وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
الجامعة التقنية الشمالية
المعهد التقني / الموصل - قسم التقنيات الكهربائية

الحقيبة العلمية للعام الدراسي

٢٠١٨ - ٢٠١٩

لمادة الشبكات الكهربائية

إعداد مدرسو المادة

ناصر سليمان جاسم
مدرس مساعد

شذى يوسف اسماعيل
مدرس

مادة الشبكات الكهربائيه

الاسبوع الاول

الفئه المستهدفه :ـــ الصف الثاني

الموضوع :ـــ عناصر منظومة القدره الكهربائيه

الافكار المركزيه:ـــ تعد الطاقه الكهربائيه اكثر صور الطاقه قابليه للتحكم ولذلك فهي تعتبر احد اهم عناصر التنميه الصناعيه والتطور الشامل

الاهداف:ـــ تعلم الطالب مكونات منظومة القدره الكهربائيه

الاختبار القبلي :ـــ ضع صح او خطأ امام العبارات التاليه

1. تتميز الطاقه الكهربائيه على الطاقات الاخرى بامكانية توليدها بكميات كبيرة بطريقه اقتصاديه
2. تعتبر منظومة القدره الكهربائيه من اكبر النظم من حيث عدد العناصر المكونه لها
3. توزع الطاقه الكهربائيه مباشرة من محطات التوليد
4. تنقل الطاقه الكهربائيه بجهود واطئه

عناصر منظومات القوى الكهربائيـــة

١ - مقدمة

لقد ارتبط التقدم الحضاري للبشرية منذ فجر التاريخ بمدى قدرة الإنسان على التحكم في الطاقة، فعندما كان الإنسان البدائي لا يملك سوى عضلاته فإنه أمضى حياته في الصيد وجمع ما يأكله أي ببساطة أمضى حياته يعمل للبقاء حيا، وككل الكائنات الحية استغل هذا الإنسان الطاقة الطبيعية استغلالا مباشرا فاستغل أشعة الشمس للإضاءة وأقصى ما وصل إليه هو استغلال عمليات تحويل الطاقة الطبيعية كاستغلال ضوء الشمس لتنمية المحاصيل. وقد دأب الإنسان بما حباه الله من عقل على إيجاد طرق لتحويل الطاقات الأولية إلى صورة مناسبة للاستغلال عندما يحتاجها وحيثما يريدها، وعندما استطاع الإنسان أن يتحكم في كميات كبيرة من الطاقة تمكن من التحليق في الجو وقطع المسافات الطوال في وقت لا يقارن بما كان يستغرقه لقطع نفس المسافة من قبل، بل واستطاع التجول في الفضاء والهبوط على سطح القمر، ولم تتطور قدرة الإنسان في الارتحال والتجوال فحسب ولكن في كل مناحي الحياة ولعلك أخي المتدرب مدرك تماما لما أحدثه تحكم الإنسان في الطاقة من تطور في إمكانيات البشر وزيادة في إنتاجيته في كافة المجالات وارتقاء في أسلوب معيشته. وتعد الطاقة الكهربية أكثر صور الطاقة قابلية للتحكم ولذلك فهي تعتبر أحد أهم عناصر التنمية الصناعية والتطور الشامل لأي دولة، ويعتبر مقدار ما يستهلكه الفرد من الطاقة الكهربية مؤشرا جيدا لمدى تقدم الدول، ويكمن سر تميز الطاقة الكهربية على سائر صور الطاقات الأخرى أنه يمكن توليدها بكميات كبيرة بطريقة اقتصادية في محطات توليد ذات قدرات عالية ونقلها بعد ذلك -بسهولة لا تدانيها فيها أي من صور الطاقات الأخرى - إلى أماكن الاستخدام، وبالإضافة إلى السهولة منقطعة النظير للتحكم فيها فإنه يسهل تحويلها إلى أي من الصور الأخرى فيسهل تحويلها إلى طاقة ضوئية للإنارة، وإلى طاقة حرارية للتدفئة والتسخين، كما يسهل تحويلها إلى طاقة ميكانيكية لاستخدامها في أغراض الجر الكهربي أولإدارة المحركات لكافة التطبيقات المختلفة. ولهذا شهدت صناعة توليد الكهرباء تطورا فاق في سرعة تطوره ونموه ماعداه من الصناعات الأخرى. فقد تطورت نظم إمداد الطاقة الكهربية من مجرد مولد يغذي مجموعة أحمال قريبة منه إلى أن أصبحت منظومات ضخمة تضم آلاف المولدات المترابطة معا وشبكات لنقل وتوزيع الطاقة تغطي مساحات جغرافية شاسعة.

وفي الوقت الحاضر تعتبر منظومة القوى الكهربية من أكبر النظم التي أنشأها الإنسان أن لم تكن أكبرها على الاطلاق من حيث عدد العناصر المكونة لها والانتشار الجغرافي الذي تغطيه وعدد

١ -٢ مكونات منظومة القوي: نظرة شاملة

لعله من الواضح الآن أن منظومة القوى تشمل عددا هائلاً من العناصر المترابطة مع بعضها والتي تتكامل وظائفها لتحقيق الهدف الذي من أجله أنشئت المنظومة ألا وهو إنتاج الطاقة الكهربية وتوزيعها على المستهلكين لاستغلالها فيما يحتاجون إليه من أغراض. ويمكن بصفة عامة حصر عناصر منظومة القوى –كغيرها من النظم - في ثلاثة أصناف رئيسة هي:

أولا : المكونات المادية:

وتشمل جميع الآلات والمعدات والأجهزة المُعَدة لتوليد القدرة ونقلها وتوزيعها أو للتحكم في المتغيرات المختلفة داخل المنظومة ومراقبة أداء أجزاء المنظومة أو تلك التي تستخدم لحماية مكونات المنظومة من الأخطاء المختلفة وكذلك أجهزة القياس وأجهزة الاتصالات. ويمكن تصنيف هذه المكونات إلى:

دوائر القدرة: و هي التي تقوم بأداء الوظائف الأساسية لمنظومة القدرة من توليد ونقل وتوزيع الطاقة الكهربية ، وهذه الدوائر تشمل:

محطات التوليد	حيث يتم إنتاج الطاقة الكهربية
خطوط النقل والتوزيع	وتقوم بنقل الطاقة الكهربية من أماكن توليدها إلى أماكن استغلالها ، وتوزيعها على المستهلكين

محطات المحولات والتي تقوم برفع الجهد أو خفضه إلى المستوى المطلوب، ففي النقل يلزم أن يكون الجهد عاليا لتقليل الفقد في القدرة والهبوط في الجهد، في حين عند المستهلك يلزم أن يكون الجهد منخفضا لدواعي الأمن والسلامة، وفي التوزيع يكون الجهد متوسطا بين جهود النقل وجهد الاستغلال

الأحمال وهي أماكن استهلاك الطاقة الكهربية في الأغراض المختلفة سواء كانت أحمال صناعية أو تجارية أو زراعية

وبالإضافة إلى دوائر القدرة توجد أيضا:

مكونات نظم الحماية وهي الخاصة بحماية منظومة ضد أخطار تيارات القصر وتشمل المرحلات والقواطع و المصهرات ومحولات الجهد والتيار الخاصة بالحماية ومحولات التأريض

مكونات نظم التحكم وهي المكونات الخاصة بالتحكم في تشغيل منظومة القوى للحصول على مستويات الأداء المطلوبة، وتشمل محولات تنظيم الجهد ومكثفات تحسين معامل القدرة وأجهزة التحكم في سريان القدرة وغيرها

أجهزة القياس وتشمل أجهزة قياس التيار والجهد والقدرة وعدادات الطاقة اللازمة لمراقبة أداء المنظومة

دوائر الاتصالات وهي التي تقوم بنقل البيانات من كافة أجزاء المنظومة إلى مركز التحكم ونقل أوامر التشغيل من مركز التحكم إلى المحطات المختلفة، ولأهمية الاتصالات في تشغيل منظومة القوى فلا بد من توفير قنوات اتصال آمنة بين أجزاء منظومة القوى بطرق مختلفة، عن طريق خطوط الهاتف المؤجرة، أوعن طريق تحميل موجات الاتصالات على خطوط النقل الكهربائية، أو استخدام موجات الراديو، أو عن طريق تركيب خطوط خاصة للاتصال

ثانيا: المكونات المعنوية:

وتشمل حزم البرمجيات التي تستخدم في إجراء الحسابات اللازمة لإتمام الوظائف المختلفة، حيث إن جميع عمليات التشغيل والتحكم في منظومة القوى.تتم باستخدام الحاسب الآلي، فتوجد برمجيات وأنظمة حاسب للتنبؤ بالأحمال ولتحديد المحطات التي ستقوم بتغذية هذه الأحمال وتقسيم الأحمال على المولدات بطريقة اقتصادية، وكذلك لحساب سريان الأحمال ولتحديد حالة منظومة القوى ولإجراء حسابات تيارات القصر. وتشمل أيضا مجموعة التنظيمات واللوائح التي تنظم العمل وتحدد الحقوق والواجبات داخل المنظومة وكذلك القواعد والإجراءات المتبعة في تشغيل وصيانة المنظومة وأيضا قواعد الأمن والسلامة.

ثالثا :العنصر البشري:

وهو من أهم العناصر في أي نظام، وفي منظومة القوى يمثل العنصر البشري أهمية قصوى حيث إن التشغيل الآمن السليم لمنظومة القوى يستلزم توافر العناصر البشرية المؤهلة للاضطلاع بالمهام المختلفة داخل المنظومة. والعنصر البشري يشمل جميع العاملين بمنظومة القوى في كل المستويات سواء في المستويات القيادية المسؤولة عن التخطيط والإدارة أو التنفيذية المسئولة عن تشغيل المنظومة والتحكم فيها ووقايتها وصيانتها والمدربين والمتدربين أيضا، وأنت أخي المتدرب تدخل ضمن هذا العنصر كونك دارساً لتقنية الكهرباء لتصبح في المستقبل القريب أحد العاملين بها إن شاء الله.

وجل اهتمامنا في هذا الباب سيكون على العناصر المادية المكونة لمنظومة القوى وخصوصا دوائر القدرة حيث يتم دراسة أجهزة القياس في مقرري دوائر وقياسات -١ ودوائر وقياسات -٢، وأجهزة التحكم في مقرر التحكم والصيانة في نظم القوى ونظم الوقاية في مقرر حماية النظم الكهربية. كما أننا لن نتعرض لدراسة أداء عناصر منظومة القوى حيث إنه يتم دراسة أداء الآلات الكهربية والمحولات في مقررات الآلات الكهربية ودراسة أداء خطوط النقل في مقرر محطات توليد ونقل القدرة ويتم دراسة نظم التوزيع الكهربي في مقرر مستقل يحمل نفس الاسم.

وبصفة عامة يمكن تقسيم منظومة القوى كما هو موضح بشكل ١ -١ إلى:

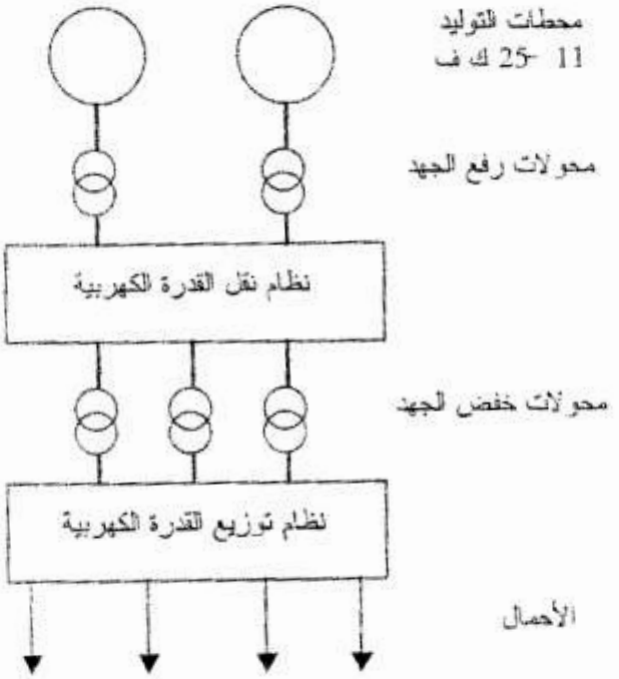
١. محطات التوليد:

حيث يتم توليد الطاقة الكهربية عن طريق تحويل إحدى صور الطاقة الأولية إلى طاقة كهربية، ويتم ذلك عند جهود لا تتعدى ٢٥ ك ف لأسباب تقنية تتعلق بإمكانية عزل الموصلات داخل المولدات.

وتحتوي محطة التوليد بصفة أساسية على محرك أولي يقوم بتحويل الطاقة الأولية إلى طاقة حركية ومولد كهربي يقوم بتحويل الطاقة الحركية إلى طاقة كهربية.

٢. محولات رفع الجهد:

وهذه المحولات تقوم برفع الجهد من مستوى جهد التوليد إلى مستوى جهد النقل، وتوجد هذه المحولات في محطات محولات النقل Transmission substation التي تكون قريبة من محطات التوليد.



شكل ١ -١ المكونات الرئيسية لمنظومة القوى

٣. نظام نقل القدرة الكهربية:

وهو المسؤول عن نقل القدرة الكهربية لمسافات طويلة من محطات التوليد إلى مراكز الأحمال والمكون الأساسي لنظام نقل القدرة هو خط النقل الكهربي والذي يكون في الغالب خط نقل هوائي إلا إذا دعت الحاجة إلى استخدام الكابلات الأرضية. وعادة ما يبدأ خط النقل من محطة محولات قريبة من محطة التوليد تقوم برفع الجهد من مستوى جهد التوليد إلى مستوى جهد النقل، وينتهي خط النقل

خارج المدن والتجمعات السكنية في محطة محولات تقوم بتخفيض الجهد إلى مستوى أقل مناسب للتوزيع داخل المدن، ويتم نقل القدرة الكهربية على جهود مرتفعة (١٣٢، ٢٣٠، ٣٨٠ ك ف)،

٤. محولات خفض الجهد:

تقوم بتخفيض الجهد من جهد النقل إلى مستوى جهود التوزيع والتي تتراوح من ١٣٨ حتى ٣٣ ك ف

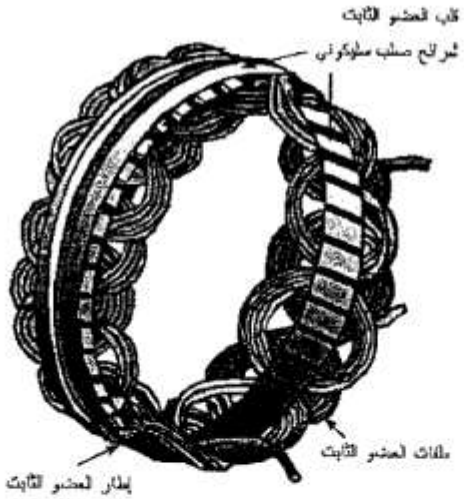
٥. شبكات توزيع القدرة الكهربية:

وهي التي تقوم بتوزيع الطاقة الكهربية على المشتركين وتنتهي بمحولات توزيع تخفض الجهد إلى ٢٢٠ ف أو ١١٠ ف

١ -٣- ٣ المولد الكهربي

هو العنصر الأساسي في محطة التوليد وهو الذي ينتج الطاقة الكهربية، والمولدات الكهربية المستخدمة في منظومة القوى كلها من نوع الآلات المتزامنة synchronous machines والتي تدار بسرعة ثابتة تسمى سرعة التزامن synchronous speed وتقوم بتوليد الطاقة الكهربية في صورة تيار متردد ثلاثي الأوجه Three phase alternating current عند جهد ثابت وتردد ثابت، وجميع المولدات الموجودة في منظومة القوى تعمل عند نفس التردد حيث إنه يتم ربطها جميعا معا لأغراض التشغيل الاقتصادي وتقاسم الأحمال بطريقة تقلل من تكاليف التشغيل وتضمن استمرارية تغذية الأحمال. ومع هذا فقد يختلف جهد المولدات من محطة توليد إلى أخرى حيث تقوم المحولات برفع جهود التوليد إلى نفس القيمة وهي قيمة جهد النقل.

ويتركب المولد من عضو ثابت مكون من شرائح صلب سليكوني ومشكّل به مجارٍ لحمل ملفات إنتاج القدرة وعضو دوار يحمل الأقطاب المغناطيسية التي تنشئ المجال المغناطيسي اللازم لتوليد القدرة الكهربية. شكل ١ -٥ يوضح العضو الثابت لمولد.



شكل ١ -٥ العضو الثابت لمولد

وجدير بالذكر أن العضو الثابت يكون هو نفسه لجميع المولدات فيما عدا اختلاف الأبعاد من مولد لآخر، أما العضو الدوار فيختلف في المولدات ذات السرعات العالية كتلك التي تستخدم مع التوربينات البخارية عنه في المولدات ذات السرعات البطيئة والتي تستخدم مع التوربينات الهيدروليكية

أو التوربينات التي تقل سرعتها عن ١٠٠٠ لفة في الدقيقة أيا كان نوعها. وينشأ الاختلاف من أن المولد الذي يعمل عند سرعة عالية يكون عدد أقطابه أقل من المولد الذي يعمل عند سرعة منخفضة، وهذا الاختلاف ينعكس على شكل المولد فتجد المولد الذي يعمل على توربين بخاري يكون ذا قطر أقل وطول محوري أكبر حيث إن عدد أقطابه قليل ويستخدم ما يسمى بالعضو الدائر الأسطواني، ويكون القطر صغيرا لتقليل عزم القصور الذاتي للأجزاء الدوارة حيث إنها تدور بسرعة عالية، وعلى الجانب الآخر تجد المولد الذي يعمل عند سرعة بطيئة –كذلك الذي يستخدم في المحطات الهيدروليكية – ذا قطر كبير حتى يمكن وضع العدد الكبير من الأقطاب والذي قد يصل إلى أكثر من ٤٨ قطب من نوع الأقطاب البارزة مشابهة لأقطاب آلة التيار المستمر.

ويلزم تغذية الأقطاب بتيار مستمر، والجزء الذي يقوم بهذه المهمة يسمى مغذي الأقطاب exciter، وقد يكون إما مولد تيار مستمر مثبت على نفس عمود الإدارة مع المولد الرئيسي ومتصل بملفات المجال للمولد الرئيسي عن طريق حلقات انزلاق، وقد يكون مولد تيار متغير متصل بقنطرة توحيد مثبتة على نفس عمود الإدارة مع المولد ومتصلة اتصالا مباشرا مع الأقطاب دون الحاجة إلى حلقات انزلاق.

و يزود المولد بمنظم جهد أوتوماتيكي وظيفته التحكم في تيار المجال للمحافظة على جهد المولد ثابتا مع تغير ظروف التحميل، حيث يقوم منظم الجهد بزيادة تيار المجال في حالة انخفاض جهد المولد حتى يعيده إلى القيمة المطلوبة، ويقوم بتخفيض تيار المجال في حالة زيادة جهد المولد حتى يعود الجهد إلى القيمة المطلوب ثباته عندها. ويتم إبقاء سرعة المولد ثابتة عند سرعة التزامن حتى يظل التردد ثابتا ومساويا لتردد الشبكة وذلك عن طريق تزويد التوربين بحاكم للسرعة وظيفته التحكم في الطاقة الداخلة للتوربين –بالتحكم في كمية البخار للتوربين البخاري أو كمية الماء للتوربين الهيدروليكي – لتثبيت سرعتها.

تتراوح جهود التوليد من ٣.٣ ك ف حتى ٢٥ ك ف ولا يمكن التوليد عند جهود أعلى من ذلك لصعوبة عزل الملفات داخل مجارى العضو الثابت للمولد بطريقة تسمح لها بتحمل جهود أعلى من ذلك. وقدرة المولد قد تصل إلى ١٣٠٠ ميجاوات ومعنى هذا أنه لهذه القدرات الكبيرة عند الجهود المنخفضة نسبيا سيكون التيار كبير جدا بطريقة يصعب معها نقل القدرة عند هذه الجهود المنخفضة لما سوف يسببه هذا التيار الكبيراً من فقد في القدرة وانخفاض في الجهد أثناء النقل. وأيضا لأن الجهد هو الضغط الذي يسبب سريان الطاقة الكهربية فإذا أردنا نقل كميات كبيرة من القدرة لمسافات كبيرة كان

لزاما رفع الجهد إلى مستوى أعلى بكثير من جهد التوليد ولهذا فإن العنصر التالي لمحطة التوليد هو محطة محولات النقل والتي تشمل محولات رفع الجهد إلى مستوى جهد النقل.

١ -٤ محطات محولات رفع وخفض الجهد

وظيفة هذه المحطات هي رفع الجهد أو خفضه إلى المستوى المطلوب في كل جزء من أجزاء المنظومة، فتقوم برفع الجهد من مستوى جهد التوليد إلى مستوى جهد النقل في بداية خط النقل وكذلك تقوم بتخفيض الجهد على مراحل من مستوى جهد النقل إلى مستوى جهد التوزيع.

والعنصر الرئيسي في هذه المحطات هو محول القدرة الذي يقوم بالوظيفة الرئيسية للمحطة، وإلى جانب احتواء محول القدرة فإن المحطة تقوم بالوظائف الآتية:

- تشغيل قواطع التيار في حالة حدوث خطأ في خط النقل أو في المحطة ذاتها
- التحكم في سريان القدرة إلى منطقة معينة
- احتواء أجهزة الحماية ومحولات الجهد والتيار الخاصة بالحماية وبأجهزة القياسات
- تحتوي أيضا على تجهيزات ومعدات فصل وتوصيل تسمح بإجراء الصيانة لأي معدة من معدات المحطة دون قطع الخدمة عن أي منطقة تخدمها هذه المحطة

ويمكن تقسيم هذه المحطات إلى نوعين

١ -٤ -١ محطات محولات التوزيع Distribution substation

محطات محولات التوزيع هي محطات خفض للجهد فقط حيث تقوم هذه المحطات بخفض الجهد من مستوى النقل الفرعي إلى مستوى جهد التوزيع الأولي (١٣.٨ ك ف في المملكة) لتغذية شبكة التوزيع التي تقوم بتوزيع القدرة الكهربية على محولات التوزيع (التي تراها منتشرة في الشوارع محمولة على أعمدة خشبية أو موضوعة داخل أكشاك).

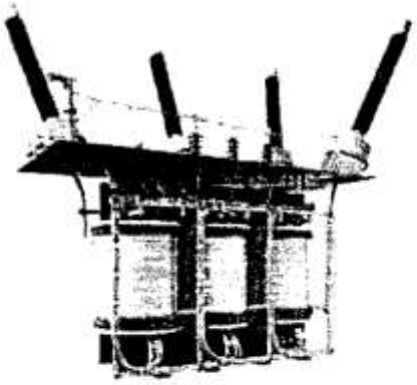
محول القدرة

محولات القدرة هي ليست النوع الوحيد من المحولات الموجود بمحطة التوزيع حيث توجد أنواع عديدة من المحولات كمحولات الجهد والتيار لأغراض الحماية والقياس وكذلك محولات تنظيم الجهد ومحولات التحكم في سريان القدرة، ولكن كل هذه الأنواع من المحولات تكون ذات قدرات صغيرة وإمكانيات تحميل لفترات زمنية قصيرة لا تزيد في بعض أنواع المحولات عن خمس دقائق وجميع هذه الأنواع ليس لها أي دور في عملية تخفيض الجهد أو رفعه اللهم إلا أداء بعض الوظائف المساعدة التي تساعد في مراقبة وحماية محول القدرة الرئيسي والدوائر المتصلة به، أما محول القدرة فهو الذي تعبر من

خلاله كميات القدرة الكبيرة لتحويلها من مستوى جهد إلى مستوى آخر. وعلى ذلك نتوقع أن يكون محول القدرة أكبر مكونات محطة محولات التوزيع حجما.

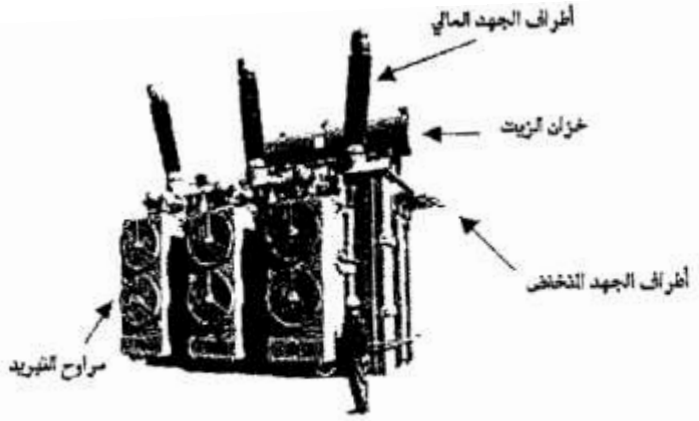
ويتكون محول القدرة من

- القلب الحديدي ويصنع من شرائح الصلب السيليكوني والذي يتمتع بسماحية مغناطيسية عالية وفقد قليل في القدرة
- الملفات و غالب المحولات لها ملفين لكل وجه ولكن في بعض أنواع المحولات يمكن أن يكون هناك أكثر من ملف ان لأغراض التحكم أو التأريض، شكل ١ -٦ يبين صورة لملفات محول ثلاثي الأوجه موضوعة حول القلب الحديدي ويبين كذلك التوصيلات الخارجية.



شكل ١-٦ القلب الحديدي والملفات والأطراف الخارجية لمحول قدرة

وعادة ما تكون محولات القدرة من النوع المغمور في الزيت، ويستغل الزيت هنا لسببين أولهما هو عزل المحول وملفاته والقلب الحديدي له عن جسم المحول وثانيهما المساعدة في تبريد المحول عن طريق حمل الحرارة بعيدا عن الملفات والقلب وطردها إلى الهواء الجوي عن طريق جسم المحول وما به من زعانف معدة لزيادة السطح المعدني المعرض للهواء الجوي.



شكل ١ -٧ محول قدرة

و تبريد المحول له من أهمية قصوى حيث إن أداء المحول يعتمد بدرجة كبيرة جدا على مقدرته على تبديد الحرارة الناشئة عن المفاقيد ، و يمكن تصنيف نظم التبريد في محولات القدرة المغمورة في الزيت إلى:

- ONAN : اختصارا لعبارة Oil Natural Air Natural أي أن الهواء يتحرك بطريقة طبيعية وكذلك الزيت يتحرك فقط بتأثير تيارات الحمل الطبيعية.
- ONAF : اختصارا لعبارة Oil Natural Air Forced أي تدوير قسري للهواء باستخدام المراوح في حين أن الزيت يتحرك فقط بتأثير تيارات الحمل الطبيعية.
- OFAF : اختصارا لعبارة Oil Forced Air Forced أي يتم عمل دفع الهواء بمروحة والزيت بمضخة لزيادة حركة كل منهما
- OFWF : تدوير قسري للزيت والماء، حيث يتم تبريد الزيت بالماء عن طرية مبادلات حرارية

شكل ١ -٧ يبين محول قدرة ١٥ ميجا فولت أمبير ١/١٠٥ ك ف ونظام التبريد لهذا المحول هو OFAF.

١ -٤ -٢ محطات محولات النقل Transmission substation

وتوجد هذه المحطات في بداية خط النقل ونهايته، وتتميز بأنها تتعامل مع قدرات أعلى بكثير من محطات محولات التوزيع حيث قد تصل قدرة المحول في هذه المحطة ١٠٠٠ ميجا فولت أمبير ولذلك يطلق عليها محطة محولات القدرات العالية Bulk power substation ، وتوجد محطة لرفع الجهد في بداية الخط وأخرى لخفض الجهد في نهايته. وبالإضافة إلى ذلك تقوم هذه المحطة بالوظائف الآتية:

محطات محولات النقل عادة متصلة بطريقة نجمة مؤرضة في حين أن نظم النقل الفرعية تكون عادة متصلة دلتا لرفع معاوقة التتابع الصفري في حالة الأخطاء الأرضية. ويتم تأريض مثل هذه النظم باستخدام محولات التأريض earthing transformers. ووظيفة هذه المحولات هو الحد من تيارات القصر الأرضية إلى قيمة التيار المقنن لخط التعادل وتستخدم للتأريض فقط أي لا يتم تحميلها بأي أحمال ولذلك فهي صغيرة الحجم. ويتم تحديد مقننات هذه المحولات لتتحمل مرور التيار بها لمدة لا تزيد على خمس دقائق حيث يجب أن تعمل أجهزة الحماية قبل ذلك بكثير ويتم توصيل هذه المحولات بأرضي المحطة.

الاختبارات الذاتيه:ـــ املأ الفراغات التاليه بما يناسبها:

1. تتكون دوائر القدره من محطات توليد و_____ و_____ و_____
2. تقوم دوائر الاتصالات في منظومة القدره بنقل _____ من كافة اجزاء النظومه الى _____
3. تعمل محطات المحولات على رفع اوخفض _____

الاختبار البعدي :ـــ عدد مكونات منظومة القوى الكهربائيه

المصادر العتمده :ـــ

الكتاب المنهجي : منظومه القدره الكهربائيه د.ضياء النعمه أ.طارق محمد اين

مفاتيح اجوبة الاختبارات:ـــ

الاختبار القبلي	الاختبار الذاتي	الاختبار البعدي
1. صح 2. صح 3. صح 4. خطأ	1. خطوط النقل والتوزيع ومحطات امحولات الاحمال 2. البيانات الى مركز التحكم 3. الجهد	1. دوائر القدره 2. نظم الحمايه 3. نظم التحكم 4. اجهزة القياس 5. دوائر الاتصالات 6. حزم البرمجيات .

مادة الشبكات الكهربائيه

الاسبوع الثاني

الفئه المستهدفه:ـــالصف الثاني

الموضوع:ـــ المحطات الثانويه .

الافكار المركزيه:ـــ تعمل المحطات الثانويه على رفع وخفض الفولتيه ومنها من تعمل على تحسين معامل القدره .ومحطات فتح وغلق ،ومحطات تعديل

الاهداف:ـــ يتعلم الطالب انواع ومحتويات المحطات الثانويه

الاختبار القبلي:ـــ ضع عبارة صح او خطأ للعبارات التاليه:ـــ

1. تنشأ المحطات الثانويه قريبا من مراكز الاحمال
2. محطات الفتح والغلق تعمل على تغيير مستوى الفولتيه
3. محطات رفع الفولتيه تكون قريبه من محطات التوليد
4. تعمل القضبان العموميه على توصيل عدة خطوط بفولتيات متساويه

المحطـــات الثانـــــويـــــــــه Sub-station

٣ـ١ مقـدمـه : Introduction

يتم نقل وتوزيع الطاقه الكهربائيه في الوقت الحاضر باسلوب التيار المتناوب • يتولد الطاقه الكهربائيه في محطات بعيده عن اماكن المستهلكين ويتم استلامها من قبلهم خلال شبكة نقل وتوزيع كبيره ومعقده • يكون تغيير بعض خصائص الشبكه على طول الخط ضروريه بل واجبه مثل (الفولتيه من متناوب الى مستمر ، التردد ، عامـل القدره ••••• الخ) تجرى هذه التغييرات بأجهزه مناسبه تسمى (المحطات الثانويه) مثلا فولتية التوليد (11KV أو 6.6KV) في محطات التوليد ترفع الى فولتيات اعلى (132KV مثلا • أو 220KV) لاغراض نقل القدره الكهربائيه •

تسمى ترتيب الاماكن التي تستخدم فيها هذه الاجهزه (كالمحولات) في الشبكات الكهربائيه بالمحطات الثانويه • كما أن الفولتيات المستخدمه من قبل المستهلكين يجـب ان تخفض الى حد معين يمكن استخدامه في الاعمال المنزليه • ويتم هذا التحويل ايضـا" في المحطات الثانويه بواسطة محولات الخفض (step down transformer)

هناك عدة انواع من المحطات الثانويه ولكننا سنسلط الضوء على المحطات التى تكون الفولتيه الداخله اليها والخارجه منها فولتيات متناوبه اى سوف ندرس المحطات الثانويه التي تغير مستويات الفولتيه للشبكات الكهربائيه •

يجب اخذ الامور التاليه بنظر الاعتبار عند تصميم المحطات الثانويه •

١) يجب ان تنشأ المحطات الثانويه في مواقع مناسبه وفي مراكز الاثقال قدر الامكان •

٢) يجب ان تصمم بطريقه امينه وبمعوليه عاليه • لذا يجب ان تجرى عمليات الصيانـــه وتبديل الاجهزه بطريقه امينه وسهله • ويجب ان يكون تثبيت اجهزة الحمايـه بكفاءه عاليـــه •

٣) ان تكون سهلة التشغيل وكلفتها الرئيسيه اقل مايمكن •

٣ـ٢ انواع المحطات الثانويه :

يمكن تقسيم المحطات الثانويه تبعا لمتطلبات الخدمه او طريقة الانشاء او التنفيذ الى الانواع التاليه •

١) محطات التحويل : هذه المحطات تغير مستوى الفولتيات • اى ان الفولتيات الداخله يتغير مستواها الى فولتيات ادنى او اعلى تبعا لطبيعة المحطه • وهي اكثر المحطات شيوعا ، وتعد المحولات من اهم اجهزتها الرئيسيه •

٢) محطات الفتح والغلق : Switching sub-stations

تنفذ في هذه المحطات عمليات الغلق والفتح للشبكات الكهربائيه الداخله اليهـا والخارجه منها دون تغير مستوى الفولتيه •

٣) محطات تصحيح عامل القدره : Power factor improvement S.S

تحسن هذه المحطات من عامل القدره للشبكه الكهربائيـــه وتنشأ عادة في جهة الاستلام لخطوط النقل وتستخدم المكائن التزامنيه والمكثفات كأجهزة تحسين عامل القدره .

٤) محطات تغيير التردد : Frequency converter sub-station

تغير هذه المحطات تردد فولتيه التوليد الى ترددات اخرى قد تكون ضروريه لبعض الاستخدامات الصناعيه .

محطات التعديل : Rectifier sub-station

تغيير هذه المحطات القدره المتناوبه الى قدره مستمره ، حيث تعدل هذه المحطات القدره المتناوبه المستلمه الى قدره مستمره وقد يستخدم في بعض التطبيقات العمليه كالقطارات واللحام بالقوس الكهربائي .

يمكن تقسيم المحطات الثانويه ايضا تبعا لطريقة الانشاء والتنفيذ الى الانواع التاليه .

١) المحطات الداخليه : Indoor sub-station

توضع اجهزه هذه المحطات داخل ابنيه . وتكون عادة لمحطات ذات فولتيه واطئه (11) كيلو فولت . ويمكن انشاء محطات داخليه الى حد (66) كيلو فولت لمناطق ذات طبيعه مناخيه سيئه .

٢) المحطات الخارجيه : Outdoor sub-station

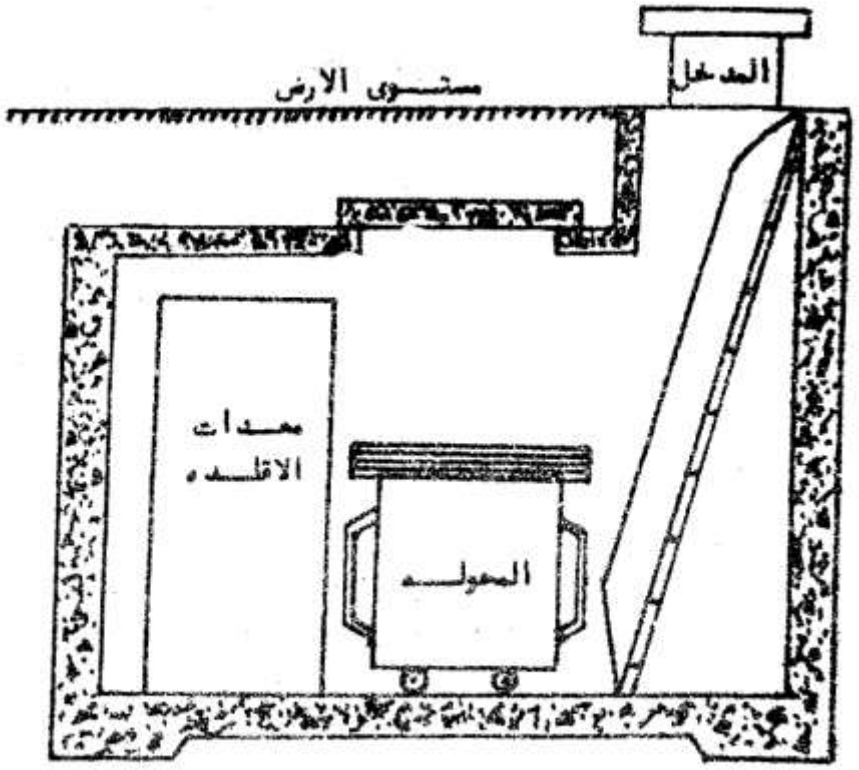
تنشأ المحطات الخارجيه عندما تزيد فولتية النظام على (66) كيلو فولت لان الفضاءات المطلوبه بين الموصلات والاقلده وقواطع الدوره وبقية الاجهـــزه تزداد ويصبح وضع هذه الاجهزه داخل الابنيه والمنشأت غير اقتصادى وغير عملي .

ت	المواصفـــات	محطات خارجيه	محطات داخليه
١	المساحه المطلوبه للانشاء	اكثر	اقل
٢	الفتره اللازمه للتنفيذ	قليله	اكثر
٣	الكلفه الكليـــه	واطئه	عاليه
٤	التشـــغيل	صعبه	اسهل
٥	احتمالية حدوث اعطاب	اقل لان الفضاءات بين الاجهزه اكثر	اكثر

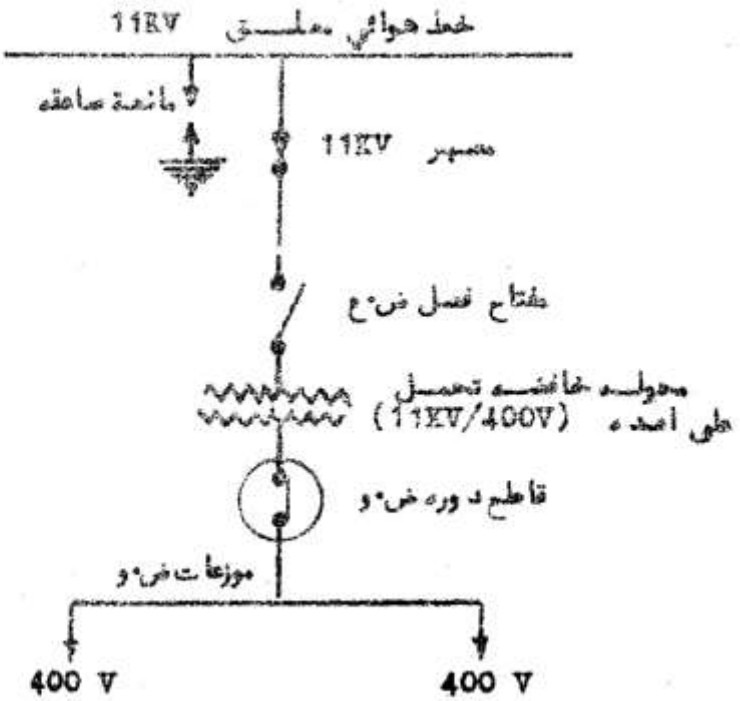
جدول (3.1) مقارنه بين المحطات الداخليه والخارجيه

٣) المحطات الارضيه :

تستخدم عادة في المناطق السكانيه المزدحمه ، وعندمـــا



شكل (3.1) محطة ارضية داخلية



شكل (3.2)

تشمل احادي الخط لمحطة توزيع ضغط واطئ محمولة على الاعمدة

تصبح مسألة توفر اماكن لانشاء المحطه من الامور المهمه . الشكل (3.1) يوضح محطة ارضيه نموذجيه اذ توضع الاجهزه تحت الارض .

