاف ومن ثم عطل القابلو وهي :

- 1- تعرض القابلو للثني الشديد والاهتزازات .
- 2- تكرار التمدد والانكماش بسبب التغير الكبير في الحمل .
- 3- وجود شوائب في معدن الغلاف .
- 4- تعرض الغلاف المعدني للتآكل.
- 5- تلف ميكانيكي في القابلوات التي تستخدم الغازات أو السوائل.

الاعطال التي تحدث في القابلو بسبب الموصل :

يحدث العطل في بعض الاحيان بسبب التأثير الخارجي على الموصل :

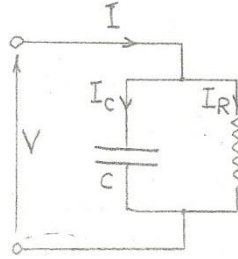
- 1- انقطاع الموصل والذي يكون بسبب اعمال الحفر في مسارات القابلوات المدفونة ولذلك يجب استخدام اشربة تحذيرية .

- 2- تعرض القابلو للقطع وخاصة عند النهايات بسبب الحيوانات كالافاعي والقوارض او لاسباب اخرى.

العطل بسبب الغلاف الخارجي :

ان حدوث التلف في الغلاف الخارجي البلاستيكي يؤدي الى تلف العازل ومن اكثر العوامل المؤثرة على الغلاف هي القوارض وبعض انواع النمل .

مثال 3: قابلو احادي القلب بفولتية KV33 وبتردد 50 Hz نصف قطر الموصل 15 mm ونصف قطر العازل 40 mm النفاذية النسبية 2.5 وزاوية الفقد 5 درجة وطول القابلو 40 Km المق اومة النوعية للعازل 8.9×10^{12} أوم. متر احسب القدرة المفقودة في العازل ؟



$$P_d = IV \sin \delta$$

$$I = I_R + j I_C = \sqrt{I_R^2 + I_C^2}$$

$$I_R = \frac{V}{R}$$

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \ln \frac{r_2}{r_1} = \frac{8.9 \times 10^{12}}{2 \times 3.14 \times 40000} \ln \frac{40}{15} = 34.7 \text{ M}\Omega$$

$$I_R = \frac{33 \times 1000}{34.7 \times 1000000} = 0.95 \text{ mA}$$

$$I_C = \frac{V}{X_C}$$

$$C = \frac{\epsilon_r L}{41.4 \log \frac{m}{d}} = \frac{2.5 \times 40000}{41.4 \log \frac{80}{30}} = 5.67 \mu F$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi f c} = \frac{1}{2 \times 3.14 \times 50 \times 5.67 \times 10^{-6}} = 561.6 \Omega$$

$$I_C = \frac{V}{X_C} = \frac{33000}{561.6} = 58 \text{ A}$$

$$I = \sqrt{0.95^2 + 58^2} = 58.7 \text{ A}$$

$$P = 33 \times 10^3 \times 58.7 \sin 5 = \quad W$$

مثال 4 واجب بيتي : احسب القدرة المفقودة في عازل قابلو احادي القلب بفولتية 90 Kv وبطول 34 Km نصف قطر الموصل 14 ملم ونصف قطر القابلو 30 ملم السماحية النسبية للعازل 3 وبتردد 60 Hz وعلمنا ان المقاومة النوعية 9.5×10^{12} أوم. متر وزاوية الفقد = 15 درجة.

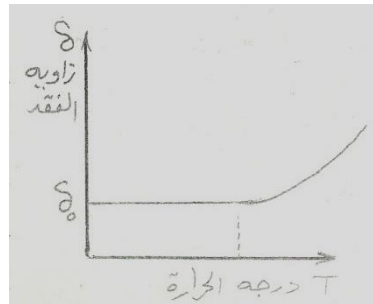
مثال 5 واجب بيتي : قابلو نحاس أحادي القلب يعمل بفولتية 66 كيلو فولت ومساحة مقطع 300 ملم² وقطر القابلو 15 سم والسماحية 2.8 احسب القدرة المفقودة في الموصل والعازل اذا كان طول القابلو 50 كم والمقاومة النوعية 10^{-8} أوم. متر والتيار المار في الموصل 85 امبير والمقاومة النوعية للعازل 3.2×10^8 أوم . متر وزاوية الفقد = 10 درجة .

مثال 6 واجب بيتي : قابلو احادي القلب قطر الموصل 25 ملم وقطر العازل 60 ملم احسب مقاومة العزل والتيار المتسرب في العازل اذا كانت السماحية النسبية في العازل 1.9 والفولتية 11 كيلو فولت والمقاومة النوعية للعازل 10^{11} أوم . متر .

مثال 7 واجب بيتي : أحسب تيار التسرب المار في مقاومة العازل لقابلو احادي القلب طوله 87 كم عند فولتية 90 كيلو فولت ونصف قطر الموصل 10 ملم وسمك العازل 24 ملم والمقاومة النوعية للعازل 8×10^{12} أوم . متر .

تأثير الحرارة على زاوية الفقد δ :

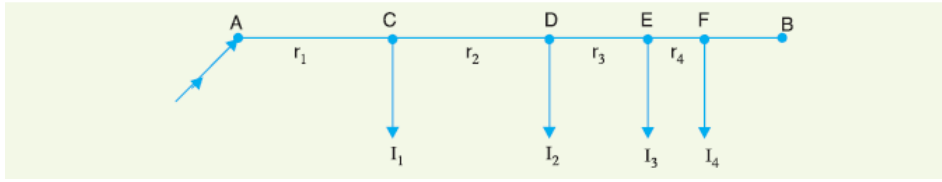
يبين الشكل التغير النموذجي لزاوية الفقد δ مع تغير درجة الحرارة لعزل الكابل نلاحظ أن هناك مدى حراري تبقى فيه الزاوية δ ثابتة بعد هذا المدى تزداد بسرعة وتستمر بالزيادة مع ارتفاع درجة الحرارة .



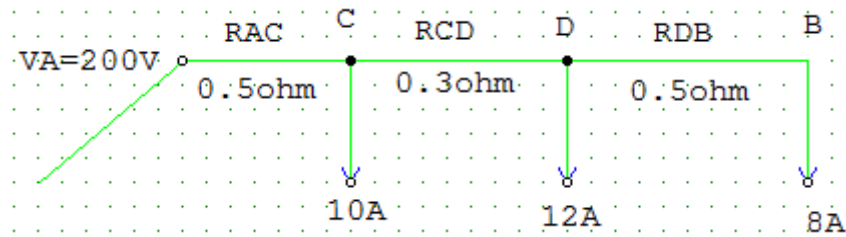
شبكات التوزيع : (16)

موزعات التيار المستمر انواعها :

أ- موزع مغذى من طرف واحد :



مثال 1 : في الموزع الموضح في الشكل أوجد قيمة الفولتية عند الحمل (B) اذا علمت أن فولتية التغذية عند النقطة A) (200 = فولت وان مقاومة المقاطع لخطي الذهاب والاياب هي (0.5 و 0.3 و 0.5) اوم للمقاطع (AC,CD,DB) على الترتيب



$$I_{DB} = 8 \text{ A} , I_{CD} = 12 + 8 = 20 \text{ A} , I_{AC} = 10 + 12 + 8 = 30 \text{ A}$$

الفولتية عند نقطة B = فولتية A - (هبوط الفولتية في AC + هبوط الفولتية في CD + هبوط الفولتية في DB)

$$= \text{فولتية A} - (I_{DB} R_{DB} + I_{CD} R_{CD} + I_{AC} R_{AC})$$

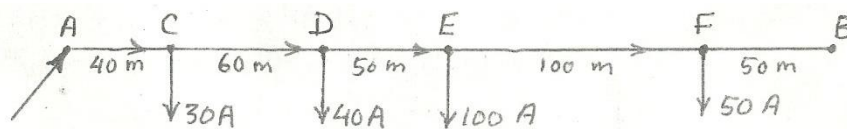
$$= 200 - (8 \times 0.5 + 20 \times 0.3 + 30 \times 0.5)$$

$$= 175 \text{ فولت}$$

ملاحظة : اذا اعطيت مقاومة الخط الذهاب فقط او الاياب فقط يجب ضرب المقاومة $\times 2$

مثال 2 : موزع تيار مستمر بطول 300 متر وكما موضح بالشكل اوجد مساحة مقطع الموزع ، اذا علمت ان اقصى

هبوط فولتية مسموحة هي 10 فولت علما ان المقاومة النوعية لمادة الموصل ($\rho = 1.78 \times 10^{-8}$) اوم . متر



$$100 \text{ m} = r = R_{EF}$$

$$R_{AC} = \frac{40r}{100} = 0.4r , R_{CD} = 0.6r , R_{DE} = 0.5r , R_{EF} = r , R_{FB} = 0.5r$$

$$I_{EF} = 50 \text{ A}, I_{DE} = 100 + 50 = 150 \text{ A}, I_{CD} = 40 + 100 + 50 = 190 \text{ A},$$

I

$$I_{AC} = 30 + 40 + 100 + 50 = 220 \text{ A}$$

$$V_{AC} + V_{CD} + V_{DE} + V_{EF} = \text{مجموع هبوطات الفولتية على الموزع}$$

$$= I_{AC}R_{AC} + I_{CD}R_{CD} + I_{DE}R_{DE} + I_{EF}R_{EF}$$

$$= 220 \times 0.4r + 190 \times 0.6r + 150 \times 0.5r + 50 \times r$$

$$= 327r$$

من السؤال (أقصى هبوط فولتية يجب أن لا يزيد عن 10 فولت)

$$327r = 10 \rightarrow r = \frac{10}{327} \therefore = 0.03058 \Omega$$

ان المقاومة $r = 0.03058 \Omega$ هي مقاومة المقطع R_{EF} وذلك (ذهاب واياب)

مقاومة المقطع R_{EF} للذهاب فقط هي $\frac{0.03058}{2}$

$$R = \rho \frac{L}{A} = \rho \frac{L}{R} = \frac{1.78 \times 10^{-8} \times 100}{\frac{0.03058}{2}} = 1.164 \text{ Cm}^2 \therefore$$

ب / موزع تيار مستمر مغذى من طرفيه ويجهز احمالا متركزة :

DC Distributor Fed at both ends concentrated loading

Equal Feeding Voltage

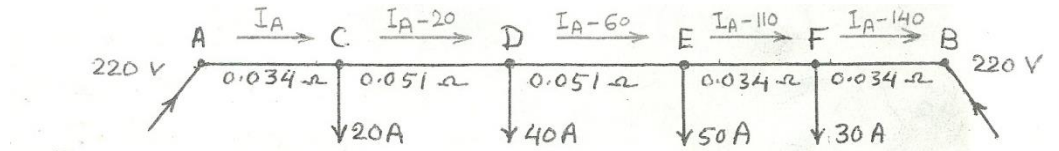
1/ فولتية التغذية متساوية :

76

مدرس المادة : أ. م. زهير سمين الصكار (القوشجي) 2020 Asst. Prof. : Zuhair S. Al-sagar

شاهد فديوهات محاضرات الشبكات الكهربائية ومختبر الشبكات الكهربائية على اليوتيوب قناة zuhair sameen

مثال 3 : موزع بطول 600 متر مغذى من طرفيه بفولتية 220 فولت ويجهز الاحمال المؤشرة كما في الشكل أوجد نقطة ادنى فولتية علما ان مقاومات المقاطع المؤشرة على الشكل (ذهاب وعودة)



نفرض ان التيار المار في المقطع AC هو I_A

الفولتية في B = الفولتية في A - مجموع الهبوطات على الموزع AB

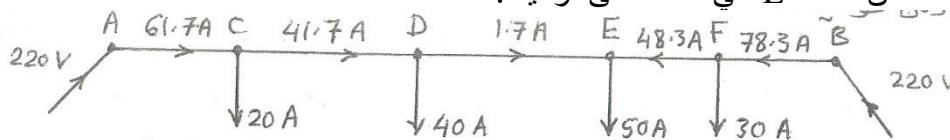
$$V_B = V_A - (V_{AC} + V_{CD} + V_{DE} + V_{EF} + V_{FB})$$

$$V_B = V_A - [I_A R_{AC} + (I_A - 20)R_{CD} + (I_A - 60)R_{DE} + (I_A - 110)R_{EF} + (I_A - 140)R_{FB}]$$

$$220 - 220 = \{ 0.034 I_A + 0.05 (I_A - 20) + 0.05 (I_A - 60) + 0.034 (I_A - 110) + 0.034 (I_A - 140) \}$$

$$I_A = 61.7 \text{ A}$$

نعيد التوزيع الحقيقي للتيارات ونلاحظ من الواضح ان التيارات الداخلة الى النقطة E قادمة من الطرفين (اي من النقطتين D و F) لذا فان نقطة E هي نقطة أدنى فولتية.

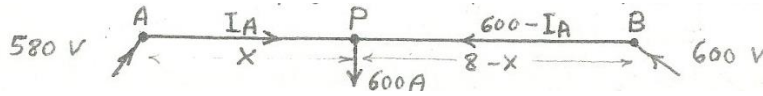


$$V_E = V_A - (I_{AC}R_{AC} + I_{CD}R_{CD} + I_{DE}R_{DE}) = 215.69 \text{ Volt}$$

$$\text{or } V_E = V_B - (I_{FB}R_{FB} + I_{EF}R_{EF}) = 215.69$$

2/ فولتية التغذية غير متساوية : Unequal Feeding Voltage

مثال 4 : قطار كهربائي يسحب تيار مستمر قيمته 600 أمبير يسير على مقطع من الخط بين محطتين بينهما مسافة (8) كم وفولتية (600 و 580) فولت لكل منهما مقاومة الخط (ذهابا وإيابا) (0.05) اوم / كم أوجد نقطة أدنى فولتية على الخط وكذلك قيمة التيار المجهز من كلتا المحطتين في تلك اللحظة .
نفرض أن أدنى فولتية تحصل على النقطة P التي تبعد X كم عن المحطة A .



$$V_p = 580 - I_A (0.05 X) = 600 - (600 - I_A) \times (8-X) \times 0.05$$

$$\therefore 580 - 0.05 I_A X = 600 - 240 + 30 X + 0.4 I_A - 0.05 I_A X$$

$$I_A = \frac{220 - 30 X}{0.4} \quad \text{or} \quad X = \frac{220 - 0.4 I_A}{30}$$

نعوض عن قيمة التيار I_A في معادلة V_p

$$V_p = 580 - I_A (0.05 X) = 580 - \left[\left(\frac{220 - 30 X}{0.4} \right) \times 0.05 X \right]$$

$$V_p = 580 - \frac{220}{8} X + \frac{30}{8} X^2$$

V_p : يجب أن تكون أقل ما يمكن أذن نستقها ونساويها بالصفر لإيجاد قيمة X

$$+ \frac{60}{8} X = 0 \rightarrow \therefore \frac{60}{8} X = \frac{220}{8} \rightarrow \therefore X = 3.67 \text{ Km} \frac{dvp}{dx} = 0 - \frac{220}{8}$$

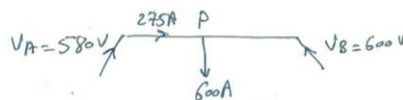
$$\text{التيار المسحوب من المحطة A} \quad I_A = \frac{220 - 30 X}{0.4} = 275 \text{ Amper}$$

$$\text{التيار المسحوب من المحطة B} = 600 - 275 = 325 \text{ Amper}$$

مثال 5 : قطار يسير على مقطع من خط بين محطتين بينهما مسافة (8) كم وفولتية كل منهما (600 و 580) فولت ومقاومة الخط ذهابا ورجوعا 0.05 اوم / كم أوجد مسافة نقطة أدنى فولتية بين المحطتين اذا علمت أن التيار المغذى من المحطتين يساوي (325 و 275) أمبير .

الحل : أدنى نقطة هي نقطة P نفرض المسافة بين A و P هي X

$\therefore$ المسافة بين B و P هي 8 - X



$$V_p = V_A - V_{AP} = V_B - V_{BP} = V_A - (I_{AP} R_{AP}) = V_B - (I_{BP} R_{BP})$$

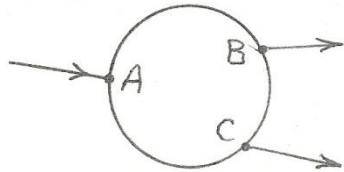
$$= 580 - (275 \times X \times 0.05) = 600 - [325 \times (8-X) \times 0.05]$$

$$X = 3.66 \text{ Km}$$

وهي المسافة بين A , P أما المسافة بين B , P هي 8 - 3.66 = 4.33 كم

الموزع الحلقي : D.C Ring Distributor (17 و 18)

الموزع الذي يشكل حلقة مغلقة ويغذى من نقطة واحدة أو عدة نقاط يسمى بالموزع الحلقي. وتبدأ هذه الموزعات من نقطة معينة وتكون حلقة في منطقة الخدمة وترجع الى نقطة البداية . الموزع الحلقي يمكن اعتباره مجموعة من الموزعات المتوالية والذي يتغذى من الطرفين . الفائدة الاساسية للمغذي الحلقي هو توفير كبير في كمية النحاس المستخدم اذا أحسن اختيار عدد نقاط التغذية . يوضح الشكل أدناه ابسط انواع الموزعات الحلقية ' الموزع له نقطة تغذية واحدة هي نقطة (A) بينما النقاط (B, C) هي نقاط تجهيز ويمكن تمثيلها بموزع خطي مغذى من طرفيه بفولتية متساوية .

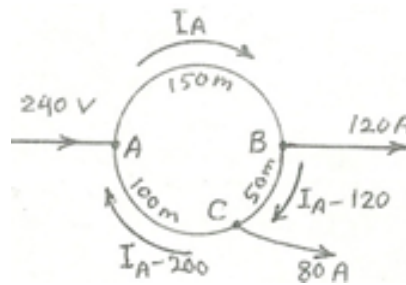


مثال 6 : موزع حلقي ذو سلكين بطول 300 متر يغذى من نقطة A بفولتية (240) فولت ويجهز الاحمال المؤشرة في الشكل فاذا كانت مقاومة (100) متر من السلك الواحد تساوي (0.03) أوم . اوجد :

1- التيار المار في جميع مقاطع الموزع .

2- الفولتية في نقطتي (C,B).

مقاومة الموزع للسلكين وبطول 100 متر = $0.03 \times 2 = 0.06$ أوم



$$\text{مقاومة المقطع AB} = 0.06 \times \frac{150}{100} = 0.09 \Omega$$

$$\text{مقاومة المقطع BC} = 0.06 \times \frac{50}{100} = 0.03 \Omega$$

$$\text{مقاومة المقطع AC} = 0.06 \times \frac{100}{100} = 0.06 \Omega$$

نفرض أن التيار المار في المقطع AB = I_A أمبير

∴ التيار المار في المقطع BC = $I_A - 120$ أمبير

التيار المار في المقطع AC = $I_A - 200$ أمبير

وحسب قانون كيرشهوف للفولتية فإن مجموع هبوط الجهد في دائرة مغلقة = صفر

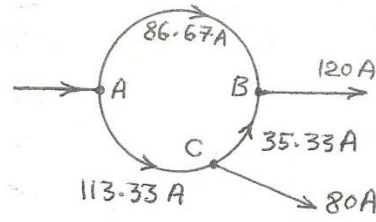
$$V_{AB} + V_{BC} + V_{AC} = 0$$

$$I_{AB} R_{AB} + I_{BC} R_{BC} + I_{AC} R_{AC} = 0$$

$$0.09 I_A + 0.03 (I_A - 120) + 0.06 (I_A - 200) = 0$$

$$I_A = 86.67 \text{ Amp.}$$

نعيد التوزيع الحقيقي للتيارات يصبح كما موضح بالشكل



$$\text{الفولتية في النقطة B تساوي } 240 - (86.67 \times 0.09) = 232.2 \text{ V}$$

$$\text{الفولتية في النقطة C تساوي } 240 - (113.33 \times 0.06) = 233.2 \text{ V}$$

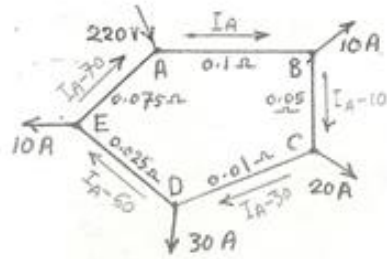
مثال 7 : موزع حلقي ذو سلكتين مغذى من نقطة (A) بفولتية 220 فولت ومحمل كما مبين في الشكل أدناه جد :
نقطة أدنى فولتية والتيار المار في جميع المقاطع . علما ان قيم المقاومات المؤشرة تمثل السلكتين الذهاب والاياب .

الحل : نفرض أن التيار المار في المقطع $I_A = AB$ أمبير نطبق قانون كيرشهوف للفولتية :

$$V_{AB} + V_{BC} + V_{CD} + V_{DE} + V_{EA} = 0$$

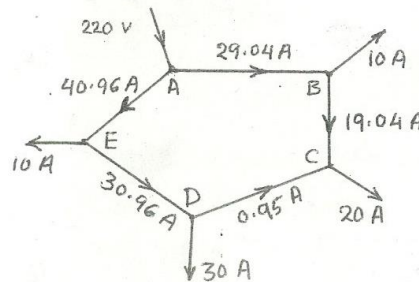
$$I_{AB}R_{AB} + I_{BC}R_{BC} + I_{CD}R_{CD} + I_{DE}R_{DE} + I_{EA}R_{EA} = 0$$

$$0.1I_A + 0.05(I_A - 10) + 0.01(I_A - 30) + 0.025(I_A - 60) + 0.075(I_A - 70) = 0$$



$$I_A = 29.04 \text{ Amper}$$

نعيد التوزيع الحقيقي للتيارات



ملاحظة : ضرورة الانتباه الى اتجاهات التيارات في الافرع المختلفة . نلاحظ أن النقطة C هي نقطة أدنى

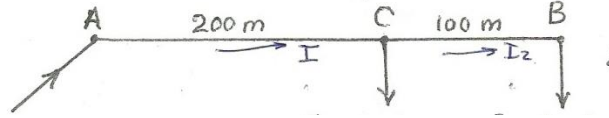
فولتية بذلك يكون أعلى هبوط :

$$\text{فولتية نقطة C} = V_A - (V_{AB} + V_{BC}) = 220 - (29.04 \times 0.1 + 19.04 \times 0.05) = 216.44 \text{ V}$$

موزعات التيار المتناوب : AC Distributors

موزع مغذى من طرف واحد :

مثال 8 : موزع تيار متناوب ذو طور واحد AB بطول (300) متر مغذى من طرف A ومحمل بالاحمال المؤشرة على الشكل . أحسب فولتية الهبوط الكلية للموزع اذا علمت أن المقاومة والمحاثة الكلية للموزع هما (0.2 و 0.1) أوم / كم على التوالي وأن عامل القدرة مرجع الى جهة الاستلام .
ملاحظة : عبارة المقاومة والمحاثة الكلية تعني (ذهاب واياب)



$$I_1 = 100 \text{ A} \quad I_2 = 200 \text{ A}$$

$$\cos \phi_1 = 0.707 \text{ lag.} \quad \cos \phi_2 = 0.8 \text{ lag.}$$

$$V_D = ? = V_{AC} + V_{CB}$$

$$Z/\text{Km} = (0.2 + j 0.1) \Omega$$

$$Z_{AC} = (0.2 + j 0.1) \times \frac{200}{1000} = 0.04 + j 0.02 \Omega$$

$$Z_{CB} = (0.2 + j 0.1) \times \frac{100}{1000} = 0.02 + j 0.01 \Omega$$

$$C \text{ تيار الحمل في نقطة } = I_1 = 100 (0.707 - j 0.707) = 70.7 - j 70.7 \text{ Amp.}$$

$$B \text{ تيار الحمل في نقطة } = I_2 = 200 (0.8 - j 0.6) = 160 - j 120 \text{ Amp.}$$

$$AC \text{ المقطع في التيار } = j 190.7 \text{ Amp.}$$

$$BC \text{ هبوط الجهد في المقطع } = V_{BC} = I_{BC} Z_{BC} = (160 - j 120)(0.02 + j 0.01) = 4.4 - j 0.8 \text{ V}$$

$$AC \text{ هبوط الجهد في المقطع } V_{AC} = I_{AC} Z_{AC} = (230.7 - j 190.7)(0.04 + j 0.02) = 13.04 - j 3.01 \text{ V}$$

$$\text{هبوط الجهد في الموزع } = V_{AC} + V_{BC} = 17.44 - j 3.81 \text{ V} = \sqrt{(17.44)^2 + (3.81)^2} = 17.85 \text{ V}$$

مثال 9 : موزع ثلاثي الاطوار (400) فولت محمل كما في الشكل ربط حمل ثلاثي الاطوار في النقطة C يسحب

تيار قدره (5) أمبير / طور بعامل قدرة 0.8 متاخر. في نقطة B ربط محرك حثي ثلاثي الاطوار قدرته الخارجة

(10) حصان وكفائته (90%) ويعمل على فولتية (400) فولت وبعامل قدرة (0.85) متاخر. كم يجب أن تكون فولتية

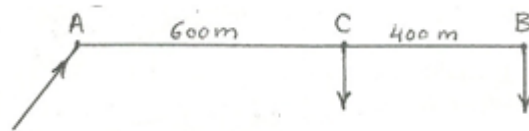
النقطة A اذا اردنا ابقاء فولتية B عند (400) فولت علما بان مقاومة ومحاثة الخط هما (1 و 0.5) أوم / كم / طور على

التوالي .