يجب مراعاة الامور التاليه عند تنفيذ المحطات الارضيه .

١) يجب ان يكون حجم المحطه اقل ما يمكن .

٢) توفر منافذ جيده للاشخاص والاجهزه .

٣) توفر تدابير احتياطيه لحالات الاناره الاضطراريه وللحمايه ضد الحرائق .

٤) وجود تهويه جيده .

٥) توفر تدابير احتياطيه للحالات الناتجه من ارتفاع درجة الحراره .

٦) يفضل ان تكون معظم المحولات والاقلده وقواطع الدوره من النوع المبرد بالهواء لتجنب نقل الزيت الى داخل المبنى .

٤) المحطات المحموله على الاعمده : Pole mounted sub-station
هذا النوع من المحطات يوضح الشكل (3.2)
وتستخدم في شبكات التوزيع اذ يثبت المحوله واجهزة الحمايه على عمودين على شكل حرف (H) . يربط الخط 11KV الى المحوله 11KV/400V من خلال سكاكين الفتح والفواصم ، توضع مانعات الصواعق من جهة الضغط العالي (11 KV) . لحماية المحطه من الصواعق ، تخفض الفولتيه الى (400) فولت يخرج ٤ اسلاك من المحوله من جهة الضغط الواطيء ويتم حماية المحوله بواسطة قاطع دوره (ض . و) . يجب ان تجرى صيانه دوريه على زيت المحوله والقاطع .

٣-٣ محطات التحويل الثانويه :

تقسم محطات التحويل الثانويه حسب مراحل تحويل الفولتيه الى الانواع التاليه .

١- محطات الرفع الثانويه — Step-up sub-station

٢- محطات النقل الاوليه — Primary grid sub-station

٣- محطات النقل الثانويه — Secondary grid sub-station

٤- محطات التوزيع — Distribution sub-station

الشكل (3.3) يوضح رسم تخطيطي لمنظومه كهربائيه مؤشر عليها مواقع المحطات المذكور آنفا" .

تنشأ محطات الرفع عادة داخل محطات التوليد وترفع فولتية التوليد (11KV) مثلا الى فولتيات عاليه (220KV) لنقلها الى مسافات بعيده .

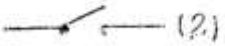
بينما تخفض محطات الشبكه الاوليه الفولتيات العاليه الى فولتيات اوطأ ولكن لاتستخدم لاغراض التوزيع (66KV) بالقرب من المدن • تخفض الفولتيه في محطات النقل الثانويه اكثر الى حد (11KV) وتكون عادة من النوع الخارجي (out door) • وتنشأ محطات التوزيع عادة بالقرب من المستهلكين وتحول الفولتيات المستلمه الى فولتيه مناسبه للاستخدامات المنزليه •

٣ـ٤ الاجهزه المستخدمه في محطات التحويل :

يوضح الجدول ادناه بعض رموز الاجهزه المستخدمه في المحطات الثانويه • لكي يساعد الطالب على معرفة هذه الاجزاء عند دراسة الرسوم التخطيطيه للشبكات الكهربائيه •

1ـ قضبان عموديه Bus-Bar

2ـ مفتاح عزل احادي القطع

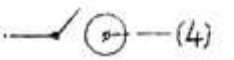


Single-break isolating switch

3ـ مفتاح عزل ثنائي القطع

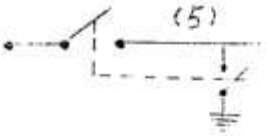
Double-break isolating switch

4ـ مفتاح قطع حملي (اثناء الحمل)



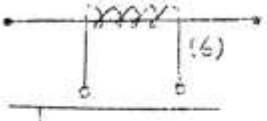
on load isolating switch

5ـ مفتاح قطعي مع شفرة تأريض



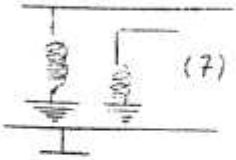
Isolating switch with earth blade

6ـ محولة تيار



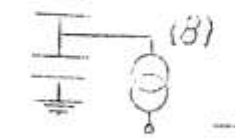
current transformer

7ـ محولة فولتيه



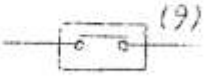
Potential transformer

8ـ محولة فولتيه سعويه



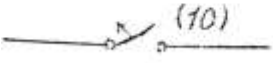
Capacitive voltage transformer

9ـ قاطع دوره زيتي



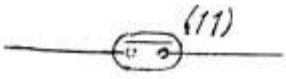
Oil circuit breaker

10ـ قاطع دوره هوائي مع جهاز الفصل ضد التيار الزائد

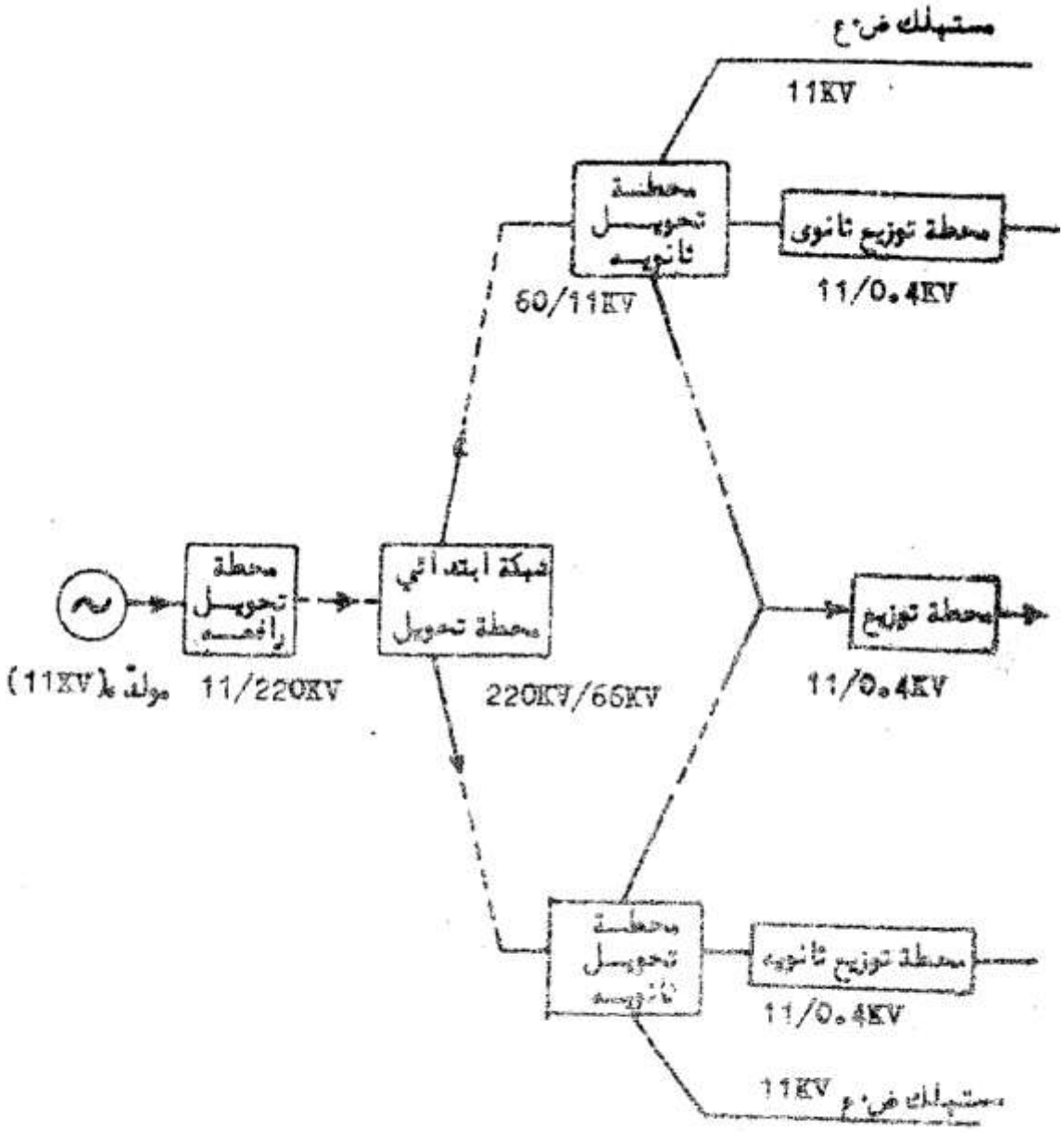


Air circuit breaker with over current tripping device

11ـ قاطع دوره يعمل بدفع الهواء

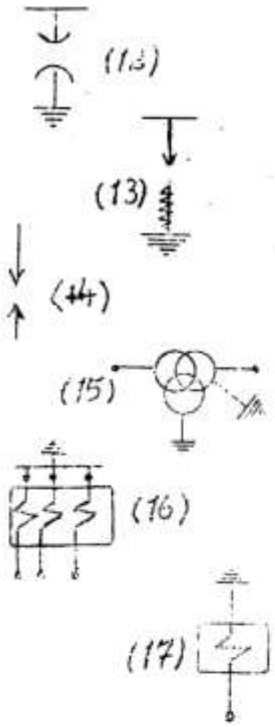


Air blast circuit breaker



شكل (3.3)

مخطط كتلي يوضح طريقة نقل وتوزيع القدره في المحطات الثانويه



12ـ مانعة صاعقه (ذات الفرجه النشطه)

Lighting Arrester (active gap)

13ـ مانعة صاعقه من النوع الصمامي

Lighting Arrester (valve type)

14ـ ثغرة شرر قرنيه

Arcing horn

15ـ محولة قدره (ثلاثية الطور)

3-ϕ power transformer

16ـ مرحل التيار الزائد

Over current relay

17ـ مرحل خطأ الارض

Earth fault relay

الاجهزه المستخدمه في محطات التحويل : تعتمد نوعية الاجهزه المستخدمه في محطات التحويل على نوعية المحطه ومتطلبات الخدمه ودرجة الحمايه المطلوبه • على اية حال يجب ان تحتوى محطة التحويل على الاجهزه التاليه •

القضبان العموميه : Bus Bar

تستخدم القضبان العموميه لعمليات توصيل عدة خطوط مختلفه تعمل بنفس الفولتيه • وتكون عادة من النحاس او الالمنيوم •

اكثر انواع القضبان العموميه شيوعا " هي :

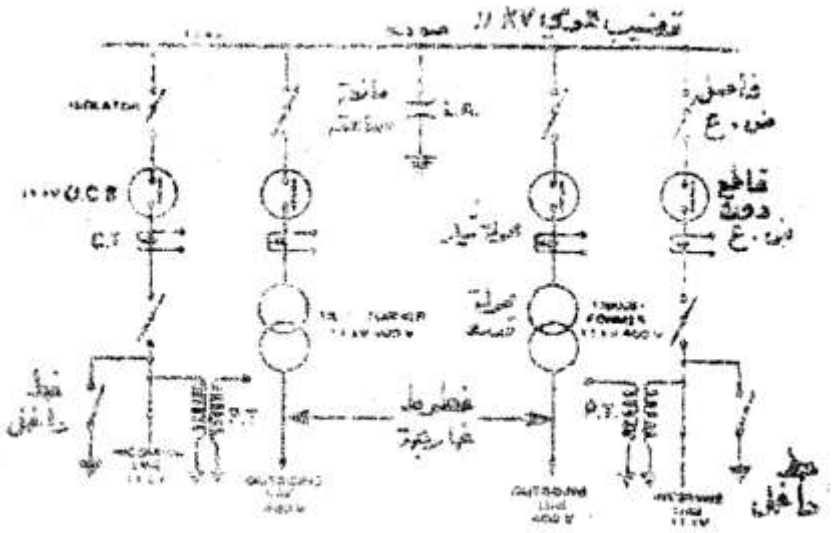
أ) القضبان العموميه المفرده : Single Bus Bar

تتألف من قضيب مفرد • تربط خلاله الخطوط الداخلـــــه الى المحطه والخارجه منه يوضح الشكل (3.4) تركيب القضبان العموميه المفرده ويمتاز هذا النوع بكلفته الواطئه • وصيانته الغايه وسهولة تشغيله • ولكن من أهم مساوئه انه في حال حدوث خلل او عطب على القضبان يحدث اطفاء كلي للمحطه (shutt down) لذا لا يستخدم هذا النوع لفولتيات اعلى من (33) كيلو فولت •

ب) القضبان العموميه المفرده مع مجزئ القضبان :

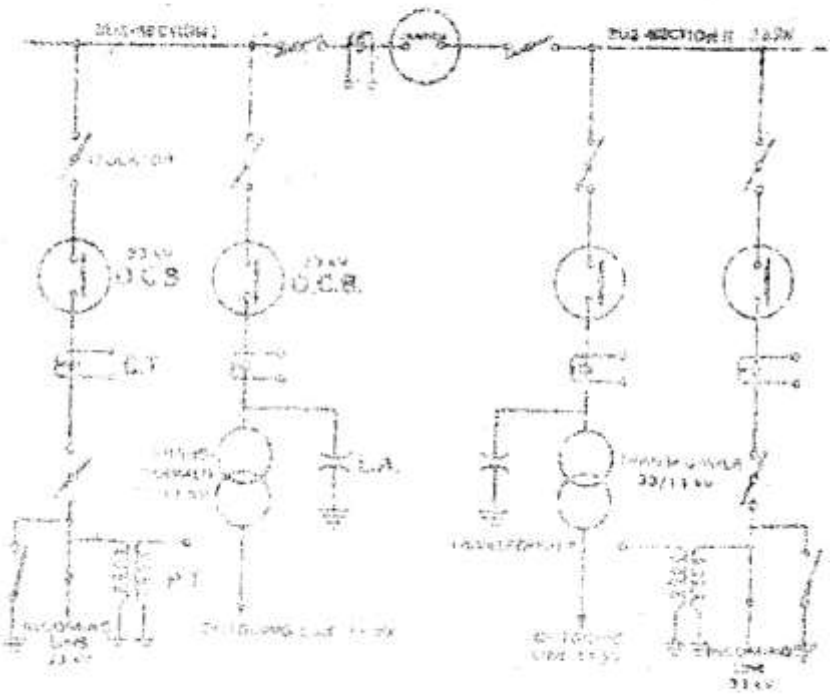
Single bus-bar system with section alisation

يوضح الشكل (3.5) قضيب عمومي مع المجزئ اذ جزئ القضيب الى مقطعين • يتم



شكل (3-4)

Single Bus Bar قضيب عمومي مفرد



شكل (3-5)

قضيب عمومي مفرد به مقاطع القضبان

توزيع الحمل بالتساوى بين جميع المقاطع • يربط كل مقطعين سويه خلال قاطع دوره وفاصل يتميز هذا النوع بأنه يمكن ازالة الخطأ في مقطع دون فصل القوه الكهربائيه عن المقطع الاخر • علاوة على ذلك يتم صيانة اى مقطع مع استمرارية التغذيه للمقطع الاخر •ويضمن هذا عدم الاطفاء الكلي للمحطه • ويستخدم هذا النوع لفولتيات اعلى من (33) كيلو فولت •

جـ) القضبان المعموميه المزدوجه : Double bus-bar

يوضح الشكل (3.6) هذا النوع من القضبان ويتألف من مجموعتين احدهما رئيسيه والاخرى احتياط ـ سعة كل منهما تساوى سعة المحطه • يمكن ربط الخطوط الداخله والخارجه الى اى من القضبان بواسطه مقرن القضبان (bus-coupler) والذى يتألف من قواطع دوره وفواصل تربط الخطوط الداخله والخارجه من المحطه الى القضيب الرئيسي عادة • يتم ابقاء استمرارية القدره الكهربائيه وذلك بتحويل الخطوط على القضيب الاحتياط • يستخدم هذا النوع بكثره للفولتيات التى تزيد على (66) كيلو فولت •

٣ـ٤ـ٢ عوازل المحطات الثانويه :

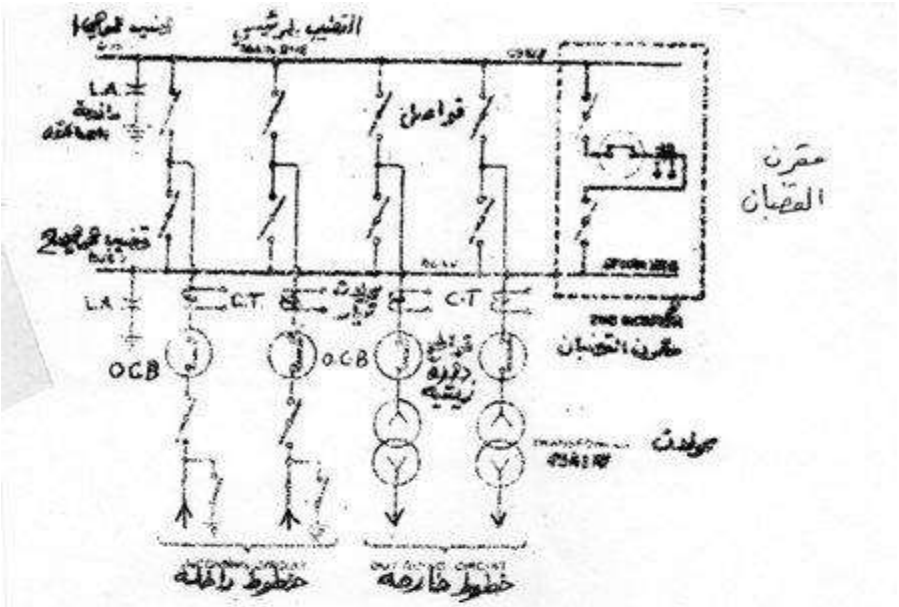
يوضح الشكل (3.7) عازل دعامي •

تقوم العوازل بوظيفتين • هما حمل الموصلات (القضبان المعموميه) وحصر التيار في الموصلات • هناك عدة انواع من العوازل وهي العوازل المساميه والعوازل المعلقه والعوازل الدعاميه post isolator • يتألف العازل الدعامي والذى يستخدم بكثره في المحطات الثانويه من جسم خزفي وغطاء من حديد الزهر وقاعده فلنجيه من حديد الزهر ايضا" • يربط القضيب المعمومي الى المساند بوساطة هذه العوازل •

٣ـ٤ـ٣ اقلدة (مفاتيح) الفصل : Isolating switches

من المرغوب فصل الجزء المطلوب صيانته وتصليحه في المحطات الثانويه يتم هذا الاجراء بأستخدام فواصل العزل (isolater) والفاصل عباره عن مفتاح على شكل سكين ويصمم لفتح الدوائر في حالة انعدام الحمل • وبمعنى آخر ان الفواصل تعمل فقط عندما لا يحمل الخط المربوط تيارا" •

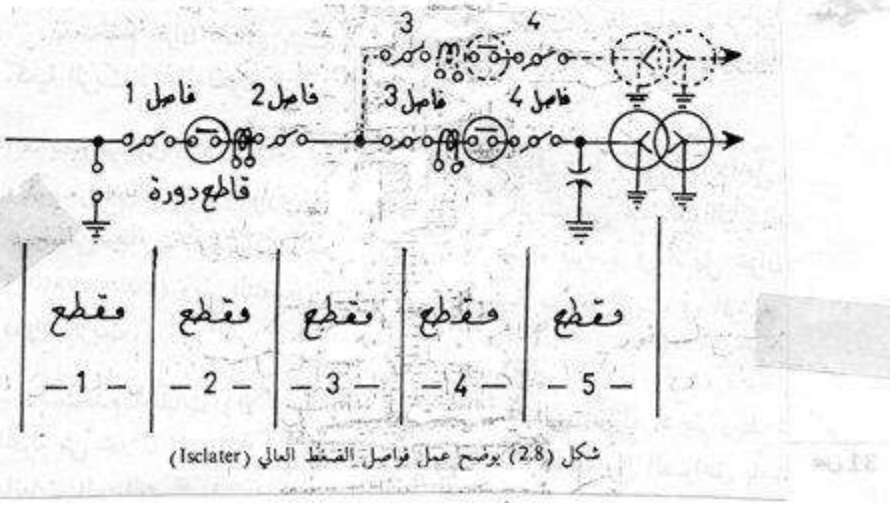
يوضح الشكل (3.8) فاصل نموذجي لمحطه ثانويه • وقد جزئت المحطه الى خمسة اجزاء يفصل كل جزء بوساطة الفاصل لاغراض الصيانه والتصليح اذا اردنا صيانة المقطع (2) على سبيل المثال • نفتح اولا" قاطع الدوره في هذا المقطع ثم يفتح الفاصلان (1) و (2) وبعد اتمام عملية الصيانه يتم غلق الفاصلين (1) و (2) واعادة غلق قاطع الدوره •



شكل (3.6) تعشيب مزدوج (Double Bus bar)

شكل (3.7)

عازل دعامي



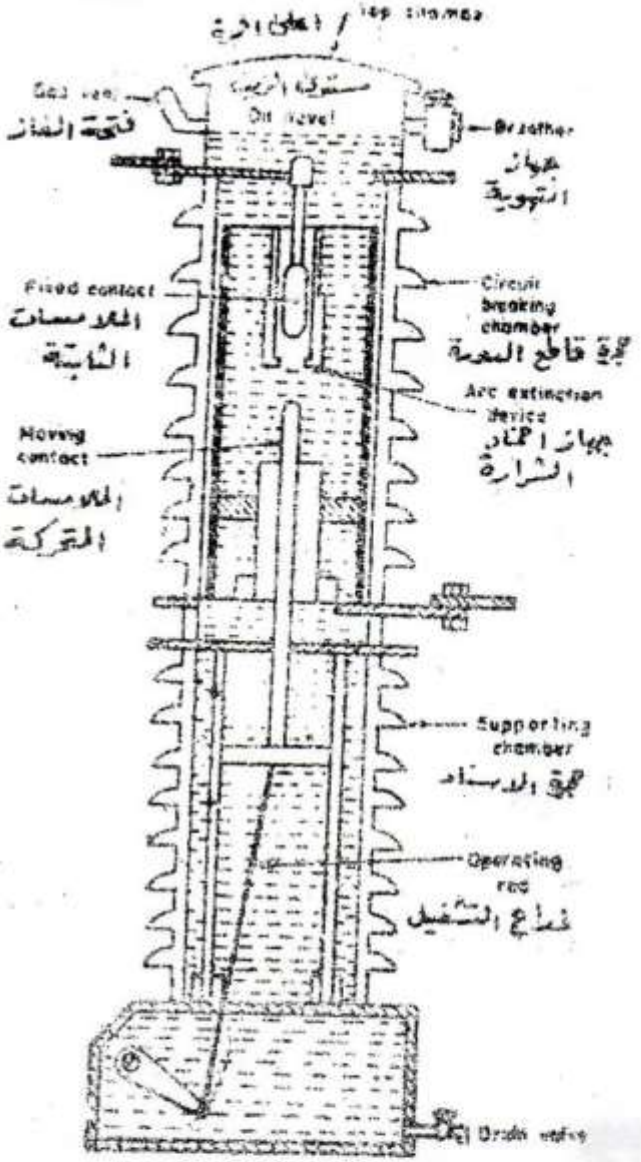
شكل (2.8) يوضح عمل فواصل الضغط العالي (Isolater)

قواطع الدوره : سوف نتناول بعض الجوانب البسيطه لقواطع الدوره المستخدمه في المحطات الثانويه ، لان موضوع قواطع الدوره سيتم تغطيته بالتفصيل في موضوع المتابعات هناك انواع عديده من قواطع الدوره تستخدم في المحطات الثانويه وتعتمد القاطع وحجمه على حجم المخطه . واكثر انواع القواطع شيوعا" ، القواطع الزيتيه والقواطع الهوائيه وقواطع سادس فلوريد الكبريت (SF_6) ~

الشكل (3.9) نموذجا" لقاطع دوره زيتي . يقوم القاطع بعمليات الفتح والغلق للدائره الكهربائيه اثناء التشغيل الطبيعي وفي الحالات العابره . ويصمم عادة بحيث يمكن تشغيله يدويا" وذاتيا" بالسيطره عن بعد في الحالات الطارئه . ويتألف القاطع بصوره رئيسه من ملامسات (contacts) ثابته واخرى متحركه تسمى الالكترودات تبقى الملامسات مقفله في حالة التشغيل الطبيعيه ولا تفتح ذاتيا الا في الحالات الطارئه (كحدوث عطب ما) لذا فعندما يحصل عطب في اى جزء من الشبكه ، فأن ملفات الاعناف (trip coil) تشحن بالقوه الكهربائيه . ويتم سحب الملامسات المتحركه بميكانيكيه معينه وتفتح الدائره . عند فتح الملامسات اثناء الحالات الطبيعيه والعابره تتولد شراره ويسرى تيار مؤديا الى عملية تفريغ كهربائي ، مما يؤخر عملية قطع التيار علاوة على ذلك تتولد كميه هائله من الحراره والتي تؤدى الى انهيار القاطع احيانا" لذا تعد مسألة اخماد الشراره الناتجه من عمليات الفتح من اكثر المسائل تعقيدا واهميه في قواطع الدوره ، وللمزيد من المعلومات نوصي الطالب مراجعة الموضوع في كتاب المتابعات والوقايه .

٣ـ٤ـه محولات القدره : Power Transformer

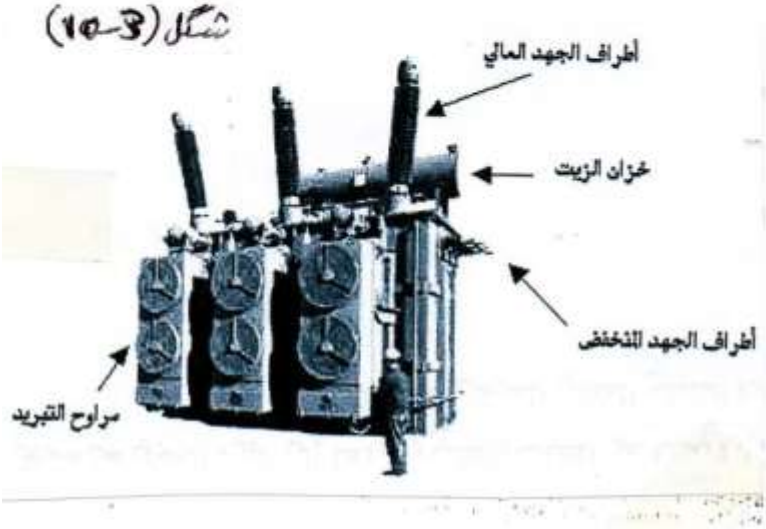
تعد محولات القدره من اهم مكونات المحطات الثانويه ، بينما تعد الاجهزه الاخرى اجهزه مساعده وثانويه لاغراض التحكم والسيطره . تكون محولات القدره عادة ثلاثية الطور وتختلف سعة هذه المحولات تبعا" لسعة المحطه ، وتكون اما محولات رافعه ترفع الفولتيه ، وهذه المحولات تكون قريبه من محطات التوليد ، او محولات خفض الفولتيه وتستخدم هذه المحولات في المحطات القريبه من المستهلكين . يوضح الشكل (3.10) محولة قدره خارجيه ، تثبت عليها الاجزاء . من المعروف ان المحولات تتألف من لفائف تلف على القلب الحديدى والذى يتألف بدوره من شرائح من الحديد المطلي بالوارنيش ، تغمس اللفائف مع القلب الحديدى في الزيت الموجود داخل جسم المحوله ، ويقوم الزيت بعزل الموصلات عن جسم المحوله . اضافة الى تبريد اللفائف والقلب من الحراره المتولده . تسمى اللفائف التى تربط عادة الى مصادر القدره بالابتدائي



شكل (3.9)

قاطع دائرة زيتي

شكل (10-3)



القلب الحديدي والملفات والأطراف الخارجية لمحول قدرة

اما التي تربط الى الحمل فتسمى بالثانوى • ولابقاء فولتية الثانوى ثابته (في حاله تغيير فولتية الشبكه) يستخدم مغيـر التفريعه ويربط التفرعات من لفائف المحوله الى اقلـده معينه تثبت الى الجزء المتحرك من المحوله وتسمى مغير التفريعه (Tap changer) تغير التفريعه عدد لفائف الضغط العالي (اى تغير نسبة التحويل) وبذا تزداد او تقل فولتية الثانوى اثناء الحمل او في حالة انعدام الحمل يعتمد ذلك على تصميم محولة القدره وسعتها •

يصنع خزان المحوله من الفولاذ عادة ويملاء بالزيت ولزيادة تبدد الحراره يجهز الخزان بالمشع (9) • يستفاد من دورة الزيت الموجبه في المحولات الكبيره وذلك بتبريد المـاء او دفع الهواء باستخدام نفاخات الهواء (Blowers)

يصنع غطاء المحوله من رقائق الفولاذ ايضاً وتثبت مع الجسم بوساطة مسامير لولبيه وتستخدم واشرات من المطاط لمنع تسرب الزيت •

يستخدم خزان اضافي يثبت على غطاء المحوله (conservator) بحيث يحافظ على كمية الزيت داخل المحوله اثناء تغيير درجة الحراره في المحوله •

يتغير مستوى الزيت نتيجة الحراره فـــى الخزان الاضافي فقط ويبقى ثابتا داخل المحوله • ويقوم مرشح السيفون الحرارى (7) بعمليات تنقية الزيت من عمليات التأكسد • وهو عباره عن وعاء يملاء بحبيبات السليكا ويربط في الفضاء الموجود في اسفل خزان المحوله (conservator) ويتم التنظيف من خلال استمرارية سريان الزيت في المرشـح خلال دوران الزيت •

تستخدم الجلبات (الاكمام) (bushing) الخزفيه من عوازل اذ يتم ربط نهايات المحوله من خلالها الى الدائره الكهربائيه • كما ويتم حماية المحوله من الصواعق باستخدام مانعات الصواعق تربط على اطراف الجلبه اذ تربط احدى نهايتي المانعه على الخط وتؤرض النهايه الاخرى • توفر مانعة الصاعقه ممراً ذا مقاومه واطئه لتفريغ الشحنات الكهربائيه الى الارض والناتجه من الصواعق • يبين الشكل (3.11) مانعة صواعق ربطت علـــى اطراف جلبه المحولـــه •

تزود المحولات ذات السعات العاليه (اكثر من 1 MVA) بمتابعات لتحسس الغاز ، لحماية المحوله من الانهيارات الناتجه من الاخطاء التي تحدث من جراء توليد الغاز داخل الخزان •

هناك بعض التسميات التصميميه التي تثبت على لوحة التسميه للمحولات على شكل احرف ، اذ يعني الحرف الاول عدد الاطوار • فـ (O) يعني طور واحد و (T) يعني ثلاثي الطور ، اما الحرف الثاني (حرف او حرفان) فيوضح نوعية التبريد فـ (M) يعني تبريد طبيعي بالزيت ، (S) يعني تبريد جاف بدون زيت و (D) تبريد

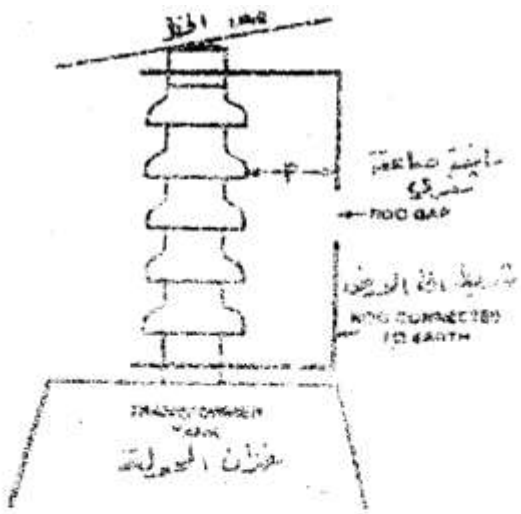
بالاندفاع الهوائي (Ts) الدوران القسرى ، DTs الدوران القسرى بالاندفاع الهوائي
اما الحرف الثالث فيعني عدد اللفائف فـ T محولة ثالثيه اللفائف والحرف الاخر N
يعني ان المحوله مجهزه بجهاز تحكم فولتيه اثناء الحمل . اضافة الى ذلك في المحولات
التي تصل فولتيتها المقننه الى 110KV توجد حروف اضافيه مثلا (G) تعني ان المحوله
محميه ضد الصواعق ، والحرف B يدل على ان محولات التيار مثبته داخليا ومربوطه
مع نهايات الضغط العالي للمحوله .
كما ان المعلومات الفنيه الاساسيه للمحولات تتضمن ايضا مجاميع الازاحه الطوريـــــــه
phase displacement groups وفولتيات دائرة القصر short-circuit voltage

اجهزة القياس في المحطات الثانويه :

تحمل الخطوط الكهربائيه بفولتيات عاليه
وتحمل تيارا كهربائيا يصل الى الاف الامبيرات بينما تصمم اجهزة القياس والسيطره
لفولتيات واطئه (110V) وتيارات قليله (5A) امبير مثلا . لذا فأنها لاتكون قادره
على العمل لو انها وضعت على الخطوط مباشرة . يمكن التغلب على هذه المشاكل
باستخدام اجهزة التحويل حيث تحول الفولتيات والتيارات من قيمها الحقيقيه الماليـــه
الى قيم معقوله لتشغيل المتابعات واجهزة القياس .
هناك نوعين من اجهزة التحويل وهما :

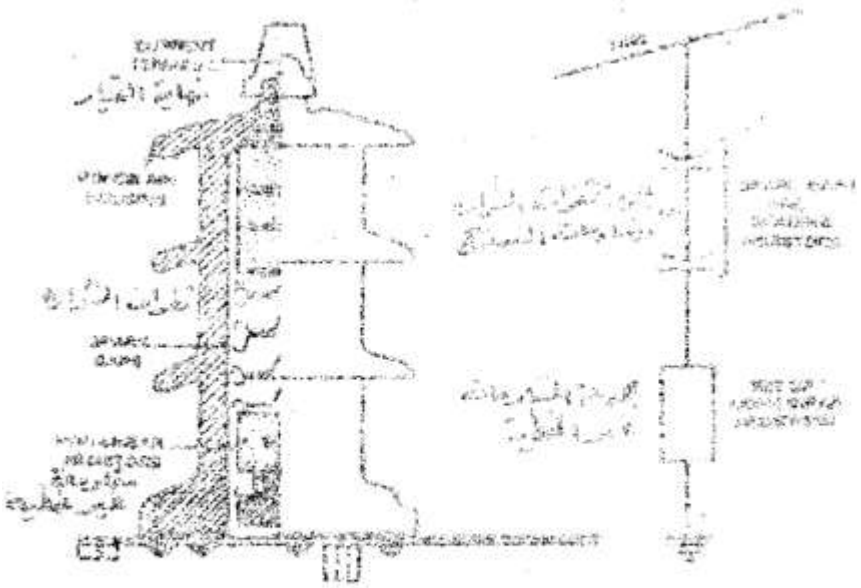
١) محولات التيار C.T.
٢) محولات الفولتيه P.T.

محولات التيار (C.T.) هي بالاصل محولات رافعه تقوم بتخفيض التيار الى قيم معلومه
يتألف الابتدائي من لفه واحده او اكثر من سلك غليظ يربط على التوالي مع الخط بينمـــا
يتألف الثانوى من عدد كبير من اللفائف ذات الاسلاك الرفيعه ويربط الى اجهزة القيـاس
او المتابعات . لنفرض ان محولة تيار بنسبة 5/100 امبير ربطت الى خط 50 امبيـر
فأن التيار الثانوى يكون 50 امبير ، لذا فأن محولات التيار C.T. تخفض تيار الخط
بنسبة (20) .
بينما محولات الفولتيه هي بالاصل محولات خافضه تخفض الفولتيه الى قيم معلومه يتألف
الابتدائي من عدد كبير من ملفات ذات اسلاك رفيعه بينما يحتوى الثانوى على عـــــدد
قليل من اللفائف وتربط الى المتابعات واجهزة القياس . فلو فرضنا ان محولة فولتيـــه
66KV/110V ربطت الى خط بسعة 66KV فأن فولتية الثانوى تصبح 110V .
هناك عدد كبير من اجهزة القياس والسيطره في المحطات الثانويه تربط وتثبت على
لوحات السيطره الرئيسيه (Main control panel) والتي توضع عادة فـــي



شكل (3.11)

مانعة صواعق يوصلت الى جلبة محوله (Bushing)



شكل (3.12)

مانعة صاعقة من النـــــوع الصمامـــــــي

غرف السيطره وتتألف من اجهزة قياس التيار والفولتيه واجهـــزة قياس القدره والتردد وعامل القدره • واضويه واشارات توضح الخطوط العامله وتؤشر على الاعطاب • علاوة على ذلـــك يوجد مصدر تيار مستمر (110) او (220V) لفرض تشغيل اجهزة الحمايه ويتألـــف هذا المصدر من مجموعه من البطاريات يتم شحنها بصوره مستمره من خـــــــــــلال قنطره معدلـــه Rectifier bridge •

٣ــ٦ــ١ اجهزة الحمايه ضد الصواعق فـي المحطات الثانويه :

Lighting protection devices in substation

تنتج التمورات (Surges) في انظمة القدره من عمليات الفتح والغلق وكذلك تحـــدث تمورات خطره من الصواعق تتسبب تدمير لاجهزه باهضة الثمن في انظمة القدره (مثـــلا مولدات ، محولات •• الخ) • اما بالضربات المباشره (direct stroke) على الاجهزه او الضربات غير المباشره من خلال الموجات المتنقله في الخطوط وتصل فولتية هذه التمورات الى (2000KV) في فترة ($1/\mu s$) وبتيارات عاليه تتراوح بين (10KA الى 50KA) لذا فانه من الضروري حماية المحطات واجهزة التوليد والنقل من هذه الضربات • ويتـــم ذلك باحدى الطرق التاليه :

أ) شبكة تأريض Earthing screen

ب) السلك الارضي المعلق Overhead ground wire

جـ) مانعات الصواعق Lighting arresters

وسوف نتناول مانعات الصواعق لانها تحمي الاجهزه في حالة الضربات المباشره وغيـــــر المباشره • وهي عباره عن اجهزة حمايه تربط على خطوط الضغط الفائق للشبكات وتحـــول التيارات الناتجه من تمورات الصاعقه الى الارض ومبدأ عملها انها تبدى مقاومه واطئـــــه للتيارات العاليه • ويوجد عدة انواع منها وهي :

١ــ مانعه ذات الثغره القضيبيه Rod gap arrester

٢ــ مانعة الثغره القرنيه Horn gap arrester

٣ــ مانعه متعددة الثغرات Multi gap arrester

٤ــ مانعة النوع الصمامي Valve type lighting arrester

ويمكن تصنيف مانعات النوع الصمامي تبعا لاستخدامها الى (أ) مانعات المحطات والتي تستخدم لحماية الاجهزه المهمه في المحطات التي تعمل بفولتيات عاليه لحد 220 KV او اكثر • (ب) مانعات الخطوط وتستخدم ايضا للمحطات لفولتيات تصل الى 66 KV • يوضح الشكل (3.12) مانعه من النوع الصمامي • ويتألف من الثغره الشرريه وهـــــي عباره عن مجموعـــه من الثغرات مربوطه على التوالي تتألف كل ثغره من ملامستين ثابتتيـــن ويتم اعادة تنظيم الفولتيه خلال الثغرات بوساطة (مقاومات التدريج) •

كما تربط مع الثغرات على التوالي اقراص من المقاومات مصنوعه من ماده غير عضويه كالثرايت. وهي مقاومات غير خطيه تبدي مقاومه عاليه للتيارات الوطئه اثناء التشغيل الطبيعي بينما تبدي مقاومة واطئه للتيارات العاليه الناتجه من تمورات الصاعقه ولذا يتم تفريغ التيار الكهربائي الى الارض من خلال المانعه ويضمن سلامة الاجهزه الكهربائيه العامله ضمن المحطه من ضربات الصواعق (Lighting strokes)

٢-٦-٣ الفواصم : Fuses

اجريت بحوث ودراسات عديده اسفرت عن تطوير فواصم الضغط العالي ويمكن ان نذكر قسما منها وهي

أ) الفواصم الانبوبيه : Cartridge type

يشبه في تكوينه فواصم الضغط الواطئ والفارق الوحيد هو لف عنصر الفاصم على شكل حلزوني لتفادي تأثير الهاله في الفولتيات العاليه ،وفي بعض التصاميم يوجد عنصران للفاصم يربطان على التوازي احدهما ذو مقاومه واطئه والاخر ذو مقاومه عاليه يمر التيار خلال العنصر ذو المقاومه الواطئه اثناء الحالات الطبيعيه . وعند حدوث عطب ينصهر العنصر ذو المقاومه الواطئه اولا" ثم يسري التيار من خلال العنصر ذو المقاومه العاليه فيقلل من تيار القصر وينصهر اخيرا وبذلك يفصل الدائره .