ملاحظة : اذا لم يذكر نوع الربط يؤخذ على انه نجمي (ستار) في أنظمة التوزيع الثلاثية الاطوار.

$$I_L = I_{ph} \quad V_L = \sqrt{3} V_{ph} \quad \text{in } Y$$

$$V_L = V_{ph} \quad I_L = \sqrt{3} I_{ph} \quad \text{in } \Delta$$



$$I_1 = 5 \text{ A/ ph} \quad I_2 = ?$$

$$\cos\phi_1 = 0.8 \text{ lag} \quad \cos\phi_2 = 0.85$$

$$\eta = 90\% \quad V_L = 400\text{V} \quad H.p = 10$$

$$B \text{ نقطة في طور في } = \frac{400}{\sqrt{3}} 231 \text{ V}$$

نفرض أن V_B في نقطة B هي فولتية مرجعية أي $V_B = 231 + j0$ (hp = 746 W) refrence $\angle 0^\circ$

$$P_{in} (\text{motor}) = \sqrt{3} V_L I_2 \cos \theta_2 \text{ watt}$$

$$P_o (\text{motor}) = 10 \times 746 = 7460 \text{ watt}$$

$$\eta = \frac{p_o}{p_{in}} \times 100\% \quad \rightarrow \frac{90}{100} = \frac{7460}{\sqrt{3} \times 400 \times I_2 \times 0.85}$$

$$\therefore \text{تيار الطور } I_2 = 13.88 \text{ A}$$

$$B \text{ نقطة في الحمل في } I_2 = 13.88 (0.85 - j 0.527) = 11.8 - j 7.3 \text{ A}$$

$$C \text{ نقطة في الحمل في } I_1 = 5 (0.8 - j 0.6) = 4 - j 3 \text{ A}$$

$$CB \text{ المقطع في التيار } I_{CB} = I_2 = 11.8 - j 7.3 \text{ A}$$

$$AC \text{ المقطع في التيار } I_{AC} = I_1 + I_2 = 15.8 - j 10.3 \text{ A}$$

$$Z / \text{Km} = (1 + j 0.5) \Omega$$

$$Z_{AC} = (1 + j 0.5) \times \frac{600}{1000} = 0.6 + j 0.3 \Omega$$

$$Z_{CB} = (1 + j 0.5) \times \frac{400}{1000} = 0.4 + j 0.2 \Omega$$

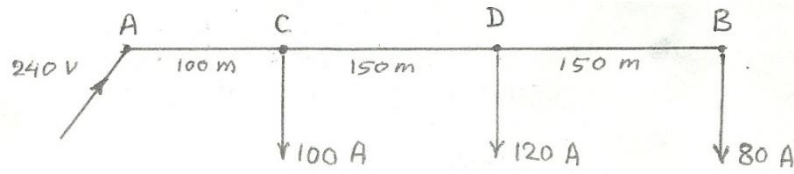
$$V_{CB} \text{ هبوط الجهد} = I_{CB} Z_{CB} = (11.8 - j 7.3)(0.4 + j 0.2) = 6.18 - j 0.56 \text{ V}$$

$$V_{AC} \text{ هبوط الجهد} = I_{AC} Z_{AC} = (15.8 - j 10.3)(0.6 + j 0.3) = 12.57 - j 1.44 \text{ V}$$

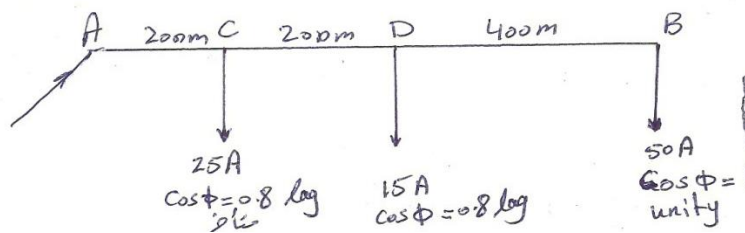
$$V_A = V_B + V_{CB} + V_{AC} = 231 + j0 + 6.18 - j 0.56 + 12.57 - j 1.44 = 249.75 - j 2$$

$$V_A / \text{phase} = \sqrt{(249.75)^2 + (2)^2} = 250 \text{ V} \rightarrow V_A / L = \sqrt{3} V_A / \text{phase} = \sqrt{3} \times 250 = 433 \text{ V}$$

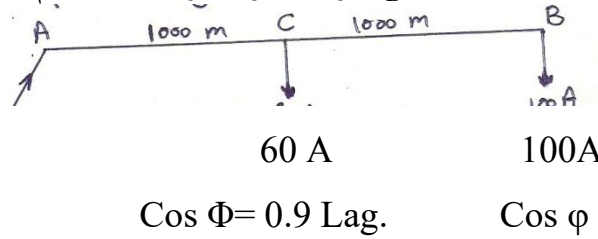
س 10 / موصل ثلاثي الاطوار طوله (400) متر يغذي الاحمال المتمركزة الموضحة بالشكل عامل القدرة للاحمال جميعا يساوي 1 (Unity) باهمال الهبوط في الجهد بالمحايد أوجد الفولتية في النقطة B علما أن مقاومة (1) كم للموصل هي (0.25) اوم وفولتية التغذية / طور هي (240) فولت .
الحل: $V_B = 226.14 \text{ V}$



س 11 / موزع تيار متناوب بطول 800 m مغذى من طرف A بالاحمال المؤشرة في الشكل أحسب فولتية V_D و V_B اذا علمت ان فولتية المصدر $V_A = 220 \angle 0$ ومقاومة ومحاثة الموزع الكلية (0.3 , 0.5) أوم لكل كم .

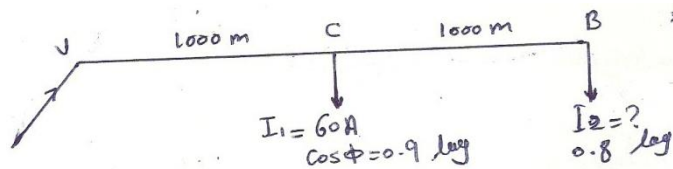


س 12 / موزع تيار متناوب بطول 2 كم مغذى من طرف A بالاحمال المؤشرة في الشكل أحسب فولتية V_A اذا كانت فولتية $V_B = 220 \angle 0$ وأن مقاومة ومحاثة كل كم $0.03 + j0.04$ أوم



Ans: $231 \angle 1.03^\circ \text{ Volt}$

س 13 / في الموزع ادناه اذا كانت فولتية $V_A = 231 \text{ Volt}$ ومقاومة ومحاثة الخط $0.03 + j0.04$ أوم لكل كم وفولتية $V_B = 220 \angle 0$ أحسب التيارات في (I_2, B) ؟

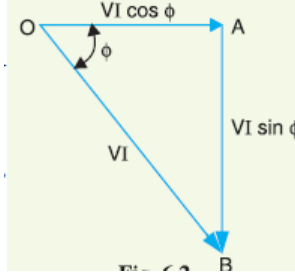


Ans: 100A

س 14 / في المثال السابق اعلاه اذا كانت $I_2 = 100 \text{ A}$ أحسب I_1 ؟
الجواب = 60 A

تحسين معامل القدرة (20)

أن تحسين معامل القدرة ضروري جدا لكل من المستهلك والمولدة حيث أن الواطميتر لا يقرأ القدرة الغير نافعة.
مثلث القدرة:



يكون عامل القدرة للحمل متأخرا (lagging) إذا كان الحمل حثي أي يحتاج الى (KVAR) وعلى هذا فإن عامل القدرة للمحرك الحثي (lagging) لانه يحتاج الى (KVAR) لاحتياجه تيار المغنطة . بينما يكون عامل القدرة متقدما (leading) إذا كان الحمل سعوي أي يعطي (KVAR) .

محاسن تحسين معامل القدرة :

1. زيادة كفاءة الشبكة والاجهزة المستخدمة .
2. تقليل هبوط الجهد.
3. تقليل مساحة مقطع الاسلاك بالتالي تقليل الكلفة .
4. زيادة القدرة المنقول بنفس الاسلاك .
5. تقليل المفاقد النحاسية والتي تساوي $I^2 R$
6. تقليل احجام المحولات والمولدات .
7. تقليل Kwh المسحوب من الشبكة .
8. تقليل الحمل على الشبكة .
9. الاستخدام الامثل للشبكة والمولدات .
10. الحفاظ على معدل الطاقة المتولدة وتقليل كلفة الاجهزة والمعدات .

مساوى عدم تحسين معامل القدرة :

$$P = \sqrt{3} V I \cos \Phi \quad -1$$

بما ان الفولتية والقدرة ثابتتين اذن التيار يتناسب عكسيا مع معامل القدرة

$$I \propto 1 / \cos \Phi$$

نستنتج ان التيار يزداد عند عدم تحسين معامل القدرة والعكس بالعكس. وهذا يعني زيادة المفاقد النحاسية والتي تساوي $I^2 R$

- 1- زيادة التيار يعني زيادة في KVA وبالتالي زيادة في احجام المولدات والمحولات والقواطع وبقية المكونات .
- 2- زيادة التيار يعني زيادة احجام اسلاك لف المولدات وزيادة الكلفة .

3- زيادة هبوط الجهد لان $VD = IR$.

4- معامل تنظيم الفولتية قليلة .

5- الكفاءة قليلة .

6- زيادة الحمل على محطات التوليد بسبب الزيادة في التيار .

كيفية تحسين معامل القدرة في الشبكة:

أذا تم تقليل القيمة الغير فعالة للقدرة (KVAR) مع بقاء القيمة الفعالة للقدرة (KW) ثابتة يزداد معامل القدرة . وإذا أصبحت قيمة (KVAR) = صفر فإن معامل القدرة = 1 ويسمى (Unity power factor) ويتم ذلك :

1- ربط مكثف مع الحمل على التوازي ليعطي (KVAR) معاكس .

2- استخدام محرك تزامني (Synchronous Motor) يدور بدون حمل وفي حالة فوق الاثارة (over-excited) لكي يعطي (KVAR).

3- استخدام المكثفات التزامنية (Synchronous Condenser) .

$$P = V_L I_L \cos \phi \quad (\text{For single phase supply})$$

$$I_L = \frac{P}{V_L \cos \phi} \quad \dots(i)$$

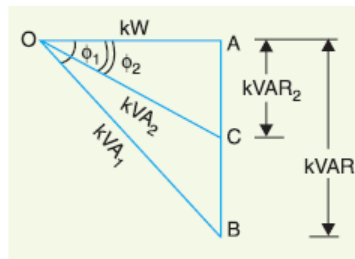
$$P = \sqrt{3} V_L I_L \cos \phi \quad (\text{For 3 phase supply})$$

$$I_L = \frac{P}{\sqrt{3} V_L \cos \phi} \quad \dots(ii)$$

التيار يتناسب عكسيا مع معامل القدرة

$$KVA = \frac{KW}{\cos \phi}$$

القدرة الظاهرة (الاسمية) (S) تتناسب عكسيا مع معامل القدرة



مثال 1: حمل يحتاج الى قدرة فعالة قدرها (P=80 KW) وقدرة غير فعالة (Q= 60 Kvar) جد مقدار Kvar للمكثف الذي يجب أن يربط على التوازي مع الحمل لزيادة عامل القدرة بمقدار (0.1).

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad P=80 KW , Q= 60 KVAR$$

$$S=100 KVA \quad \cos \phi_1 = \frac{P}{S} = 0.8$$

$$\cos \phi_2 = 0.8 + 0.1 = 0.9 \quad \phi_2 = \cos^{-1} 0.9 = 25.8^\circ$$

85

2020 Asst. Prof. : Zuhair S. Al-sagar مدرس المادة : أ. م. زهير سمين الصكار (القوشجي)

شاهد فديوهات محاضرات الشبكات الكهربائية ومختبر الشبكات الكهربائية على اليوتيوب قناة zuhair sameen

$$\tan \phi_2 = Q_2 / P$$

$$Q_2 = P \tan \phi_2 = 80 \tan 25.8^\circ = 38.7 \text{ KVAR}$$

$$\text{Capacitor power} = 60 - 38.7 = 21.3 \text{ KVAR}$$

مثال 2: محرك ثلاثي الاوجه قدرته 100 حصان بفولتية 400 فولت وتردد 50 هيرتز وبمعامل قدرة متأخر 0.75 وكفاءة 93%. ربط على خرجة مجموعة من المتسعات على شكل دلتا اصبحت معامل قدرته 0.95 وكانت كل 4 متسعات مربوطة على ضلع الدلتا وبفولتية 100 فولت لكل متسعة كما في الشكل ادناه. جد سعة كل متسعة؟

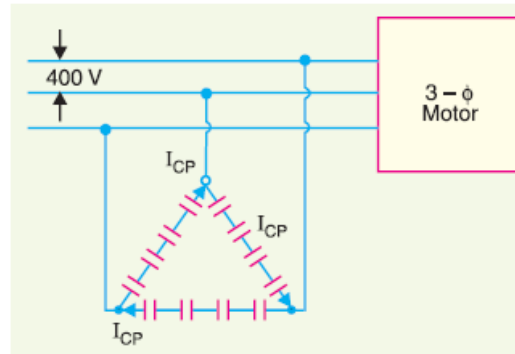


Fig. 6.11 shows the delta* connected condenser bank. Let C farad be the capacitance of 4 capacitors in each phase.

الحل :

$$50240 C = 14.75$$

$$\therefore C = 14.75/50,240 = 293.4 \times 10^{-6} \text{ F} = 293.4 \mu\text{F}$$

Since it is the combined capacitance of four equal capacitors joined in series,

$$\therefore \text{Capacitance of each capacitor} = 4 \times 293.4 = 1173.6 \mu\text{F}$$

مثال 3: محرك أحادي الوجه جهاز بفولتية مقدارها 400 فولت, 50 هرتز وكان التيار المسحوب 31.7 أمبير وبمعامل قدرة 0.7 متأخر جد قيمة المكثف الذي يجب أن يربط على التوازي مع المحرك لزيادة عامل القدرة الى 0.9 متأخر.

الحل :

$$\text{or } 11.85 = 400 \times 2\pi \times 50 \times C$$

$$\therefore C = 94.3 \times 10^{-6} \text{ F} = 94.3 \mu\text{F}$$

مثال 4: محرك ثلاثي الاوجه قدرته 5 KW بمعامل قدرة متأخر 0.75. ربط مجموعة من المكثفات على شكل دلتا على اطراف المحرك. زادت معامل القدرة الى 0.9 متأخر. احسب KVAR للمتسعات المربوطة على كل وجه.

الحل :

$$= 1.99/3 = 0.663 \text{ kVAR}$$

أنواع الاعطال في الشبكات الكهربائية : (21)

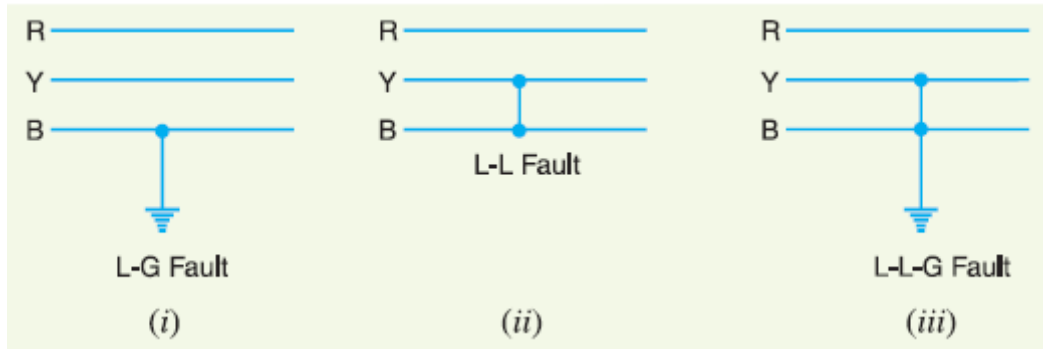
عندما يحدث عطل في اية دائرة كهربائية فإنه يحدث الاتي :

- 1- تغيير مفاجئ في الفولتية سواء بالارتفاع أو الانخفاض يؤثر على الحمل والعزل.
- 2- ارتفاع في درجة الحرارة نتيجة مرور تيار الخطأ مما قد يؤدي الى حدوث حرائق واطار كبيرة لذلك يجب وضع اجهزة الوقاية التي تعمل على فصل التيار فصلا تاما.

Short Circuits in Transmission Lines: أنواع دوائر القصر في الشبكات الكهربائية:

تقع الاخطاء في أنظمة القدرة أما بسبب انهيار العازل نتيجة الفولتيات العابرة أو ضربات الصواعق وتأخذ الاعطال الناتجة حالات مختلفة وهي :

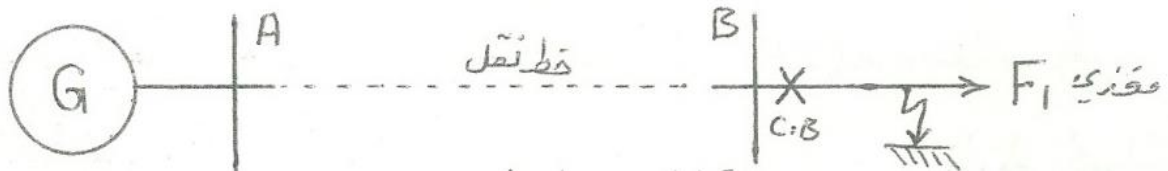
- 1- قصر بين احد الاطوار والارض. Phase – earth fault
- 2- قصر بين طور واخر دون الاتصال بالارض. Phase – phase fault
- 3- قصر بين طور واخر مع الاتصال بالارض. 2 phase –earth fault
- 4- قصر ثلاثي الاطوار. 3 phase – short circuit



وهذه الاخطاء تسبب مرور تيارات عالية تسمى تيارات دوائر القصر. ان ايجاد قيم هذه التيارات تساعدنا على حسن اختيار الاجهزة من قضبان عمومية ومحولات واجهزة توليد ونقل واختيار اجهزة حماية مناسبة كقواطع الدورة ومتابعات الخ. ان اكثر انواع الاعطال شيوعا هو عطب خط – ارض Phase – earth fault

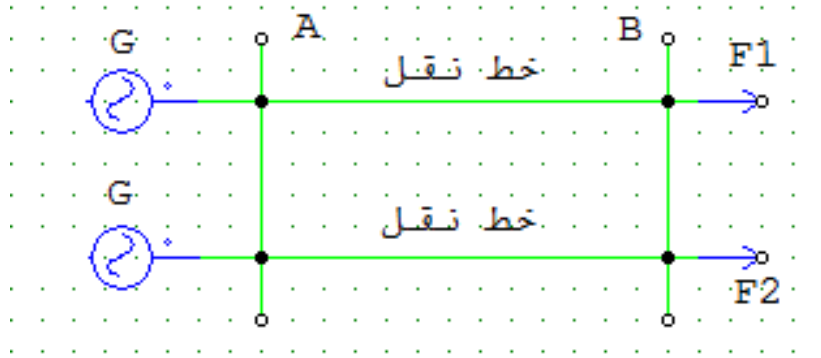
محددات تيار العطب: Limitations of fault current

دائرة قصر على اطراف مغذي ذو مولدة واحدة :



في الشكل اعلاه A ، B يمثلان قضبان لمحطة توليد ومحطة ثانوية على الترتيب F_1 مغذي خارج من المحطة الثانوية B ومربوط من خلال قاطع الدورة X ، يتحدد تيار العطب بممانعة المولد وممانعة الخط الى نقطة العطب .

دائرة قصر في شبكة تحتوي على اكثر من مولدة :



عند زيادة وحدات التوليد لتلبية متطلبات الحمل الاضافية فان تيار العطب سوف يكون اكبر من حالة المنظومة الاصلية وذلك :

- 1- زيادة KVA لمحطة التوليد ويعتمد ذلك على عدد المولدات .
- 2- نقصان الممانعة الكلية لمحطة التوليد (ممانعة مولدتين على التوازي اقل من ممانعة مولدة واحدة).
- 3- نقصان الممانعة الكلية لخط النقل.

خطوات حساب تيار القصر :

لتسهيل حل الاعطاب الثلاثية الاطوار :

- 1- يرسم التمثيل الاحادي للشبكة single line diagram موضحا عليه سعة وفولتية وممانعة جميع المولدات ،
- 2- خطوط النقل ، المحولات والمفاعلات.
- 3- اعتمادا على التمثيل الاحادي الطور ترسم الممانعة الاحادية للخط (طور واحد محايد) وتكتب قيم الممانعات بالنسب المئوية (على اساس KVA موحد). مع الاخذ بنظر الاعتبار :
 أ/ اهمال قيم مقاومة المولدات والمحولات اذا كانت قليلة وغير مؤثرة.
 ب/ تمثيل المحولة بممانعة على التوالي .
 ج/ عدم اهمال المقاومة في الخطوط الهوائية الطويلة أو الكابلات لان قيمتها تكون مؤثرة عادة.
- 4- بعد رسم الممانعات تحسب الممانعة الكلية الى نقطة العطب.
- 5- يتم حساب تيار القصر Ish و MVA القصر (MVAs) للدائرة كما يلي :
 عندما تكون الممانعات معطاة بالنسبة المئوية :

$$I_{sh} = \frac{I \times 100}{X\%} \quad \text{تيار القصر للدائرة}$$

$$MVA_{sh} = \frac{100 MVA}{X\%} \quad \text{MVA القصر للدائرة}$$

$$\text{or} \quad \text{KVA sh} = \frac{100 \cdot \text{KVA b}}{X\%}$$

$$\text{Ish}_{(\text{rms})} = \frac{\text{MVA sh} \times 10^3}{\text{KV}(L \text{ to } L) \times \sqrt{3}} \quad \text{or} \quad \text{Ish}_{(\text{rms})} = \frac{\text{KVA sh}}{\text{KV}(L \text{ to } L) \times \sqrt{3}}$$

النسبة المئوية للممانعات : Percentage Reactance

تُهمل المقاومة في حسابات الاغطاب لكونها قليلة عادة عند مقارنتها بقيمة المفاعلة X_L حيث لا تزيد على 5% .

$$\%X = \frac{IX}{V} \times 100 \quad \dots(i)$$

where

I = full-load current

V = phase voltage

X = reactance in ohms per phase

إذا كانت X هي الممانعة الوحيدة في الدائرة فإن تيار القصر Ish هو

$$\text{Ish} = \frac{V}{X} = I \times \frac{100}{X\%}$$

في حالة حدوث قصر على أطراف الثانوي لمحولة ذات فولتية ابتدائي مقنن وممانعة (4%) فإن تيار القصر يصل الى (25) مرة بقدر التيار المقنن .

ملاحظة : من الضروري تحويل ممانعات الكابلات والخطوط الهوائية الى نسب مئوية لانها تعطى عادة بالاووم (Ω) .
وذلك من المعادلة أدناه

$$X\% = \frac{\text{KVA} \cdot X}{10 \times (\text{KV})^2}$$

س / برهن العلاقة السابقة

$$\text{From exp. (i), } X = \frac{(\%X) V}{100I} = \frac{(\%X) V \times V}{100 \times VI} = \frac{(\%X) \left(\frac{V}{1000}\right) \left(\frac{V}{1000}\right) \times 1000}{100 \times \left(\frac{V}{1000}\right) \times I} = \frac{(\%X) (\text{kV})^2 \times 10}{\text{kVA}}$$

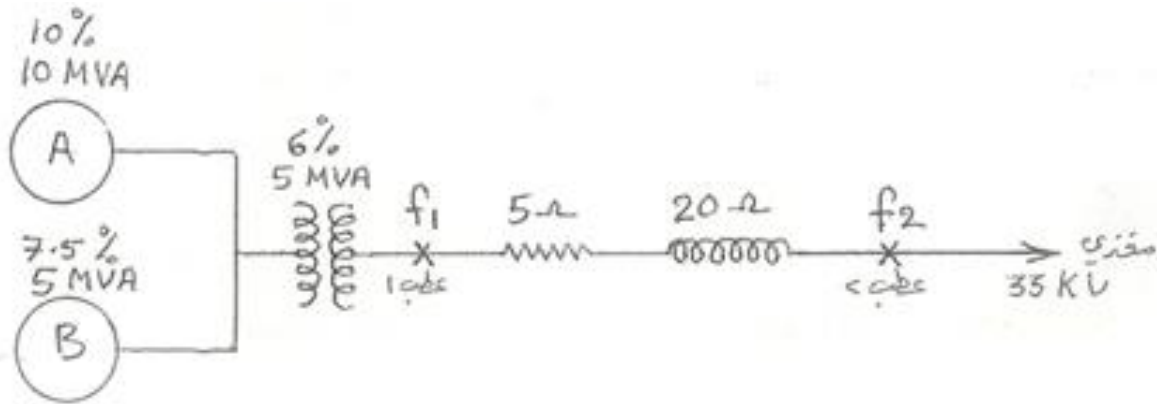
$$\therefore \%X = \frac{(\text{kVA}) X}{10 (\text{kV})^2}$$

- مثال 1:** خط ثلاثي الاطوار (33) كيلو فولت له مقاومة (5) اووم ومفاعلة (20) اووم ربط الى قضبان محطة توليد خلال محولة رافعة (5) MVA بممانعة (6%). في المحطة مولدتان احدهما بسعة (10) MVA وبممانعة (10%) والاخرى بسعة (5) MVA وبممانعة (7.5%) . احسب KVA العطب عندما يحدث :
- 1- في نهايات الضغط العالي للمحولة (H.T).
 - 2- في جهة الحمل لخط النقل .

الحل : يتم رسم المنظومة وفق معطيات السؤال .