تستخدم فواصم الضغط العالي الانبوبيه لفولتيات تصل الى 33KV وسعة فصل بحدود 8700 A عند هذه الفولتيه .

ب) النوع السائلي : Liquid type

يوضح الشكل (3.13) الاجزاء الرئيسيه للفاصم السائلي .

يتألف من انبوب زجاجي مملوء بمحلول رابع كلوريد الكاربون وتختم نهايتا الانبوب بأغطيه من البراص . يربط سلك المنصهر (الفاصم) الى احدى نهايتي الانبوب بينما تربط الجهه الثانيه الى نابض برونزي مثبت على الجهه الاخرى .

عندما يزيد التيار عن المقنن ينصهر سلك الفاصم مكونا" غازات ناتجه من الانصهار وربما يؤدي الى حدوث شراره . ولكن انسحاب النابض بأتجاه حاوية السائل يسبب اندفاع قسم من السائل الى منطقة الانصهار بسبب تراجع النابض مؤديا الى اخماد الشراره كليا" .

الاختبار الذاتي :ـــ املأ الفراغات التاليه بما يناسبها

1. مفاتيح الفصل والتوصيل تعمل في حالة _____
2. في المحطات الثانويه يستخدم _____ لتغذية اجهزة القياس
3. انواع قواطع الدوره في المحطات الثانويه هي _____

الاختبار البعدي :ـــ

1. عدد طرق حماية المحطات من الصواعق
2. عدد انواع مانعات الصواعق

المصادر المعتمده:ـــ الكتاب المنهجي منظومة القدره الكهربائيه د. ضياء النعمه أ. طارق محمد امين

مفاتيح اجوبة الاختبارات :ـــ

الاختبار القبلي	الاختبار الذاتي	الاختبار البعدي
1. صح 2. صح 3. صح	1. اللاحمل 2. محولات التيار ومحولات الفولتيه 3. الزيتيه والهوائيه	1. شبكة تاريض والسلك الارضي ومانعة الصواعق 2. الثغره القضيبيه والثغره القرنيه

مادة الشبكات الكهربائيه

الاسبوع الثالث

الفئه المستهدفه:- الصف الثاني فرع القوى

الموضوع :- محطات توليد الطاقه الكهربائيه

الافكار المركزيه:- ان عملية توليد او انتاج الطاقه الكهربائيه هي تحويل الطاقه من شكل الى آخر حسب مصادر الطاقه المتوفره في مراكز الطلب على الطاقه الكهربائيه وحسب الكميات المطلوبه لهذه الطاقه.

الاهداف :- يتعلم الطالب انواع محطات التوليد ومكوناتها ومبدأعملها

الاختبار القبلي:- ضع عبارة صح او خطأ على العبارات التاليه :-

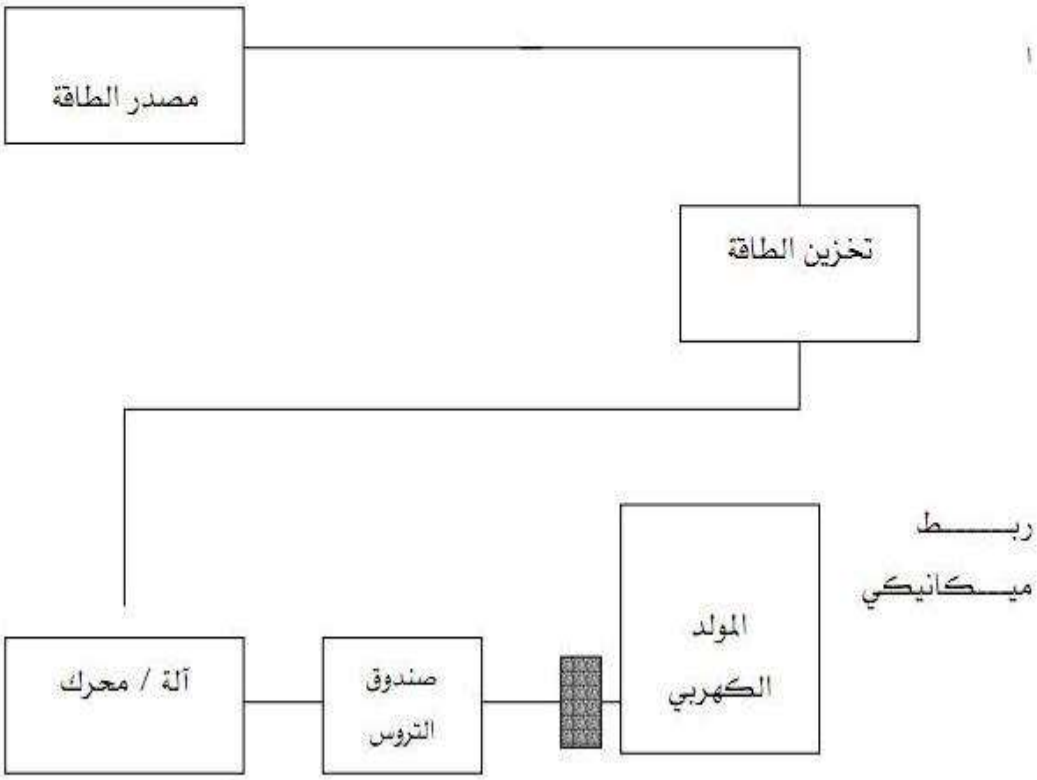
١. تعتبر محطات التوليد محولا للطاقه.
٢. تحتوي محطة التوليد النوويه على الفرن الذري.
٣. تعتبر الرياح مصدر من مصادر توليد الطاقه الكهربائيه .
٤. محطات التوليد البخاريه تقع بعيدا عن مصادر المياه
٥. في المحطات الغازيه يستخدم الغاز الناتج من احتراق الوقود في تدوير التوربين

١ -١الطاقة الكهربائية

إن التطور السريع لعالم اليوم قد بني على أساسا على وجود الطاقة الكهربائية والتي تمثل الشكل الأكثر استخداما في الصناعة والاستعمالات المنزلية وذالك لأنها تمتاز بسهولة توليدها وإمكانية تحويلها إلى جميع أشكال الطاقة الأخرى وإمكانية توليدها في أماكن بعيدة ونقلها بسهولة إلى أماكن الاستهلاك بكلفة منخفضة.

وقد ازداد الطلب على الطاقة الكهربية بحيث تعتبر صناعة توليد الطاقة الكهربائية من أهم الصناعات الآن في العالم نظراً لأهمية الطاقة الكهربية باعتبارها أحد العناصر الأساسية للتطور الاقتصادي.

ويبين الشكل (١ -١) المخطط الصندوقي في عملية التوليد.



شكل ١ - ١ المخطط العام لمحطة التوليد الكهربائية

تتكون محطة التوليد الكهربائية من ثلاثة أجزاء رئيسية كما هي موضحة بالشكل ١ - ١ و هي:

- مخزن الطاقة
- المحرك الأول الميكانيكي
- المولد الكهربي

أ – تخزين الطاقة:

يتم تخزين الطاقة على صورة وقود صلب أو سـائل أو مواد نووية أو على صورة خزان للمياه و يكون مخزن الطاقة ذا سعة كبيرة وكافية لتشغيل محطة التوليد لمدة طويلة ولابد من تعويض ما ينقص من طاقة المخزن نتيجة لتشغيل المحطة (الإمداد بالوقود).

ب – المحرك الأولي الميكانيكي:

المحرك الأولي الميكانيكي هو آلة أو محرك موجودة في صورة متعددة و يعتمد نوع المحرك الأولي الميكانيكي على نوع الطاقة المخزنة و طريقة الاستفادة منها. و يتم فيه تحويل الطاقة المخزنة إلى طاقة ميكانيكية.

ج – المولد الكهربائي:

يربط المولد الكهربائي ربطا ميكانيكيا على محور دوران المحرك الأولى بواسطة صندوق التروس للتحكم في سرعة دوران المولد الكهربائي ويتم خلاله تحويل الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربائية.

١ -٢ أنواع محطات التوليد

تختلف أنواع محطات التوليد عادة باختلاف الطاقة الأولية والتي تستخدم لتوليد الطاقة الكهربية.

وتنقسم محطات التوليد إلى عدة أنواع منها: -

- محطات التوليد البخارية
- محطات التوليد الغازية
- محطات الديزل
- محطات التوليد المائية
- محطات التوليد من المد والجزر
- محطات التوليد بالريح
- محطات التوليد بالطاقة الشمسية

- محطات التوليد النووية

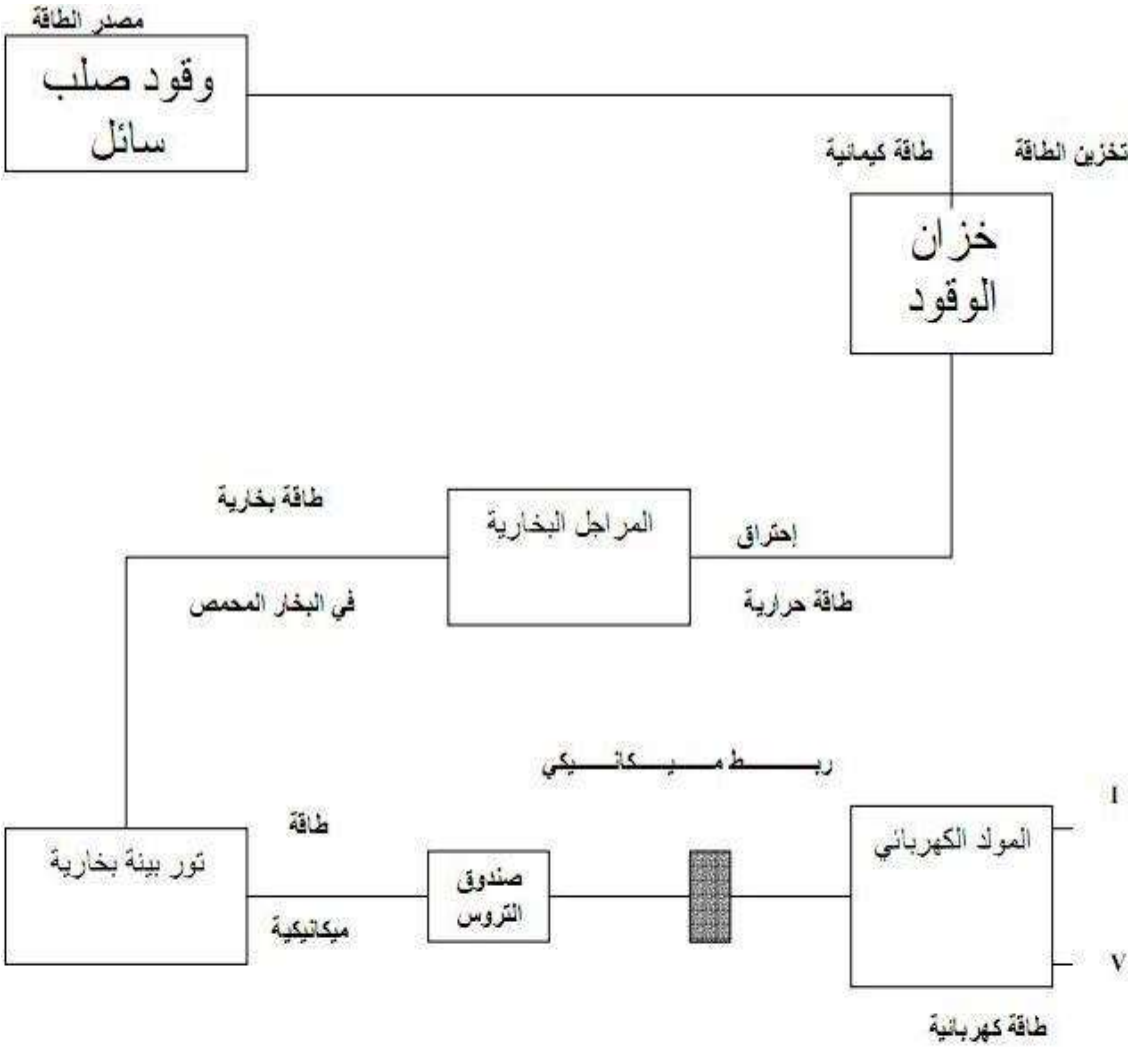
وسوف نكتفي بدراسة الأربعة أنواع الأولى منها.

١ -٢ محطات التوليد البخارية

تنتشر هذه المحطات اعتمادا على القرب من شواطئ البحار أو مجاري الأنهار وكذالك على القرب من مصادر الوقود ومراكز استهلاك الطاقة الكهربية.

وتستعمل هذه المحطات الأنواع المتوفرة من الوقود مثل (الفحم الحجري – الغاز الطبيعي – البترول).

ويتم أولا في تلك المحطات تحويل طاقة الوقود الكيميائية إلى طاقة حرارية في اللهب الناتج من الاحتراق والتي تعمل على رفع درجة حرارة وضغط المياه الموجودة في المراجل لتتحول إلى بخار والذي يتم تحميصه ثم يعمل هذا البخار المحمص على إدارة محور التوربينات وبذالك تتحول الطاقة الحرارية إلى طاقة ميكانيكية على محور التوربينات ويرتبط محور المولد الكهربي ربطاً مباشراً مع محور التوربينات البخارية فيدور المولد بنفس السرعة ليقطع المجال المغناطيسي الناشئ على العضو الدوار من المولد فيظهر على طرفي الجزء الثابت من المولد فرق جهد وبذلك تتحول الطاقة الميكانيكية الموجودة على محور المولد إلى طاقة كهربائية على أطراف التوصيل للمولد. ويبين الشكل (١ -٢) تسلسل تحويل الطاقة في المحطات البخارية.



شكل ١ -٢ المخطط الصندوقي لتحويل الطاقة داخل المحطات البخارية

١ -٣ -١ مميزات المحطات البخارية

١ - تمتاز تلك المحطات بإمكانية الحصول على طاقة كهربية عالية لكميات وقود أقل من تلك المطلوبة للحصول على نفس الطاقة بواسطة المحطات الغازية.

٢ - وتتميز المحطات البخارية برخص الوقود المستخدم مقارنة بالوقود المستخدم في المحطات النووية والغازية.

٣ - التكاليف الأولية أقل.

٤ - تكاليف الصيانة والتوليد ليست مرتفعة.

٥ - المساحة المطلوبة للمحطة أقل من تلك المطلوبة للمحطات المائية.

٦ - الوحدات البخارية تكون عادة ذات قدرات عالية لذلك فهي تستخدم كوحدات لتشغيل الأحمال المستمرة.

١ -٣ -٢ عيوب المحطات البخارية

١ - التلوث البيئي الناشئ من تلك المحطات

٢ - ارتفاع تكاليف التشغيل الدورية.

٣ - انخفاض الكفاءة.

٤ - يجب بناء تلك المحطات بعيداً عن التجمعات السكنية (مسافة اكم على الأقل).

٥ - تحتاج إلى كميات كبيرة من مياه التبريد.

١ -٣ -٣ الأجزاء الرئيسية لمحطات التوليد البخارية

تتكون محطات التوليد البخارية من الأجزاء الرئيسية التالية: -

١ - فرن الاحتراق (المحرقة):

الفرن عبارة عن نظام لحرق الوقود المستخدم داخل وعاء كبير يتصل بخزان الوقود ويختلف هذا الفرن باختلاف نوع الوقود المستخدم وطريقة الاشتعال ويلحق بهذا النظام وسائل إمداد ونقل الوقود والتخلص من المواد الناتجة من الاحتراق.

٢ - المرجل:

عبارة عن وعاء كبير يحتوي على ماء نقي يتم تسخينه ورفع درجة حرارته لتحويله إلى بخار ويتصل المرجل بفرن الاحتراق وخزانات الماء مباشرة ويختلف المرجل باختلاف نوع الوقود وكمية البخار المنتج في وحدة الزمن وقدرة المحطة المطلوبة.

٣ - التوربينة: -

تصنع التوربينة من الصلب وهي عبارة عن جسم محوري على شكل أسطواني مثبت به لوحات مقعرة يصطدم بها البخار فيعمل على دوران المحور بسرعة عالية جدا ٣٠٠٠ دوره في الدقيقة وتختلف التوربينة باختلاف حجم وضغط ودرجة حرارة البخار.

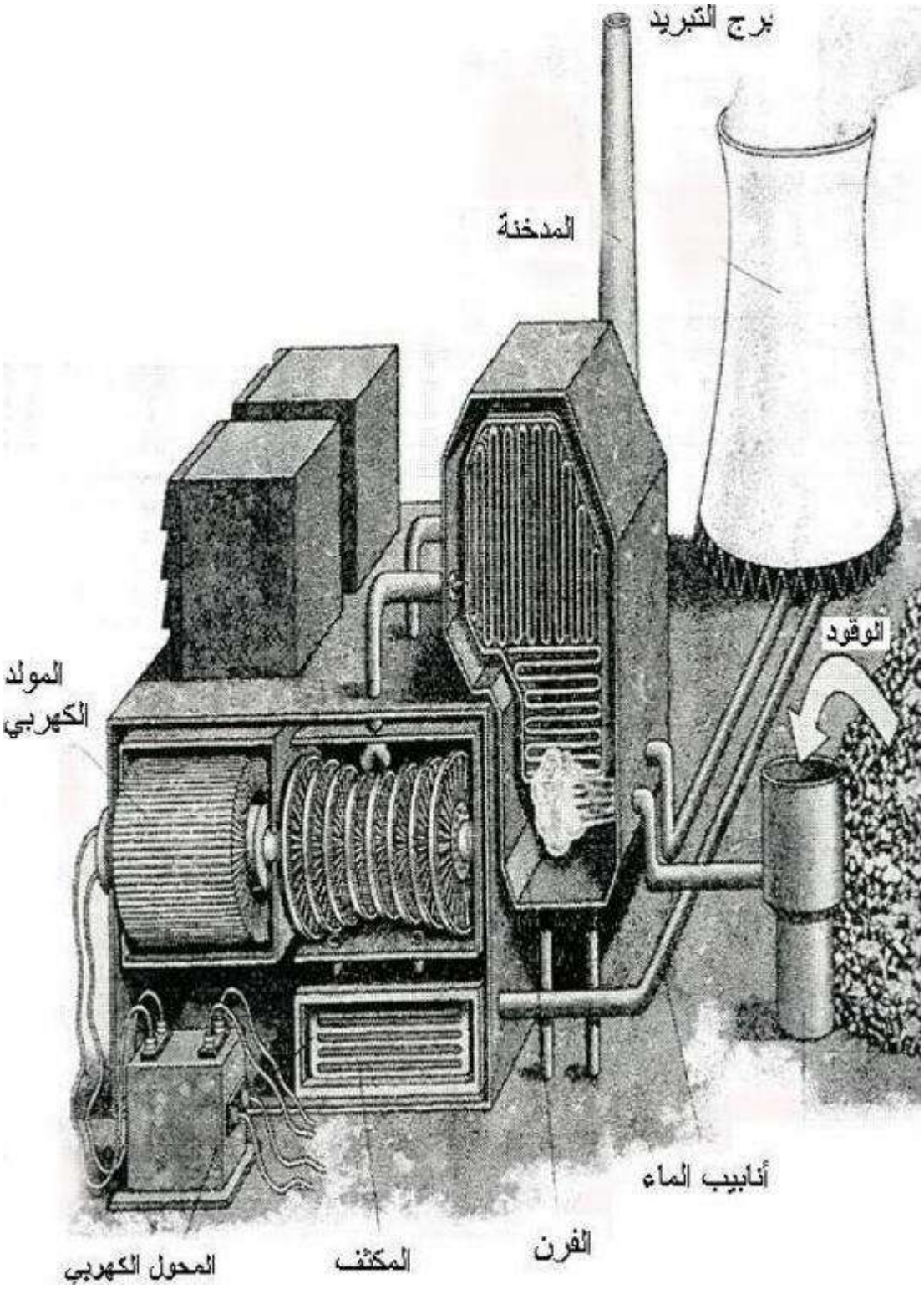
٤ - المكثف:

وهو وعاء كبير يدخل إليه البخار الآتي من التوربينة من أعلى . ويدخل له من أسفل تيار من ماء التبريد داخل أنابيب حلزونية وذالك لتحويل البخار إلى ماء حتى يعود إلى المرجل مرة أخرى بواسطة المضخات.

٥ - المولد:

ويتكون من عضو ثابت وعضو دوار، يحمل أحد العضوين أقطاب مغناطيسية (لتوليد المجال المغناطيسي). بينما يحمل العضو الآخر الملفات التي يتولد على أطرافها القوة الدافعة الكهربائية. والعضو الدوار مربوط مباشرة على محور التوربينة ويلف كل من العضو الثابت والعضو المتحرك بأسلاك نحاسية معزولة.

ويبين الشكل (١ -٣) إحدى المحطات البخارية.

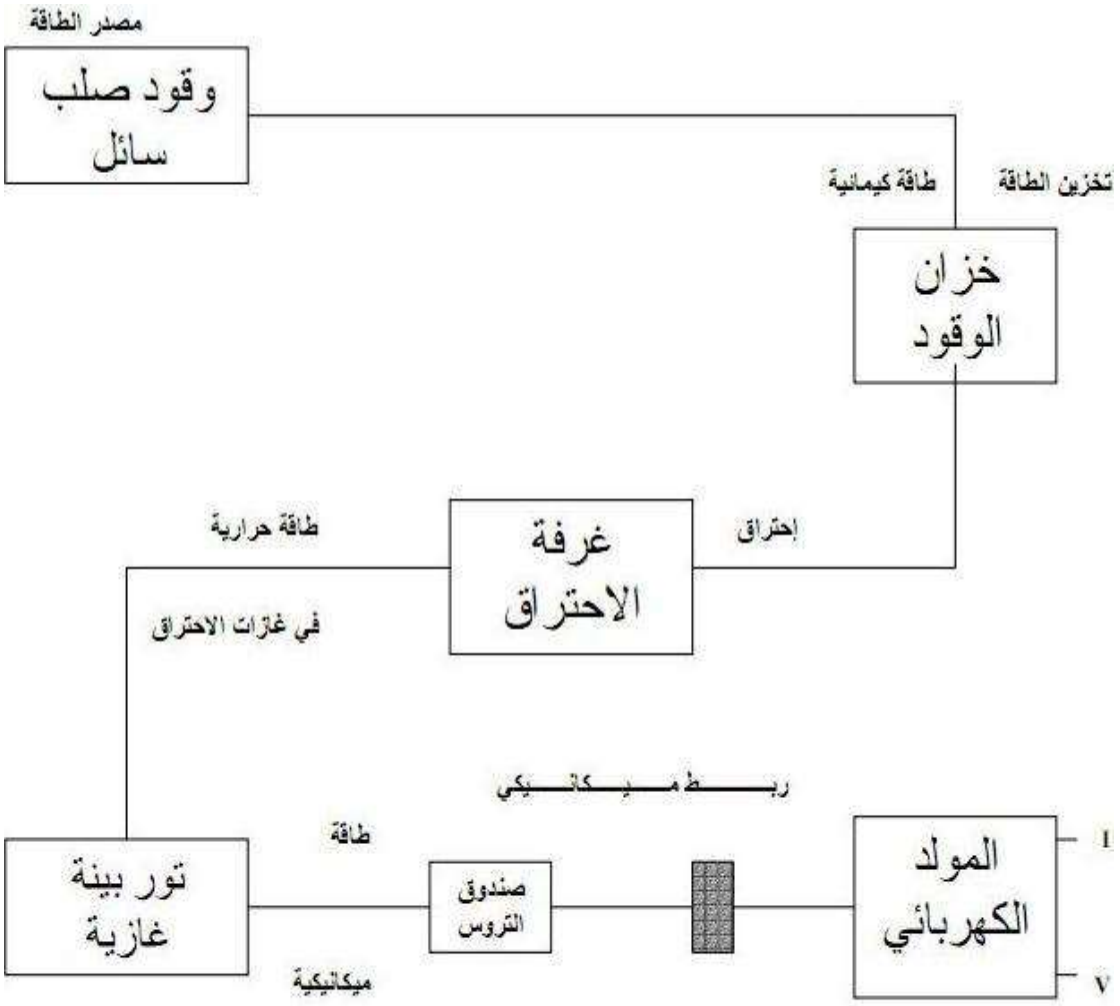

برج التبريد
المدخنة
الوقود
المولد
الكهربي
أنابيب الماء
الفرن
المكثف
المحول الكهربي

١ -٤ محطات التوليد الغازية

تعتبر تلك المحطات حديثة الظهور في تكنولوجيا صناعة محطات التوليد وتعتبر المنطقة العربية من أكثر البلاد استعمال لتلك المحطات.

وفي تلك المحطات يتم تحويل طاقة الوقود الكيميائية إلى طاقة حرارية لتسخين الغازات التي يتم إدخالها إلى توربينات غازية تحول تلك الطاقة إلى طاقة حركية أولا تعمل على إدارة التوربينة الغازية ثم إلى طاقة ميكانيكية تعمل على دوران العضو الدوار في المولد الذي يعمل بدوره مع المجال المغناطيسي على تحويل الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربائية.

ويبين الشكل ١ -٤ المخطط الصندوقي لتحويل الطاقة داخل المحطات الغازية.



شكل ١ -٤ المخطط الصندوقي لتحويل الطاقة داخل المحطات الغازية

١ -٤ -١ مميزات المحطات الغازية

١ - تكاليف الإنشاء لتلك المحطات أقل من المحطات الأخرى ٠

٢ - يمكن تشغيلها أو إيقافها في زمن أقل من الزمن المطلوب لتشغيل أو إيقاف المحطات الأخرى.

٣ - تحتاج لعمالة ذات مؤهل متوسطة وعدد قليل في التشغيل.

٤ - يمكن تشغيلها لتغذية أوقات الذروة أو التشغيل باستمرار.

٥ - لا تحتاج إلى كميات من المياه لذلك فهي تكثر في المناطق الصحراوية.

١ -٤ -٢ عيوب المحطات الغازية

١ - تكاليف التشغيل الدورية عالية لاحتياجها لكميات كبيرة من الوقود٠

٢ - تعطى قدرات ليست عالية٠

٣ - الكفاءة منخفضة٠

٤ - إهدار كمية كبيرة من الطاقة الحرارية مع غازات العادم وقد تم أخيرا استغلال هذه الطاقة في إنتاج بخار يستخدم في تشغيل وحدات بخارية ملحقة بالمحطات الغازية ويسمى هذا النظام بنظام الدورة المركبة.

١ -٤ - ٣ الأجزاء الرئيسية للمحطات الغازية

١ - ضاغط الهواء:

يقوم هذا الضاغط بأخذ كميات الهواء المطلوبة من الوسط المحيط بالمحطة ثم رفع ضغط هذا الهواء إلى عشرات من الضغط الجوي ثم دفعه إلى غرفة الاحتراق.

٢ - غرفة الاحتراق:

تعتبر هذه الغرفة المكان الذي يختلط فيه الوقود مع الهواء المضغوط ويحترقان معاً بواسطة طرق الإشعال وينتج من هذا الاحتراق غازات مختلفة لها درجات حرارة عالية وضغط مرتفع.

٣ - التوربينة:

٤ - المولد الكهربائي:

باستخدام صندوق التروس يتصل المولد مع التوربينة وأحياناً تقسم التوربينة إلى توربينتين واحدة تدور بسرعة عالية لاتصالها بغازات الاحتراق مباشرة والثانية تسمى تور بينة القدرة متصلة بمحور المولد ٠

٥ - الأجهزة المساعدة:

تستخدم بعض الأجهزة المساعدة في المحطات الغازية مثل:

١ - مصافي الهواء قبل دخوله للمكبس.

١ - مساعد التشغيل الأولى وهو محرك كهربائي.

٢ - وسائل الإشعال للوقود.

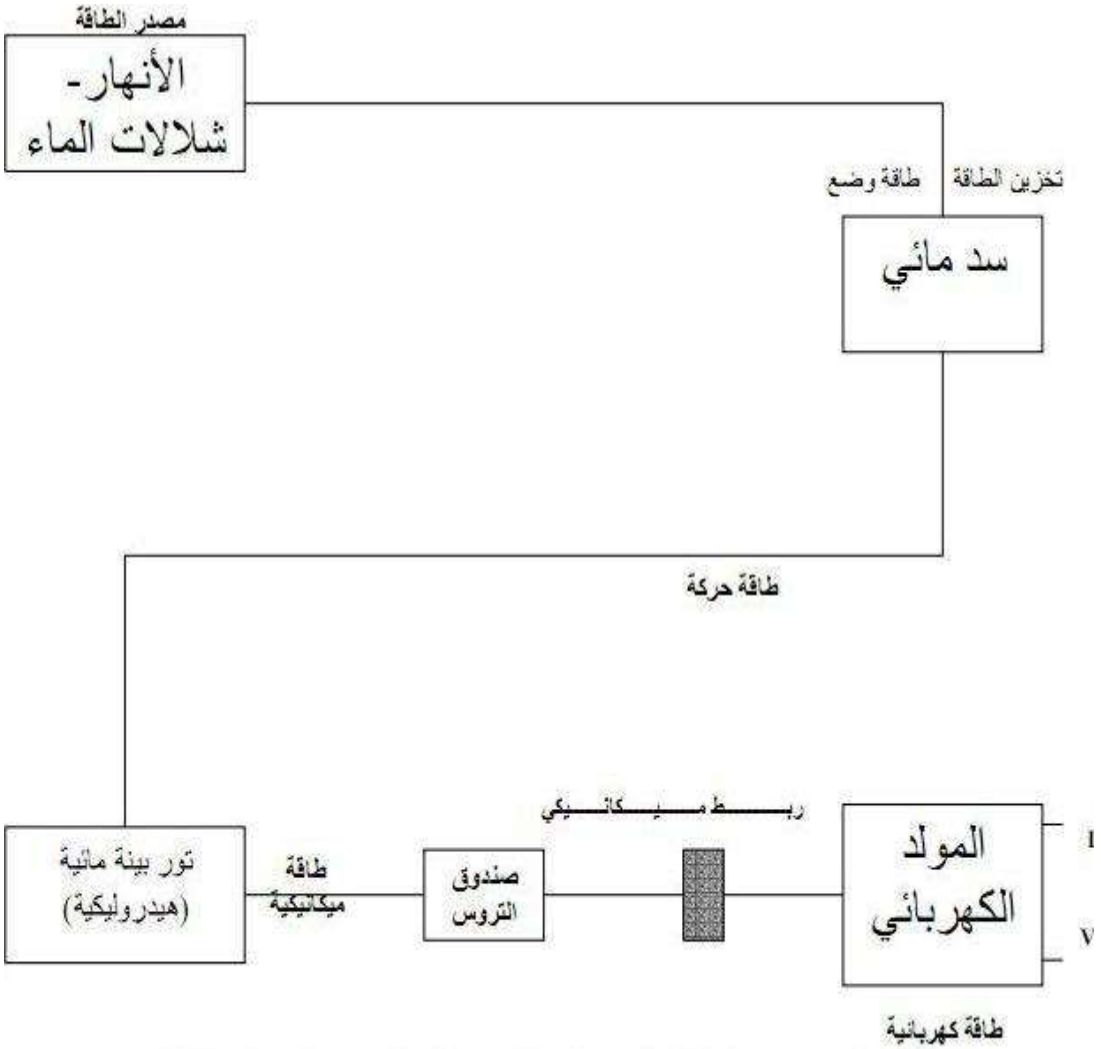
٤ - آلات التبريد وماء التبريد.

٥ - أجهزة القياس للجهد والتيار والحرارة.

١ -٥ محطات التوليد المائية

تستخدم تلك المحطات أرخص وقود وهو الماء مقارنة بالديزل أو الوقود النووي وتتواجد هذه المحطات في الأماكن المرتفعة التي تهطل عليها الأمطار أو تجري فيها الأنهار أو من مساقط المياه. وتعتمد كمية الطاقة المولدة على كمية ومنسوب المنصرف من المياه وهي تختلف من وقت إلى آخر.

وعندما يكون مجرى النهر ذا انحدار بسيط فيمكن إقامة سدود لتخزين المياه كما في محطة السد العالي بمصر وعندما يكون مجرى النهر ذا انحدار كبير فيعمل تحويره للمجرى لعمل شلال صناعي. يتم في هذه المحطات تحويل طاقة الوضع الكامنة في الماء الموجود على ارتفاع(السدود – شلالات) إلى طاقة حركة في عملية سقوط الماء وإذا سلطت هذه المياه وهذه الطاقة على التوربينة المائية فإنها تدور بسرعة كبيرة ويتكون على محور التوربينة طاقة ميكانيكية ونظراً لأن العضو الدوار بالمولد مربوط على محور التوربينة وفي ظل وجود مجال مغناطيسي من العضو الثابت فتتحول الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربية ويتضح ذلك من المخطط الصندوقي لسريان القدرة الموضح في الشكل ١ -٥.



شكل ١ -٥ المخطط الصندوقي لتحويل الطاقة داخل المحطات المائية

٥ -١ -٢ مميزات محطات التوليد المائية

١ - تحتاج للماء كوقود وهو أرخص وأسهل وقود متواجد.

٢ - لا ينتج عنها تلوث للهواء من الأدخنة ولا تلوث للبيئة (طاقة نقية).

٣ - تكاليف التشغيل اليومية رخيصة.

٤ - تحتاج لزمن أقل في بداية التشغيل.

٥ -١ -٣ عيوب محطات التوليد المائية

١ - اختلاف كمية الطاقة الكهربية المتولدة من وقت إلى آخر.

٢ - ارتفاع التكاليف الأولية لبناء المحطة.

٣ - صعوبة إجراء الصيانة.

٥ -١ - ٣ الأجزاء الرئيسية لمحطات التوليد المائية

١ - الخزان والسدود:

وهو مكان كبير لحجز الماء من أجل زيادة طاقة الوضع لكمية الماء المحتجزة وزيادة كمية الطاقة الكهربية المتولدة. ويبني السد أو الخزان عموما للاستفادة منه في أغرض أخرى مثل الري وتنظيم صرف المياه في الأنهار والحماية من الفيضانات.

٢ - مجرى و مساقط الماء:

عبارة عن أنبوبة أو عدة أنابيب كبيرة تكون في أعلى الشلال أو في أسفل السد وتأخذ الماء إلى مدخل التوربينة ويسير الماء خلال تلك الأنابيب بسرعة كبيرة ويتحكم في سرعة الماء صمام في أول الأنبوب وصمام آخر في آخره.

٣ - التوربينة والمولد الكهربي:

تصنع التوربينة والمولد ليكونان على نفس المحور الرأسي ويركب المولد أعلى التوربينة وعندما يندفع الماء بعد فتح الصمامات فإن التوربينة تدور وكذلك العضو الدوار للمولد وفي ظل وجود المجال لمغناطيسي على ملفات العضو الدوار فتتولد الطاقة الكهربائية على ملفات العضو الثابت للمولد.