1- نختار الاساس (KVA) للمولد الاول 10 MVA ويساوي $S = 10000 \text{ KVA}$

∴ مفاعلة المولدة الاولى $X_A = 10\%$



مفاعلة الجديدة للمولدة B $X_B\% = \text{ممانعة } B(\text{القديمة}) \times \frac{\text{اساس KVA}}{\text{KVA مولدة B}}$

$$X_B\% = 7.5\% \times \frac{10000 \text{ KVA}}{5000 \text{ KVA}} = 15\%$$

$$\frac{10000 \text{ KVA}}{5000 \text{ KVA}} = 12\%$$

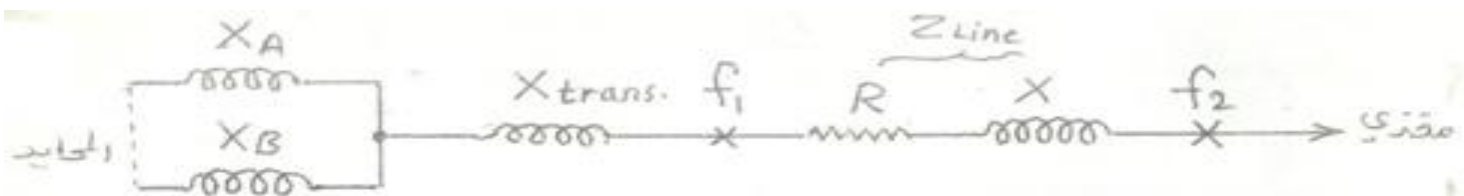
$X_{\text{trans.}} = 6\% \times$ مفاعلة المحولة

2- نقوم بتحويل ممانعة الخط من الاوم الى النسبة المئوية :

$$X\% = \frac{KVAb \cdot X}{10(KV)^2} = \frac{10000 \times 20}{10(33)^2} = 18.4\%$$

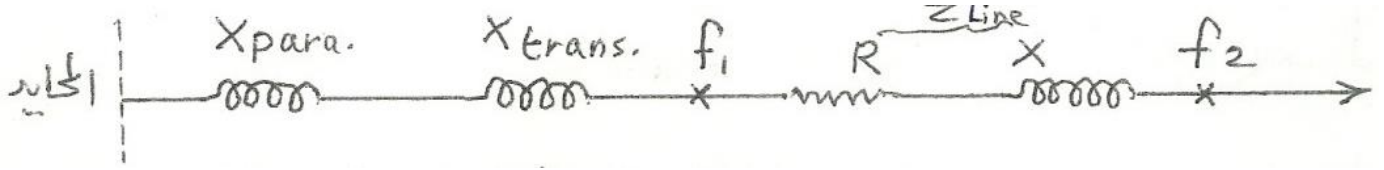
$$R\% = \frac{KVAb \cdot R}{10(KV)^2} = \frac{10000 \times 5}{10(33)^2} = 4.6\%$$

3- يمكن رسم التمثيل الاحادي للممانعات



$$X_{A, X_B} \text{ التوازي } X_{\text{parallel}} = \frac{15\% \times 10\%}{15\% + 10\%} = 6\%$$

باختصار الدائرة السابقة تكون كالآتي :



المطلوب الاول : في حالة حدوث عطب في اطراف الضغط العالي للمحولة تكون الممانعة لحد العطب f_1 .

$$X \text{ para.} + X \text{ trans.} = 6\% + 12\% = 18\%$$

$$\therefore KVA_{sh} \text{ للعطب} = \frac{100 \cdot KVA \text{ اساس}}{X\%} = \frac{100 \times 10000}{18} = 55556 KVA$$

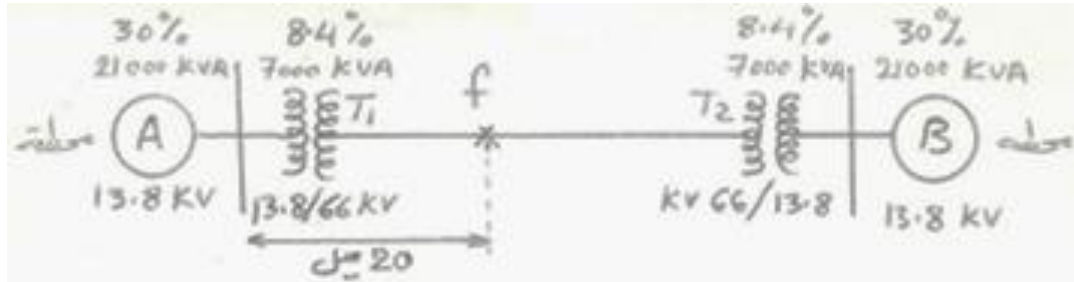
المطلوب الثاني : في حالة حدوث العطب في جهة الحمل f_2 .

$$\text{المفاعلة الكلية الى نقطة العطب} = 18 + 18.4 = 36.4 \%$$

$$\text{الممانعة الكلية} = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{(4.6)^2 + (36.4)^2} = 36.68$$

$$\therefore KVA_{sh} \text{ للعطب} = \frac{100 \cdot KVA \text{ اساس}}{X\%} = \frac{100 \times 10000}{36.68} = 27260 KVA$$

مثال 2: ربطت مولدتان متماثلتان كل منهما (21000KVA) ، (13.8KV) وبممانعة (30%) لكل منهما الى خط خلال محولتين متماثلتين تقنين كل منهما (13.8 / 66 KV) ، (7000KVA) وبممانعة (8.4 %) . طول خط التوصيل بين المحطتين (50) ميل ، كل موصل له ممانعة مقدارها (0.848) اوم / ميل . أوجد تيار القصر لعطب ثلاثي الاطوار حدث على بعد (20) ميل عن احدى المحطتين .



الحل : 1- نرسم المنظومة وحسب المعلومات المعطاة في السؤال . وليكن العطب على بعد (20) ميل عن المحطة A

2- نختار اساس KVA وقيمتة 21000KVA وذلك لاحدى المولدين

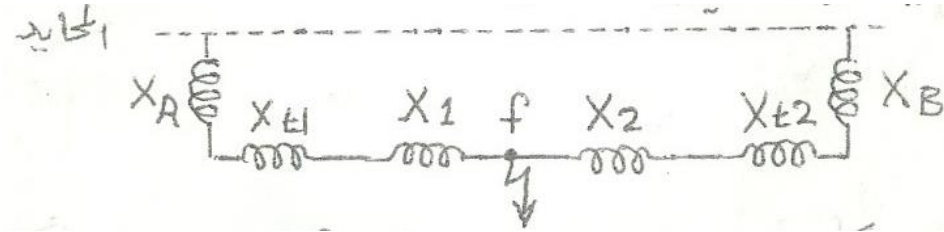
$$30\% = X_B = X_A \therefore$$

$$X_{t1} = X_{t2} = 8.4\% \times \frac{21000}{7000} = 25.2\%$$

$$X_1 \% = \frac{KVAb \cdot X}{10 (KV)^2} = \frac{21000 \times (0.848 \times 20)}{10 (66)^2} = 8.175 \%$$

$$X_2 \% = \frac{21000 \times (0.848 \times 30)}{10 (66)^2} = 12.26 \%$$

3- يتم رسم الدائرة التي تمثل التمثيل الاحادي للممانعات ..



نجد محصلة الممانعة الكلية من المولد A الى العطب f

$$X\% = 30\% + 25.2\% + 8.175\% = 63.375 \%$$

نجد محصلة الممانعة الكلية من المولدة B الى نقطة العطب f....

$$X\% = 30\% + 25.2\% + 12.25\% = 67.45\%$$

نجد الممانعة المكافئة للمسارين اعلاه (توازي).....

$$X\% = \frac{63.375 \times 67.45}{63.375 + 67.45} = 32.5 \%$$

$$KVAs_h = \frac{100 \cdot KVA \text{ اساس}}{X\%} = \frac{100 \times 21000}{32.5} = 64615.4 KVA$$

$$I_{sh} = \frac{KVAs_h}{KV(L \text{ to } L) \times \sqrt{3}} = \frac{64615.4}{66 \times \sqrt{3}} = 565 \text{ Amp.}$$

مثال 3: ربطت مولدتان متماثلتان كل منهما (21000KVA) ، (13.8KV) وبممانعة (30%) لكل منهما الى خط

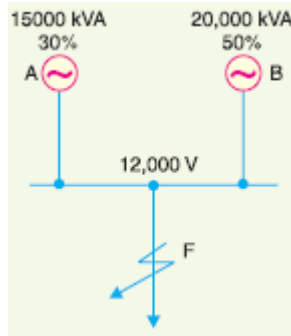
خلال محولتين متماثلتين تقنين كل منهما (13.8 / 66 KV) ، (7000KVA) وبممانعة (8.4 %) . طول خط

التوصيل بين المحطتين (50) ميل ، كل موصل له ممانعة مقدارها (0.848) اوم / ميل . أوجد تيار القصر لعطب

ثلاثي الاطوار حدث على بعد (25) ميل عن احدى المحطتين .

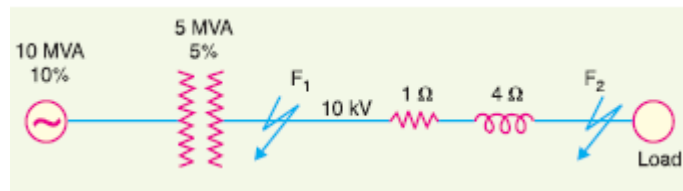
مثال 4 : خط ثلاثي الاطوار (30) كيلو فولت له مفاعلة (20) اوم ربط الى قضبان محطة توليد خلال محولة رافعة (4000) KVA بممانعة (6%) في المحطة مولدتان احدهما بسعة (1000) KVA وبممانعة (10%) والاخرى بسعة (5) MVA وبممانعة (8%) . احسب KVA العطب عندما يحدث في جهة الحمل لخط النقل .

مثال 5 : ربطت مولدتان على التوازي وكما موضح بالرسم جد تيار القصر عندما يكون العطب في نقطة F .



الحل : $I_{sh} = 4330 \text{ A}$

مثال 6 : في الرسم ادناه جد KVA sh عند حصول العطب في F1 و F2



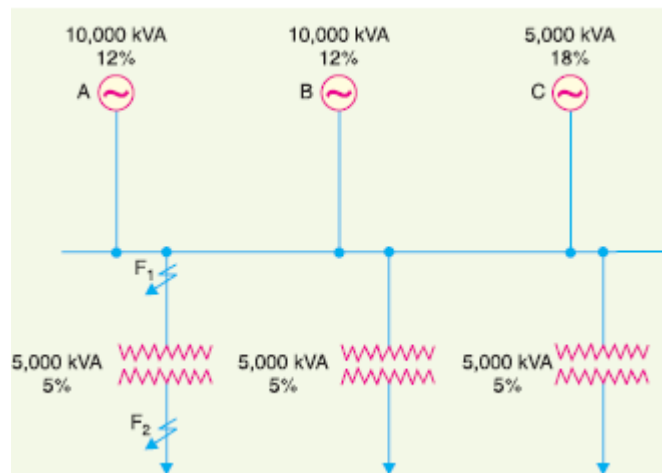
الحل : العطب في F1

$$\text{Short-circuit kVA} = 10,000 \times 100/20 = 50,000 \text{ kVA}$$

العطب في F2

$$\text{Short-circuit kVA} = 10,000 \times 100/60.83 = 16,440 \text{ kVA}$$

مثال 7 : في الدائرة الشبكة ادناه جد MVA sh عند حصول العطب في F1 وفي F2



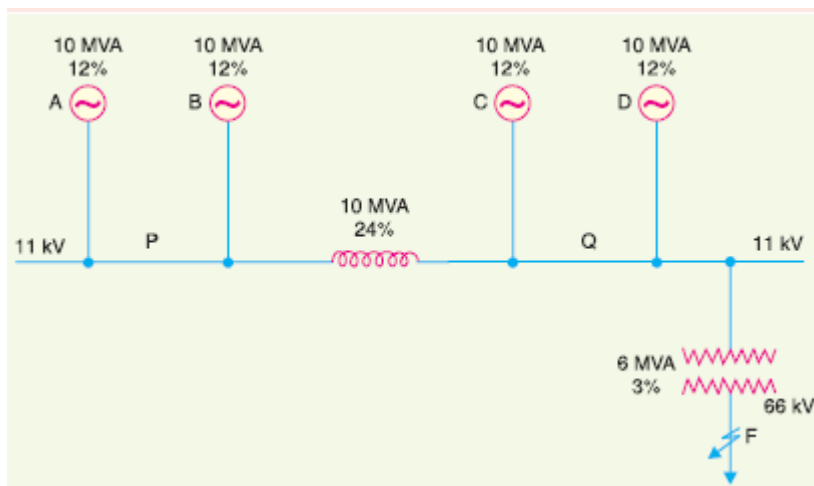
الحل : العطب في F1

$$\text{Fault MVA} = 10,000 \times \frac{100}{5 \cdot 14} \times \frac{1}{1000} = 194.5$$

العطب في F2

$$\text{Fault MVA} = 10,000 \times \frac{100}{15 \cdot 14} \times \frac{1}{1000} = 66$$

مثال 8 : في الرسم ادناه جد تيار العطب عند حصول العطب في F



الحل :

$$\text{Short-circuit current, } I_{SC} = \frac{100 \times 10^6}{\sqrt{3} \times 66000} = 875 \text{ A}$$

نسبة الوحدات (P.U) Per Unit

في أنظمة القدرة الكهربائية المتداخلة والكبيرة من الضروري دراسة هذه الأنظمة على أساس نسبة الوحدة (P.U) بدلاً من القيم الحقيقية للفولتيات والتيارات في الخطوط والقضبان وذلك لوجود اختلاف كبير بين قيم هذه الكميات وفي بعض الأحيان تستخدم النسبة المئوية .

$$\text{نسبة الوحدة (p.u)} = \frac{\text{القيمة الحقيقية لأي مقدار (باية وحدة)}}{\text{قيمة الأساس بنفس الوحدة}}$$

يعد (التيار I ، الفولتية V ، الممانعة Z) من الكميات الأساسية في الهندسة الكهربائية ، إذا تم اختيار الأساس لاثنتين منها ، فإن الأساس للكمية الثالثة يظهر تلقائياً..

$$Z = \frac{\text{فولتية الأساس } V}{\text{تيار الأساس } I} \text{ ممانعة الأساس}$$

تعطى مقننات الأجهزة الكهربائية في أنظمة القدرة على أساس الفولتية العاملة V والسعة KVA لذا من المفيد اختيار KVA الأساس .