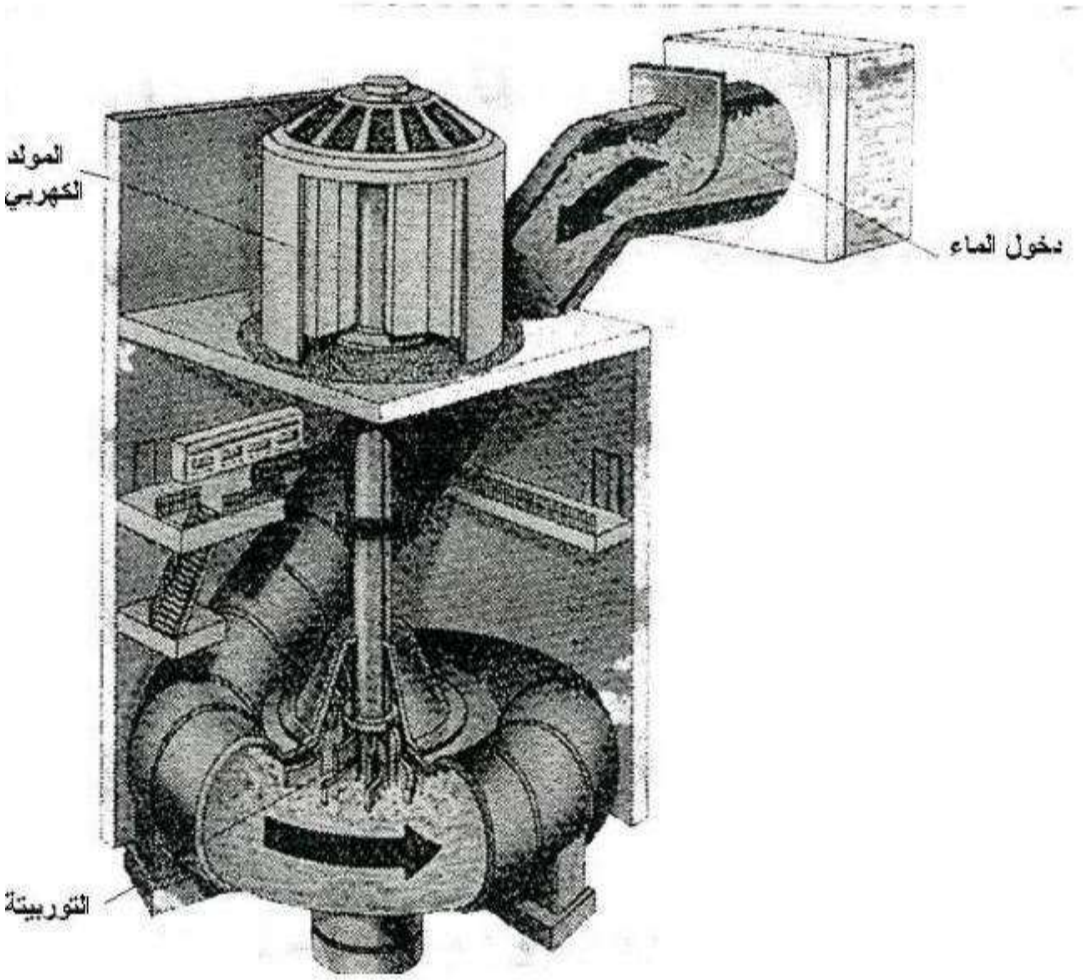
٤ - أنبوبة السحب:

وتعمل هذه الأنبوب على سحب الماء للخارج بعد إدارة التوربينة حتى لا يعوق عملية الدوران للتوربينة ويكون السحب بسرعات مناسبة.

٥ - الأجهزة والآلات المساعدة

توضع بعض الأجهزة والمعدات مثل المضخات والصمامات ومعدات تنظيم سرعة الدوران وأجهزة القياس والتحكم من أجل ضمان عمل المحطة.

ويوضح الشكل ١ -٦ محطة توليد مائية.



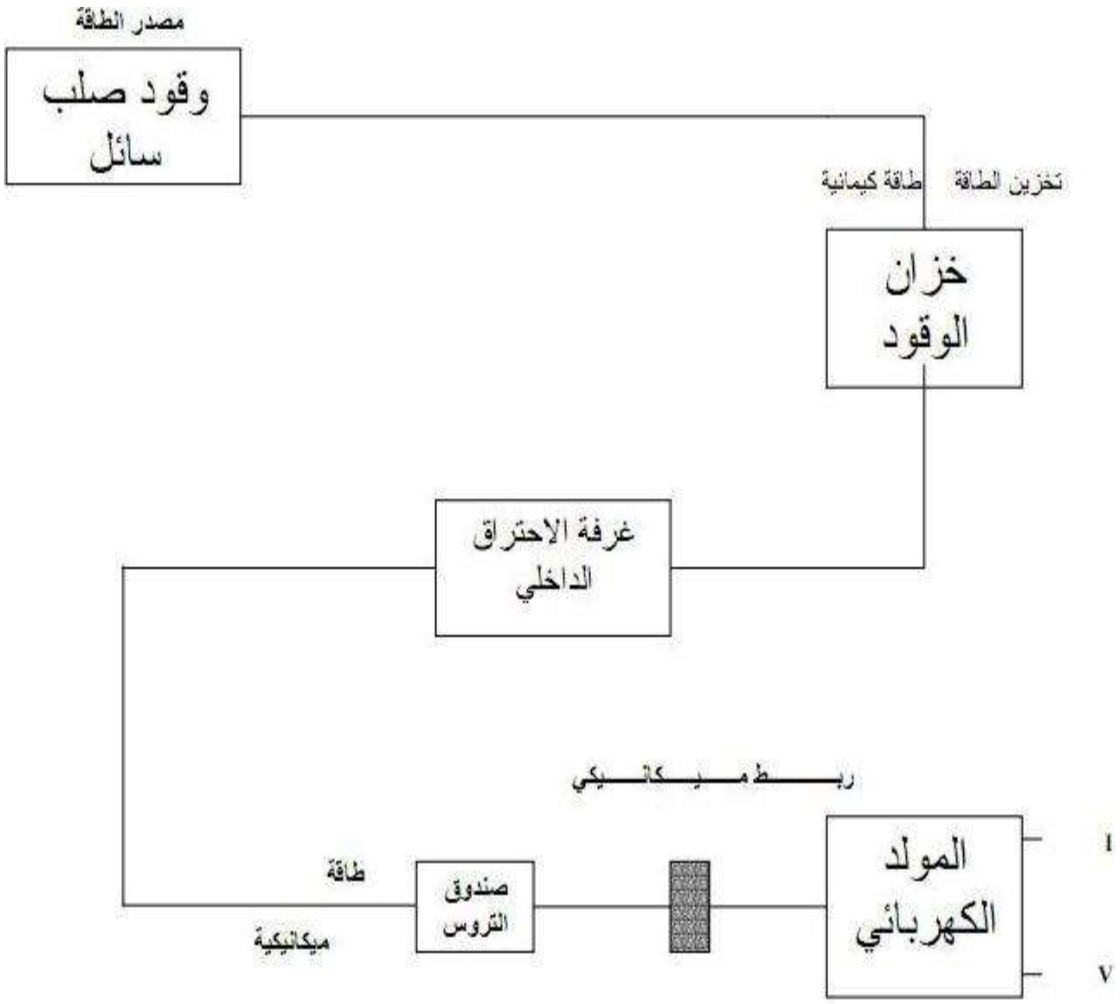
شكل ١ -٦ محطة توليد مائية (هيدروليكية)

١ -٦ محطات توليد الديزل

مولدات الديزل والطاقة المتجددة مثل الطاقة الشمسية وطاقة الرياح وطاقة الأمواج هي مولدات للطاقة الكهربية ذات قدرات صغيرة تستخدم لتغذية بعض الأماكن المعزولة البعيدة عن الشبكات الكهربية. و تستخدم تلك المحطات لتوليد الطاقة الكهربائية في المملكة ودول الخليج وخاصة في المدن الصغيرة والقرى وتمتاز تلك الأنواع من المحطات بسرعة التشغيل وسرعة الإيقاف ولكنها تحتاج إلى كميات هائلة من الوقود ولذلك فإن تكلفة الطاقة الكهربائية المنتجة من تلك المحطات عالية نسبياً ولهذا فإن تلك المحطات لا يوجد منها محطات ذات قدرات كبيرة، وتمتاز هذه المحطات بسهولة التركيب وتستخدم في حالات الطوارئ وفترات الذروة وتعمل مجموعة كبيرة من تلك المولدات على التوازي لسد الاحتياج المطلوب من الطاقة الكهربائية.

يتم إمداد وقود الديزل من خزان التشغيل اليومي إلى مضخة الحقن عبر مواسير عديدة وفلاتر (المرشحات). وتقوم تلك المضخة بتوزيع ذلك الوقود بانتظام على أسطوانات الاحتراق بالترتيب الصحيح وبكميات متساوية. ثم يتم احتراق ذلك الوقود في أعلى أسطوانة الاحتراق ولذلك يندفع المكبس لأسفل. تتحول حركة المكبس داخل الأسطوانة إلى حركة دورانية عبر ذراع التوصيل والذي يتصل ميكانيكيا بالمولد الكهربي ومن ثم يتم تحويل تلك الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربية.

والشكل ١ -٧ يبين المخطط الصندوقي لتحويل الطاقة داخل محطات الديزل.



شكل ١ -٧ المخطط الصندوقي لتحويل الطاقة داخل محطات الديزل

١ -٦ -١ مميزات محطات الديزل

١. صغر المساحة المطلوبة لتشييد المحطة.
٢. قلة الزمن المطلوب لتشغيل وإيقاف تلك المحطات.
٣. سهولة التركيب، وسرعة وسهولة الصيانة.

١ -٦ -٢ عيوب محطات الديزل

١. انخفاض الكفاءة.
٢. تحتاج إلى كميات هائلة من الوقود.
٣. التلوث البيئي الناشئ من تلك المحطات.
٤. انخفاض القدرة المتولدة من المحطة.

١ -٦ -٣ الأجزاء الرئيسية لمحطات الديزل

١ -نظام إمداد الوقود:

يتكون هذا النظام من:

أ – خزان الوقود الرئيسي: ويعبأ بالديزل ويجب أن يكون له سعة مخزنية كبيرة تكفي لتشغيل المحطة مدة أسابيع.

ب - خزان الوقود اليومي: يتم تعبئة ذلك الخزان بكميات الوقود اليومية من الخزان الرئيسي من أجل الاستعمال اليومي. ويوصل الخزان بمضخة حقن الوقود داخل المحطة عن طريق عدة مواسير مركب على بداية كل منها مرشح.

ج - المرشح: يتم استعمال مجموعة من مرشحات المواد الصلبة مثبتة على مواسير ضخ الوقود وذلك لتنقية الوقود من الشوائب والأشياء الغير مطلوبة. ويتم عمل صيانة دورية على تلك المرشحات من أجل تخليصها من الشوائب التي يتم حجزها.

٢ - شفاط الهواء:

يقوم شفاط الهواء بدفع كميات الهواء المطلوبة لماكينة الاحتراق ويستخدم فلتر (مرشح هوائي) مثبت على شفاط الهواء وذلك لإزالة الأتربة من الهواء.

٣ - نظام التبريد:

يستخدم نظام تبريد مائي لحفظ درجة الحرارة للمحطة داخل حدود آمنة ويجب أن يتوافر مصدر مائي ومضخة وبرج تبريد ليقوم بتبريد الماء الساخن وإعادته.

٤ - ماكينة الديزل:

تستخدم هذه الماكينة لإدارة العضو الدوار للمولد الكهربائي وذلك بتحويل حركة المكبس داخل أسطوانة الاحتراق إلى حركة دورانية (تحويل الحركة الرأسية للمكبس) ويجب أن يتناسب معدل هذه الماكينة مع معدل المولد (سرعة الدوران).

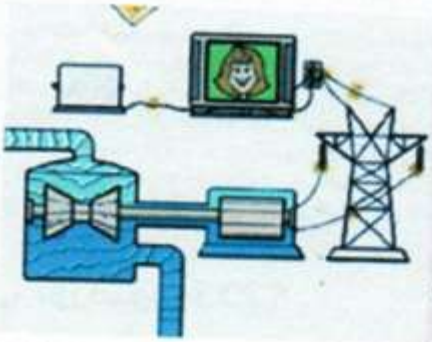
٥ - المولد الكهربي:

يستخدم المولد الكهربي لتحويل الطاقة الميكانيكية المتولدة من ماكينة الديزل والمتصلة ميكانيكيا بالعضو الدوار للمولد إلى طاقة كهربائية وذلك في وجود المجال المغناطيسي المتولد من العضو الثابت للمولد الكهربي.

المراجع:

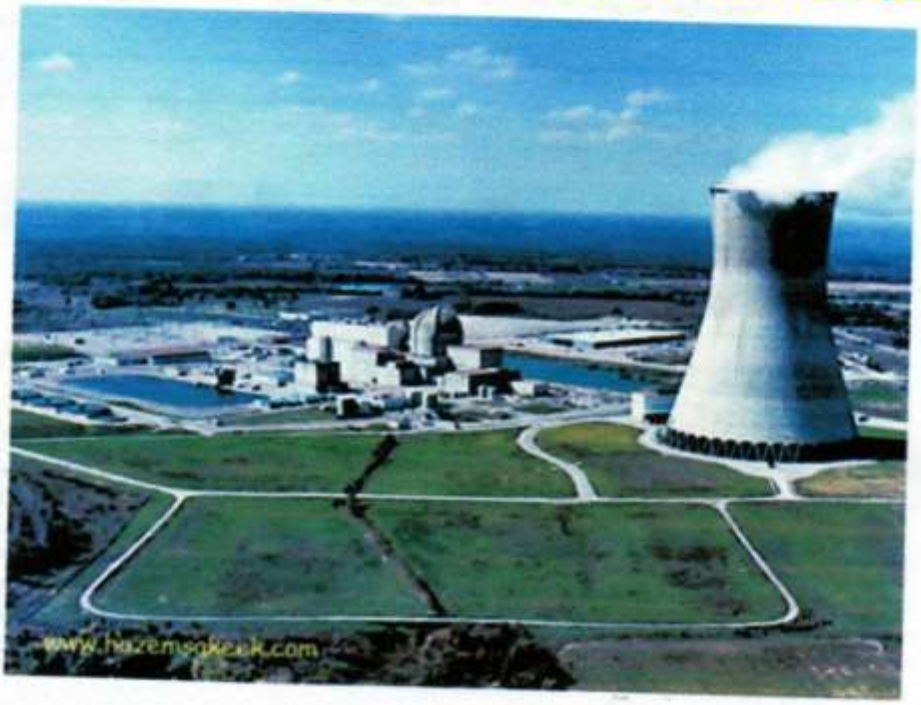
"هندسة محطات توليد الطاقة واقتصادياتها"، تاج الدين ضياء، جامعة حلب، دار الفكر للطباعة، بيروت، لبنان.

محطات التوليد النوويه



تحدثنا في مواضيع سابقه عن فكرة عمل المولد الكهربي لتوليد الطاقة الكهربية من خلال فهم العلاقه بين المجال المغناطيسي والتيار الكهربي المار في سلك، ووجدنا ان التيار الكهربي يتولد عند دوران ملف من سلك معدني في مجال مغناطيسي قوي ونسمي الملفات التي تدور في المجال المغناطيسي لتوليد التيار الكهربي بالتوربينات، وتكمن المشكلة في ايجاد الطاقة اللازمة لتدوير التوربينات بصورة مستمرة فمثلا يمكن استخدام النفط او الفحم للحصول عى الطاقة الحرارية الكافية لتحويل الماء إلى بخار تحت ضغط عالى عندما يمر هذا البخار على التوربينات يجعلها تدور بسرعة تدفق بخار الماء، كما يمكن استخدام مصادر طبيعية والتي تعرف باسم الطاقة المتجددة مثل استخدام المساقط المائية والشلالات والمراوح الهوائية للحصول على الطاقة اللازمة لتدوير التوربينات. ومن ضمن الوسائل التي اخترعها الانسان لتوفير الطاقة لتدوير التوربينات استخدام الطاقة النووية، ويصل نسبة محطات توليد الطاقة الكهربية التي تعمل بالطاقة النووية في العالم حوالي 17%، ففي فرنسا مثلا تعتمد بنسبة 75% على المحطات النووية لتوليد الطاقة الكهربية. بينما في الولايات المتحدة الامريكية فإنها تعتمد على المحطات النووية بنسبة لا تزيد عن 15% ويصل عدد المحطات النووية في العالم حسب احصائيات الوكالة الدولية للطاقة الذرية إلى 400 محطة نووية منها 100 في الولايات المتحدة.

تستخدم الطاقة النووية في توليد الحرارة اللازمة من خلال التفاعلات الانشطارية لنواة اليورانيوم المشع وتستخدم هذه الحرارة في تحويل الماء إلى بخار يوجه لتحريك التوربينات التي تحرك ملفات كبيرة في مجال مغناطيسي فتعمل على توليد الطاقة الكهربية.



قبل الحديث عن المحطات النووية لتوليد الطاقة الكهربية يجب ان نعرف بعض المعلومات عن عنصر اليورانيوم المستخدم في بناء المحطة النووية حيث ان عنصر اليورانيوم وجد في الطبيعة وتكون مع تكون الأرض منذ نشاتها، واليورانيوم عنصر أساسي في تكوين النجوم، وعند انفجار النجوم القديمة فإن غبارها المكون من هذا العنصر قد دخل في تركيب الارض عند نشأتها الاولى. ولليورانيوم عدة نظائر منها يورانيوم-238 (U-238) والذي له نشاط اشعاعي كبير يقدر بعمر النصف والذي يصل إلى 4.5 بليون سنة. وعمر النصف كما عرفناه في المقال السابق بعنوان كيف تصدر الاشعاعات النووية هو العمر اللازم ليتحول نصف كمية العنصر المشع إلى عنصر غير مشع. وهذا ما يفسر استمرار وجود اليورانيوم المشع على سطح الارض بالرغم من انه وصل للارض منذ ولادتها. كما يوجد يورانيوم-235 (U-235) ويورانيوم-234 (U-234) ولكن نسبة تواجد اليورانيوم-238 تصل إلى 99% في الطبيعة والانواع الاخرى تعد نادرة ومصدرها هو تحول اليورانيوم-238 إلى يورانيوم-235 أو يورانيوم-234 من خلال اشعاعات جسيمات ألفا وبيتا وتبقى نواة اليورانيوم في حالة نشاط اشعاعي وتتحول ضمن سلسلة من التحولات إلى عناصر اخرى إلى ان تصل في نهاية السلسلة إلى عنصر الرصاص الذي ليس له اي نشاط اشعاعي.

ماذا نعرف عن يورانيوم-235؟

يورانيوم-235 يتمتع بخاصية هامة جداً جعلت منه عنصراً ذو اهمية بالغة في المفاعل النووية وفي القنبلة النووية ايضاً. فيورانيوم-235 يضمحل بنفس الطريقة التي يضمحل فيها يورانيوم-238 الا انه ينشطر تلقائياً مع الزمن كما يمكن ان يتم التحكم في انشطاره ليصبح انشطار استحثاثي من خلال قابليته لامتصاص النيوترونات الحرة فإذا ما تم تعريض نواة اليورانيوم-235 بنيوترونات حرة فإنها تمتصها وتحدث انشطار لنواته مباشرة.

ماذا نعرف على الانشطار النووي؟

الشكل التالي يوضح فكرة الانشطار النووي لنواة ذرة يورانيوم-235 حيث ان النواة تمتص النيوترون الساقط على النواة، وبمجرد امتصاص النيوترون تنقسم ذرة اليورانيوم-235 إلى ذرتين وينطلق نيوترونين او ثلاث نيوترونات جديدة وتنطلق طاقة من الذرتين الناتجتين عن الانشطار في صورة اشعة حاما وتعمل النيوترونات المتحررة من الانشطار على الاصطدام بأنوية يورانيوم-235 أخرى وتتكرر هذه العملية في انشطار نووي متسلسل.

يصطدم نيوترون حر في نواة ذرة يورانيوم-235	تمتص نواة اليورانيوم-235 النيوترون وتنشطر مباشرة إلى نواتين	تنطلق ثلاث نيوترونات نتيجة للانشطار وتتحرر طاقة حرارية وتنطلق اشعة حاما

تحدث عملية امتصاص النوترونات والانشطار النووية لليورانيوم-235 بسرعة كبيرة جداً حيث لا تستغرق هذه العملية اكثر من بيكوثانية أي ($x101^{-12}$) ثانية. وخلال فترة زمنية صغيرة جداً نحصل على طاقة هائلة تنطلق في صورة حرارة واشعاعات حاما ولعلك تتساءل عزيزي القارئ من اين اتت هذه الطاقة الهائلة؟ ان الاجابة عن هذا يجعلنا نذكر قانون تكافؤ الطاقة والكتلة لاينشتين وهو ان الطاقة تساوي حاصل ضرب الكتلة في مربع سرعة الضوء وبالتالي اي كتلة صغيرة نضربها في مربع سرعة الضوء يؤدي الى طاقة هائلة ويكتب قانون تكافؤ الطاقة والكتلة

$$E = mc^2$$

والكتلة m التي تتحول الى طاقة في الانشطار النووي لليورانيوم-235 تأتي من ان كتلة النواة الام اكبر

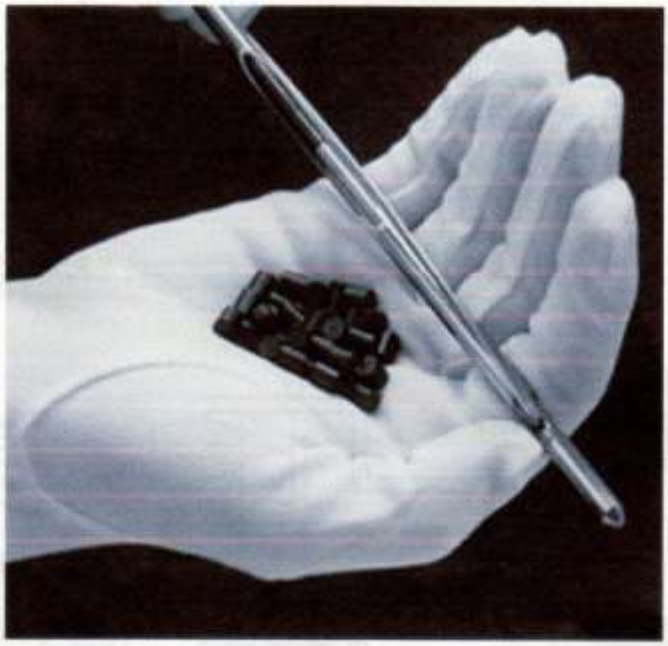
من كتلة نواة الذرتين المنشطرتين وبالتالي فرق الكتلة هذا هو مصدر الطاقة الهائلة التي تتولد عن الانشطار النووي لليورانيوم-235 والتي تقدر بحوالي 200 مليون الكترون فولت من طاقة تتحرر من كل ذرة يورانيوم-235 وتخيل كم عدد الذرات التي تكون في قطعة من اليورانيوم بحكم كرة تنس ولتصور كم الطاقة الهائل المتحرر من انشطارات في ذرات اليورانيوم في هذا الحجم الصغير فغنه يعادل انفجار 20 مليون لتر من الوقود.

واليورانيوم المستخدم في المفاعل النووي المستخدم للحصول على الطاقة الكهربية مطعم بنسبة لا تزيد عن 3% بذرات اليورانيوم-235 وبالمناسبة اليورانيوم المستخدم في القنبلة النووية يحتوي على نسبة لا تقل عن 90% من اليورانيوم-235.

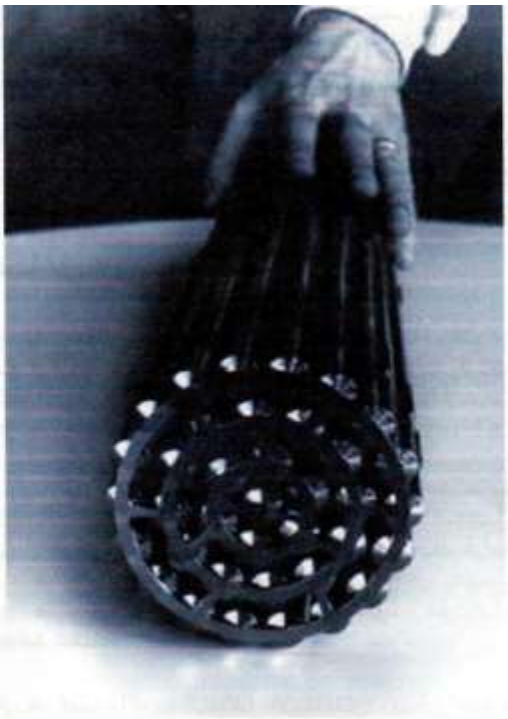
داخل المفاعل النووي

بعد ان استعرضنا الاساسيات اللازمة للحصول على الطاقة وعرفنا الخصائص التي ميزت يورانيوم-235 لاستخدامه في المفاعل النووي فإن نعلم الان ان الوقود النووي هو اليورانيوم-235 والذي يتم تحضيره في صورة أقراص دائرية في حدود 3 سم ويتم ترتيب هذه الاقراص فوق بعضها البعض لتشكل عصا طويلة من اقراص اليورانيوم ويتم تجميع هذه العصي في شكل حزمة وتغمر في الماء داخل وعاء تحت ضغط اكبر من الضغط الجوي ويعمل الماء كنظام تبريد لليورانيوم. وللسيطرة على التفاعل الانشطاري الذي يحدث بدون توقف يتم وضع مادة تمتص النيوترونات تسمى مادة التحكم وتكون ايضا في شكل عصا يتم تحريكها بالنسبة لحزم اليورانيوم فيمكن زيادة التفاعل الانشطاري عن طريق سحبها للخارج او تقليل التفاعلعلى الانشطاري عن طريق ادخال مادة التحكم اكثر بين حزم اليورانيوم فتعمل على امتصاص قدر اكبر من النيوترونات الحرة التي تسبب التفاعل الانشطاري في اليورانيوم-235. وبدون مادة التحكم ترتفع درجة الحرارة بالرغم من وجود الماء وتنصهر كل اليورانيوم ويحدث انفجار لا يحمد عقباه.

يعتبر وقود اليورانيوم-235 مصدرا للطاقة الحرارية، فعندما تبدأ التفاعل الانشطاري تتحرر طاقة حرارية تعمل على تسخين الماء المستخدم في التبريد مما ترتفع درجة حرارته بسرعة ويتبخر. ويتم توجيه بخار الماء إلى التوربينات البخارية التي تدور بفعل طاقة البخار وتتولد الطاقة الكهربية وتستمر عملية التفاعل الانشطاري لتولد الحرارة اللازمة لتحويل الماء الى بخار وتستمر عملية الحصول على تيار كهربي بدون انقطاع.



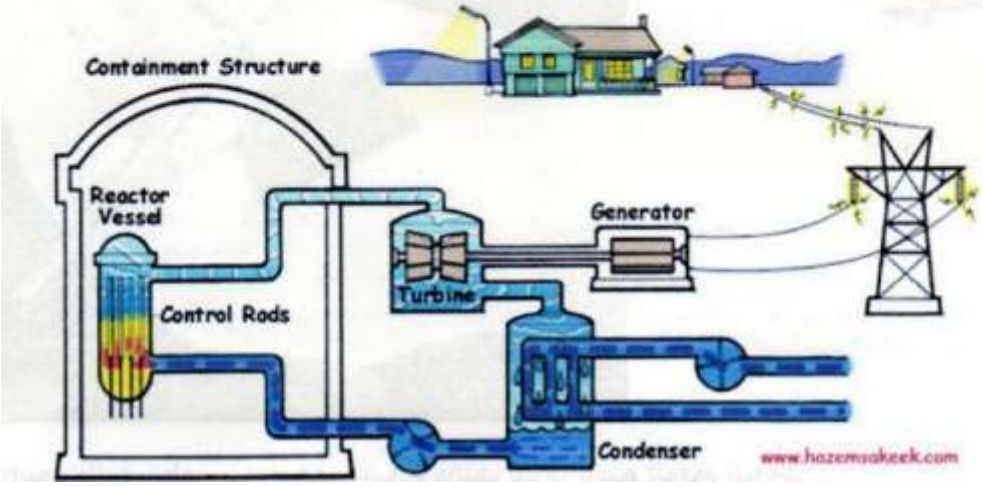
صورة لاقراص اليورانيوم والتي تظهر سوداء في الصورة والتي تعرف باسم الوقود النووي

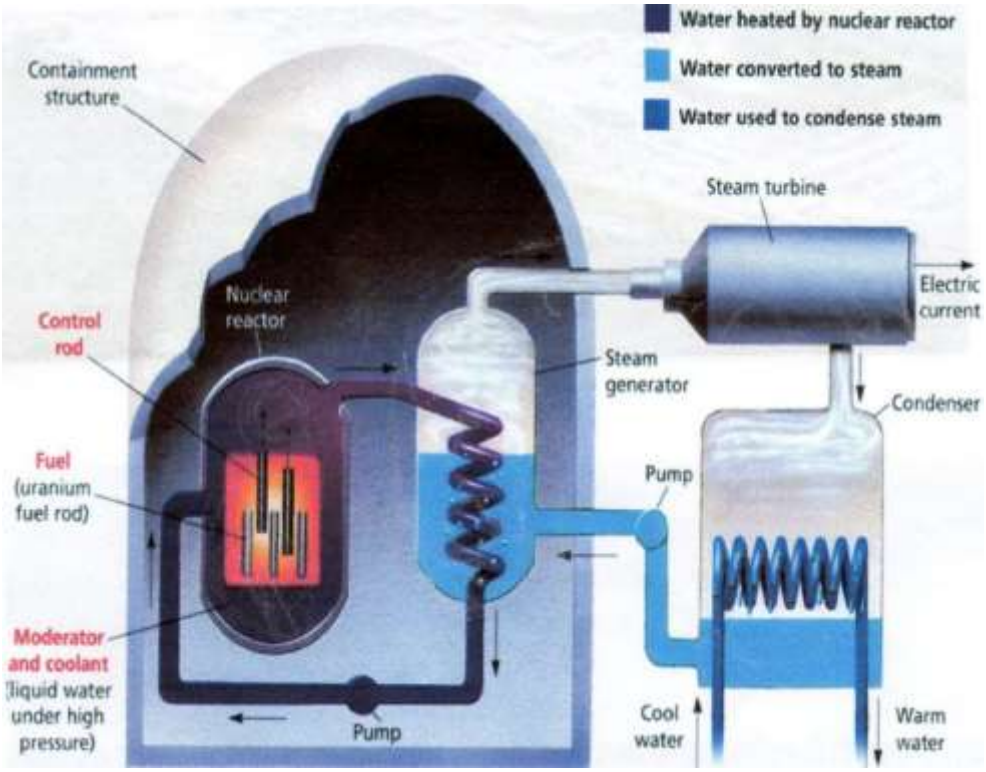


حزمة من اليورانيوم المرصوص وبداخله فتحات لادخال مادة التحكم في التفاعلات الانشطارية

تركيب المفاعل النووي

الفكرة الفيزيائية لعمل المفاعل النووي هي واحدة في كل المفاعلات ولكن هناك نظامين مختلفين للتبريد حيث في النظام الاول يستخدم الماء المضغوط الذي يمكن ان ترتفع درجة حرارته إلى مئات الدرجات المئوية قبل ان يتحول الى بخار ويستخدم الماء المضغوطكمصدر للحرارة لتحويل الماء إلى بخار في دائرة ثانوية أخرى منفصلة عن دائرة التبريد بينما في الانواع الاخرى من المفاعلات يتم ماء التبريد الذي ارتفعت درجة حرارته وتحول إلى بخار مباشرة لتحريك التوربينات وهنا تكون دائرة رئيسية واحدة كما هو موضح في المخططات التفصيلة التالية:




Water heated by nuclear reactor
Water converted to steam
Water used to condense steam
Containment structure
Steam turbine
Electric current
Nuclear reactor
Control rod
Steam generator
Condenser
Fuel (uranium fuel rod)
Pump
Moderator and coolant (liquid water under high pressure)
Pump
Cool water
Warm water

الاختبار الذاتي :ــ املأ الفراغات التاليه بما يناسبها

1. الوقود المستعمل في المحطات البخاريه هو ــــــــــــــــــــــــ
2. في المحطات البخاريه يستخدم الفرن لـــــــ ــــــــــــــــــــــــ والمرجل ل ــــــــــــــــــــــــ
3. في محطات التوليد المائيه يكون التوربين والمولد مركبين على محور
4. تستخدم في المحطات الغازيه ضاغطة الهواء لغرض ــــــــــــــــــــــــ
5. في المحطات الغازيه يتصل المولد مع التوربين بواسطة ــــــــــــــــــــــــ لتخفيف السرعه

الاختبار البعدي :ــ

1. عدد مكونات محطة التوليد البخاريه
2. عدد مكونات محطة التوليد المائيه

المصادر المعتمده :ــ طرق توليد الطاقه الكهربائيه احمد الحديدي (الاردن)

مفاتيح اجوبة الاختبارات

الاختبار القبلي	الاختبار الذاتي	الاختبار البعدي
1. صح 2. صح 3. صح 4. خطأ 5. صح	1. الفحم ،البترول ،الغاز الطبيعي 2. لحرق الوقود ، لتبخير الماء 3. راسي 4. ضغط الهواء 5. تروس	1. الفرن،المرجل، التوربين ،المولد ، المكثف ،المدخنه 2. المجرى المائل ،التوربين، المولد، انبوب السحب

مادة الشبكات الكهربائيه

الاسبوع الرابع

الفئه المستهدفه :ـــ الصف الثاني (قوى وشبكات)

الموضوع :ـــ الخطوط الهوائيه لنقل الطاقه الكهربائيه

الافكار المركزيه :ـــمعرفة الوظيفه الاساسيه لخطوط النقل الكهربائي في نقل القدره الكهربائيه من مكان الى آخر

الاختبار القبلي:ـــ ضع عبارة صح او خطأ على العبارات التاليه:ـــ

1. يجب ان يكون الجهد ثابتا" على طول خط النقل
2. اختيار مادة الموصل يخضع لعدة اعتبارات منها المسافه بين البرجين ومقدار الترخيم
3. من العوامل المؤثره على الترخيم وزن السلك وقوة الشد
4. الثلوج والرياح لا تؤثرعلى قيمة الترخيم في الخطوط الهوائيه
5. المسافه الافقيه بين البرجين لا تعتمد على فولتية الخط وحجم الموصلات

٢ -١. مقدمة

الوظيفة الأساسية لخطوط النقل الكهربائي هي نقل القدرة الكهربية من مكان إلى آخر، والمكون الرئيسي لخط النقل هو الموصل حيث إن الموصل هو الناقل الفعلي للطاقة الكهربيّة أما باقي تركيبات خطوط النقل فهي إما لحمل وتثبيت الموصل أو لعزل الموصلات عن الأرض وعن بعضها البعض، وخطوط النقل الكهربائي غالبا ما تكون في صورة خطوط نقل هوائية فوق الرأس، ويطلق عليها الخطوط الهوائية لكون الهواء هو العازل الرئيسي بين الموصلات وبعضها حيث تستخدم الموصلات المكشوفة غير المعزولة محمولة على أبراج لرفع هذه الموصلات عن سطح الأرض بمسافة كافية لتوفير الأمان، وكذلك للحفاظ على المسافة بين الموصلات ثابتة، وتكون الموصلات معزولة عن جسم البرج باستخدام عوازل من البورسلين أما على طول مسار الخط يكون الهواء هو العازل بين الموصلات والأرض وبين الموصلات وبعضها.

وخطوط النقل يجب أن تتوافر لها الخصائص الآتية:

- يجب أن يكون الجهد ثابتا على طول الخط
- يجب أن يكون الفقد في القدرة أقل ما يمكن حتى تكون كفاءة النقل عالية وتكلفة النقل أقل ما يمكن
- يجب أن لا يتسبب الفقد في القدرة في تسخين الموصل لدرجة تسبب تغييرا في الخواص الكهربية والميكانيكية للموصل
- يجب أن يتحمل الموصل الإجهاد الميكانيكي الواقع عليه نتيجة وزنه وكذلك نتيجة لتراكم الثلوج أوتأثير ضغط الرياح عليه

وسوف نتعرف في هذا الباب على أهم الاعتبارات الخاصة بتركيبات خطوط النقل الهوائية حيث سنتعرف على أهم المواد المستعملة في صناعة موصلات خطوط النقل وكذلك على الأشكال المختلفة لأبراج خطوط النقل الكهربائي.

وحيث إن الترخيم في الموصلات من أهم الاعتبارات التي يجب أن تؤخذ في الحسبان عند تصميم وإنشاء خط النقل لما له من علاقة مباشرة بالإجهاد الميكانيكي المؤثر على الموصل ولأن مقدار الترخيم يحدد مقدار الخلوص بين الموصل والأرض والذي يجب أن لا يقل عن حد معين يتم تحديده تبعا لمستوى جهد الخط طبقا لاشتراطات الأمن والسلامة المعمول بها في هذا المجال فإننا سوف ندرس كيفية حساب الترخيم عندما يكون الخط معلقا بين برجين متماثلين على أرض مستوية، وكذلك عندما تكون نقاط تثبيت الموصل ليست على نفس المستوى وذلك عندما يكون الموصل معلقا بين برجين مختلفين أو عندما

يكون مسار الخط مارا بمنطقة جبلية أو هضابية. وسندرس أيضا كيفية حساب تأثير تراكم الثلوج وضغط الرياح على مقدار الترخيم والشد في الموصل.

٢_٢. المواد المستعملة في صناعة الموصلات

الموصل هو الجزء الرئيس في خط النقل حيث إنه هو الناقل الذي يقوم بنقل الطاقة الكهربية من مكان إلى آخر والموصلات المستخدمة في خطوط النقل غالبا ما تكون مكشوفة أي غير مغطاة بمادة عازلة وتكون معلقة بين أعمدة أو أبراج تبعد عن بعضها مسافات قد تصل في بعض الأحيان أكثر من ٢٥٠ مترا وهذه المسافة تعرف بباع البرج أو بحر السلك "span".

وكون الموصل معلقا يجعله دائما واقعا تحت تأثير وزنه الذي يؤثر رأسيا إلى أسفل مسببا إجهاد شد في الموصل، ولذلك فإنه يجب أن تكون المادة التي يصنع منها الموصل ذات متانة ميكانيكية عالية تجعلها تتحمل الإجهاد الواقع عليها، وأن تكون خفيفة الوزن حتى تكون قوة الشد المؤثرة على الموصل قليلة وحتى يمكن زيادة المسافة بين الأبراج لتقليل تكلفة إنشاء الخط، وعموما فإن اختيار مادة الموصل في خطوط النقل يخضع لعدة اعتبارات:

- المسافة بين البرجين و مقدار الترخيم المسموح به
- الشد في الموصلات
- ما إذا كان الجو المحيط يحتوي على مواد أكالة أي تسبب تآكل الموصلات أم لا
- هل سيكون الخط معرضا للاهتزازات أم لا
- الفقد في القدرة على الخط
- الهبوط في الجهد على الخط
- الطقس والعوامل المناخية في موقع الخط
- مساحة مقطع الموصل أو حجم الموصل ويتم تحديد حجم الموصل بناءً على مجموعة من الاعتبارات كالهبوط في الجهد والسعة الحرارية للموصل واعتبارات اقتصادية خاصة بتكلفة الموصل.

والمواد التي يمكن استخدامها في صناعة الموصلات كثيرة كالنحاس والألومونيوم وغيرها، وللحكم على مناسبة أي منها لصناعة موصلات خطوط النقل يلزم المفاضلة بين الخصائص الميكانيكية (كالمتانة الميكانيكية ومعامل المرونة ومعامل التمدد الحراري) والخصائص الكهربية (كالموصلية) لكل من هذه المواد واختيار المادة التي لها أفضل مجموعة من الخواص بأقل تكلفة، وفيما يلي سنتعرف على خصائص المواد المستعملة في صناعة الموصلات.

الموصلية Conductivity

يجب أن تكون المادة التي تصنع منها موصلات خط النقل ذات موصلية عالية وذلك حتى يكون الفقد في القدرة على الخط أقل ما يمكن حتى تكون عملية النقل اقتصادية. حيث إن الفقد في القدرة (P_L) في خط ثلاثي الأوجه يمكن حسابه كالآتي:

$$P_L = 3I^2R \qquad (٢.١)$$

$$R = \frac{L}{\sigma . a} \qquad (٢.٢)$$

حيث R هي مقاومة موصل الوجه الواحد مقدرة بالأوم (Ω)

L طول الموصل مقدرا بالمتر (m)

(a) مساحة مقطع الموصل مقدرة بالمتر المربع (m^2)

(σ) الموصلية للمادة المصنوع منها الموصل مقدرة بالأوم.متر (Ω.m)

وواضح من المعادلة (٢.٢) أنه كلما زادت الموصلية قلت مقاومة الموصل وقل بالتبعية الفقد في القدرة في الخط، وإذا زادت الموصلية يمكن أيضا استخدام موصلات ذات مساحة مقطع أقل مما يؤدي إلى توفير في مادة الموصل وتوفير في تكلفة الموصل المستخدم.

المتانة الميكانيكية Mechanical Strength

تقاس المتانة الميكانيكية بأقصى إجهاد تتحمله المادة، وعادة ما تستخدم نسبة المتانة إلى الوزن للمفاضلة بين المواد المختلفة حيث إنه كلما كانت نسبة المتانة إلى الوزن أكبر أمكن زيادة خطوة البرج وتقليل تكلفة إنشاء الخط.

معامل المرونة Modulus of Elasticity

يعرف معامل المرونة (معامل يونج) لأي مادة بأنه نسبة الإجهاد الواقع على المادة إلى الانفعال الحادث لها. (الانفعال هو مقدار التغير الحادث في أبعاد المادة منسوبا إلى أبعادها الأصلية)، وكلما كان معامل المرونة لمادة الموصل أكبر كلما كان الموصل قادرا على الحفاظ على أبعاده دون تغيير، لأن استطالة الموصل تحت تأثير إجهاد الشد الواقع عليه تؤدي إلى نقص مساحة المقطع مما يؤدي إلى ضعف الموصل وانقطاعه.

معامل التمدد الحراري Heat expansion coefficient

حيث إن خطوط النقل الهوائية تكون معرضة للتغيرات المناجية نظرا لوجودها بالعراء فهي عرضة للتغيرات في درجة الحرارة من درجات تقترب من درجة التجمد في الشتاء إلى درجات تربو علىّ ٤٠ درجة مئوية وقد تصل إلى ٥٠ وأكثر في بعض المناطق، فإذا كان معامل التمدد الحراري للموصل كبيرا فإن أسلاك خط النقل ستمدد لدرجة تجعلها تقترب من الأرض في الصيف في حين أنها ستنكمش انكماشا شديدا في الشتاء مما يزيد الشد في الموصل ويجعله ينقطع، ولهذا السبب فإنه يفضل صناعة الموصل من مادة ذات معامل تمدد حراري صغير.

التكلفة Cost

والتكلفة من أهم العوامل المؤثرة في اختيار مادة الموصل وذلك للمحافظة على تكلفة نقل الطاقة الكهربية أقل ما يمكن، والمادة التي يصنع منها الموصل يتم اختيارها بحيث يكون لها أفضل مجموعة من الخصائص بأقل تكلفة.

وبالنظر إلى المواد الموصلة نجد أن الفضة لها أعلى موصلية كهربية ولكن تكلفتها العالية تحول دون استخدامها كموصل كهربي إلا في بعض التطبيقات الدقيقة المحدودة جدا. وبعد الفضة من حيث جودة التوصيل الكهربي يأتي النحاس، والنحاس كمادة موصلة يتمتع بموصلية عالية لا يفوقه فيها إلا الفضة وتكلفته أقل بكثير من الفضة، ويمكن بالمعالجات الحرارية أن نحصل على خواص مختلفة فمثلا النحاس المسحوب على البارد هو أفضل أنواع النحاس توصيلا للكهرباء ولكن تنقصه المرونة، في حين أن النحاس الأحمر المخمر أقل قليلا في الموصلية والمتانة الميكانيكية ولكنه يتمتع بمرونة عالية ولذلك يستخدم في تصنيع أسلاك التمديدات الداخلية للمباني والمصانع، في حين يستخدم النحاس المسحوب على البارد في تصنيع القضبان العمومية والموصلات التي تحتاج إلى متانة ميكانيكية عالية، وأدت كثرة الطلب على النحاس - لما له من خواص مميزة في التوصيل في التوصيل الكهربي والمتانة الميكانيكية - إلى ارتفاع سعره لدرجة تجعله غير مناسب اقتصاديا لتصنيع موصلات خطوط النقل الهوائي إلا في أضيق الحدود وحين تكون هناك ضرورة تقنية ملحة كأن تكون المتانة الميكانيكية للموصلات مطلباً أساسياً كما في الموصلات الهوائية الخاصة بوسائل النقل الكهربائي كالترام ومترو الأنفاق.

والمادة الأكثر استعمالا في صناعة موصلات خطوط النقل الهوائي هي الألومونيوم حيث إن الألومونيوم يتمتع بخصائص تؤهله لأن يكون بديلاً جيداً للنحاس وهي أن الألومونيوم له موصلية عالية تزيد على ٦٠٪ من موصلية النحاس، ويتمتع الألومونيوم إلى جانب الموصلية العالية نسبيا بخفة الوزن

ورخص الثمن، وإذا كانت المتانة الميكانيكية للألومونيوم أقل من النحاس فإنه يتم التغلب عليها بطرق مختلفة سنستعرضها فيما يلي ونحن نستعرض أهم أنواع موصلات خطوط النقل المستخدمة فعلا في الحياة العملية.

٢_٣. أنواع الموصلات المستخدمة في خطوط النقل الهوائي

شكل ٢-١ موصل مجدول

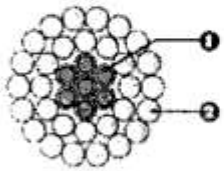
معظم الموصلات المستخدمة في خطوط النقل الهوائية تكون عبارة عن جديلة مكونة من قلب عبارة عن سلك واحد مستقيم محاط بطبقة أو أكثر من الأسلاك المجدولة بطريقة حلزونية حول هذا القلب ويكون اتجاه جَدْل الأسلاك في كل طبقة مخالفاً لاتجاه الجَدْل في الطبقة السابقة كما هو موضح بشكل ٢ -١. وبالإضافة إلى الموصلات المجدولة المصنوعة من النحاس أو من سبيكة النحاس والكادميوم يوجد عدة أنواع من الموصلات المبنية على الألومونيوم والتي تعطي أفضل الحلول لمتطلبات خطوط النقل الهوائية في الظروف المختلفة.

٢_٣_١. الألومونيوم All Aluminum Conductor AAC

أرخص أنواع الموصلات حيث إنه أرخص من أي موصل آخر يمكن أن يستخدم لنفس التيار ولكن المتانة المنخفضة لهذا النوع من الموصلات تجعله مناسبا فقط عندما تكون خطوة البرج قصيرة.

٢_٣_٢. الألومونيوم المقوى بالصلب Aluminum Conductor Steel Reinforced ACSR

يتكون هذا الموصل من قلب عبارة عن طبقة أو أكثر من أسلاك الصلب المجلفن المحاطة بطبقة أوأكثر من أسلاك الألومونيوم، كما هو موضح بالشكل ٢ -٢، ويتم تعريف هذه الموصلات بعدد أسلاك الألومونيوم وأسلاك الصلب وأكثر موصلات هذا النوع شيوعا هي الموصلات ٢٦/٧ أي التي تتكون من ٢٦ سلك ألومونيوم و ٧ أسلاك من الصلب إلا أنه توجد أنواع كثيرة بنسب مختلفة من أسلاك الصلب والألومونيوم.



١. قلب من أسلاك الصلب
٢. أسلاك الألومونيوم

شكل ٢-٢ موصل ACSR

هذا النوع من الموصلات له متانة أعلى من موصلات الألومونيوم ولذلك يستخدم عندما تكون المسافة بين الأبراج أكبر ويمكنه كذلك تحمل الظروف الجوية السيئة وله كذلك معامل مرونة أعلى ومعامل تمدد حراري أقل من الألومونيوم ولذلك فإن خصائصه الميكانيكية

أعلى بكثير من الألومونيوم ويمكن التحكم في هذه الخصائص بتغيير نسبة الألومونيوم إلى الصلب في الموصل المجدول.

٢_٣_٣. موصلات سبائك الألومونيوم All Aluminum Alloy Conductor AAAC

وهذا النوع عبارة عن سبيكة متجانسة معالجة حراريا من الألومونيوم والماغنسيوم والسيليكون، وهذا الموصل له خصائص تميزه عن AAC, ACSR حيث إن له متانة عالية جداً (له أكبر نسبة متانة/الوزن) وذلك يتيح زيادة المسافة بين الأبراج والتقليل في تكلفة إنشاء الخط أو زيادة قدرة حمل التيار عند استخدامه على الأبراج الموجودة فعلا وتحسين أداء الخط. وهذا الموصل له مقاومة كهربية أقل وبالتالي يسبب فقد أقل في القدرة على الخط، و هو أيضا غير معرض لمشكلة تآكل الجلفنة كما في موصلات ACSR وتركيباته أقل تعقيدا وأسطحه أقل عرضة للتلف ولذلك يكثر استخدام هذا النوع من الموصلات في الخطوط الحديثة.

٢_٣_٤. الألومونيوم المقوى بسبيكة الألومونيوم Aluminum Conductor Alloy Reinforced ACAR

وهو مشابه تماما ل ACSR ولكن مع استبدال القلب المكون من أسلاك الصلب بأسلاك من سبيكة الألومونيوم وبذلك يعطي خصائص بين خصائص موصلات الألومونيوم وموصلات الألومونيوم المقوى بالصلب.

٢_٣_٥. سبيكة الألومونيوم المقواه بالصلب Aluminum Alloy Conductor Steel Reinforced AACSR

وهو مشابه ل ACSR حيث يحتوي على قلب مكون من أسلاك الصلب ولكن تستبدل أسلاك الألومونيوم بأسلاك من سبيكة الألومونيوم، وهذا النوع له متانة ميكانيكية عالية على حساب الموصلية ولذلك يستخدم هذا النوع من الموصلات عندما تكون مثل هذه الخصائص مرغوبة وخصوصا في أسلاك الأرضي.

٢_٤. أبراج خطوط النقل الكهربائي

وظيفة أبراج خطوط النقل هي تثبيت الموصلات ويجب أن تكون هذه الأبراج محصورة داخل حقوق المرور المتاحة ومطابقة للاعتبارات الجمالية للمنطقة التي يتم تركيبها بها فالأبراج التي تستخدم لحمل خطوط النقل في الصحراء لا تصلح بحال لحمل أسلاك الكهرباء داخل المدن، وهناك العديد من الوسائل المستخدمة لحمل وتثبيت خطوط النقل و هي:

الأعمدة الخشبية

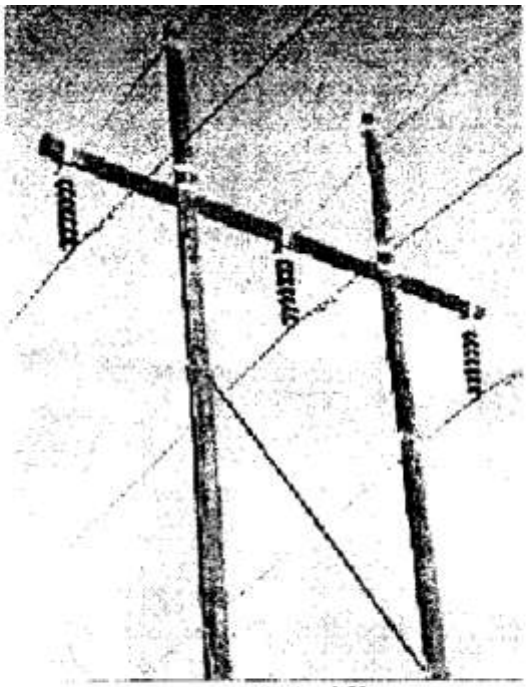
تعتبر الأعمدة الخشبية أرخص أنواع الأعمدة وتصنع من أخشاب شجر الأرز والصنوبر وذلك لطولها واستقامتها وتتوافر الأعمدة الخشبية في أطوال تبدأ من ٢٥ قدم حتى ١٢٠ قدم أو أكثر حسب الطلب وبزيادة مقدارها ٥ أقدام. وتتميز الأعمدة الخشبية بمرونتها حيث تنحني إذا تعرضت لأحمال ميكانيكية عالية ثم تعود إلى وضعها الطبيعي بزوال الحمل وهذه الخاصية تجعلها ملائمة تماما لأغراض تثبيت الموصلات ولذا ينصح باستعمالها كلما أمكن ذلك، لأنه في حالة تعرض الموصلات لقوى شديدة كتلك الناتجة عن عاصفة مثلاً فإن حركة العمود الخشبي تمتص هذه القوة وتخفف من تأثيرها على الموصلات.

بعد قطع الخشب وتجفيفه وعمل التجاويف والنقر المطلوب لتثبيت الأذرع المستعرضة يتم معالجة الخشب بمشتقات قطران الفحم – عادة الكريوزوت - حتى يتشبع تماما وهذه المعالجة تجعل عمر الخشب يتراوح ما بين ٤٠ -٥٠ سنة ما لم يهاجم بواسطة العفن أو نقار الخشب اللذان يمثلان أكبر عدوين للأعمدة الخشبية.

شكل ٢-٣
عمود خشبي مفرد

وتبعا لمتطلبات الحالات المختلفة يمكن استخدام الأعمدة الخشبية في صورة عمود مفرد كما في شكل ٢ -٣ أو في صورة تركيبات على شكل حرف H كما في شكل ٢ -٤. وتتميز الأعمدة المفردة بأن حق المرور المطلوب لها أقل ما يمكن في حين أن ما يحد استعمال الأعمدة الخشبية المفردة هو أقصى جهد يمكن وضعه على عمود مفرد والمسافة بين الموصلات وكذلك وزن الموصلات.

وتتميز تركيباتH بأنها متينة وقوية لدرجة تمكنها من تحمل وزن موصلات ذات مساحة مقطع كبيرة ولمسافات كبيرة بين كل وبرجين متتاليين ويمكن كذلك استخدامها لجهود مرتفعة وذلك للإمكانية المتاحة لديها من تثبيت الموصلات على مسافات أكبر، ويعيبها فقط أن متطلبات حق المرور لمثل هذه الأبراج أكبر.



شكل ٢-٤
عمود خشبي على شكل حرف H

وتتميز الأعمدة الخشبية إلى جانب ما ذكرناه بمقاومتها لمرور التيار ويمكن تصنيفها في حالة الجهود المنخفضة كمادة عازلة، وتتميز كذلك بسهولة تركيبها وبحاجتها إلى أساسات بسيطة لتثبيتها.

هيكلة العمود Framing

يسمى العنصر الذي يثبت بالعمود لتثبيت العوازل والموصلات شاملا الصواميل والمسامير وكل ما يلزم لتثبيت هذا العنصر بالهيكلة، والهيكل يحمل الموصلات في المكان المناسب ويحافظ على المسافة بين الموصلات بعضها البعض ويوجد شكلان للهيكلة هما:

- الذراع المستعرض Cross Arm ويحمل موصلين على جانبيه وقد يحمل موصلا ثالثا في المنتصف (شكل ٢ -٥ أ)
- الذراع الكتفي Bracket ويحمل موصل واحد ويثبت على جانب العمود (شكل ٢ -٥ ب)

(أ) ذراع مستعرض (ب) أذرع كتفية

شكل ٢-٥ هيكلة العمود الخشبى

ويمكن استخدام الخشب أو الألياف الزجاجية في صناعة الأذرع المستعرضة ويستخدم الصلب أوالألياف الزجاجية لصناعة الأذرع الكتفية.

و عندما لا يمكن توفير الأعمدة الخشبية بطريقة اقتصادية وعندما تكون المتانة العالية مطلوبة تستخدم الأعمدة الخرسانية والمعدنية، وكذلك عندما يكون الشكل ذا أهمية كبرى حيث يمكن تصنيع الأعمدة الخرسانية والمعدنية بأشكال وألوان عديدة.

الأعمدة الخرسانية

تصنع الأعمدة الخرسانية – وكذلك المعدنية - بمقاطع دائرية أو مربعة أو مضلعة (عادة ستة أوثمانية أضلاع) وتكون مجوفة وذلك لتقليل وزنها الذي مازال يمثل عبيا كبيرا وخصوصا عند تداولها أثناء النقل والتثبيت. ويستغل التجويف داخل العمود في تمرير الكابلات التي تقوم بتوصيل الكهرباء من أو إلى أعلى العمود.

وتستخدم أسياخ حديد طولية - عادة ٨ أسياخ - لتقوية العمود وعادة ما تكون سابقة الإجهاد أي معرضة لإجهاد شد عند التصنيع والذي يعادله إجهاد الضغط الواقع على العمود بعد التركيب، ويتم ايضا استخدام أسياخ تسليح عمودية في صورة حلزون ملفوف حول الأسياخ الطولية ويتم لحامه بطريقة تمنع حركة الأسياخ أثناء عملية صب الخرسانة. كل الأعمدة الخرسانية تكون مدببة أي تقل مساحة مقطعها مع ارتفاع العمود والأعمدة المضلعة والمربعة يتم شطف أركانها ويكون بالعمود فتحة لدخول الكابلات وفتحات تسمح بدخول يد العامل أو الفني لسحب وتركيب الكابل في القلب المجوف للعمود. بالإضافة إلى ثقل وزنها فإن الأعمدة الخرسانية أكبر تكلفة من الأعمدة الخشبية وهذا ما يحد من استخدامها وخصوصا عند توافر الأعمدة الخشبية.

وتتميز الأعمدة الخرسانية بالآتي:

لا تتأثر الأعمدة الخرسانية بالتعفن ولا بالطيور ولا بالنار ولا تصدأ و كذلك لا تتأثر بالمواد الكيماوية وهي أقوى وأصلب من الخشب ولا تحتاج إلى صيانة

في حين أن رطوبة التربة والجو تؤثر تأثيرا سلبيا على الأنواع الأخرى من الأعمدة فإنها تعمل لصالح الأعمدة الخرسانية حيث تزيد صلابتها ومتانتها

باعتبار عمر العمود فإن العمود الخرساني يعتبر الأقل تكلفة/السنة بالنسبة لباقي الأنواع من الأعمدة

الأعمدة المعدنية

تصنع الأعمدة المعدنية بأطوال مختلفة وسمك يعتمد على المتانة المطلوبة، وتصنع في أشكال الأعمدة الخرسانية – دائرية أو مربعة أو مضلعة - وتكون مدببة كذلك، وتكون عادة بلون المعدن المصنوعة منه ولكن يمكن طلاؤها بالألوان المطلوبة، ويمكن تثبيتها في الأرض مباشرة، أو في قواعد خرسانية، أو بمسامير في ألواح معدنية مثبتة في قواعد خرسانية.

الأعمدة المعدنية ليس لها مرونة الأعمدة الخشبية ولا حتى عمرها الزمني حيث يتراوح عمر العمود المعدني من ٢٥ حتى ٣٠ سنة في حين يصل عمر العمود الخشبي من ٤٠ – ٥٠ سنة في حالة معالجتها بطريقة تمنع حدوث التعفن ويعتمد عمر العمود المعدني على سمك طبقة الجلفنة. الأعمدة المعدنية أكبر تكلفة من الأعمدة الخشبية ولكن تصبح أكثر اقتصادية للأطوال من ٩٠ – ١٢٠ قدم. السبب الرئيسي لاستخدام الأعمدة المعدنية هو منظرها حيث يعتقد الكثير من الناس أن الأعمدة المعدنية لها شكل أكثر جاذبية أو قبولا من الأعمدة الخشبية، وأكثر استخدامها في إنارة الطرق السريعة والشوارع والملاعب الرياضية وفي المناطق السكنية والتجارية، ويمكن استخدامها في خطوط النقل في صورة أعمدة منفردة أو تكوينات من عمودين أو أكثر.

تتميز الأعمدة المعدنية على الأعمدة الخشبية بسهولة النقل وخصوصا للأعمدة الطويلة حيث يمكن تصنيع العمود المعدني من عدة أجزاء يسهل نقلها ثم يتم تجميعها في موقع التركيب، وأيضا لأنه يمكن تصنيع الأعمدة المعدنية في مواقع عديدة فيسهل نقل الأعمدة من أقرب مواقع التصنيع إلى موقع التركيب بعكس الأعمدة الخشبية التي تعتمد أماكن إنتاجها على أماكن توافر الأشجار.

الأبراج الحديدية

هي عبارة عن تركيب شبكي من عناصر من الصلب المجلفن والتي يتم تجميعها معا بصواميل ومسامير لتكون شكل البرج، و تعتبر الأبراج الحديدية أكثر أنواع الأبراج استخداما حيث إنها:

الأعلى من حيث نسبة المتانة/الوزن

الأطول عمرا وذات تكلفة معقولة

يمكن نقل مكونات البرج بسهولة وتجميعها بسهولة أيضا في مكان التركيب

ورغم أنها تحتاج إلى أساسات خاصة ولكنها غير باهظة التكاليف ولا صعبة التركيب. و تعتمد أبعاد البرج –ارتفاعه والمسافات بين الأذرع المستعرضة واتساعها - على مستوى الجهد، ويعتمد تصميم البرج وطريقة تثبيته على موقعه من الخط. وأنواع الأبراج هي:

١. برج تعليق/تثبيت **suspension/support tower**

وهو البرج الذي يستخدم لتعليق/تثبيت الموصلات وغالبية الأبراج الموجودة في مسار الخط تكون من هذا النوع، ولا يبذل هذا البرج أي شد على الموصل فهو بمثابة نقطة تعليق/تثبيت فقط ويمكن تمييز هذا البرج بوجود عازل واحد لكل موصل. ويختلف برج التعليق عن برج التثبيت في وضع الموصل بالنسبة للعازل، ففي برج التثبيت يكون العازل مثبتا رأسيا لأعلى كما في شكل ٢ -٥ -أ ويكون السلك موضوعا فوق العازل أما في برج التعليق يكون العازل مثبتا رأسيا لأسفل ويكون السلك معلقا في أسفل العازل (شكل ٢ -٦) وفي كلا النوعين لا يكون السلك مربوطا في العازل.

٢. برج الشد **Tension tower**

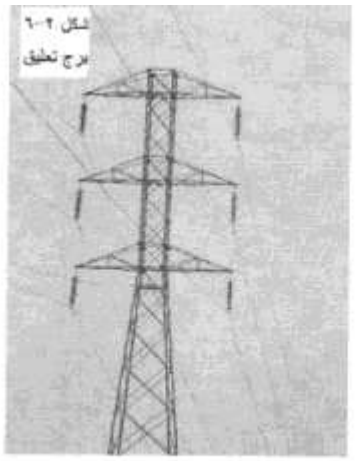
ويمكن تمييز هذا البرج بوجود عازلين عند كل نقطة تثبيت حيث يكون الموصل بينه وبين البرج الذي يسبقه مربوطا بأحد العازلين والموصل بينه وبين البرج الذي يليه مربوطا بالعازل الثاني (شكل ٢ - ٧). ويوضع برج من هذا النوع بعد كل عدة أبراج تعليق – كل عشرة أبراج في المتوسط – وذلك لتفادي سقوط السلك من على الأبراج حالة حدوث قطع فيه. لأنه إذا كانت جميع الأبراج على مسار الخط أبراج تعليق/تثبيت و حدث قطع في الموصل فإن الموصل سيسقط من على جميع الأبراج وسيلزم إعادة تركيب الموصلات على الأبراج وما يلزم ذلك من وقت طويل ومجهود كبير و تكلفة عالية. ولكن في وجود أبراج الشد لن يسقط إلا السلك في المسافة بين برجي الشد الذي حدث بينهما القطع في الموصل. ويكون هذا البرج معرضا لشد متساوٍ من كلتا جهتيه.

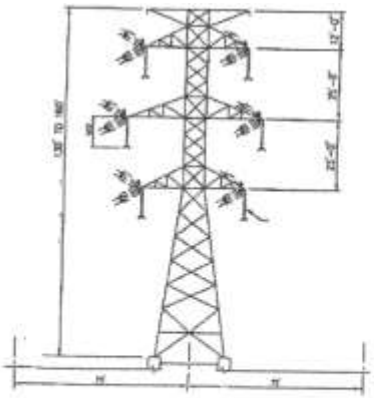
٣. برج الزاوية **Angle tower**

ويشبه إلى حد كبير برج الشد إلا أنه يستخدم عند حدوث تغير في اتجاه خط النقل ويكون طرفا السلك المربوطان به ليسا على استقامة واحدة مما يجعله معرضا لقوة شد تساوي محصلة الشد في الموصلين المربوطين فيه، شكل ٢ -٨.

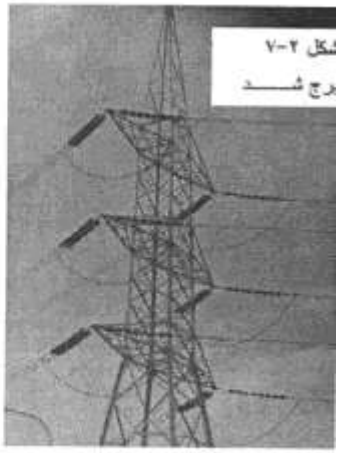
٤. برج النهاية **End tower**

وهذا النوع من الأبراج يوجد في بداية الخط وفي نهايته ويكون معرضا للشد من ناحية واحدة ويلزم أخذ هذا الشد في الاعتبار عند تصميم و تثبيت البرج.



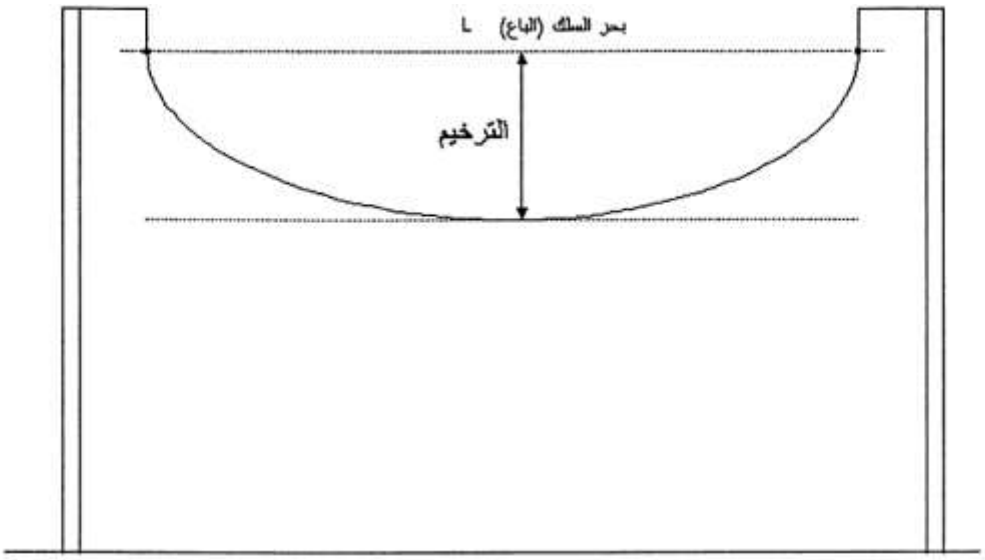


شكل ٢-٨ برج حديدي لخط جهد ٣٤٥ ك ف-زاوية



٢ -٥. الترخيم في خطوط النقل الكهربائي

في خطوط النقل الكهربائي تكون الموصلات معلقة على الأبراج عن طريق عوازل تعزلها عن جسم البرج، وفي المسافة بين برجين متتاليين والتي تعرف بالباع أو خطوة البرج أو بحر السلك يكون السلك معلقا تحت تأثير ثقله – و ثقل ما قد يتراكم عليه من ثلوج وتأثير ضغط الرياح إن وجدت – ويتخذ الموصل شكل منحنى تعليق السلاسل (catenary curve)، كما هو موضح بشكل (٢ -٩). والترخيم عند أي نقطة هو مقدار انخفاض هذه النقطة عن مستوى نقطة التعليق. وفي حالة كون نقطتي التعليق على نفس المستوى يحدث أقصى ترخيم في منتصف المسافة بين البرجين. ونظرا لاهتمامنا بالترخيم الأقصى فقط حيث إنه هو الذي يحدد مقدار الخلوص بين الموصل والأرض فإنه عند إطلاق كلمة الترخيم فإننا نقصد بها الترخيم الأقصى وهو مقدار الانخفاض الحادث للسلك عند أقرب نقاطه من سطح الأرض.



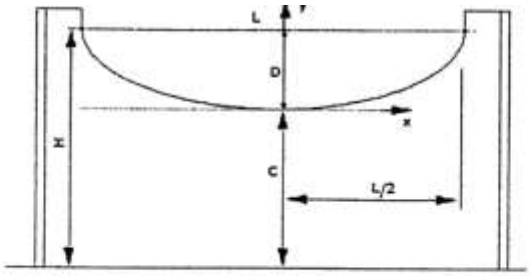
شكل ٢-٩ الترخيم في خط النقل

٢ -٥ -١. العوامل التي تؤثر في الترخيم

يتأثر مقدار الترخيم بعدة عوامل نوجزها فيما يلي:

١. وزن السلك (W_c) وعادة ما يستخدم وزن السلك لكل وحدة طول كمقياس لوزن السلك، وكلما زاد وزن السلك زاد الترخيم
٢. المسافة بين البرجين (الباع L) وكلما زادت المسافة بين البرجين زاد الترخيم
٣. الشد في السلك (T) وهو من العوامل التي تؤثر تأثيرا كبيرا في مقدار الترخيم وكلما زاد الشد في السلك قل الترخيم
٤. العوامل البيئية كتراكم الثلوج على الأسلاك وضغط الرياح وسوف ندرس تأثير هذين العاملين بالتفصيل
٥. درجة الحرارة: كلما زادت درجة الحرارة تمدد السلك وزاد طوله وزاد الترخيم و يحدث العكس عند انخفاض درجة الحرارة

وحسابات الترخيم في خطوط النقل الكهربائي لها أهمية كبرى حيث إنه من خلال هذه الحسابات يمكن تحديد مقدار الخلوص بين السلك والأرض والتأكد مما إذا كان مطابقا لشروط الأمن والسلامة، وأيضا لأن الترخيم يؤثر في مقدار الشد الذي يتعرض له السلك فإنه يجب ضبط الخلوص عند تركيب الموصلات بحيث لا يتعدى الشد في الموصل القيمة المسموح بها حتى عند تعرض الأسلاك إلى أسوأ حالات التحميل الميكانيكي الممكنة.



شكل ٢-١٠ الترخيم بين برجين متماثلين

٢ -٥ -٢. حساب الترخيم بين برجين متماثلين

عندما يكون البرجين متماثلين تكون نقاط تعليق الموصل على نفس الارتفاع وفي هذه الحالة يحدث أقصى ترخيم في منتصف المسافة بين نقطتي التعليق. وكما ذكرنا سابقا فإن السلك يأخذ شكل منحنى تعليق السلاسل، وهذا المنحنى يمكن تقريبه دون التأثير بدرجة كبيرة في دقة الحسابات بمنحنى تربيعي، و إذا اعتبرنا أكثر النقاط انخفاضا هي نقطة الأصل فإن:

$$y = \frac{w_c x^2}{2T} \qquad (٢.٣)$$

حيث w_c هو وزن الموصل لكل متر طولي مقدرا بالكيلوجرام/متر

T الشد في الموصل مقدرا بالكيلوجرام

x, y إحداثيات أي نقطة على الموصل بالنسبة لنقطة الأصل وكل منهما مقدر بالمتر

ومن شكل ٢ -١٠ نجد أن أقصى ترخيم (D) هو قيمة (y) عندما تكون $x = L/٢$ حيث L هي الباع

وبالتعويض في معادلة المنحنى نجد أن:

$$D = \frac{w_c L^2}{8T} \qquad (٢.٤)$$

والخلوص بين الموصل والأرض في هذه الحالة:

$$C = H - D \qquad (٢.٥)$$

حيث H هو ارتفاع نقطة التعليق عن سطح الأرض.

١. مثال ٢ -١ لخط نقل كهربائي كانت المسافة بين البرجين هي m ١٦٠، ووزن الموصل ٠.٧٥ kg/m والشد في الموصل ٦٠٠kg. فإذا كانت نقطتي التثبيت على نفس الارتفاع H=٢٠ m احسب الخلوص بين الموصل والأرض.

٢. الحل الخلوص = ارتفاع نقطة التثبيت – الترخيم

$$C = H - D$$

٣. وحيث أن نقطتي التثبيت على نفس الارتفاع فإن:

٤.
$$D = \frac{w_c L^2}{8T} = \frac{0.75 \times (160)^2}{8 \times 600}$$

$$D = ٤ \text{ m}$$

ويكون الخلوص

$$C = ٢٠ - ٤ = ١٦ \text{ m}$$

٥. مثال ٢ -٢ احسب مقدار الترخيم لخط نقل كهربائي مثبت بين برجين متماثلين المسافة بينهما ٢٧٥ متر إذا كان وزن الموصل ٠.٨٥كجم/متر وأقصى شد يتحمله الموصل هو ٨٠٠٠ كجم ومعامل الأمان المطلوب هو ٢.

٦. الحل: نحسب الشد المسموح به في الموصل

٧.
$$\text{الشد المسموح} = \frac{\text{أقصى شد}}{\text{معامل الأمان}}$$

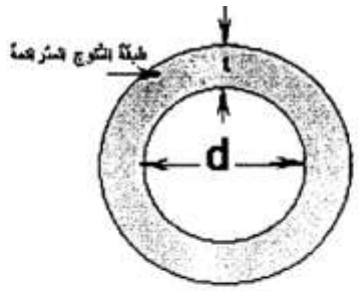
$$T = \frac{8000}{2} = 4000 \text{ kg}$$

نحسب الترخيم w_c=٠.٨٥ kg/m, L=٢٧٥ m, T=٤٠٠٠ kg

$$D = \frac{w_c L^2}{8T} = \frac{0.85 \times (275)^2}{8 \times 4000} = 2. \text{m}$$

تأثير الثلوج على الترخيم

عند تراكم طبقة من الثلوج سمكها (t) على سطح الموصل كما في شكل ٢ -١١، فإنها تضيف وزنا إضافيا يؤثر إلى أسفل ويضاف إلى وزن الموصل، وهذا الوزن هو عبارة عن وزن الثلج المتراكم. ولحساب هذا الوزن نحسب أولاً حجم طبقة الثلج المتراكم لوحدة الأطوال.



شكل ٢_١١

حجم الثلوج المتراكمة/متر (V_i):

$$V_i = \frac{\pi}{4}((d+2t)^2 - d)^2 \quad = \quad \frac{\pi}{4}(2d+2t).2t$$

$$V_i = \pi(d+t).2t$$

حيث d هو قطر الموصل.

ويكون وزن الثلوج المتراكمة(w_i) مساويا لهذا الحجم مضروبا في كثافة الثلج (ρ):

$$w_i = \pi.\rho.(d+t).t \qquad (٢.٦)$$

وحيث إن وزن الثلج يؤثر رأسيا إلى أسفل في نفس الاتجاه مع وزن الموصل فإنه يتم إضافته مباشرة إلى وزن الموصل ويصبح الوزن الفعلي مساويا وزن الموصل مضافا إليه وزن الثلوج ويستخدم هذا الوزن الفعلي في حساب الترخيم بدلا من وزن الموصل فقط، أي أن:

$$w_e = w_c + w_i \qquad (٢.٧)$$

٨. مثال ٢ -٣ احسب مقدار الترخيم لخط نقل كهربائي مثبت بين برجين متماثلين المسافة بينهما ١٨٠ متر إذا كان وزن الموصل ٠.٦٢٤كجم/متر والشد في الموصل هو ١٢٢٠ كجم إذا كان سمك طبقة الثلوج المتراكمة على الموصل هو ٠.٣ سم ووزن الثلج هو ٩١٠ كجم/م^٣.

الحل:

نحسب وزن الثلوج المتراكمة على الموصل (w_i)

$$w_i = \pi.\rho.(d+t).t$$

$$= \pi \times 910 \times (0.94 + 0.3) \times 10^{-2} \times 0.3 \times 10^{-2}$$

$$w_i = 0.106 kg/m$$

ويكون الوزن الفعال للموصل

$$w_e = w_c + w_i = 0.624 + 0.106$$

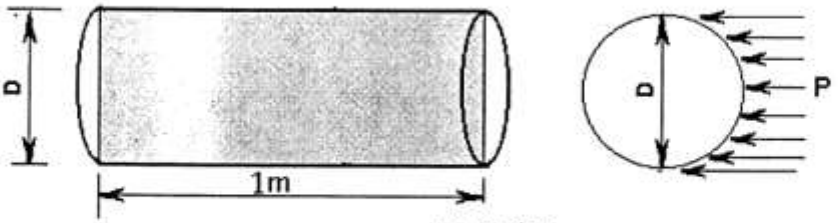
$$w_e = 0.730\ kg/m$$

ويكون الترخيم:

$$D = \frac{w_e L^2}{8T} = \frac{0.73 \times (180)^2}{8 \times 1220} = 2.42\ \text{m}$$

تأثير الرياح على الترخيم

عند تعرض الموصلات لضغط رياح مقداره P kg/m^2 فإنه يتعرض لقوة تؤثر عليه أفقيا مقدارها يساوي حاصل ضرب ضغط الرياح في المساحة المسقطة للموصل. المساحة المسقطة للموصل لكل متر



شكل ٢-١٢

طولي (A_p) - المساحة المظللة في شكل ٢ -١٢ - تساوي عدديا قطر الموصل.