لو فرضنا : فولتية الأساس V_b و كيلو فولت امبير الأساس KVA_b

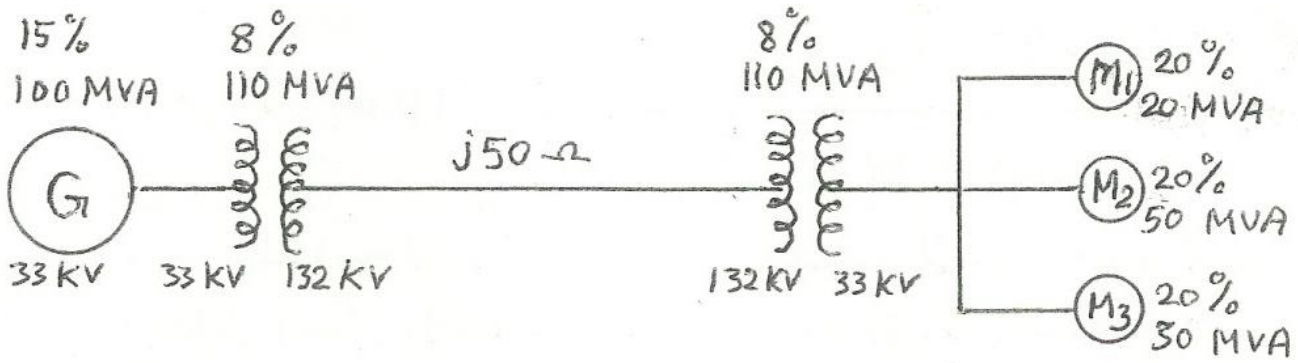
$$I_b = \frac{KVA_b \times 1000}{V_b} \text{ تيار الأساس} \quad \text{اذن}$$

$$I_{p.u} = \frac{\text{التيار الحقيقي}}{\text{تيار الأساس}} = \frac{\text{فولتية الأساس} \times \text{التيار الحقيقي}}{KVA_b \times 1000}$$

من الضروري إيجاد الممانعة لجميع الأجهزة الكهربائية المربوطة في الشبكة على أساس موحد ، إذا كانت القيم الانفرادية للجهاز تمثل (Z p.u) القديم ، (KVA) القديمة ، (V) القديمة والكميات على أساس موحد هي (Z p.u) الجديد ، (KVA) الجديدة ، (V) الجديدة فيمكن إيجاد المعادلة التالية :

$$Z_{p.u} \text{ الجديد} = Z_{p.u} \text{ القديم} \times \frac{KVA \text{ أساس}}{KVA \text{ حقيقي}} \times \left(\frac{V \text{ حقيقي}}{V \text{ أساس}} \right)^2$$

مثال 1: مولد 100 MVA ، 33 KV له مفاعلة (15%) ، ربط المولد الى ثلاثة محركات من خلال خط نقل ومحولتان ، تقنين كل محرك (القدرة الداخلة) 20 MVA ، 50 MVA ، 30 MVA بفولتية 30 KV ومفاعلة (20%) مقننات المحولات مثبتة على الشكل مفاعلة الخط (50) اوم . باعتماد مقنن المولد كمقنن أساس ، ارسم الدائرة المكافئة للمنظومة ادناه مبينا مفاعلات المعدات وكذلك كمياتها بنسبة الوحدة (p.u) .



100 MVA = MVA الاساس هو المولد

33 KV = KV الاساس هو المولد

15% = مفاعلة نسبة الوحدة للمولدة

$$Z_{p.u} \text{ الجديد} = Z_{p.u} \text{ القديم} \times \frac{\text{اساس KVA}}{\text{KVA حقيقي}} \times \left(\frac{V \text{ حقيقي}}{V \text{ اساس}} \right)^2$$

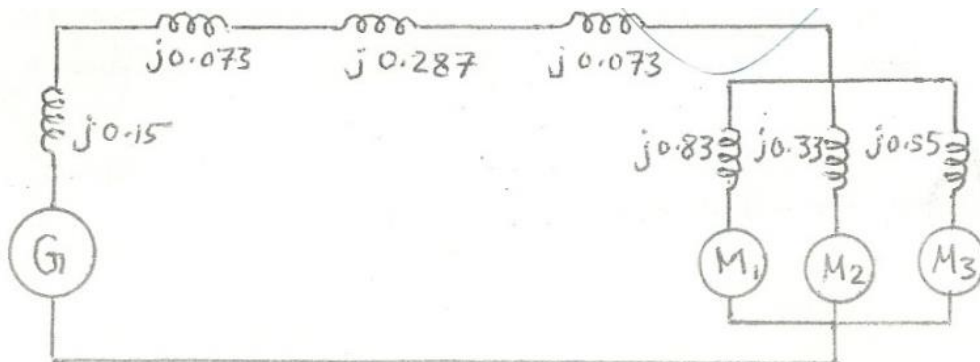
$$\text{للمحرك 1 } p.u = 0.2 \times \frac{100 \text{ MVA}}{20 \text{ MVA}} \times \left(\frac{30}{33} \right)^2 = 0.83$$

$$\text{للمحرك 2 } p.u = 0.2 \times \frac{100 \text{ MVA}}{50 \text{ MVA}} \times \left(\frac{30}{33} \right)^2 = 0.33$$

$$\text{للمحرك 3 } p.u = 0.2 \times \frac{100 \text{ MVA}}{30 \text{ MVA}} \times \left(\frac{30}{33} \right)^2 = 0.55$$

$$\text{لكل محولة } p.u = 0.08 \times \frac{100 \text{ MVA}}{110 \text{ MVA}} \times \left(\frac{33}{33} \right)^2 = 0.073$$

$$X \% \text{ للخط} = \frac{KVA \cdot X}{10 \times (KV)^2} = \frac{100000 \times 50}{10 (132)^2} = 0.287$$



مثال 2: مولد 100 MVA ، 33 KV له مفاعلة (15%) ، ربط المولد الى ثلاثة محركات من خلال خط نقل ومحولتان ، تقنين كل محرك (القدرة الداخلة) 20 MVA ، 50 MVA ، 30 MVA بفولتية 30 KV ومفاعلة

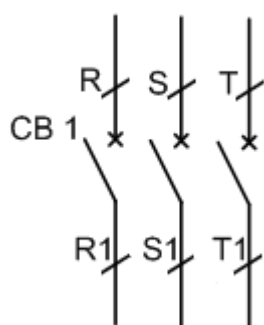
(20%) مقننات المحولات مثبتة على الشكل مفاعلة الخط (50) اوم . ارسم الدائرة المكافئة للمنظومة ادناه مبينا مفاعلات المعدات وكذلك كمياتها بنسبة الوحدة (p.u) .

مثال 3: مولد 100 MVA ، 33 KV له مفاعلة (15%) ، ربط المولد الى ثلاثة محركات من خلال خط نقل ومحولتان ، تقنين كل محرك (القدرة الداخلة) 20 MVA ، 50 MVA ، 30 MVA بفولتية 30 KV ومفاعلة (20%) مقننات المحولات مثبتة على الشكل مفاعلة الخط (50) اوم . باعتماد مقنن المحرك الوسط كمقنن اساس ، ارسم الدائرة المكافئة للمنظومة ادناه مبينا مفاعلات المعدات وكذلك كمياتها بنسبة الوحدة (p.u) .

قواطع الدورة : (22)Circuit Breakers



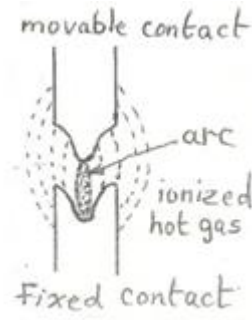
الشكل التالي يبين رمز القاطع (3Ph-3Pole) في المخططات الكهربائية



قواعد أطفاء القوس الكهربائي :

عندما تستخدم قواطع الدورة لقطع التيار المستمر يكون الجهد الناشئ بين التلامسين صغيرا في بداية انفصالهما ويستمر التيار في المرور على شكل قوس كهربائي وتعمل الحرارة الناشئة عن المفاقد $I^2 R$ في القوس على تأين الوسط المحيط بالقوس وهذا الجهد الصغير كافي لاستمرار القوس الكهربائي ويجب زيادة المسافة بين التلامسين حتى يكون الجهد الموجود غير قادر على استمرار القوس الكهربائي . وفي الجهود العالية والتيارات الكبيرة يجب ان يزود القاطع بالاتي :

- 1- جعل طول مسار القوس الكهربائي اكبر من المسافة بين التلامسين .
- 2- تبديل الوسط الساخن المتأين بأخر بارد وغير متأين . يكون اطفاء القوس الكهربائي أقل صعوبة في حالة التيار المتردد لان الجهد والتيار يمر كل منهما بالصفر 100 مرة في الثانية الواحدة اذا كان التردد 50 هيرتز . غالبا يعبر عن سعة القاطع C.B Rating بالكيلو فولت امبير KVA او بالميجا فولت امبير MVA .



قواطع الدورة ذات السعة الصغيرة : Small capacity Circuit Breaker

تكون هذه على شكل قواطع دورة هوائية صغيرة أو لواقط هوائية حيث يتمدد فيها الهواء في كل حاجز نتيجة الحرارة لذلك ينحني القوس ويزداد طوله ويسهل قطعه. وقد تستخدم القواطع الزيتية ذات السعة الصغيرة حيث تكون الملامسات الثابتة والمتحركة مغمورة في وعاء يحوي على زيت عازل لذلك سوف تتولد فقاعات غازية حول القوس تعمل على اطفاء القوس الكهربائي عن طريق تكوين فراغات في الزيت تساعد على تفريغ محتويات القوس بعيدا عن مساره . كلا النوعين السابقين يكون زمن بقاء القوس الكهربائي فيها طويلا لذا يستخدم فقط في السعات الصغيرة ويتم تبديل نهايات الملامسات بكثرة في القواطع الهوائية عن القواطع الزيتية وفي القواطع الزيتية يتكربن الزيت carbonized. خلال فترة اطفاء القوس الكهربائي لذا يجب ان ينظف الخزان ويجفف ويغير الزيت على فترات تعتمد على معدل تكرار عملية الفصل .

قواطع الدورة الهوائية : Air Circuit Breaker

في هذه القواطع يكون حاجز الشرارة محتويا على فواصل شرارة داخلية واحيانا ترتب ملفات تحمل التيار الذي يجب قطعه لتوليد مجال مغناطيسي في حاجز الشرارة يساعد على تحويل مسار القوس الكهربائي بعيدا عن مساره الاصلي داخل فواصل الشرارة تسمى ملفات التفريغ .

قواطع الدورة باندفاع الهواء :

ويتم فيها ابعاد القوس الكهربائي وذلك بالهواء المضغوط من خزان عن طريق ضاغط .

قواطع الدورة الزيتية : Oil Circuit Breaker

في هذه القواطع يستفاد من فقاعات الغاز المتكونة في الزيت نتيجة القوس لدفع زيت بارد وغير متاين في مسار القوس وهذا يزيد معدل ارتفاع مقاومة العزل بين التلامسين .

قواطع الدورة باندفاع الزيت :

وفي هذا النوع يندفع الزيت الى مسار القوس بالضغط الناشيء عن مضخة ميكانيكية متصلة بذراع التشغيل للقاطع ويكون لذلك ثلاثة مزايا :

1- لا يعتمد مقدار الزيت على مقدار تيار الفصل .

2- يمكن جعل اندفاع الزيت ذات سرعة عالية قبل فصل الملامسات.

3- يقل حجم القاطع وكمية الزيت المطلوبة.

قواطع الدورة الغازية :

يعتبر غاز سادس فلوريد الكبريت SF_6 سالب الالكترونية أي أن جزيئات هذا الغاز تجذب الالكترونات الحرة . لهذا فمن الناحية العلمية يعتبر هذا الغاز وسط جيد لاطفاء القوس الكهربائي بحيث يمتص الالكترونات الحرة الناتجة من القوس الكهربائي وكذلك يزداد العزل الكهربائي للغاز SF_6 بالضغط عكس الزيت المضغوط أو الهواء المضغوط.

محاسن قواطع الدورة الغازية : Advantages

1- يمكن استخدامه لجهود أعلى .

2- نظرا لصغر زمن القوس الكهربائي فأن احتراق التلامسات يكون محدودا حتى في أقصى حالات تيار القصر.

3- من نواتج القوس الكهربائي تكون مسحوق جيد العزل ويمكن التخلص منه بسهولة.

4- الغاز المضغوط لا يفرغ في الهواء لهذا فأن التشغيل يكون اهدا منه في حالة الهواء المضغوط.

5- الغاز غير قابل للاشتعال وغير فعال كيميائيا.

6- حجم القاطع أقل من حجم القاطع الهوائي المماثل.

عيوب قواطع الدورة الغازية : Disadvantages

1- ارتفاع سعر الغاز SF_6 لذا يجب ان ينقى ويستخدم مرة اخرى .

2- يحتاج الى كميات تعويضية خلال فترات التشغيل الطويلة.

3- يجب ان يجوع الغاز في خزانات عند صيانة القاطع.

4- يسيل الغاز SF_6 عند درجة حرارة أقل من 10 مئوية وضغط 1520 كيلو نيوتن / م² لذا يجب استخدام

ثرموستات حرارية لابقاء درجة الحرارة أعلى من 10 مئوية.

متابعات الوقاية : (23)Protective relays

أحوال التشغيل غير الاعتيادية في النظم الكهربائية :

- 1- زيادة التيار : سببها مرور تيار اكبر من القيمة الاعتيادية .
- 2- هبوط التردد : سببها حدوث قصر على خرج المولدات تحت التشغيل وبذلك يحدث انخفاض في كفاءة التشغيل و حدوث متاعب نتيجة تغير السرعة .
- 3- زيادة الجهد : ويحدث في المحطات الهيدروليكية عندما تنفصل الاحمال فجأة منها مما يؤدي الى زيادة سرعة المولد الى حد انهيار العزل في بعض الاحيان.

المتطلبات الاساسية في أجهزة الوقاية (خواص أجهزة الوقاية):

1- الانتقائية : Selectivity

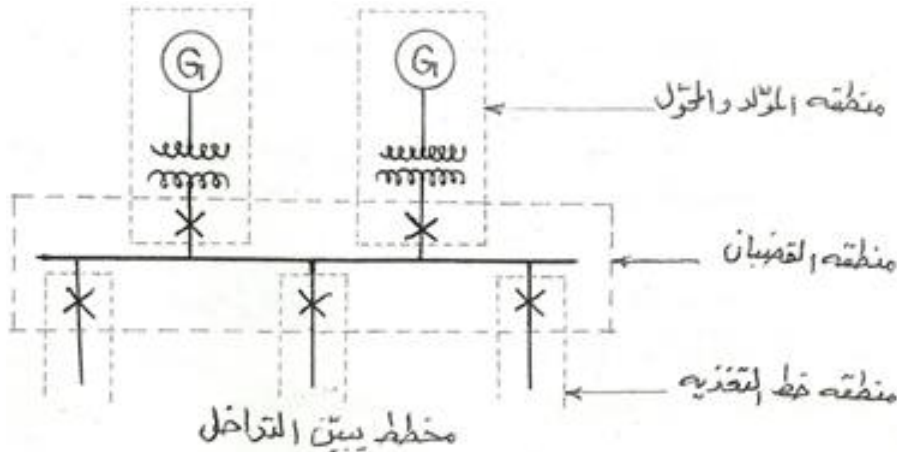
الانتقائية هي مقدرة أجهزة الوقاية لعزل الجزء المعطوب فقط من الدائرة بعد حدوث القصر وأستمرار تغذية باقي الاجزاء السليمة.

2- سرعة الاستجابة والتخلف الزمني : Speed of operation & time lag

يجب أن يزال القصر من الشبكة الكهربائية بأسرع ما يمكن لتجنب انهيار المعدات وكذلك لزيادة الكفاءة وتجنب هبوط الجهد عند المستهلك .

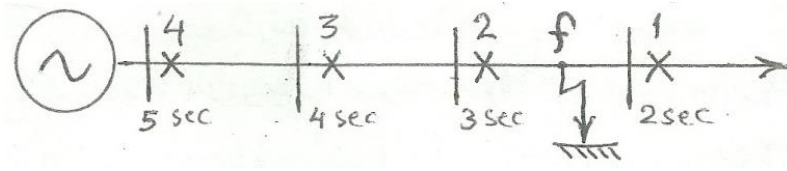
3- التداخل : Interference

لكي تكون وقاية الشبكة الكهربائية كاملة يجب أن تتداخل مناطق الوقاية حتى لا تترك منطقة بدون وقاية لكن تتداخل حول القاطع فإذا حدث أي عطل في الدائرة المشتركة فأن أجهزة الوقاية الخاصة بالمنطقتين المتداخلتين ستفصل القاطع بينهما .



4- التدرج الزمني : Time garding

للحصول على خاصية التمييز في وقاية الخطوط الكهربائية يستعمل التسلسل الزمني في متابعات المحطات الفرعية بحيث يكون الزمن بالتدرج كلما ابتعدنا عن المحطة (مصدر التغذية) .

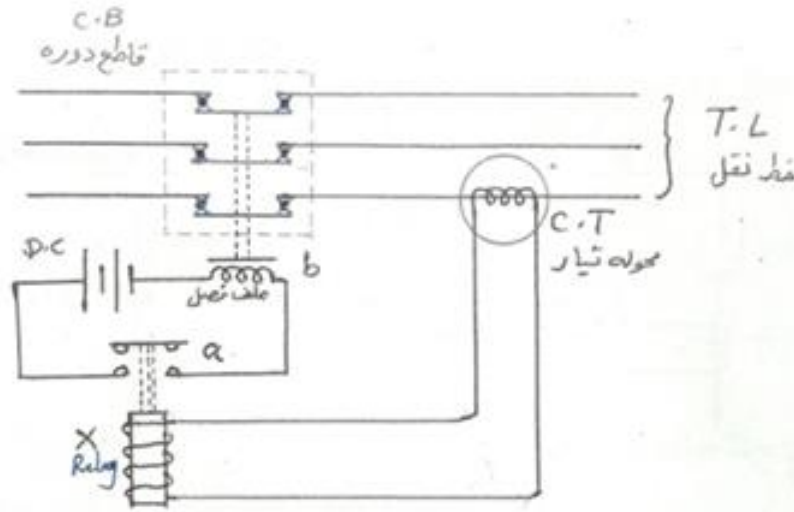


إذا حدث عطل في منطقة f فان جزء الخط 1- 2 سيفصل بينما المتابعات 3 و4 تبقى موصلة بمصدر التغذية .
5- الاستعادة التلقائية :

غالبا ما تحدث اعطال مؤقتة في الخطوط الهوائية بسبب الطيور او البرق لذا تستعمل خاصية الاستعادة التلقائية لقاطع الدورة بحيث اذا كان العطل مؤقتا يعود الخط الى طبيعته اما اذا كان دائما فسوف يفصل نهائيا .

كيفية حماية الخطوط الهوائية : (24)

نظام حماية بسيط لمتابع Relay في الشبكة



إذا حدثت زيادة في التيار على خط النقل T.L فان هذه الزيادة ستنتقل الى متابع الملفات X خلال محولة التيار C.T وبالتالي سوف ينجذب القلب المغناطيسي وتغلق الدائرة الكهربائية a مما يؤدي الى مرور التيار في الملف b (ملف الفصل) ويجذب الذراع الخاص بالقاطع ويفصل ملامساته مما يؤدي الى قطع التيار في الخط .

لذلك يمكن تعريف متابعات الوقاية بانها الاجهزة التي تعمل كهربائيا او ميكانيكيا للتحكم في قاطع الدورة عندما تصل القيمة المصممة للاستجابة لقيمة معينة (التيار؛ الجهد؛ القدرة؛ الضغط؛ درجة الحرارة الخ).

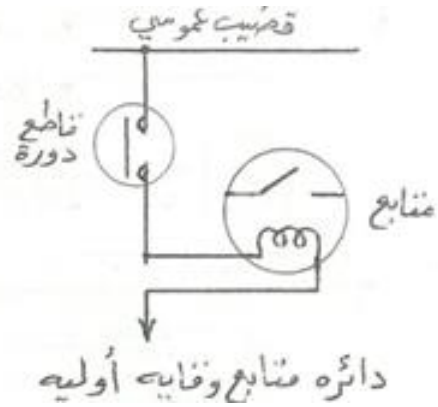
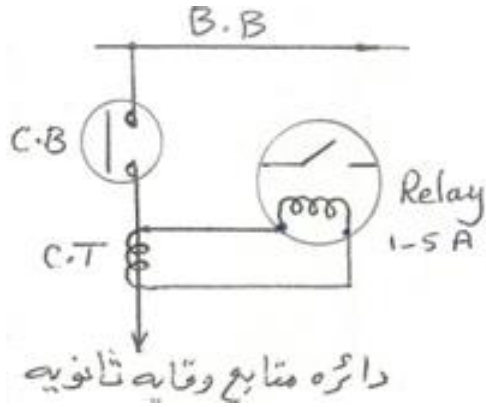
يمكن تقسيم المتابعات تبعاً للطريقة التي تتم بها تغذية ملفات المتابع :

أ / متابعات وقاية أولية : وفيها تتم التغذية مباشرة من الخط وتتميز بالاتي:

- 1- لا تحتاج الى محولات قياس.
- 2- لا تحتاج الى كابلات للتحكم بها.
- 3- تستخدم بكثرة في المحركات والمحولات ذات القدرة الصغيرة وشبكات التوزيع منخفضة الجهد ذات القدرة الصغيرة.

ب / متابعات وقاية ثانوية : وفيها تتم التغذية من خلال محولات القياس (محولات جهد أو محولات تيار) ويستخدم هذا النوع عمليا بكثرة اكثر من النوع الاول نظرا للمزايا التالية :

- 1- تكون معزولة عن الجهد العالي .
- 2- امكانها مناسبة للصيانة والاصلاح .
- 3- تصمم بتيارات من 1-5 امبير بغض النظر عن جهد و تيار الدائرة.



ويمكن تقسيم المتابعات طبقاً لنوع الكمية المقاسة :

- 1- حرارية : تستجيب للتأثير الحراري .
- 2- ميكانيكية : تستجيب للعوامل الميكانيكية (ضغط ؛ اندفاع الغاز)
- 3- كهربائية : تستجيب للكميات الكهربائية (تيار ، جهد ، قدرة)

ويمكن تقسيم المتابعات طبقاً لوظيفتها :

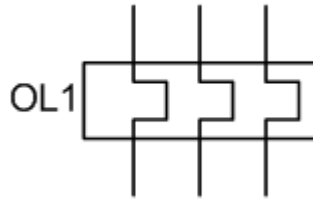
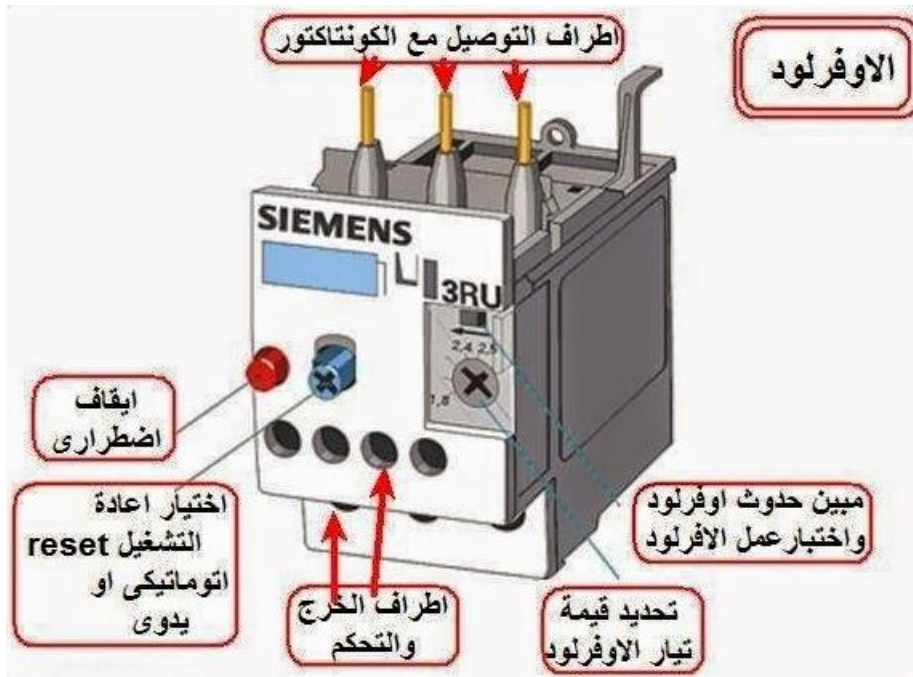
- 1- متابعات رئيسية : وهي التي تتصل ملفاتها مباشرة مع الدوائر الرئيسية للشبكة خلال محولات التيار او محولات الفولتية.
- 2- متابعات مساعدة للمتابعات الرئيسية : هي التي تتصل ملفاتها في دوائر التشغيل الثانوية عن طريق ملامسات المتابع الرئيسي .