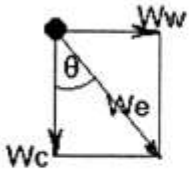
أي أن:

$$A_p = d.1 \quad m^2$$

والقوة المؤثرة على الموصل نتيجة ضغط الرياح

$$w_w = A_p.P = d.P \quad kg/m$$

وهذه القوة تؤثر أفقيا فيكون الوزن المحصل للموصل في هذه الحالة :



$$w_e = \sqrt{w_c^2 + w_w^2} \qquad (٢.٨)$$

ويستخدم هذا الوزن المحصل في حساب الترخيم(D_e)،

$$D_e = \frac{w_e L^2}{8T} \qquad (٢.٩)$$

والترخيم في هذه الحالة لا يكون رأسيا وإنما يميل بزاوية (θ) على الرأسي، حيث:

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{w_w}{w_c}\right) \qquad (٢.١٠)$$

ويكون الترخيم الرأسي (D) والالتواء الأفقي للموصل (D_h) هما مركبتا D_e في الاتجاهين الرأسي والأفقي على الترتيب أي أن:

$$D = D_e \cos(\theta), \qquad D_h = D_e \sin(\theta) \tag{٢.١١}$$

وفي حالة تعرض الخط لضغط الرياح بالإضافة إلى تراكم الثلوج عليه فإن:

$$w_e = \sqrt{(w_c + w_i)^2 + w_w^2} \tag{٢.١٢}$$

حيث W_c هو وزن الموصل/متر

W_i هو وزن الثلوج المتراكمة/متر

W_w قوة ضغط الرياح/متر

مع الأخذ في الاعتبار سمك طبقة الثلج عند حساب المساحة المسقطة أي أن:

$$w_w = (d + 2t) \cdot p \quad kg/m$$

ويتم حساب الترخيم بنفس الطريقة أي أن:

$$D_e = \frac{w_e L^2}{8T}$$

والترخيم الرأسي والالتواء الأفقي:

$$D = D_e \cos(\theta), \qquad D_h = D_e \sin(\theta)$$

إلا أن زاوية الميل على الرأسي تختلف قليلا في هذه الحالة: $\theta = \tan^{-1}(\frac{w_w}{w_c + w_i})$

مثال ٢ -٤ خط نقل هوائي له البيانات الآتية:

المسافة بين البرجين	١٦٠ m
قطر الموصل	٠.٩٥ cm
وزن الموصل	٠.٦٥ kg/m
الشد في الموصل	٦٠٢.٥ kg

احسب الترخيم الرأسي والالتواء الأفقي إذا كان الخط معرضا لضغط رياح مقداره ٤٠ kg/m^2

الحل:

قوة ضغط الرياح لكل متر من طول الموصل

$$w_w = d \times 1 \times p$$
$$= 0.95 \times 10^{-2} \times 1 \times 40 = 0.38 \ \ kg/m$$

الوزن المحصل للموصل:

$$w_e = \sqrt{w_c^2 + w_w^2}$$
$$= \sqrt{(0.65)^2 + (0.38)^2} = 0.7529 \ \ kg/m$$

نحسب الترخيم (D_e) وزاوية ميل الموصل على الرأسي (θ):

$$D_e = \frac{w_e L^2}{8T}$$
$$= \frac{0.7529 \times (160)^2}{8 \times 602.5} = 4\,\text{m}$$
$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{w_w}{w_c}\right)$$
$$= \tan^{-1}\left(\frac{0.38}{0.65}\right) = 30.31^\circ$$

نحسب الترخيم الرأسي:

$$D = D_e \cos(\theta)$$
$$= 4 \times \cos(30.31) = 3.45 \ \text{m}$$

ويكون الالتواء الأفقي:

$$D_h = D_e \sin(\theta)$$
$$= 4 \times \sin(30.31) = 2.02\,\text{m}$$

مثال ٢ -٥ خط نقل هوائي له البيانات الآتية:

المسافة بين البرجين	٢٧٥ m
قطر الموصل	١٩,٥ mm
وزن الموصل	٠,٨٥ kg/m
الشد في الموصل	٤٠٠٠ kg

احسب الترخيم الرأسي والالتواء الأفقي إذا كان الخط معرضا لضغط رياح مقداره ٣٩ kg/m^2 وكان سمك طبقة الثلوج المتراكمة على الموصل ١٣ mm ، كثافة الثلج ٩١٠ kg/m.

الحل

القطر الخارجي للموصل(d_o) في وجود طبقة الثلج :

$$d_o = d + 2t = 19.5 + 2 \times 13 = 45.5\,\text{mm}$$

المساحة المسقطة لكل ١ متر من طول الموصل

$$A_p = d_o \times 1 = 45.5 \times 10^{-3} \times 1 = 0.0455\ m^2$$

قوة ضغط الرياح لكل ١ متر

$$w_w = A_p \times P = 0.0455 \times 39 = 1.77\ kg/m$$

وزن الثلوج لكل متر

$$w_i = \pi.\rho.(d+t).t$$
$$= \pi \times 910 \times (19.5+13) \times 13 \times 10^{-6}$$
$$= 1.207 \quad kg/m$$

الوزن المحصل للموصل

$$w_e = \sqrt{(w_c + w_i)^2 + w_w^2}$$
$$= \sqrt{(0.85+1.207)^2 + (1.77)^2} = 2.714\ kg/m$$

الترخيم

$$D_e = \frac{w_e L^2}{8T}$$
$$= \frac{2.714 \times (275)^2}{8 \times 4000} = 6.4\ m$$
$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{w_w}{w_c + w_i}\right)$$
$$= \tan^{-1}\left(\frac{1.77}{0.85+1.207}\right) = 40.71^\circ$$

نحسب الترخيم الرأسي:

$$D = D_e \cos(\theta)$$
$$= 6.4 \times \cos(40.71) = 4.85\ m$$

والالتواء الأفقي:

$$D_h = D_e \sin(\theta)$$
$$= 6.4 \times \sin(40.71) = 4.17\ m$$

٢ -٥ -٣. حساب الترخيم بين برجين مختلفي الارتفاع

في أحيان كثيرة تكون نقاط تعليق الموصل ليست على نفس مستوى الارتفاع لاختلاف ارتفاع البرجين كما يحدث عند عبور خط النقل لمجرى مائي أو عند الاضطرار إلى أن تكون المسافة بين برجين أكبر بكثير من الباع المتوسط فيلزم زيادة ارتفاع البرجين اللذين يثبتان الموصل خلال هذه المسافة الكبيرة عن ارتفاع الأبراج العادي، وتحدث هذه الحالة أيضا عند مرور خط النقل في منطقة جبلية أو هضابية حتى وإن كانت الأبراج لها نفس الارتفاع فإن اختلاف منسوب سطح الأرض يتسبب في أن تكون الأبراج ليست على مستوى واحد مما يجعل نقاط تثبيت الموصل على البرجين ليست على نفس المستوى كما لو كانت الأبراج مختلفة الارتفاع.

وعندما تكون نقطتيا تثبيت الموصل ليستا على نفس الارتفاع فإن النقطة التي يحدث عندها أقصى ترخيم لا تكون في منتصف المسافة بين البرجين وإنما تكون أقرب إلى البرج الأقل ارتفاعا، ولإيجاد الترخيم في هذه الحالة نفرض أن النقطة التي يحدث عندها أقصى ترخيم تبعد عن البرج الأقل ارتفاعا مسافة x وحيث إن المسافة بين البرجين هي L فإن نقطة أقصى ترخيم تبعد مسافة L- x عن البرج الأكبر ارتفاعا، شكل ٢ -١٣.

وبفرض أن: D_1 = الترخيم محسوبا بالنسبة للبرج القصير

D_2 = الترخيم محسوبا بالنسبة للبرج الطويل

فإن: $D_2 = D_1 + h$

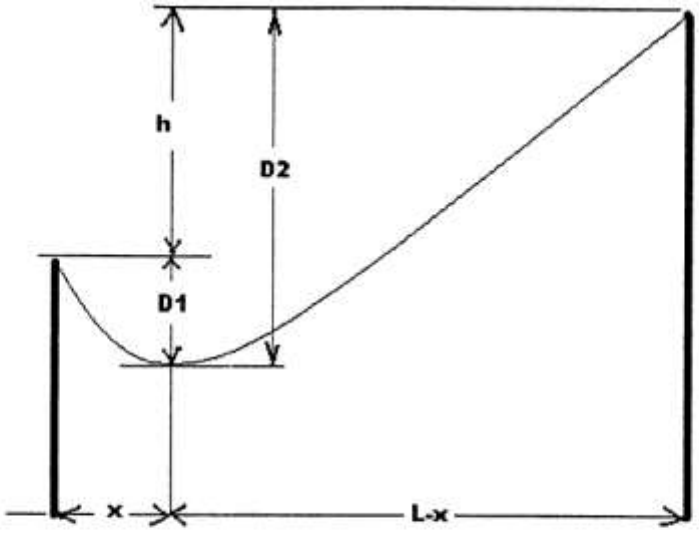
حيث h هو الفرق بين ارتفاعي البرجين

وحيث إن:

$$D_1 = \frac{w_c \cdot x^2}{2T}, \qquad D_2 = \frac{w_c \cdot (L-x)^2}{2T}$$

فإن:

$$\frac{w_c \cdot (L-x)^2}{2T} = \frac{w_c \cdot x^2}{2T} + h$$



شكل ٢ -١٣ الترخيم بين برجين مختلفي الارتفاع

ومنها يمكن حساب قيمة x كما يلي:

$$x = \frac{L}{2} - \frac{Th}{w_c L} \qquad (٢.١٤)$$

والمعادلة (٢.١٤) تحدد بعد النقطة التي يحدث عندها أقصى ترخيم عن البرج القصير، فإذا كانت $x>0$ نحسب الترخيم D_1 مقاسا من البرج القصير باستخدام معادلة الترخيم المعروفة:

$$D_1 = \frac{w_c \cdot x^2}{2T}$$

ويكون الخلوص بين الموصل و الأرض في هذه الحالة مساويا الفرق بين ارتفاع البرج القصير والترخيم.

أما إذا كانت $x \leq 0$ فهذا يعني أن أقل انخفاض للسلك هو ارتفاع البرج القصير ويكون الخلوص بين الموصل والأرض هو ارتفاع البرج القصير

مثال ٢ -٦

خط نقل مثبت بين برجين ارتفاعهما ٤٥ متر ، ٣٠ متر والمسافة بينهما ٣٠٠ متر. فإذا كان وزن الموصل هو ١كجم/متر والشد في الموصل ٢٠٠٠ كجم، احسب الخلوص بين الموصل والأرض

الحل

الفرق بين ارتفاع البرجين

$$h = 45 - 30 = 15\,\text{m}$$

نحسب المسافة بين النقطة التي يحدث عندها أقصى ترخيم والبرج القصير

$$x = \frac{L}{2} - \frac{Th}{w_c L} = \frac{300}{2} - \frac{2000 \times 15}{1 \times 300}$$

$$= 150 - 100 = 50\,\text{m}$$

ويكون الترخيم محسوبا من البرج القصير

$$D_1 = \frac{w_c x^2}{2T} = \frac{1 \times (50)^2}{2 \times 2000}$$

$$= \frac{2500}{4000} = 0.625\,\text{m}$$

الخلوص بين الموصل والأرض

$$C = 30 - 0.625 = 29.375\,\text{m}$$

مثال ٢ -٧

خط نقل معلق بين برجين ارتفاعهما ٢٥ متر ، ٣٥ متر والمسافة بينهما ٢٠٠ متر. فإذا كان والشد في الموصل ٢٠٠ كجم وزن الموصل ٢٥٠ كجم/كيلومتر ، احسب الخلوص بين الموصل والأرض

الحل

الفرق بين ارتفاع البرجين

$$h = 35 - 25 = 10\,\text{m}$$

وزن الموصل

$$w_C = \frac{250}{1000} = 0.25\ \text{kg/m}$$

المسافة بين نقطة أقصى ترخيم والبرج القصير

$$x = \frac{L}{2} - \frac{Th}{w_c L} = \frac{200}{2} - \frac{200 \times 10}{0.25 \times 200}$$

$$= 100 - 40 = 60 \text{ m}$$

الترخيم محسوبا من البرج القصير

$$D_1 = \frac{w_c . x^2}{2T} = \frac{0.25 \times (60)^2}{2 \times 200}$$

$$= \frac{900}{400} = 2.25 \text{ m}$$

الخلوص بين الموصل والأرض

$$C = 25 - 2.25 = 22.75 \text{ m}$$

الاختبار الذاتي :- املأ الفراغات التاليه بما يناسبها :

١. كلما زاد وزن السلك ـــــ الترخيم .
٢. كلما قلت المسافه بين البرجين ـــــــ الترخيم .
٣. في الابراج المتساويه بالارتفاع الترخيم = ـــــــــ .
٤. يتناسب الترخيم عكسيا مع ـــــــــ .

الاختبار البعدي:-

ماهي العوامل المؤثره على مقدار الترخيم في الاسلاك الهوائيه.

المصادر المعتمده :- الكتاب المنهجي منظومة القدره الكهربائيه د.ضياء النعمه أ. طارق محمد امين

مفاتيح اجوبة الاختبارات :-

الاختبار القبلي	الختبار الذاتي	الاختبار البعدي
• لاتتاثر بالتعفن ولا بالطيور ولابالنار ولا تصدأ ولا تتاثر بالمواد الكيمياويه • تزداد صلابتها بالرطوبه • اقل كلفه بالنسبه لباقي الاعمدة	١. زاد الترخيم ٢. قل الترخيم ٣. الترخيم = وزن السلك×مربع المسافه\قوة الشد× ٨ ٤. قوة الشد	١. وزن السلك ٢. المسافه بين البرجين ٣. قوة الشد ٤. العامل البيئي ٥. الحراره

ماده الشبكات الكهربائيه

الاسبوع السادس والسابع

الفئه المستهدفه:- الصف الثاني

الموضوع :-عوازل الخطوط الكهربائيه الهوائيه لنقل الطاقه

الافكار المركزيه:-تؤمن العوازل في الخطوط الهوائيه عزل الموصلات عن بعضها وعن الارض وتنقسم العوازل في ماده تصنيفها الى نوعين هما الخزف الصيني

والزجاج الصلد

الاهداف:-يتعلم الطالب انواع العوازل المستخدمه في الخطوط الهوائيه وحساب توزيع الجهد على سلسله العازل

الاختبار القبلي:-ضع اشاره صح او خطأ لكل ممايأتي:-

١)ان وجود ايه فقاعه هوائيه في العازل يؤدي الى انخفاض شده العزل

٢)تثبيت ماده اسمنتيه بين العازل والمعدن لكي يمتص السمنت الاجهادات الناتجه من تمدد وتقلص المعدن

٣)تستخدم القشور المتعدده للعازل لزياده الطول التسربي وبالتالي زياده قيمه فولتيه الشرر العرضي

٤)في العوازل المعلقه الاجهادات الميكانيكيه في نقطه التوصيل تقل مقارنه بالعوازل المساميريه

٦ـ٤ الموازل : Insulators

تؤمن الموازل في الخطوط الهوائيه عزل الموصلات عن بعضها وعن الارض • تربط الموازل بالمساند بوساطة اذرع توصيل وتمر الاسلاك خلال ماسكة الموازل (clamps) •

تنقسم الموازل نسبة الى مادة تصنيعها الى نوعين هما الصيني (الخزف) المصقول والزجاج المتين (الصلد) • المواد التي يستخدم في الموازل الخزفيه هي السليكا (SiO_2) بنسبة % 20 ، فلسبار % 30 والطين بنسبة % 50 •

ان وجود اية فقاعه هوائيه يؤدى الى انخفاض شدة المزل • لذا فمن الضرورى ان يكون الخزف المستعمل للموازل نظيفا وخاليا من السوائل والغازات •

تتراوح شدة المزل للخزف بين 17 ـ 15 كيلو فولت امبير لكل 1/10 انج من سمك الخزف • ويمتاز المازل الخزفي بقوته الميكانيكيه الماليه وتأثره القليل بالحراره اضافة الى قلة مشاكله التسريبيه •

الزجاج الصلد هو الاخر يستعمل في الموازل لانه يمتلك قوة عزل عاليه (35KVA) لـ 1/10 انج من السمك • ونظراً لشفافية الزجاج تسهل رؤية الفقاعات الهوائيه • ولكن من مساوىء هذا النوع سهولة تجمع الغبار والمواد العالقه على سطح المازل • تثبت ماده سمنتيه بين المازل والمعدن وذلك لكي يمتص السمنت الاجهادات الناتجه

من تمدد وتقلص المعدن (ماسك السلك) بسبب الحراره . وبذلك يحمي المازل من هذه الاجهادات لان المازل رديء التوصيل للحراره ولا يتأثر بالحراره بدرجة تأثر ماسك السلك.
توجد عدة انواع من الموازل تستخدم في الخطوط الهوائيه وكذلك في المحطات الثانويه .
يبين الشكل (4.4) بعض هذه الانواع واهمها :

١) النوع المسمارى : Pin Insulator
٢) النوع الاجهادى : Strain Type
٣) النوع المعلق : Suspension type

٤ـ٦ـ١ المازل المسمارى : Pin Insulator

يتألف المازل المسمارى من عدة اجزاء تشريه (shells) تثبت على محور . تستخدم القشور المتعددة للحصول على طول تسربي مناسب لزيادة قيمة فولتية الشرر المرضي بين العمود وحـــد المازل . تصمم القشور (shells) عادة بحيث تبقى القشره السفليه جافه في حالة رطوبة القشره العلويه بسبب الامطار مثلا . من المرغوب ان تكون المسافه الافقيه بين حد المازل (tip) للقشره السفليه اقـــل مقارنة مع المسافه الرأسيه بين الحد نفسه وذراع التوصيل ، لان الشراره تحدث بين الموصل وذراع التوصيل بدلا من الموصل وحد المازل . لذا فأن ذراع التوصيل يجب ان يبدل لا المازل نتيجة حدوث الشراره .

يمر الموصل في الخد العلوى للمازل ويشد بالمازل بوساطة سلك لدن من مادة الموصل نفسها . تستخدم الموازل المساريه لفولتيات تصل الى 33 كيلو فولت . وتكون غير مرغوبه بعد 50KV لزيادة كلفتها .

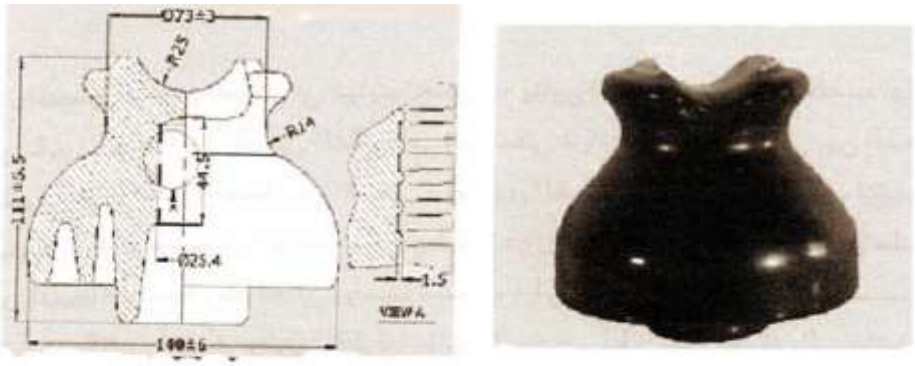
يجب ان تمتاز الموازل المساريه بقوه ميكانيكيه لتتحمل القوى الناتجه عن تأثير وزن الموصل وضغط الرياح . تستخدم الموازل المعلقه لفولتيات اكثر من 33KV لان الموازل المساريه تصبح غير اقتصاديه عند هذه الفولتيات .

تعطى الكلفه بالعلاقه التقريبيه

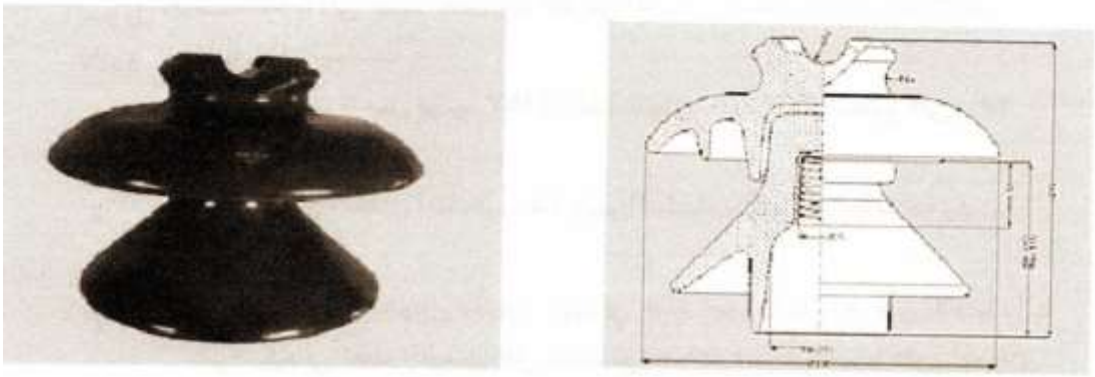
الكلفه $\propto V^x$

اذ $x > 2$.

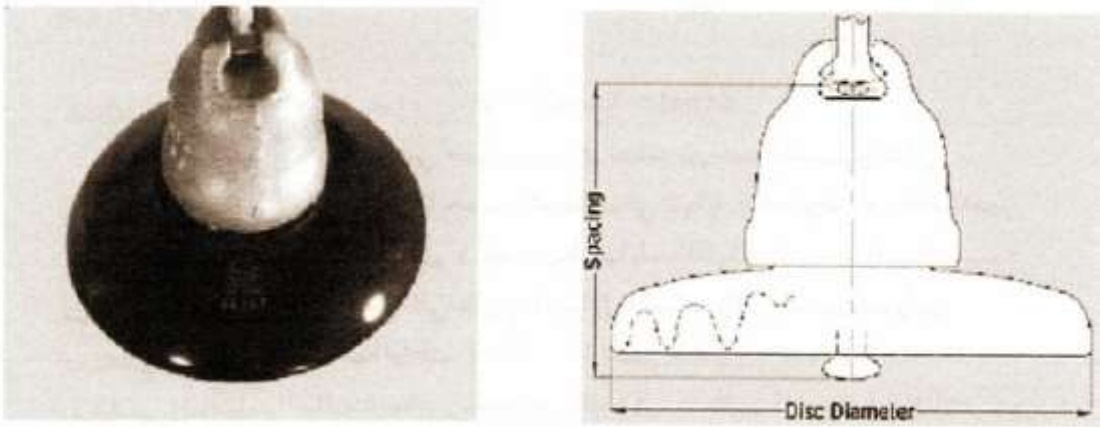
٤ـ٦ـ٢ الموازل المعلقـــه : تتألف من مجموعـــه من الموازل تربط سويه وتعلق على



شكل (٣ ١b) قطعة عازل مسماري جهد ١١ كيلو فولت



شكل (٣ ٢) عازل مسماري من جزئين جهد ٣٣ ك ف



شكل (٣ ٣) وحدة عازل تعليق لخطوط النقل الكهربائي

ذراع التوصيل وتحمل الموصل في نهايته السفلى . يتكون العازل المعلق من قطعه من البورسلين (الخزف) القرصي الشكل ذى خد سفلي لزيادة السطح التسربي بين الغطاء المعدني من الاعلى والمسمار من الاسفل . ويحتوى الغطاء من الاعلى على تجويف لتثبيت مسمار عازل آخر فيه . وهكذا يمكن ربط عدة عوازل الواحده بالاخرى على شكل سلسله يثبت الغطاء والمسمار مع العازل بواسطة السمنت . ان ابعاد العازل النوذجيه هي 10 x 5¾ انج ، وطول القطر 10 انج لكي يعطي اعلى نسبة اجهاد الى فولتية الشرر العرضي .

يكون الفضاء المطلوب بين الموصل واعمدة التثبيت (الابراج)في العوازل المعلقه اكبر مقارنة مع العوازل المساريه وهذا يعني ان ذراع التوصيل اطول . وتمتاز العوازل المعلقه اضافة الى كونها اقتصاديه اكثر من العوازل المساريه لفولتيات اكثر من 33KV ،بالميزات التاليه ..

1 ـ كل عازل يصمم لتحمل فولتيه 11KV ، لذا فلفولتية 132KV مثلا نحتاج الى 12 عازل .

2 ـ يتم استبدال العازل المعطوب فقط وليس السلسله بالكامل في حالة حدوث عطب في العازل .

3 ـ بما ان الموصل والعوازل تتأرجح سويه في حالة هبوب الرياح ، فأن الاجهادات الميكانيكيه في نقطة التوصيل تقل مقارنة مع العوازل المساريه بينما تكون العوازل المساريه ثابته ولاتتأرجح مع الموصل اثناء تعرضها لهبوب الرياح .

4 ـ يمكن زيادة فولتية التشغيل لخط ما بزيادة عدد العوازل في السلسله بدلا من تبديل العوازل كلها كما يحصل في العوازل المساريه وكما موضح ادناه :

الفولتيه (KV)	66 KV	132 KV	220 KV	400 KV
عدد الاقراص	6	12	20	36

٤ـ٦ـ٣ العوازل الاجهاديه : Strain Insulator

هي عباره عن عوازل معلقه من حيث التصميم والشكل وتستخدم لامتصاص الاجهادات الناتجه من الموصلات في نهايات الخطوط ، ونقاط تغير مسار الخط والتقاطعات مع الطرق ، وعند ربط نهايات الكابلات بالخطوط الهوائيه . تثبت العوازل الاجهاديه بوضع افقي مقارنة بالعوازل المعلقه والتي تثبت بوضع رأسي . تستخدم عوازل في الفولتيات الواطئه (11 KV) تسمى بالعوازل الشكاليه (Shackle) ، اما في الفولتيات العاليه تستخدم سلسله من العوازل . تكون الاجهادات الناتجه

من الاسلاك في بعض الاحيان عاليه عند التقاطع مع نهر مثلاً لذا تستخدم سلسلتان او ربما ثلاثه من الموازل بصوره متوازيه ·

٤ـ٧ توزيع الفولتيه على الموازل : Voltage distribution

تتوزع الفولتيه المسلطه على سلسله من الموازل المتماثله (نظيفه ، جافه ، وبدون اجزاء معدنيه) بالتساوى · يمكن تمثيل كل قرص كمتسعه (C) والسلسله بالكامل تعمل كمقسم فولتيه سعويه · تؤرض الابراج في التطبيق العملي ويكوّن الغطاء المعدني واللولب المسمارى مع البرج المؤرض متسعه · لهذه المتسعات الشارده تأثير مهم على توزيع الفولتيه ، فالموازل القريبه من الخط ذات فولتيه اعلى من تلك الموازل القريبه من نهاية البرج · ويمكن تعريف كفاءة سلسله تحتوى على (n) من الموازل بما يلـــــي :

$$\text{كفاءة السلسله} = \frac{\text{فولتية الشرر العرضي للسلسله}}{\text{فولتية الشرر العرضي لكل عازل} \times \text{عدد الموازل للسلسله (n)}}$$

وتقل هذه الكفاءه بزيادة عدد الموازل · يوضح الشكل (4.5) طريقه حساب فولتيه التوزيع على الموازل ·

نفرض ان متسعة كل نقطه مع البرج المؤرض هي K*C اذ تمثل C المتسعه لكل عازل و (K) ثابت تتراوح قيمته بين (0.2 ـ 0.1) ·

من الشكل (4.5)

$$i_{n+1} = i_n + I_n \qquad (4.3)$$

بصوره عامه

$$i = VJWC \qquad (4.4)$$

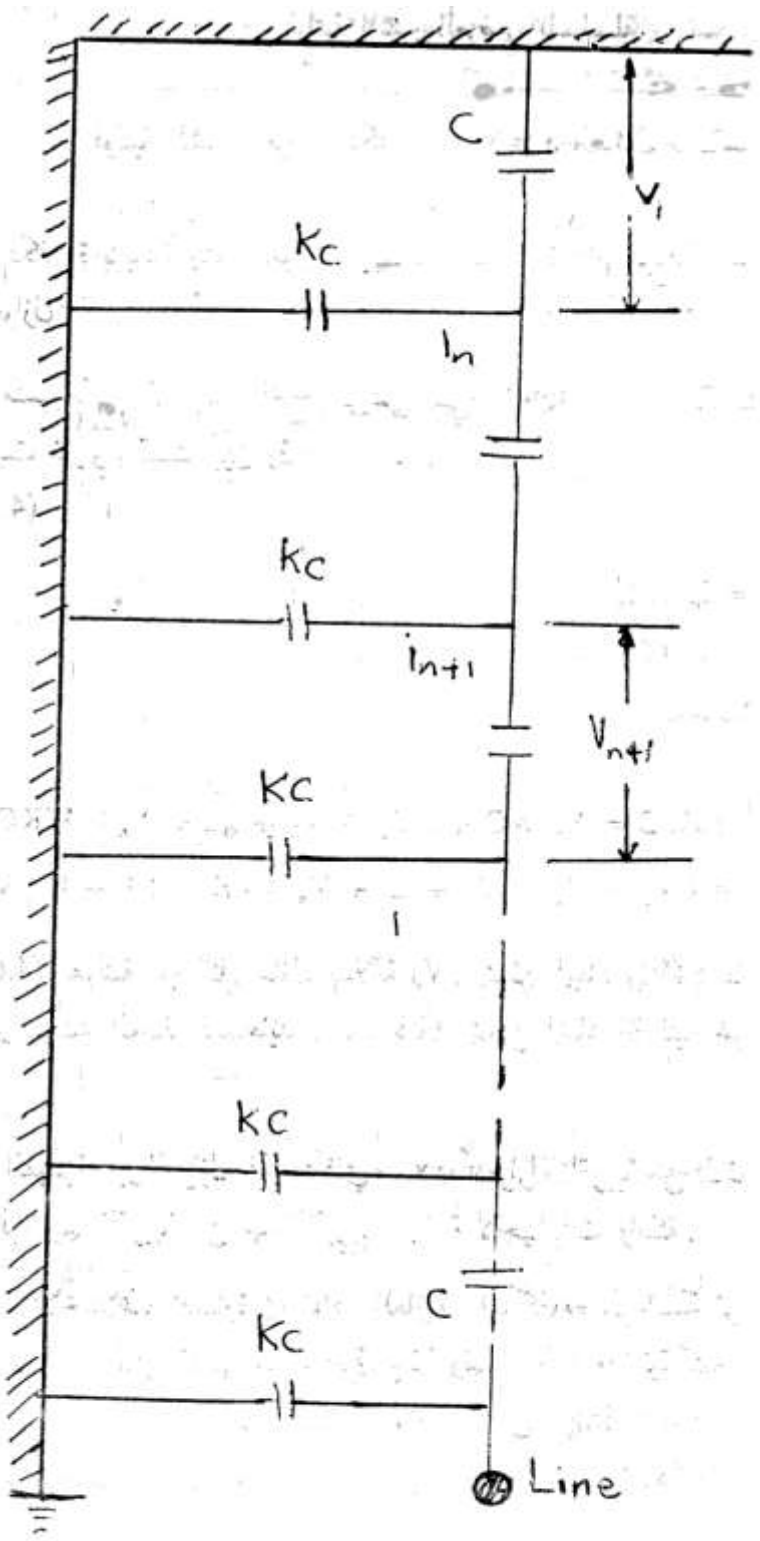
اذاً

$$(V_{n+1})JWC = V_nJWC + (V_1+V_2+ \cdots\cdots + V_n)\ JWKC \qquad (4.5)$$

$$V_{n+1} = (V_1+V_2+V_3+ \cdots\cdots + V_{n-1})K + (1+K)V_n \qquad (4.6)$$

تعطينا المعادله (4.6) الفولتيه عبر كل عازل بدلالة V_n · يمكن ايجاد (V_n) بمساواة فولتية جميع الموازل الى فولتية الخط للمحايد · بعد ذلك يمكن ايجاد الفولتيه عبر الموازل المختلفه ·

بما ان توزيع الفولتيه عبر الموازل غير متكافيء · لأن الموازل القريبه من الخط تعرّض الى اجهادات عاليه بينما القريبه من نهاية البرج معرضه لاجهادات واطئه ·



شكل (4.5)

مخطط توضيحي يبين توزيع الفولتيات على العوازل

عن هذا الاختلاف خساره في الماده العازله . ان كفاءة السلسله توضح هذه الخساره حد ما ، و يمكن تقليلها بعدة طرق منها وضع حلقه معدنيه كبيره في نهاية الموازل الربط مع الخط ، هذه الحلقه تسمى بحلقة التدريج (grading ring) اذ تتولد عات اضافيه بين نقاط اتصال الموازل ببعضها والخط ، وبالتالي زيادة المتسعه الموثره للموازل السفليه .

كما يثبت على نهايتي سلسلة الموازل في بعض الاحيان مايسمى بأقران التفريغ Arcing horn اذ يحصل التفريغ الكهربائي من خلالها وذلك لحماية سلسلة الموازل من الشرارات الناتجه من فولتيات الشرر المرضي (flash over voltage)

ثال : تتكون سلسلة عوازل لخط (66KV) من (4) اقراص ، متسعة التوازي ين كل نقطة اتصال والبرج هي 10% من قيمة متسعة الاقراص . احسب الفولتيه عبر الاقراص لمختلفه ثم احسب كفاءة السلسله .

الحل : التركيبه موضحه في الشكل (4.6)

نفرض ان متسعة كل قرص = C فاراد

∴ المتسعه بين النقاط C ,B ,A والبرج = 0.1 C

بتطبيق قانون كرشهوف للتيارات في النقاط المختلفه نحصل على المعادلات التاليه

في نقطة C

$$WCV_2 = WCV_1 + 0.1WCV_1$$
$$V_2 = 1.1V_1$$

في نقطة B

$$WCV_3 = WCV_2 + 0.1WC(V_1 + V_2)$$
$$V_3 = 1.1V_2 + 0.1V_1 = 1.21V_1 + 0.1V_1 = 1.31V_1$$

اذا"

في نقطة A

$$WCV_4 = 0.1WC(V_1 + V_2 + V_3) + WCV_3$$
$$V_4 = 0.1V_1 + 0.1V_2 + 1.1V_3$$
$$= 0.1V_1 + 0.11V_1 + 1.441V_1$$
$$= 1.651V_1$$
$$V_1 + V_2 + V_3 + V_4 = \frac{66KV}{\sqrt{3}} = 38.1\ KV$$
$$V_1 + 1.1V_1 + 1.31V_1 + 1.651V_1 = 38.1\ KV$$
$$5.061V_1 = 38.1$$

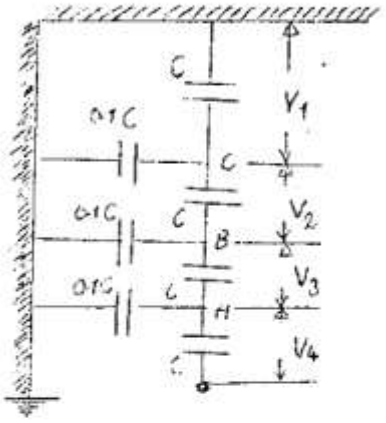
$V_1 = 38.1/5.061 = 7.53$ KV

$V_2 = 1.1 * 7.53 = 8.28$ KV

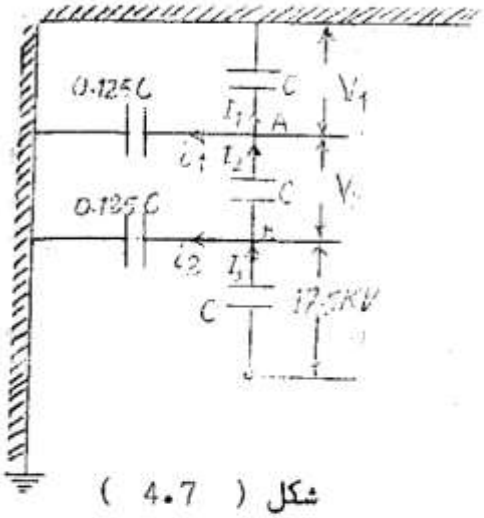
$V_3 = 1.31\ V_1 = 9.86$ KV

$V_4 = 1.651\ V_1 = 12.43$ KV

كفاءة السلسله $= \frac{38.1}{4*12.43} *100 = 76.6\ \%$



شكل (4.6)



شكل (4.7)

مثال (٢) : نظام ثلاثي الطور هوائي معلق بواسطة (3) عوازل متشابهة الفولتيه عبر العازل القريب من الخط هي (17.5KV) احسب فولتية الخط/ محايد . افرض ان متسعة التوازى = ($\frac{1}{8}$) متسعة العازل . ثم احسب كفاءة السلسله .

الحل : يوضح الشكل (4.7) الدائره المكافئه لسلسله العوازل .

نفرض ان متسعة كل قرص = C فاراد

متسعة التوازى (KC) = $\frac{1}{8}$ C

$0.125C =$

$\therefore K = 0.125$

وكذلك $V_3 = 17.5$KV

نطبق الان قانون كرشهوف في نقطة A

$I_2 = I_1 + i_1$

$V_2WC = V_1WC + V_1KWC$

$V_2 = V_1(1+K) = 1.125\ V_1$

كما في نقطـــة B

$$I_3 = I_2 + i_2$$

$$V_3WC = V_2WC + (V_1 + V_2)KWC$$

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

الفولتيه عبر القرص العلوى

$$V_1 = V_3/1.39 = 17.5/1.39 = 12.59\ KV$$

∴ الفولتيه عبر القرص الوسطي

$$V_2 = 1.125\ V_1$$

$$= 1.125 * 12.59 = 14.16\ KV$$

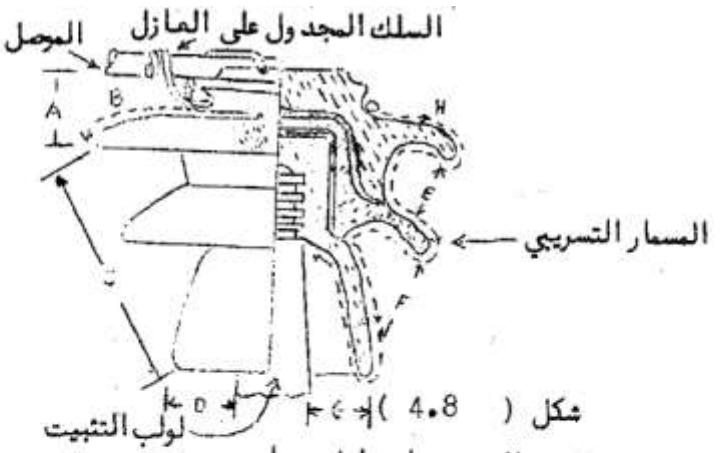
لفولتيه بين الخط والمحايد

$$= V_1 + V_2 + V_3$$

$$= 12.59 + 14.16 + 17.5 = 44.25\ KV$$

كفاءة السلسله

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



شكل (4.8)
يوضح مسار الشرر المرضي على عازل مسماري

(٨-٣) انهيار عوازل خطوط النقل

أسباب انهيار العوازل هي:

١ - كسر العازل: السبب الرئيسي لكسر العازل هو الإجهادات الناتجة في عازل البورسلين من خلال التمدد غير المتساوي و الانكماش الناتج في الأسمنت والبورسلين والصلب والذي يتسبب فيه الحرارة الموسمية والبرودة والجفاف وتسخين العازل. ولتجنب مثل هذا الكسر أدخلت تحسينات كثيرة على العازل أحيانا بوضع وسادة بين الطبقات ومسمار التثبيت الصلب للسماح بمثل ذلك التمدد.

٢ -عيوب مادة العزل: إذا كان بمادة العزل أي عيب، مثل وجود فراغات أو وجود شوائب، بأي مكان بها فإن هذا العيب يؤدي لكسر هذا العازل.

٣ - مسامية مادة العزل: لو صنعت مادة البورسلين للعازل تحت درجات حرارة منخفضة فإن البورسلين يصبح مساميا ونتيجة لهذا يمتص البورسلين الرطوبة من الهواء ومن الأسمنت وتقل بصورة خطيرة شدة عزله ويبدأ تيار التسريب في السريان خلال العازل مما يؤدي لانهيار المادة العازلة.

٤ -الصقل غير الكافي: إذا لم يتم صقل العازل بصورة كافية فإن الماء المتبقي على سطح العازل نتيجة الأمطار أو الندى يمكن أن يؤدي لتراكم الغبار على السطح مكونا مناطق موصلة كهربائيا تتسبب في خفض مسافة شرارة السطح للعازل والتي تتسبب في انهيار العازل.

٥ -شرارة السطح: لو حدثت شرارة على سطح العازل فإنها يمكن أن تؤدي إلى تسخين العازل تسخينا زائدا وبالتالي تؤدي لانهياره.

٦ -الإجهاد الميكانيكي: في بعض الأحيان يمكن أن يؤدي شد العازل إلى إجهاد العازل ميكانيكيا (إذا كانت مادة العزل بها عيب) وبالتالي تؤدي إلى كسره.

٧ -القصر: أحيانا تتسبب الطيور الضخمة في حدوث شرارة ومن ثم يمكن أن يؤدي ذلك لانهيار العازل (وهذا محتمل فقط إذا كانت المسافة بين الموصلات قليلة).

٤ـ٩ فحص العوازل : Insulator test

تجرى عدة اختبارات على العوازل اثناء عملية التصنيع قبل استعمالها في الخطوط ومن هذه الفحوصات :

١) فحص فولتية الشرر المرضي : فولتية الشرر المرضي هي الفولتيه التي تسبب شراره خلال الهواء المحيط بالعازل كما اسلفنا . ان الفولتيه المستعمله في الفحص اما ان تكون بتردد المصدر او نبضيه (Impulse) فلعازل مسارى 11 كيلو فولت مثلا ، تكون فولتية الصمد (الذروه) النبضيه حوالي 10.6 مره بقدر فولتية اشتغال الذروه وفولتية الصمد بتردد قدره جافه ، دقيقه واحده (حـ . م . ت) حوالي 7.9 مره بقدر فولتية الاشتغال . تعني الاشاره الى دقيقه واحده ان فولتية الفحص يجب ان ترفع الى الذروه باسرع مايمكن ثم تثبت لمدة دقيقه واحده . يجب ان تكون فولتيات الشرر المرضي الفعليه اعلى من فولتية الصمد .

٢) فحص فولتية الخرق (التثقيب) : تعرف فولتية الثقب لاى عازل بانها الفولتيه التي تخترق الخزف بين الموصل ولولب التثبيت مسببة تحطم العازل . تقاس فولتية التثقيب بتغميس العازل في زيت وتسليط فولتيه بتردد 50Hz عبر العازل والفولتيه التي عندها يبدأ التوصيل في الزيت بدرجة حرارة الغرفه تعني فولتية التثقيب .

٣) فحص المطر الاصطناعي : ان فولتية الصمد لعازل مسارى 11 ك.ف للاحوال الرطبه وبتردد قدره لمدة دقيقه واحده تساوى 4.7 مره فولتية الاشتغال .

يصعب اجراء فحوصات مطريه ذات دقه مقبوله . والاتجاه المعتمد هو مسافات التدريج (grading distance) والشرر المرضي للاحوال الرطبه المبنيه على الخبره المأخوذه من العوازل التي في الخدمه بدلا" من الفحوصات المطريه .

٤) فحص النفاذيه : Porosity test

يعتبر هذا الفحص من الفحوصات الاتلافيه ، وتجرى على نماذج قليله مختاره من العوازل عادة من خط انتاجي كامل . اذ يكسر العازل المراد فحصه الى عدة اجزاء وتغمس هذه الاجزاء في محلول صبغي تحت ضغط $15*10^6$ N/m^2 . وبعد فتره مناسبه(تقدر بساعات) . يتم اخراج النماذج من الحاويه لاجراء الفحص . تدل الاختراق العميق للصبغ على مسامية العازل وقلة كفائته .

صيانة العوازل Maintenance of Insulators:

بعد التعرف على انواع الاعطاب التي تحدث في العوازل وأسبابها يمكن تلخيص صيانة العوازل كما يلـــــي :

١ ــ اختيار مواد تصنيع نقيه من الشوائب ومعالجتها بصوره جيده ، تجنباً لحدوث تصدعات اثناء التصنيع ولتجنب حدوث فقاعات هوائيه (Voids) داخل العازل

٢ ــ القيام بالصيانه الدوريه للعوازل وذلك بازالة المواد العالقه على السطوح من الغبار وفضلات المصانع ، وذلك لتجنب حدوث شراره عرضيه تودى الى تصدع العوازل .

الاختبار الذاتي:-أملأ الفراغات التاليه بما يناسبها:-

١)كفاءه سلسله العازل تعتمد على _____

٢)تمتاز العوازل المسماريه بقوه ميكانيكيه لتحمل _____

٣)من اسباب عطب العوازل _____

٤)يتم صيانه العازل دوريا بأزاله _____ ليتجنب حدوث _____

الاختبار البعدي:- عدد انواع الفحوصات التي تجري على العازل اثناء عمليه التصنيع

المصادر المعتمده:-الكتاب المنهجي منظومه القدره الكهربائيه ،د.ضياء النعمه ، أ.طارق محمد امين

مفاتيح اجوبه الاختبارات :-

الاختبار القبلي	الاختبار الذاتي	الاختبار البعدي
١. صح	١ كفاءه السلسله تعتمد على فولتيه السلسله وعدد الاقراص وفولتيه القرص القريب من الموصل	
٢. صح	٢. لتحمل وزن السلك وقوه ضغط الريح	١. فحص فولتيه الشرر العرضي
٣. صح	٣ الاجهادات الميكانيكيه ،التصدع ،النفاذيه ،التثقيب ، الشرر العرضي	٢. فحص فولتيه الخرق ٣. فحص المطر الصناعي ٤. فحص النفاذيه
٤. خطأ	٤. بأزاله الاوساخ عن سطح العازل لتجنب حدوث الشرر العرضي	

مادة الشبكات الكهربائيه

الاسبوع الثامن والتاسع

الفئه المستهدفه :- الصف الثاني

الموضوع :- حل الخطوط الهوائيه للطاقه الكهربائيه

الافكار المركزيه :- تنقسم خطوط الطاقه الكهربائيه الى خطوط قصيره ومتوسطه وطويله

الاهداف :- يتعلم الطالب حل خطوط الطاقه الكهربائيه وتمثيلها

الاختبار القبلي :- اذكر مميزات الخطوط القصيره

المقدمة

تعتبر خطوط النقل شرايين نظام الطاقة الكهربائية. كما أن ظهور خطوط النقل المتطورة ذات السعات العالية جعل من الممكن فنيا واقتصاديا نقل الطاقة الكهربائية عبر مسافات طويلة. يتم نقل القدرة الكهربائية إما بالتيار المتردد أو بالتيار المستمر، مع تصميم الخط باستخدام أحد الأنواع التالية:

- خطوط هوائية
- كابلات أرضية
- خطوط معزولة بغاز مضغوط.

تصمم معظم خطوط نقل القدرة لتعمل في النظام الثلاثي الطور ٣ Phase System، ويستخدم في الخطوط الهوائية موصلات غير معزولة (عارية) مع الاستفادة من الهواء المحيط كوسط عازل.

يحيط بالخطوط الهوائية عند نقل القدرة مجالات كهرومغناطيسية. وتشير هذه المجالات قلقا من حيث وجود بعض الدراسات التي تشير إلى وجود تأثيرات صحية وبيئية على الكائنات المجاورة لها. بالإضافة إلى التداخل مع موجات الاتصالات Interference عند الجهود الفائقة وعند وجود تفريغ هالي Corona، نتيجة لعوامل عديدة منها تلوث العوازل الكهربائية الحاملة لخطوط النقل. ففي المناطق السكنية التي لا يمكن استخدام الخطوط الهوائية لأغراض أمنية أو لأسباب أخرى، فإن القدرة تنقل بواسطة كابلات أرضية . في هذا الفصل سنركز على الخطوط الهوائية القصيرة منها والمتوسطة وذلك بسبب انتشارها وكثرة استخدامها لسهولة تركيبها واحتياجات تشغيلها مقارنة بالكابلات الأرضية.

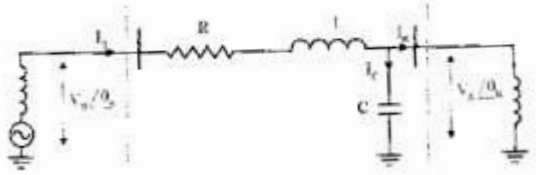
تعتمد دراسة خطوط النقل بالدرجة الأولى على خواص الأداء الكهربائي لخط النقل. وهذه الخواص يمكن التعبير عنها بخواص الخط الأربعة مرتبة حسب أهميتها:

- محاثة الخط X_L.
- سعة الخط C.
- مقاومة الخط R.
- مواصلة التوازي للخط G .

تصنف خطوط النقل إلى قصيرة ومتوسطة و طويلة وذلك حسب طول الخط. يتمثل الاختلاف بين هذه الأنواع في الدائرة المكافئة للخط حيث تظهر في الخطوط المتوسطة و الطويلة سعة التوازي للخط على عكس الخطوط القصيرة.

خواص خط النقل

تمثل هذه الخواص الأداء الكهربائي للخط . فإذا اعتبرنا خط نقل ثلاثي الطور (الوجه) فإن كل موصل يمثل مقاومة مادية R بالتوالي مع محاثة L بالتوازي مع سعة C و مواصلة G (عادة تهمل لصفرها) لكل متر طول. كما في الشكل ٥.١.



الشكل٥.١: تمثيل خط نقل مفرد (دائرة مفردة) من خط نقل ثلاثي الأوجه بمقاومة ومحاثة وسعة.

المقاومة ومواصلة التوازي للخط

السبب الذي يجعل المقاومة المادية R ومواصلة التوازي G تصنفان على أنهما أقل أهمية هو تأثيرهما الضئيل على المعاوقة المكافئة للخط وبالتالي على سعة خط النقل.

يمكن الحصول على قيمة المقاومة من القانون التالي:

$$R(\Omega) = \frac{\rho}{A}$$ أوم لكل متر لكل طور .....(٥.١)

حيث $\rho(\Omega.m)$: المقاومة النوعية لمادة الموصل

$A(m^2)$: المساحة المؤثرة للموصل

في حالة الموصلات من نوع الألمنيوم المقوى بالصلب ACSR فإن المعلومات الدقيقة عن المقاومة يمكن الحصول عليها من جداول المصنعين (الجدول ٥.١).

يؤدي الفقد الناتج عن المقاومة إلى رفع درجة حرارة الموصلات والتي قد تضع حدا حراريا على التحميل القائم. كما تؤثر درجات الحرارة العالية على ارتخاء الخطوط بين الأبراج وكذلك تتسبب في نقص قوة الشد للموصل.

أما بالنسبة لمواصلة التوازي G فإنه لا يوجد قانون لحساب قيمتها. تمثل مواصلة التوازي تيار التسرب بين الأطوار والأرض. وهذا التيار الذي يسري أساسا بين طبقات العازل، تتغير قيمته بدرجة عالية حسب المناخ ورطوبة الجو والتلوث ونسبة الأملاح. وعادة ما يهمل وجود هذا التيار في ظروف التشغيل العادية وذلك لضعفه من ناحية و العجز عن تحديد قيمته من ناحية اخرى.

الرمز	مساحة الألمنيوم cmil	الإلتفاف Stranding Al/St	عدد طبقات الألمنيوم	التيار الكهربي A	المقاومة مستمر Dc ٢٠°C Ω/١٠٠٠ ft	المقاومة Ac متردد ٦٠Hz ٢٠°C Ω/mi	المقاومة Ac متردد ٦٠Hz ٥٠°C Ω/mi	GMR D_m ft	المقاومة عند تردد ٦٠Hz فاصل المقاومة الحثية X_a Ω.mi	المقاومة السعوية (MΩ.mi)
Waxwing	٣٣٦,٨٠٠	١٨/١	٢	٠,٦٠٩	٠,٠٦٤٦	٠,٣٤٨٨	٠,٣٨٣١	٠,٠١٩٨	٠,٤٧١	٠,١٠٩٠
Partridge	٣٣٦,٨٠٠	٢٦/٧	٢	٠,٦٤٢	٠,٠٦٤٠	٠,٣٥٥٢	٠,٣٩٩٢	٠,٠٢١٧	٠,٤٦٥	٠,١٠٧١
Ostrich	٣٠٠,٠٠٠	٢٦/٧	٢	٠,٦٨٠	٠,٠٥٦٩	٠,٣٠٧٠	٠,٣٣٧٢	٠,٠٢٢٩	٠,٤٥٨	٠,١٠٥٧
Merlin	٣٣٦,٤٠٠	١٨/٣	٢	٠,٦٨٤	٠,٠٥١٢	٠,٣٧٦٧	٠,٣٠٣٧	٠,٠٢٢٢	٠,٤٦٢	٠,١٠٥٥
Linnet	٣٣٦,٤٠٠	٢٦/٧	٢	٠٧٢١	٠,٠٥٠٧	٠,٣٧٣٧	٠,٣٠٠٦	٠,٠٢٤٢	٠,٤٥١	٠,١٠٤٠
Oriole	٣٣٦,٤٠٠	٢٠/٧	٢	٠,٧٤١	٠,٠٥٠٤	٠,٣٧١٩	٠,٣٩٨٧	٠,٠٢٥٥	٠,٤٤٥	٠,١٠٣٢
Chickadee	٣٩٧,٥١٠	١٨/١	٢	٠,٧٤٢	٠,٠٤٢٢	٠,٣٢٤٢	٠,٣٥٧٢	٠,٠٢٢١	٠,٤٥٢	٠,١٠٣١
Ibis	٣٩٧,٥٠٠	٢٦/٧	٢	٠,٧٨٢	٠,٠٤٣٠	٠,٣٣٣٢	٠,٣٥٥١	٠,٠٢٢٤	٠,٤٤١	٠,١٠١٥
Pelican	٤٧٧,٠٠٠	١٨/١	٢	٠,٨١٤	٠,٠٣٦١	٠,١٩٥٧	٠,٢١٤٨	٠,٠٢٦٤	٠,٤٤١	٠,١٠٠٤
Flicker	٤٧٧,٠٠٠	٢٤/٧	٢	٠,٨٤٦	٠,٠٣٥٩	٠,١٩٤٣	٠,٢١٣٤	٠,٠٢٨٤	٠,٤٣٢	٠,٠٩٩٢
Hawk	٤٧٧,٠٠٠	٢٦/٧	٢	٠,٨٥٨	٠,٠٣٥٧	٠,١٩٣١	٠,٢١٢٠	٠,٠٢٨٩	٠,٤٣٠	٠,٩٨٨
Hen	٤٧٧,٠٠٠	٢٠/٧	٢	٠,٨٨٢	٠,٠٣٥٥	٠,١٩١٩	٠,٢١٠٧	٠,٠٢٠٤	٠,٤٢٤	٠,٩٨٠
Osprey	٥٥٦,٥٠٠	١٨/١	٣	٠,٨٧٩	٠,٠٢٠٩	٠,١٦٧٩	٠,١٨٤٢	٠,٠٢٨١	٠,٤٢٢	٠,٠٩٨١
Parakeet	٥٥٦,٥٠٠	٢٤/٧	٣	٠,٩١٤	٠,٠٢٠٨	٠,١٦٦٩	٠,١٨٣٣	٠,٠٢٠٦	٠,٤٢٢	٠,٠٩٦٩
Dove	٥٥٦,٥٠٠	٢٦/٧	٣	٠,٩٢٧	٠,٠٢٠٧	٠,١٦٦٣	٠,١٨٣٦	٠,٠٢١٤	٠,٤٢٠	٠,٠٩٦٥
Rook	٦٣٦,٠٠٠	٢٤/٧	٣	٠,٩٧٧	٠,٠٢٢٩	٠,١٤٦١	٠,١١٠٣	٠,٠٢٣٧	٠,٤١٥	٠,٠٩٥٠
Grosbeak	٦٣٦,٠٠٠	٢٦/٧	٣	٠,٩٩٠	٠,٠٢٦٨	٠,١٦٥٤	٠,١٥٩٦	٠,٠٢٣٥	٠,٤١٢	٠,٠٩٤٦
Drake	٧٩٥,٠٠٠	٢٦/٧	٢	١,٠٨	٠,٠٢١٥	٠,١١٧٢	٠,١٢٨٤	٠,٠٢٧٢	٠,٣٩٩	٠,٠٩١٢
Tern	٧٩٥,٠٠٠	٤٥/٧	٢	١,٠٦٢	٠,٠٢١٧	٠,١١٨٨	٠,١٢٠٢	٠,٠٢٥٢	٠,٤٠٦	٠,٠٩٢٥
Rail	٩٥٤,٠٠٠	٤٥/٧	٢	١,١٦٥	٠,٠١٨١	٠,٠٩٩٧	٠,١٠٩٢	٠,٠٢٨٦	٠,٣٩٥	٠,٠٨٩٧
Cardinal	٩٥٤,٠٠٠	٥٤/٧	٣	١,١٩٦	٠,٠١٨٠	٠,٠٩٨٨	٠,١٠٨٢	٠,٠٤٠٢	٠,٣٩٠	٠,٠٨٩٠
Ortolan	١,٠٢٢,٥٠٠	٤٥/٧	٣	١,٢١٢	٠,٠١٦٧	٠,٠٩٢٤	٠,١٠١١	٠,٠٤٠٢	٠,٣٩٠	٠,٠٨٨٥
Bluejay	١,١١٣,٠٠٠	٤٥/٧	٣	١,٢٥٩	٠,٠١٥٥	٠,٠٩٤١	٠,٠٨٦١	٠,٠٤١٥	٠,٣٨٦	٠,٠٨٧٤
Finch	١,١١٣,٠٠٠	٥٤/١٩	٣	١,٢٩٢	٠,٠١٥٥	٠,٠٩٢٧	٠,٠٨٥٦	٠,٠٤٢٦	٠,٣٨٠	٠,٠٨٦٦
Bittern	١,٢٧٢,٠٠٠	٤٥/٧	٣	١,٣٤٥	٠,٠١٣٦	٠,٠٨٣٢	٠,٠٧٦٢	٠,٠٤٤٤	٠,٣٧٨	٠,٠٨٥٥
Pheasant	١,٢٧٢,٠٠٠	٥٤/١٩	٣	١,٣٨٢	٠,٠١٣٥	٠,٠٨٢١	٠,٠٧٥١	٠,٠٤٢٦	٠,٣٧٢	٠,٠٨٤٧

										t
٠,٠٨٣٧	٠,٣٧١	٠,٠٤٧٠	٠,٠٧٤٦	٠,٠٦٨٤	٠,٠١٣١	١,٤٢٧	٣	٤٥/٧	١,٤٣١,٠٠٠	Bobolink
٠,٠٨٢٩	٣٦٥	٠,٠٤٩٤	٠,٠٧٣٥	٠,٠٦٧٢	٠,٠١٢٠	١,٤٦٥	٣	٥٤/١٩	١,٤٣١,٠٠٠	Plover
٠,٠٨٢٢	٠,٣٦٤	٠,٠٤٩٨	٠,٠٦٧٨	٠,٠٦٢٣	٠,٠١٠٩	١,٥٠٢	٣	٤٥/٧	١,٥٩٠,٠٠٠	Lapwing
٠,٠٨١٤	٠,٣٥٨	٠,٠٥٢٢	٠,٠٦٦٧	٠,٠٦١٢	٠,٠١٠٨	١,٥٤٥	٣	٥٤/١٩	١,٥٩٠,٠٠٠	Falcon
٠,٠٧٧٤	٠,٣٤٤	٠,٠٥٨٦	٠,٠٥١٥	٠,٠٤٧٦	٠,٠٠٨٠	١,٧٦٢	٤	٨٤/١٩	٢,١٥٦,٠٠٠	Bluebird

الجدول ٥.١ : المواصفات الكهربائية لموصل ألمنيوم غير معزول ومقوى بالصلب (ACSR).

محاثة الخط Line Reactance (XL)

تعتبر محاثة الخط أكثر الخواص أهمية، فبالنسبة لتصميمات الخطوط العادية تكون المفاعلة الحثية $X_L=\omega L$ Inductive Reactance هي العنصر السائد للمعاوقة نتيجة لتأثيرها على سعة التوصيل وانخفاض الجهد.

حساب المحاثة للخطوط ثلاثية الطور (الوجه) أحادية الموصل:

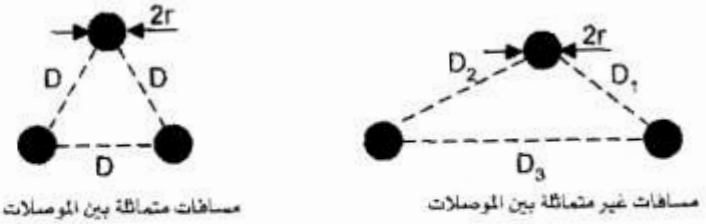
المحاثة لكل طور تساوي

$$L=\frac{\mu_o}{2\pi}\left(\frac{1}{4}+\ln\frac{D}{r}\right)\ \text{H/m}$$ هنري لكل متر .....(٥.٢)

حيث إن $\mu_o=2\pi\times10^{-7}$, قابلية النفاذ المغناطيسي في الفراغ

D : المسافة بين الموصلات

r: نصف قطر الموصل



مسافات متماثلة بين الموصلات — مسافات غير متماثلة بين الموصلات

الشكل ٥.٢: المسافة بين الموصلات

إذا كانت المسافات بين الموصلات غير متماثلة (الشكل ٥.٢) وتختلف الواحدة عن الأخرى فإن التغير الوحيد في القانون يكون في المسافة : $D=\sqrt[3]{D_1D_2D_3}$ .....(٥.٣)

مثال : المسافة بين الموصلات: D = 5m

نصف قطر الموصل: r =1.5cm

التردد: f = 60Hz

المحاثة لكل طور: $L = \frac{4\pi \times 10^{-7}}{2\pi}(\frac{1}{4} + \ln\frac{500}{1.5}) = 12.12x10^{-7}\, H/m$

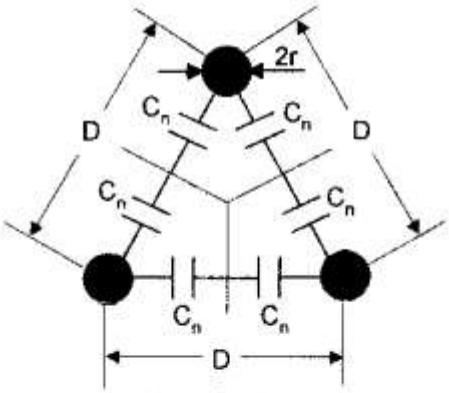
وعليه فإن مفاعلة الخط الحثية تكون: $X_L = \omega L = 377 \times 12.12 \times 10^{-4} = 0.457\ \Omega/km$

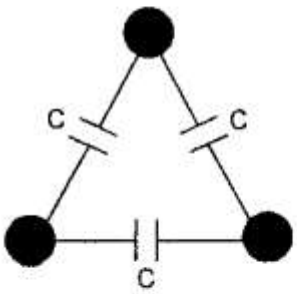
من الجداول نجد أن المقاومة المادية لهذا الموصل تساوي R=0.074 Ω/km. ومن ثم فإن مفاعلة الخط تكون ستة أضعاف المقاومة مما يؤكد ما ذكر سابقا عن تناسب قيم R و X_L و إمكانية إهمال المقاومة المادية.

سعة الخط

عندما يكون فرق الجهد بين الموصلات عاليا جدا يتسرب تيار كهربائي عبر العازل الذي يمثله الهواء في الخطوط الهوائية. يكون هذا التيار متقدما عند انعدام الحمل ويعرف بتيار الشحن. ويحدد قيمة هذا التيار سعة الخط و جهد النقل والتردد.

تمثل السعة مصدرا للقدرة المفاعلة. وتتناسب هذه القدرة تناسبا طرديا مع مربع جهد النقل. بالنسبة لخط نقل يزيد طوله عن ١٠٠km و يتجاوز جهده ٢٠٠kV فإن تأثير سعة التوازي يصبح جزءاً أساسيا في حسابات المنظومة الكهربائية.





الشكل ٥,٣: السعة كل موصل مع المحايد لخط ثلاثي الطور.

سعة الخطوط أحادية الموصل ثلاثية الطور:

تمثل المعادلة التالية السعة بين الخط المحايد وكل متر من الموصل لخط نقل ثلاثي الطور (الشكل ٥,٣):

$$C_n = 2C = \frac{2\pi\varepsilon_0}{\ln\frac{D}{r}}(F/m)$$ فراد لكل متر من كل طور.....(٥,٤)

حيث إن $\varepsilon_0=8.854\text{x }10^{-12}$: ثابت العازل للفراغ، ويسمى بسماحية العازل Permittivity

D : المسافة بين الموصلات

r: نصف قطر الموصل

C: السعة بين الموصل والموصل

إذا كانت المسافات بين الموصلات غير متماثلة (الشكل ٥,٢) وتختلف الواحدة عن الأخرى فإن التغير الوحيد في القانون يكون في المسافة : $D = \sqrt[3]{D_1 D_2 D_3}$

المفاعلة السعوية Capacitive Reactance (مفاعلة التوازي) لكل متر من الموصل لخط نقل ثلاثي الطور هي:

$X_c = \frac{1}{\omega C_n}$ أوم لكل متر من الموصل.....(٥.٥)

حيث إن f (Hz) : تردد التيار . والتردد الزاوي هو w $2\pi f$.

وتسمى عكس المفاعلة السعوية بالمسامحة السعوية Capacitive admittance (Y) ، ويكون لكل متر من الموصل لخط نقل ثلاثي الطور مسامحة سعوية تعطى من القانون التالي:

$Y = j\frac{1}{X_c} = j\omega C_n$ (Siemens) سيمنس لكل متر من الموصل.....(٥.٦)

مثال: احسب المسامحة السعوية لخط نقل ثلاثي الطور طوله ٢٠٠km يستخدم موصلات قطرها ٣cm معلقة على مسافات متماثلة في حدود ٥m.

السعة بين كل موصل و الخط المحايد لكل متر من طول الخط تحسب كالتالي :

$$C_n = \frac{2\pi \times 8.854 \times 10^{-12}}{\ln \frac{500}{15}} = 9.577 \times 10^{-12} F/m$$

∴ السعة بين كل موصل و المحايد لكامل الخط :

$$C_n = 9.577 \times 10^{-12} \times 200 \times 10^3 = 1.915 \times 10^{-6} F$$

المفاعلة السعوية Capacitive Reactance لكل موصل في الخط الثلاثي الطور:

$$X_c = \frac{1}{\omega C_n} = \frac{1}{377 x 1.954 x 10^{-6}} = 1385\Omega$$

المسامحة السعوية Capacitive Admittance لكل موصل في الخط الثلاثي الطور:

$Y = j\omega C_n = 722 x 10^{-6} \angle 90^0$ (Siemens) لكل طور.

خطوط النقل القصيرة

تم تحديد خواص الخط الثلاثي الطور التي استعرضت في الجزء الأول من هذا الفصل لكل متر طولي من كل طور. ومن ثم فإنه لإيجاد خواص خط معين طوله L(m) يتم ضرب هذه القيم في الطول الحقيقي للخط. وهذا في الواقع يمكن إجراؤه للخطوط القصيرة حيث يمكننا إهمال معاملات التوازي نظرا لضعف قيمتها والاكتفاء بالمقاومة والمفاعلة الحثية للخط. في حالة الخطوط المتوسطة والطويلة حيث لا يمكن إهمال معاملات التوازي فإن دقة هذه الطريقة تقل بسبب إهمال تأثير توزيع هذه الخواص على طول الخط.

من هذا المنطلق يمكننا اختصار خط النقل القصير الثلاثي الطور في مقاومة ومفاعلة حثية على التوالي لكل طور. يربط هذا الخط بين المولد والحمل كما هو مبين على الشكل ٥.١.

حيث إن V_S يمثل جهد الطور عند الإرسال Sending end voltage per phase

V_R جهد الطور عند الاستقبال Receiving end voltage per phase

I_L تيار الخط Line current

R مقاومة الخط لكل طور Line resistance per phase

X_L المفاعلة الحثية للخط لكل طور Line reactance per phase

ΔV هبوط الجهد على الخط لكل طور Line voltage drop per phase

$P_R(w)$ القدرة الفعالة عند الاستقبال Active power at receiving end

$S_R(VA)$ القدرة الظاهرية عند الاستقبال Apparent power at receiving end

$Q_R(VAR)$ القدرة المفاعلة عند الاستقبال Reactive power at receiving end

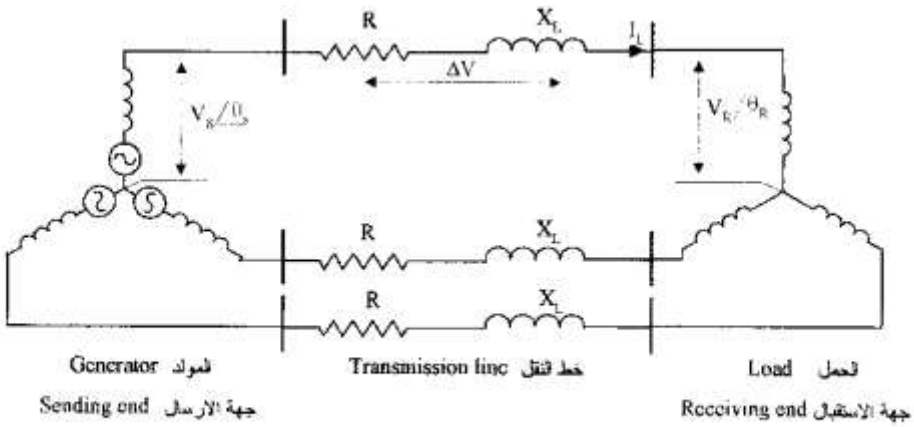
$Cos\phi_R$ معامل القدرة عند الاستقبال power factor at receiving end

$P_S(w)$ القدرة الفعالة عند الإرسال Active power at sending end

$S_S(VA)$ القدرة الظاهرية عند الإرسال Apparent power at sending end

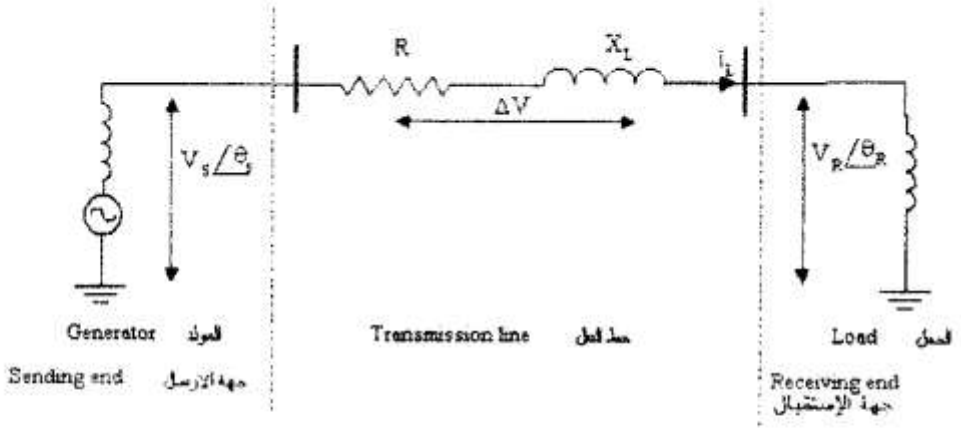
$Q_S(VAR)$ القدرة المفاعلة عند الإرسال Reactive power at sending end

$Cos\phi_S$ معامل القدرة عند الإرسال power factor at sending end



الشكل٥.٤ : خط نقل قصير ثلاثي الطور يربط بين محطة التوليد والحمل.

بحكم تماثل الحمل على الأطوار الثلاثة لخط النقل فإنه يمكن اختصار الدائرة الموضحة في الشكل السابق (٥.٤) إلى دائرة مفردة أحادية الطور (خط نقل مفرد) كما هو مبين في الشكل ٥.٥.



الشكل٥.٥ : الدائرة المفردة المكافئة لخط نقل ثلاثي الطور متماثل.

وبناء على الدائرة المكافئة للخط يمكننا تحديد ما يلي:

جهد الطور عند الإرسال: $V_S = V_R + \Delta V$ .....(٥.٨)

جهد الطور V_R عند الاستقبال يعطى بالعلاقة $V_R = \frac{U_R}{\sqrt{3}}$ .....(٥.٩)

ويمكن حساب هبوط الجهد كالتالي $\Delta V = Z_L I_L = I_L R + jI_L X_L$ .....(٥.١٠)

حيث إن: U_R هو جهد الخط عند الاستقبال Line voltage at receiving end.

$Z_L=R+jX_L$: معاوقة الخط Line impedance.

RI_L: هبوط الجهد عبر المقاومة وهو متطابق مع تيار الخط I_L . Resistive drop in phase with I_L

X_LI_L: هبوط الجهد المفاعل ويكون تعامدياً مع تيار الخط I_L . Reactive drop in quadrature with I_L

رسم المخطط الاتجاهي للدائرة المكافئة للخط

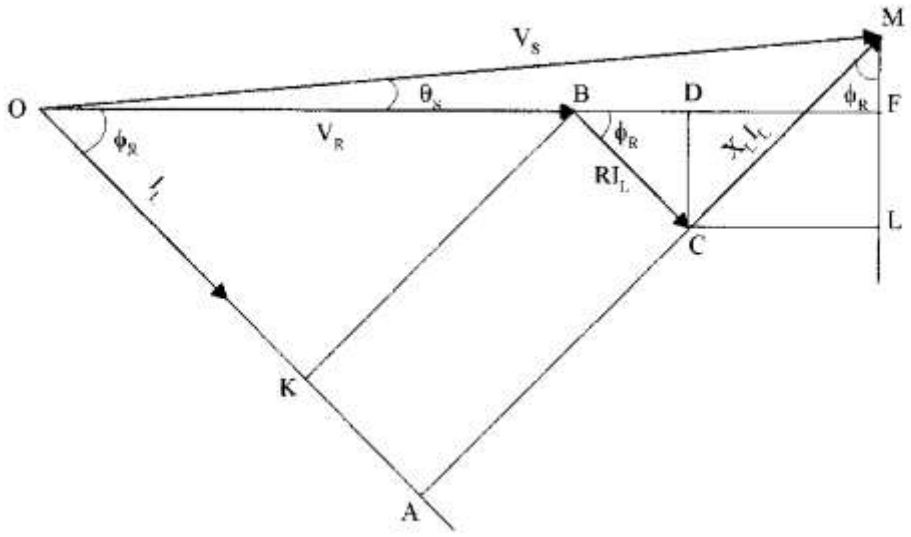
يبين الشكل ٥.٦ رسم المتجهات المكافئ لدائرة خط النقل القصير. وانطلاقا من المثلث قائم الزاوية OMA نستخلص ما يلي:

$$OM^2 = OA^2 + AM^2 = (OK + KA)^2 + (AC + CM)^2 \quad (٥.١١)$$

$$OM = \sqrt{(OK + KA)^2 + (AC + CM)^2} \quad (٥.١٢)$$

بحيث

$$V_S = \sqrt{(V_R \cos\phi_R + RI_L)^2 + (V_R \sin\phi_R + X_L I_L)^2} \quad (٥.١٣)$$



الشكل٥.٦: رسم المتجهات لهبوط الجهد بين الإرسال والاستقبال

الجهد عند الإرسال

القيمة التقريبية لهبوط الجهد وجهد الإرسال:

بحكم أن الزاوية θ_S بين OM وOF صغيرة نسبيا يمكننا اعتبار المسافة OM=OF (تقريبيا). وهذا يعني أن:

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

$$V_S = V_R + BD + DF = V_R + RI_L \cos\phi_R + X_L I_L \sin\phi_R \quad (٥,١٤)$$

$$V_S - V_R = RI_L \cos\phi_R + X_L I_L \sin\phi_R$$

فتكون القيمة التقريبية لهبوط الجهد: $\Delta V = RI_L \cos\phi_R + X_L I_L \sin\phi_R$ (٥,١٥)

ويكون جهد الطور عند الإرسال: $V_S = V_R + \Delta V$ (٥,١٦)

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

نستخدم الجهد عند الاستقبال V_R كمتجه مرجعي Reference vector لحساب الزوايا للكميات الأخرى كما هو مبين في الشكل ٥,٦ ، حيث يمكننا تحويل كل معطيات الخط لقيم المركبة:

$$V_R = |V_R| + j0 = |V_R|\angle 0^o \quad (٥,١٧)$$

$$I_L = |I_L|(\cos\phi_R - j\sin\phi_R) = |I_L|\angle -\phi_R \quad (٥,١٨)$$

يكون التيار متأخرا Lagging إذا كان الحمل حثي كما هو في الدائرة السابقة، لذا تكون الزاوية سالبة. أما إذا كان الحمل سعوياً فإن الزاوية تكون موجبة لأن التيار سيكون متقدماً Leading في هذه الحالة.

$$Z_L = R + jX_L = |Z|\angle\theta \quad (٥,١٩)$$

$$\Delta V = Z_L I_L \angle\theta - \phi_L \quad (٥,٢٠)$$

ويكون جهد الطور عند الإرسال: $V_S = V_R + \Delta V$ (٥,٢١)

$$V_S = V_R + Z_L I_L \angle(\theta - \phi_R) \quad (٥,٢٢)$$

$$V_S = V_R + I_L(\cos\phi_R - j\sin\phi_R)(R + jX_L) \quad (٥,٢٣)$$

$$V_S = V_R + (RI_L \cos\phi_R + X_L I_L \sin\phi_R) + j(X_L I_L \cos\phi_R - RI_L \sin\phi_R) \quad (٥,٢٤)$$

$$V_S = \sqrt{(V_R + RI_L \cos\phi_R + X_L I_L \sin\phi_R)^2 + (X_L I_L \cos\phi_R - RI_L \sin\phi_R)^2} \quad (٥,٢٥)$$

إذا كان معامل القدرة متقدما Leading (أي أن الحمل سعوي) فإن زاوية التيار تصبح موجبة وبالتالي فإن:

$$I_L = |I_L|(\cos\phi_R + j\sin\phi_R) = |I_L|\angle\phi_R \quad (٥.٢٦)$$

ويكون الجهد عند الإرسال:

$$V_S = V_R + I_L(\cos\phi_R + j\sin\phi_R)(R + jX_L) \quad (٥.٢٧)$$

$$V_S = V_R + (RI_L\cos\phi_R - X_L I_L\sin\phi_R) + j(X_L I_L\cos\phi_R + RI_L\sin\phi_R) \quad (٥.٢٨)$$

$$V_S = \sqrt{(V_R + RI_L\cos\phi_R - X_L I_L\sin\phi_R)^2 + (X_L I_L\cos\phi_R + RI_L\sin\phi_R)^2} \quad (٥.٢٩)$$

و تكون زاوية معامل القدرة عند الإرسال:

$$\phi_S = \phi_R + \theta_s \quad (٥.٣٠)$$

معامل التنظيم لجهد الخط: Voltage Regulation of line

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

$$\Delta V(\%) = \frac{V_S - V_R}{V_R} \times 100 \quad (٥.٣١)$$

القدرة المفقودة على الخط: Power losses of the line

تتسبب كل من المقاومة R و المفاعلة للخط X_L في فقدان كمية كبيرة من القدرة الفعالة (P) Active Power والمفاعلة (Q) Reactive Power خاصة عندما يكون جهد النقل منخفضا. وذلك نظراً للتناسب الطردي بين القدرة المفقودة ومربع التيار ($P=I^2R$ أو $P\propto I^2$).