تنقسم المتابعات التي تعمل بالاستجابة الكهربائية :

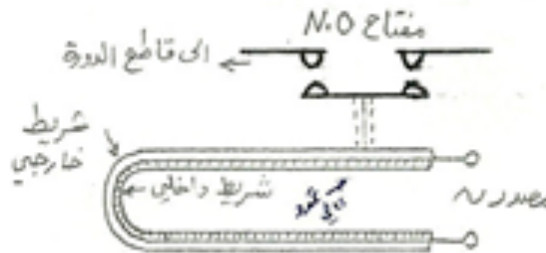
- 1- متابعات أقصى قيمة : تعمل اذا ازدادت القيمة المقاسة عن القيمة المحددة مسبقاً مثل (التيار أو الجهد)
- 2- متابعات أقل قيمة : وتعمل اذا قلت القيمة عن القيمة المقاسة عن القيمة المحددة مسبقاً.
- 3- المتابعات الاتجاهية : وتعمل اذا عكست القيمة المقاسة اتجاهها (القدرة) .
- 4- متابعات التردد والمقاومة : وتستجيب اذا تغير التردد عن معدله او اذا انقضت المقاومة عن القيمة المحددة للمنطقة المطلوب وقايتها .

المتابعات الحرارية : Thermal Relays

والشكل التالي يبين رمز الأوفرلود في المخططات الكهربائية.



ويستخدم هذا النوع بكثرة في وقاية المحركات الكهربائية ضد زيادة التيار أو في حالة التيارات الغير متزنة ولا تستخدم في وقاية الخطوط . يتكون هذا المتابع من شريطين معدنيين مختلفين في معامل تمددهما الطولي بحيث يكون معامل التمدد للشريط الداخلي اكبر بكثير من معامل التمدد للشريط الخارجي والشريطان يكونان موصلان على التوالي بسلك تسخين (مقاومة تسخين) عند ارتفاع درجة الحرارة يتمدد الشريط الداخلي اكثر من الشريط الخارجي مما يسبب حركة الحافظة من مكانها فتتلامس نقطتي التوصيل للدائرة وتفصلها في ملامسات قاطع الدورة ، عادة يوضع هذا النوع من المتابعات في خزان يحتوي على زيت لاغراض التبريد تتناسب كمية الحرارة مع مربع التيار وتكون العلاقة بين التيار وزمن التشغيل عكسية ، من عيوبه يحتاج الى زمن طويل لكي يشتغل بعد الفصل (يبرد).



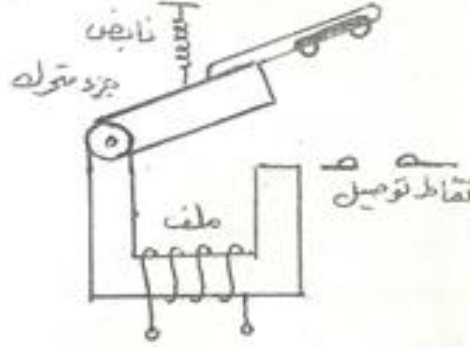
المتابعات الكهرومغناطيسية : Electromagnetic Relays

اساس العمل هو ان القوة المغناطيسية التي يجب ان تجذب الجزء المتحرك تتناسب طرديا مع الفيض المغناطيسي في

$$F = \frac{I \times N}{R}$$

الثغرة الهوائية حيث

I التيار المار في ملف المتابع و N عدد لفات ملف المتابع و R المقاومة المغناطيسية

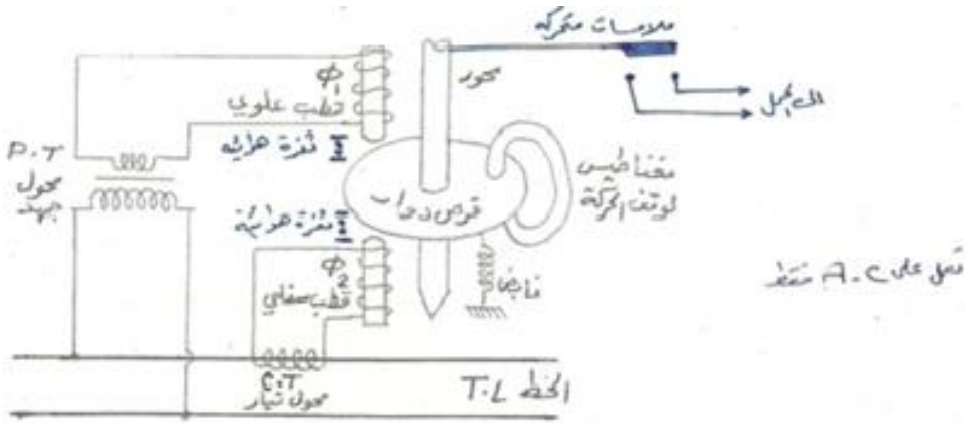


يمكن استخدام هذا النوع من المتابعات لوقاية الخطوط وذلك :

- 1- يمكن تغيير عدد لفات الملف حيث يكون التغيير منفصلا .
- 2- تغيير القوة الميكانيكية في المفتاح يكون ناعما ومتدرجا .
- 3- من الممكن تغيير المسافة بين العضو الثابت والمتحرك وحسب التصميم . في هذا النوع القوة والعزم تتناسبان مع مربع التيار لذلك تكون العلاقة بين زمن التشغيل والتيار علاقة عكسية .

المتابعات الاتجاهية (ضد عكس القدرة) : The Directional Relay of Reverse Power Relay

وهي احدى انواع (المتابعات الحثية) ، وتعمل هذه المتابعات على التيار المتردد فقط لانها حثية .



تعتمد المتابعات الحثية على اتجاه التيار ويعمل المتابع عند حدوث عطل أي انعكاس اتجاه القدرة من المولد الى الحمل ويتكون من قرص دوار مركب على محور ويتحكم في حركة القرص نابض ، ويزود المتابع بوسيلة مغناطيسية لوقف الحركة بدون ذبذبة (damper). ويقوم محول الجهد P.T. ومحول التيار C.T. بإعطاء وتحويل الفيض المغناطيسي Φ_1 و Φ_2 على القطب العلوي والسفلي على التعاقب مما ينشأ عنه عزم دوران يدور القرص ويتجه نحو الملامسات

الثابتة ويكون هناك توصيل الدائرة الكهربائية . وفي حالة وجود خلل سوف لا يتولد هذا العزم مما يؤدي الى عدم فصل او توصيل الدائرة الكهربائية يمكن استخدام نفس النوع للوقاية من زيادة التيار ومن مزايا هذا النوع :

- 1- يمكن تحديد قوة النابض .
- 2- اختيار سعة الثغرة الهوائية .
- 3- اختيار عدد لفات الملفات .

حماية (وقاية) المولدات التزامنية : Protection of generators (26)

تتسبب معظم المتاعب في المولدات نتيجة انهيار العازل في العضو الثابت أو العضو الدوار وذلك نتيجة قدم العوازل أو تأثرها بالرطوبة أو زيادة الجهد أو تأثير ميكانيكي.

أعطال العضو الثابت : Stator Faults

قد يتعرض العضو الثابت الى :

- 1- قصر بين الاوجه : ويحصل ذلك بمرور تيار قصر (عدة الاف من الامبيرات) عند نقطة العطل مما يؤدي الى حدوث قوس كهربائي ومن ثم احتراق العازل للموصلات في الملفات أو انصهار الشرائح احيانا.
- 2- قصر بين الاوجه والارض (الجسم): يمر تيار القصر في هذه الحالة خلال الدائرة المغناطيسية الى الارض ويؤدي ذلك الى انهيار أو انصهار الشرائح .

أعطال العضو الدوار : Rotor faults

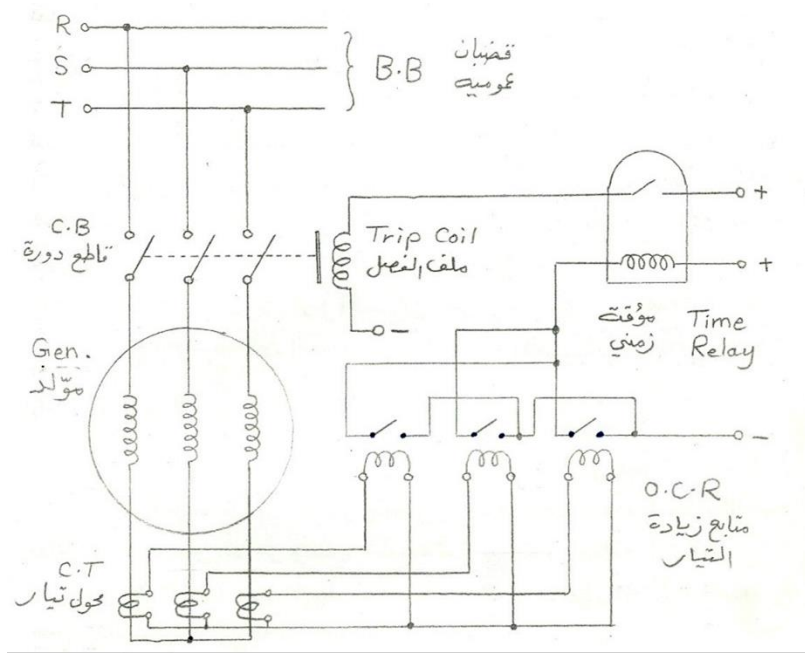
يكون الجهد المتولد في ملفات العضو الدائر صغير نسبيا (300-500 فولت) وبالتالي يكون عزله بامان اكثر من العضو الثابت ولكن نتيجة القوى الميكانيكية العالية في العضو الدائر والتي تسبب عن سرعة دورانه العالية (1500-3000) دورة في الدقيقة لذلك يكون انهيار العازل والعطل في ملفات العضو الدائر محتملا في نقطة أو أكثر.

ظواهر التشغيل غير المعتادة في المولدات :

- 1- زيادة التيار : ينتج عن قصر خارجي أو زيادة الحمل على المولد.
- 2- عدم اتزان تيار اوجه المولد : يحدث نتيجة قصر بين وجهين أو وجه واحد مع الارض خارج منطقة المولد أو فتح وجه open أو وجهين في دائرة الخروج للمولد .
- 3- زيادة الجهد : يحدث في حالة هبوط مفاجئ للحمل مما يؤدي الى اختفاء أو قلة المجال المغناطيسي .

حماية العضو الثابت : (27)Stator protection

الحماية من زيادة التيار في الاعطال الخارجية وزيادة الحمل .

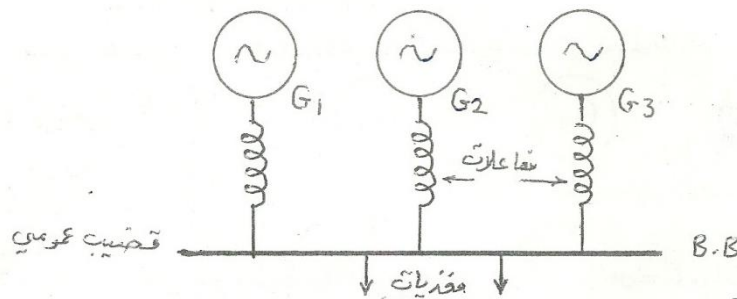


يستخدم هذا النظام في فصل المولد اذا فصل المولد اذا حدث عطل مع القضيبي الرئيسي B.B او فروع (B.B او الخطوط او المحول) ومن المعتاد ان يتم فصل المناطق المعطوبة بواسطة الوقاية الخاصة بها ولهذا تعتبر الوقاية ضد الاعطال الخارجية على المولد وقاية خلفية لهذه المناطق .

المفاعلات : (28)Reactors

تستخدم المفاعلات في شبكات التوليد الضخمة . الهدف من استخدامها هو تقليل تيار القصر اثناء حدوث الاعطاب .
تمتاز المفاعلات بمحاث ذاتية عالية ومقاومة واطئة نسبيا ، لذا فإن القدرة الضائعة في هذه المفاعلات تكون قليلة . في حالة استخدام لب حديدي للمفاعل تزداد المفاقد بسبب الهسترة والتيارات الدوامية في اللب الحديدي . تصل المفاقد الكلية للمفاعل الى 5% من مقنن KVA للمفاعل . غالبا ما توضع المفاعلات في المواقع التي لا تحدث معها هبوط فولتية عالية خلال حالات التشغيل الطبيعية ولكنها تحد من تيارات دوائر القصر وبذلك يحدد تيارات القطع التي تفصل بواسطة قواطع الدورة .

مفاعلات المولدة : تربط المفاعلات في هذا النوع على التوالي مع المولدات ، تحسب مفاعلة المفاعلة كجزء من الممانعة التسريبيه للمولد بالرغم من حماية المولدة اثناء حالات القصر.



مساوىء المفاعلات :

- 1- وجود فولتية ومفاقد ثابتة على المفاعل اثناء فترات التشغيل الطبيعية .
- 2- عند حدوث عطب قريب من القضبان وبسبب الهبوط بالجهد في المفاعلات فإن فولتية المولدات تنخفض الى درجة كبيرة مما يؤدي الى فقدان التزامن في المولدات وبالتالي اطفاء الشبكة shutdown لذا فإن هذا النوع لا يستخدم في محطات التوليد الحديثة.

مفاعلات المغذيات : عندما تربط المفاعلات على التوالي مع المغذيات تسمى بمفاعلات المغذيات وبما ان لكل شبكة عدد كبير من المفاعلات هذا يتطلب استخدام عدد كبير من المفاعلات .