يمكننا تقسيم هذه المفقودات إلى قدرة فعالة P_{Loss} وأخرى مفاعلة Q_{Loss}. حيث تكون مقاومة الموصل مصدر القدرة الفعالة المفقودة على الخط و تكون مفاعلة الموصل مصدراً للقدرة المفاعلة المفقودة على الخط.

وتحسب القدرة الفعالة المفقودة على الخط $P_{loss}(W)$ من المعادلات التالية:

$$P_{Loss} = 3RI_L^2 \quad (٥.٣٢)$$

$$P_{Loss} = P_S - P_R \quad (٥.٣٣)$$

كما يمكن حساب القدرة المفعالة المفقودة على الخط $Q_{loss}(VAR)$ مما يلي:

$$Q_{Loss} = 3X_L I_L^2 \quad (٥.٣٤)$$

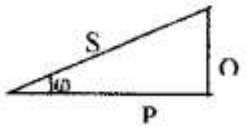
$$Q_{Loss} = Q_S - Q_R \quad (٥.٣٥)$$

وللتقليل من القدرة المفقودة، فإنه يتم رفع الجهد على خطوط النقل كلما زاد طول الخط وذلك لخفض التيار في حدود الإمكانات الاقتصادية لتكلفة النقل. بالإضافة إلى ذلك فإن التكلفة الإجمالية ستقل، لأنه كلما قل التيار فإن مساحة مقطع الموصل المستخدم تقل وبالتالي فإن حجم أبراج النقل ستقل مما ينعكس على التكلفة الإجمالية. ولكن هذه المزايا يقابلها في الجهة الأخرى مشاكل تتعلق بضرورة زيادة مستوى العزل الكهربائي للأجهزة والمعدات والعوازل الكهربائية المرتبطة بخط النقل.

القدرة عند الإرسال وعند الاستقبال:

إذا كان الحمل متوازنا بين الأطوار الثلاثة تكون القدرة الظاهرية عند الإرسال $S_S(VA)$ تعادل ثلاثة مرات قيمتها لكل طور: $S_S = 3V_S I_L^*$ .....(٥,٣٦)

كما يمكننا استخلاص القدرة الفعالة $P_S(W)$ والمفاعلة $Q_S(VAR)$ عند الإرسال مباشرة من القدرة الظاهرية: $S_S = P_S + jQ_S$ .....(٥,٣٧)



فيما يمكن أن تمثل هذه العلاقة فيما يسمى بمثلث القدرة.

كذلك بالنسبة للقدرة الظاهرية $S_R(VA)$ و القدرة الفعالة $P_R(W)$ والمفاعلة $Q_R(VAR)$ عند الاستقبال :

$S_R = 3V_R I_L^*$ .....(٥,٣٨)

$S_R = P_R + jQ_R$ .....(٥,٣٩)

كما يمكننا حساب القدرة الفعالة والمفاعلة عن طريق معامل القدرة:

القدرة الفعالة والمفاعلة عند الإرسال : $P_S = 3V_S I_L \cos\phi_S$ .....(٥,٤٠)

$Q_S = 3V_S I_L \sin\phi_S$ .....(٥,٤١)

$S_S = 3V_S I_L = \sqrt{3}U_S I_L = \frac{P_S}{\cos\phi_S} = \frac{Q_S}{\sin\phi_S}$ .....(٥,٤٢)

القدرة الفعالة والمفاعلة عند الاستقبال : $P_R = 3V_R I_L \cos\phi_R$ .....(٥,٤٣)

$Q_R = 3V_R I_L \sin\phi_R$ .....(٥,٤٤)

$S_R = 3V_R I_L = \sqrt{3}U_R I_L = \frac{P_R}{\cos\phi_R} = \frac{Q_R}{\sin\phi_R}$ .....(٥,٤٥)

كفاءة خط النقل Efficiency of transmission line

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

$\eta(\%) = \frac{P_R}{P_S} \times 100$ .....(٥,٤٦)

مثال :

معامل التنظيم والكفاءة لخط نقل قصير.

خط نقل كهربائي قصير ثلاثي الطور، تردده f=٦٠Hz له مقاومة R=٥Ω ومحاثة L=٢٠mH يغذي حملاً متوازنا ثلاثي الطور P=١٠٠٠kW بمعامل قدرة ٠.٨ متأخر تحت جهد ١١kV بين الخط والخط. أوجد :

أ - الجهد عند الإرسال ومعامل القدرة.

ب - كفاءة خط النقل.

ج - معامل التنظيم.

د – ارسم المخطط الاتجاهي.

الحل:

جهد الطور عند الاستقبال:

$$V_R = \frac{U_R}{\sqrt{3}} = \frac{11000}{\sqrt{3}} = 6350V$$

تيار الخط:

$$I_L = \frac{P_R}{3V_R \cos\phi_R} = \frac{1000 \times 10^3}{3 \times 6350 \times 0.8} = 65.6A$$

$\phi_R = \cos^{-1}(0.8) = 36.87^o$ متأخر

$$I_L = 65.6A\angle -36.87^o$$

معاوقة الخط لكل طور:

$$Z_L = R + j2\pi fL = 5 + j2\pi 60 \times 0.025 = (5 + j9.4)\Omega$$

هبوط الجهد على كل الطور:

$$\Delta V = Z_L I_L = (10.65\angle 62^o)(65.6\angle -36.87^o) = 698.64V\angle 25.13^o = (632 + j296)V$$

أ - جهد الطور عند الإرسال :

$$V_S = V_R + \Delta V = 6350 + (632 + j296) = 6988V\angle 2.4^0$$

جهد الخط عند الإرسال :

$$U_S = \sqrt{3}V_S = \sqrt{3} \times 6988 = 12100V = 12.1kV$$

معامل القدرة عند الإرسال :

$$\Phi_S = \Phi_R + \theta_R = 36.9^o + 2.4^o = 39.3^o$$

ب – القدرة الفعالة المفقودة على الخط

$$P_{Loss} = 3RI_L^2 = 3 \times 5 \times 65.6^2 = 64550W = 64.55kW$$

القدرة الفعالة عند الإرسال

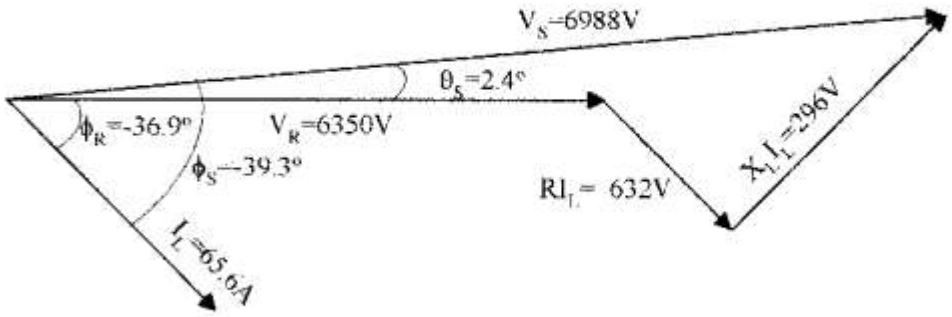
$$P_S = P_R + P_{Loss} = 1000 + 64.55 = 1064.55kW$$

كفاءة الخط:

$$\eta = \frac{P_R}{P_S} = \frac{1000}{1064.55} = 0.9394 = 93.94\%$$

ج – معامل تنظيم الجهد على الخط

$$\Delta V(\%) = \frac{U_S - U_R}{U_R} \times 100 = \frac{12.1 - 11}{11} \times 100 = 10\%$$



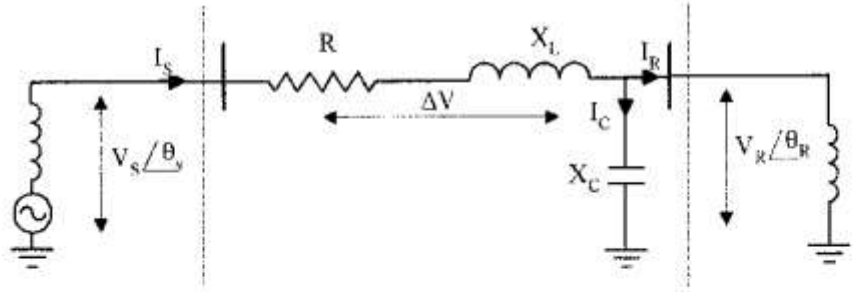
الشكل٥.٧: رسم المتجهات لهبوط الجهد بين الإرسال والاستقبال

خطوط النقل الهوائية المتوسطة

على عكس الخطوط القصيرة التي تم فيها إهمال المفاعلة السعوية للخط، نظرا لقيمتها الضعيفة، تزيد قيمة هذه المفاعلة السعوية والتسرب عبر العوازل بزيادة طول وجهد خط النقل ويصبح لها تأثير كبير على معامل التنظيم والكفاءة. يأخذ بعين الاعتبار المفاعلة السعوية والمفاعلة التسربية Leakage reactance للخط، لما لها من تأثير على التمثيل الدقيق لخط النقل وحساب الجهد عند الإرسال ومعامل التنظيم.

الدائرة المكافئة لخط نقل قصير أو قريب من المتوسط ذات مفاعلة سعوية

إذا توفرت قيمة المفاعلة السعوية لبعض الخطوط القصيرة نسبيا والقريبة من المتوسطة (أقل من ١٠٠km) فيمكننا زيادة تفعيل القيمة التقديرية بوضع مجموع هذه المفاعلات في آخر الخط عند الاستقبال كما يتبين من الشكل ٥.٨. في هذه الحالة يكون التيار عند الإرسال I_S هو مجموع المتجهات للتيار عند الاستقبال I_R وتيار الشحن لسعة الخط I_C كما يتضح من المعادلات التالية:



الشكل٥.٨: تمثيل سعة الخط المتوسط بمفاعلة سعوية عند الاستقبال

التيار عند الإرسال:

$$I_S = I_R + I_C \quad \text{.....(٥.٤٧)}$$

حيث يعطى تيار الشحن من العلاقة التالية:

$$I_C = j\omega C V_R \quad \text{.....(٥.٤٨)}$$

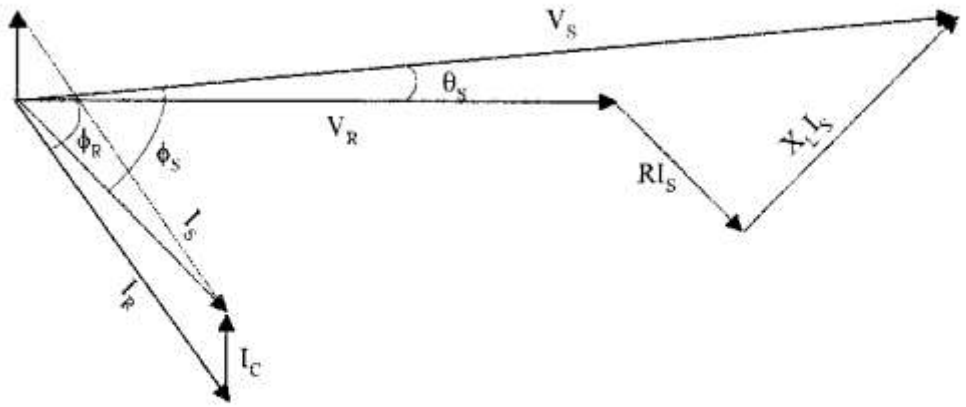
ويمكن حساب هبوط الجهد كالتالي:

$$\Delta V = Z_L I_S = (R + jX_L) I_S \quad \text{.....(٥.٤٩)}$$

ويصبح الجهد عند الإرسال كما يلي:

$$V_S = V_R + \Delta V = V_R + (R + jX_L) I_S \quad \text{.....(٥.٥٠)}$$

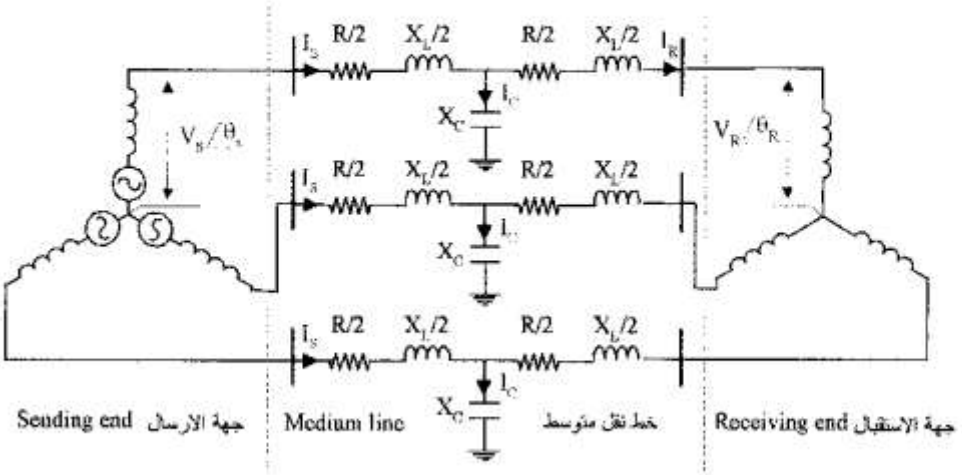
وتوضح العلاقات المتجهة للجهود والتيارات في الشكل ٥.٩.



الشكل٥.٩: رسم المتجهات لخط نقل متوسط مع اعتبار السعة كتلة واحدة في آخر الخط

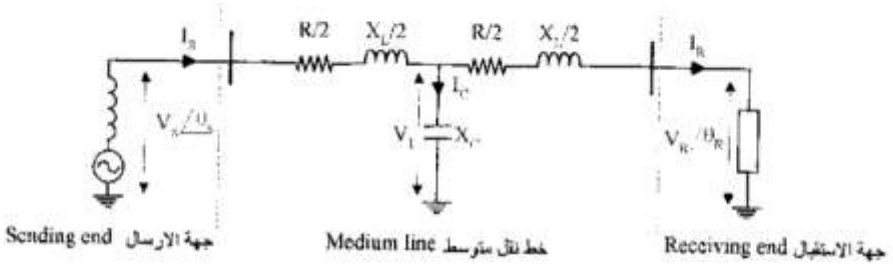
الدائرة المكافئة لخط نقل متوسط على طريقة T (T - Method)

تتمثل هذه الطريقة في اعتبار المفاعلة السعوية مركزة في وسط الخط بين نصفي المقاومة والمفاعلة الحثية للخط مما يعطي الدائرة المكافئة شكل T كما يتبين من الشكل ٥.١٠.



الشكل٥.١٠: خط نقل متوسط ثلاثي طور مجسم على طريقة T (T-Model)

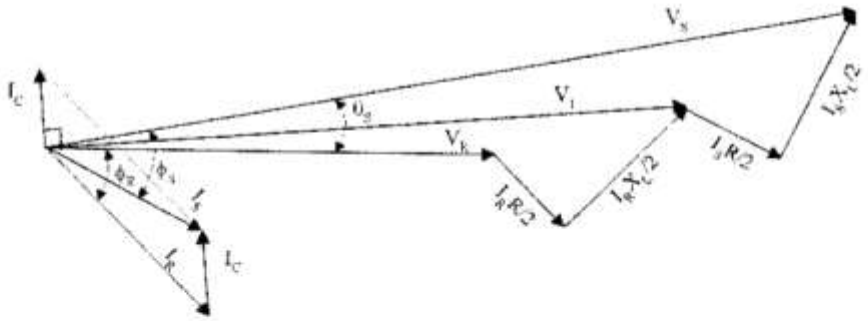
إذا اعتبرنا الحمل متوازنا على الخط الثلاثي الطور فإنه يمكننا اختصار منظومة الثلاثة أوجه المبينة في الشكل ٥.١٠ بالدائرة الكهربائية التي في الشكل ٥.١١ والتي تمثل وجهاً واحداً من تلك المنظومة.



الشكل ٥.١١ : تجسيم خط نقل ثلاثي الطور بدائرة كهربائية واحدة على شكل T (T-Model)

رسم المخطط الاتجاهي للدائرة المكافئة للخط

يبين الشكل ٥.١٢ رسم المتجهات لخط نقل متوسط ممثلاً بطريقة T .



الشكل٥.١٢ : رسم المتجهات لخط نقل متوسط مجسم على طريقةT

يتبين من الشكل ٥.١٢ أن الزوايا تقاس انطلاقا من الجهد عند الاستقبال حيث يعتبر V_R مرجع المتجهات. و من الواضح أن كل القيم المبينة في هذا الشكل هي للطور الواحد مع المحايد.

الجهد عند الإرسال

يكون التيار عند الإرسال مساوياً لمجموع تياري الاستقبال I_R والشحن I_c كما يلي: $I_S = I_R + I_C$ ...(٥،٥١)

حيث إن تيار الشحن يساوي: $I_C = YV_1 = j\omega CV_1$ .....(٥،٥٢)

أما هبوط الجهد على النصف الأول من الخط فيمكن أن يحسب من العلاقة التالية:

$$\Delta V_1 = \frac{Z_L}{2} I_S = \frac{(R + jX_L)}{2} I_S \quad \text{.....(٥،٥٣)}$$

وكذلك فإن هبوط الجهد على النصف الثاني من الخط يمكن أن يمثل في العلاقة التالية:

$$\Delta V_R = \frac{Z_L}{2} I_R = \frac{(R + jX_L)}{2} I_R \quad \text{.....(٥،٥٤)}$$

وبالتالي فإنه يمكن حساب الجهد عند المكثف بجمع جهد الإرسال وهبوط الجهد (٥،٥٤) كما يلي:

$$V_1 = V_R + \Delta V_R = V_R + \frac{Z_L}{2} I_R \quad \text{.....(٥،٥٥)}$$

وبتعويض المعادلة (٥،٥٥) في المعادلة (٥،٥٢) ثم المعادلة (٥،٥١) فإن التيار عند الإرسال يصبح كالتالي:

$$I_S = YV_R + (1 + \frac{YZ_L}{2}) I_R \quad \text{.....(٥،٥٦)}$$

كما أن الجهد عند الإرسال هو مجموع الجهد عبر المكثف وهبوط الجهد في نصف جهة الإرسال (٥،٥٧)، أو مجموع الجهد في جهة الاستقبال والهبوط في الجهد على امتداد خط النقل (في نصفي الخط) (٥،٥٨):

$$V_S = V_1 + \Delta V_1 = V_1 + \frac{Z_L}{2} I_S \quad \text{.....(٥،٥٧)}$$

$$V_S = V_R + \Delta V_1 + \Delta V_2 = V_R + \frac{Z_L}{2} I_S + \frac{Z_L}{2} I_R \quad \text{.....(٥،٥٨)}$$

بعد تعويض I_S من المعادلة (٥،٥٦) بقيمتها في هذه المعادلة (٥،٥٨) يكون الجهد عند الإرسال:

$$V_S = (1 + \frac{Z_L Y}{2}) V_R + Z_L (1 + \frac{Z_L Y}{4}) I_R \quad \text{.....(٥،٥٩)}$$

معامل التنظيم لجهد الخط: Voltage Regulation of line

ويعرف معامل التنظيم لجهد الخط بأنه النسبة المئوية بين فرق الجهد عند الإرسال والاستقبال، وجهد الاستقبال:

$$\Delta V(\%) = \frac{V_S - V_R}{V_R} \times 100 \quad \text{.....(٥،٦٠)}$$

القدرة المفقودة على الخط: Power losses of the line

تتسبب كل من مقاومة و مفاعلة الخط في فقدان كمية كبيرة من القدرة الفعالة خاصة عندما يكون جهد النقل منخفضا. وذلك للعلاقة الطردية بين القدرة المفقودة ومربع التيار. كما يتم تبادل كمية كبيرة من القدرة المفاعلة السعوية أو الحثية و ذلك حسب خصائص الخط.

تنقسم هذه القدرة المفاعلة إلى سعوية وحثية. حيث تكون المفاعلة الحثية X_L مصدر القدرة المفاعلة الحثية على الخط و تكون المفاعلة السعوية مصدراً للقدرة المفاعلة السعوية.

فالمعادلة التالية توضح كيفية حساب القدرة الفعالة المفقودة على الخط $P_{loss}(W)$:

$$P_{Loss} = 3\frac{R}{2}(I_R^2 + I_S^2) \quad (٥.٦١)$$

$$P_{Loss} = P_S - P_R \quad (٥.٦٢)$$

كذلك فإن القدرة المفعالة المتبادلة على الخط $Q_{loss}(VAR)$ هي:

$$Q_{Loss} = Q_S - Q_R \quad (٥.٦٣)$$

وللتقليل من القدرة المفقودة على الخط يتم رفع الجهد على خطوط النقل كلما زاد طول الخط وذلك لخفض التيار في حدود الإمكانات الاقتصادية لتكلفة النقل.

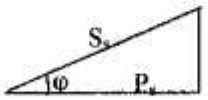
القدرة عند الإرسال وعند الاستقبال:

إذا كان الحمل متوازنا بين الأطوار الثلاثة تكون القدرة الظاهرية عند الإرسال $S_S(VA)$ تعادل ثلاثة مرات قيمتها لكل طور:

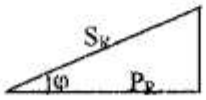
$$S_S = 3V_S I_S^* \quad (٥.٦٤)$$

كما يمكننا استخلاص القدرة الفعالة $P_S(W)$ والمفاعلة $Q_S(VAR)$ عند الإرسال مباشرة من القدرة الظاهرية:

$$S_S = P_S + jQ_S \quad (٥.٦٥)$$



كذلك بالنسبة للقدرة الظاهرية $S_R(VA)$ و القدرة الفعالة $P_R(W)$ والمفاعلة $Q_R(VAR)$ عند الاستقبال :



$$S_R = 3V_R I_R^* \quad (٥.٦٦)$$

$$S_R = P_R + jQ_R \quad (٥.٦٧)$$

كما يمكننا حساب قيم القدرة الفعالة والمفاعلة عن طريق معامل القدرة بالاستعانة بمثلث القدرة أعلاه، فالقدرة الفعالة والمفاعلة والظاهرية عند الإرسال تعطى من العلاقات التالية:

$$P_S = 3V_S I_S \cos\phi_S \quad (٥.٦٨)$$

$$Q_S = 3V_S I_S \sin\phi_S$$

(٥.٦٩).....

$$S_S = 3V_S I_S = \sqrt{3}U_S I_S = \frac{P_S}{\cos\phi_S} = \frac{Q_S}{\sin\phi_S}$$

(٥.٧٠).....

والقدرة الفعالة والمفاعلة عند الاستقبال يمكن حسابها كالتالي: $P_R = 3V_R I_R \cos\phi_R$ .....(٥.٧١)

$$Q_R = 3V_R I_R \sin\phi_R$$

(٥.٧٢).....

$$S_R = 3V_R I_R = \sqrt{3}U_R I_R = \frac{P_R}{\cos\phi_R} = \frac{Q_R}{\sin\phi_R} \quad \text{.....(٥.٧٣)}$$

كفاءة خط النقل Efficiency of transmission line

تمثل كفاءة خط النقل نسبة بين القدرة الفعالة المنقولة على الخط والتي تصل للمستهلك،

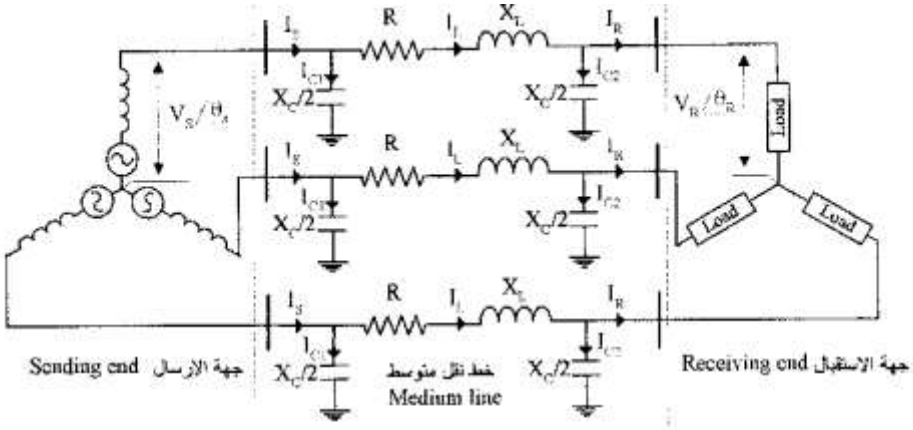
والقدر ة الفعالة المولدة عند الإرسال تساوي: $\eta(\%) = \frac{P_R}{P_S} \times 100$

(٥.٧٤).....

الدائرة المكافئة لخط نقل متوسط على طريقة Π (Π - Method)

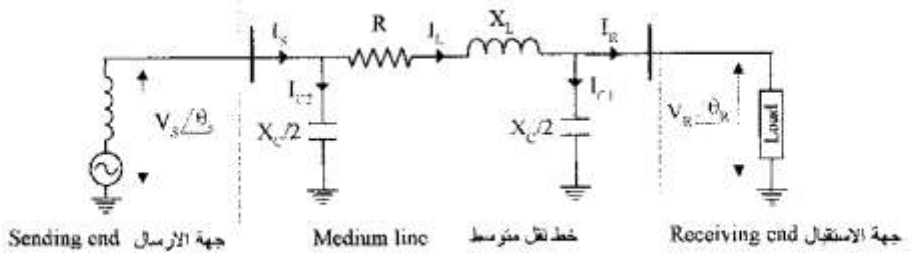
تتمثل هذه الطريقة لدراسة خطوط النقل المتوسطة في تقسيم المفاعلة السعوية إلى نصفين، حيث يوضع النصف الأول في بداية الخط عند الإرسال والنصف الثاني عند الاستقبال بينما تتركز المقاومة والمفاعلة الحثية في الوسط مما يعطي الدائرة المكافئة شكل Π كما يوضح الشكل ٥.١٣.

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



الشكل ٥.١٣ خط نقل متوسط ثلاثي الطور مجسم على طريقة Π (Π-Model)

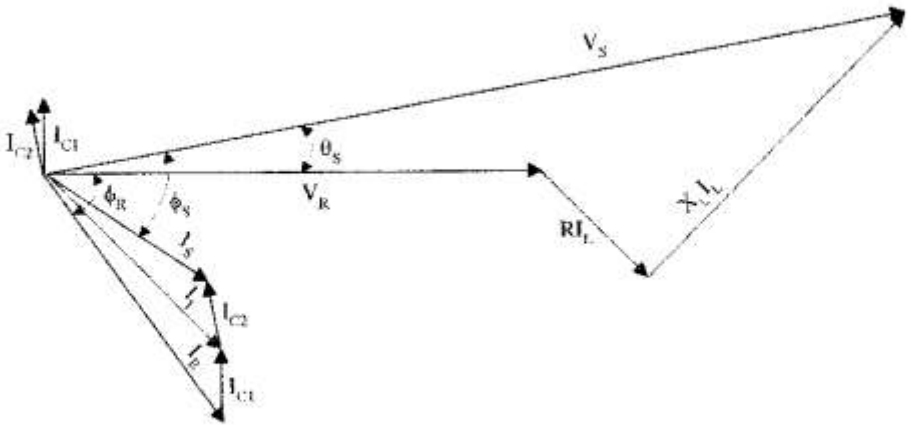
وإذا اعتبرنا الحمل متوازنا على الخط الثلاثي الطور فيمكننا اختصار هذه المنظومة بدائرة كهربائية مفردة كما يبينها الشكل ٥.١٤ .



الشكل٥.١٤ : تمثيل خط النقل الثلاثي الطور بدائرة كهربائية مفردة على طريقة Π (Π-Model)

المخطط الاتجاهي للدائرة المكافئة للخط

يبين الشكل ٥.١٥ رسم المتجهات لخط نقل متوسط ممثلاً لطريقة Π .



الشكل ٥.١٥ : رسم المتجهات لخط نقل متوسط مجسم على طريقة Π (Π-Model)

كما هو مبين في الشكل ٥.١٥، تقاس الزوايا انطلاقا من الجهد عند الاستقبال حيث يعتبر هذا الأخير مرجع المتجهات. و من الواضح أن كل القيم المبينة في هذا الشكل هي للطور الواحد مع المحايد. ومن الشكلين ٥.١٤ و ٥.١٥ يمكن استنتاج معادلات الجهد والتيار عند الإرسال، كما يمكن حساب جهد الخط المحايد كما يتضح فيما يلي:

الجهد عند الإرسال

يكون تيار الخط مساوياً لمجموع تياري الاستقبال I_R والشحن عند طرف الاستقبال I_{c1} كما يلي:

$$I_L = I_R + I_{C1} \quad \text{(٥.٧٥)}$$

حيث إن تيار الشحن عند طرف الاستقبال يعطى من العلاقة التالية:

$$I_{C1} = \frac{Y}{2}V_R = \frac{j\omega C}{2}V_R \quad \text{(٥.٧٦)}$$

أما تيار الشحن عند طرف الإرسال فيعطى من العلاقة:

$$I_{C2} = \frac{Y}{2}V_S = \frac{j\omega C}{2}V_S \quad \text{(٥.٧٧)}$$

وحيث إن هبوط الجهد على الخط يساوي:

$$\Delta V = Z_L I_L = (R + jX_L) I_L \quad (٥.٧٨)$$

لذلك فإن الجهد عند الإرسال يحسب كالتالي:

بعد التعويض بالمعادلات (٥.٧٥ و ٥.٧٨)

$$V_S = V_R + \Delta V = V_R + Z_L I_L \quad (٥.٧٩)$$

$$V_S = V_R + Z_L (I_R + I_{C1}) \quad (٥.٨٠)$$

وبالتعويض عن I_{C1} من (٥.٧٦)

$$V_S = V_R + Z_L (I_R + \frac{Y}{2} V_R) \quad (٥.٨١)$$

يصبح جهد الإرسال

$$V_S = (1 + \frac{Z_L Y}{2}) V_R + Z_L I_R \quad (٥.٨٢)$$

أما التيار عند الإرسال فيحسب كالتالي:

$$I_S = I_L + I_{C2} = I_R + I_{C1} + I_{C2} \quad (٥.٨٣)$$

وبالتعويض عن المعادلات (٥.٧٥ و ٥.٧٦ و ٥.٧٧) يصبح كالتالي

$$I_S = I_R + \frac{Y}{2} V_R + \frac{Y}{2} V_S \quad (٥.٨٤)$$

وبعد تعويض V_S بقيمتها من المعادلة (٥.٨٢) يصبح التيار كما يلي:

$$I_S = I_R + \frac{Y}{2} V_R + \frac{Y}{2}\left[(1 + \frac{YZ_L}{2}) V_R + Z I_R\right] \quad (٥.٨٥)$$

وبعد ترتيب الحدود والاختصارات نحصل على تيار الإرسال في صيغته النهائية:

$$I_S = Y(1 + \frac{YZ_L}{4}) V_R + (1 + \frac{YZ_L}{2}) I_R \quad (٥.٨٦)$$

معامل التنظيم لجهد الخط: Voltage Regulation of line

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

$$\Delta V(\%) = \frac{V_S - V_R}{V_R} \times 100 \quad (٥.٨٧)$$

القدرة المفقودة على الخط: Power losses of the line

تتسبب كل من المقاومة و المفاعلة للخط في فقدان كمية كبيرة من القدرة الفعالة والمفاعلة، خاصة عندما يكون جهد النقل منخفضا. وذلك نظراً لوجود علاقة طردية بين القدرة المفقودة ومربع التيار. كما يتم تبادل كمية كبيرة من القدرة المفاعلة السعوية أو الحثية و ذلك حسب خصائص الخط. تنقسم هذه القدرة المفاعلة إلى حثية وسعوية. حيث تكون المفاعلة الحثية X_L مصدراً للقدرة المفاعلة الحثية على الخط و تكون المفاعلة السعوية مصدراً للقدرة المفاعلة السعوية. وتوضح المعادلات التالية كيفية حساب القدرة الفعالة P المفقودة في الخط وكذلك القدرة المفاعلة المتبادلة عبر خط النقل.

القدرة الفعالة المفقودة في الخط $P_{loss}(W)$:

$$P_{Loss} = 3RI_L^2 \quad (٥.٨٨)$$

$$P_{Loss} = P_S - P_R \quad (٥.٨٩)$$

القدرة المفعالة المتبادلة على الخط (VAR)Q_{loss}:

$$Q_{Loss} = Q_S - Q_R \quad (٥.٩٠)$$

وللتقليل من القدرة المفقودة، يتم رفع الجهد على خطوط النقل كلما زاد طول الخط وذلك لخفض التيار في حدود الإمكانات الاقتصادية لتكلفة النقل.

القدرة عند الإرسال وعند الاستقبال:

إذا كان الحمل متوازنا بين الأطوار الثلاثة تكون القدرة الظاهرية عند الإرسال (VA)S_S تعادل ثلاث مرات قيمتها لكل طور:

$$S_S = 3V_S I_S^* \quad (٥.٩١)$$

كما يمكننا استخلاص القدرة الفعالة (W)P_S والمفاعلة (VAR)Q_S عند الإرسال مباشرة من القدرة الظاهرية:

$$S_S = P_S + jQ_S \quad (٥.٩٢)$$

كذلك بالنسبة للقدرة الظاهرية (VA)S_R و القدرة الفعالة (W)P_R والمفاعلة (VAR)Q_R عند الاستقبال :

$$S_R = 3V_R I_R^* \quad (٥.٩٣)$$

$$S_R = P_R + jQ_R \quad (٥.٩٤)$$

كما يمكننا حساب القدرة الفعالة (W)P_S والمفاعلة (VAR)Q_S عن طريق معامل القدرة وبالاستعانة بمثلث القدرة فإن القدرة الفعالة والمفاعلة عند الإرسال تصبح:

$$P_S = 3V_S I_S \cos\phi_S \quad (٥.٩٥)$$

$$Q_S = 3V_S I_S \sin\phi_S \quad (٥.٩٦)$$

وبالتالي فإن القدرة الظاهرية تصبح $$S_S = 3V_S I_S = \sqrt{3}U_S I_S = \frac{P_S}{\cos\phi_S} = \frac{Q_S}{\sin\phi_S} \quad (٥.٩٧)$$

وكذلك فإن القدرة الفعالة والمفاعلة عند الاستقبال فتحسب كالتالي:

$$P_R = 3V_R I_R \cos\phi_R \quad (٥.٩٨)$$

$$Q_R = 3V_R I_R \sin\phi_R \quad (٥.٩٩)$$

$$S_R = 3V_R I_R = \sqrt{3}U_R I_R = \frac{P_R}{\cos\phi_R} = \frac{Q_R}{\sin\phi_R} \quad (٥.١٠٠)$$

كفاءة خط النقل Efficiency of transmission line

تمثل كفاءة خط النقل نسبة بين القدرة الفعالة المنقولة على الخط والتي تصل للمستهلك، على القدر ة الفعالة المولدة عند الإرسال وذلك كالتالي:

$$\eta(\%) = \frac{P_R}{P_S} \times 100 \quad \text{.....(٥.١٠١)}$$

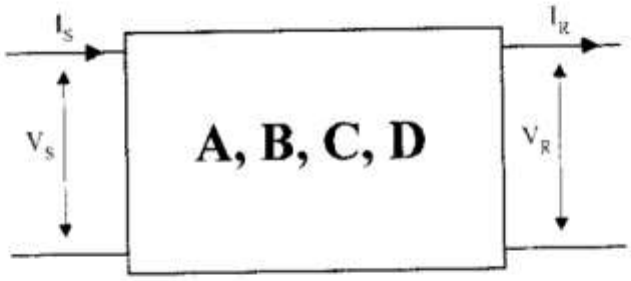
ثوابت الدائرة المكافئة لخط النقل Generalized Circuit Constants of Transmission Line

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

$$V_S = AV_R + BI_R \quad \text{.....(٥.١٠٢)}$$

$$I_S = CV_R + DI_R \quad \text{.....(٥.١٠٣)}$$

حيث A, B, C, D تعرف باسم الثوابت العامة لخط النقل. تتغير قيمة هذه الثوابت حسب طريقة التوصيلات المستخدمة في دراسة خط النقل. ويمكن الرجوع للمعادلات السابقة لكل نوع من أنواع خطوط النقل لتحديد هذه الثوابت من معادلات الجهد والتيار عند الاستقبال. ويبين الشكل ٥.١٦ الثوابت العامة لخط النقل و كيفية الربط بين الإرسال والاستقبال.



الشكل ٥.١٦: الثوابت العامة لخط النقل

خط نقل متوسط ممثل على طريقة T

من جهد الإرسال (المعادلة ٥.٥٦) وتيار الإرسال (المعادلة ٥.٥٩) وبترتيب المعاملات على شكل المعادلتين السابقة (٥.١٠٢ و ٥.١٠٣)، نستطيع أن نحدد ثوابت الخط A و B وC و D كما يلي:

$$V_S = \left(1 + \frac{Z_L Y}{2}\right) V_R + Z_L \left(1 + \frac{Z_L Y}{4}\right) I_R \quad \text{.....(٥.٥٦)}$$

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

(٥,٥٩)

$$A = D = 1 + \frac{Z_L Y}{2} \quad \text{.....(٥,١٠٤)}$$

$$B = Z_L \left(1 + \frac{Z_L Y}{4}\right) \quad \text{.....}$$

(٥,١٠٥)

$$C = Y \quad \text{.....}$$

(٥,١٠٦)

ونلاحظ أن ضرب المعاملات AD و BC وطرح الناتج، نحصل على رقم ١ : $AD - BC = 1$ .....(٥,١٠٧)

خط نقل متوسط ممثل على طريقة Π

وبنفس الوضع السابق للخط T نستطيع أن نحصل على ثوابت الخط من المعادلتين ٥,٨٢ و٥,٨٦ :

$$V_S = \left(1 + \frac{Z_L Y}{2}\right) V_R + Z_L I_R \quad \text{.....(٥,٨٢)}$$

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

(٥,٨٦)

$$A = D = 1 + \frac{Z_L Y}{2} \quad \text{.....(٥,١٠٨)}$$

$$B = Z_L \quad \text{.....}$$

(٥,١٠٩)

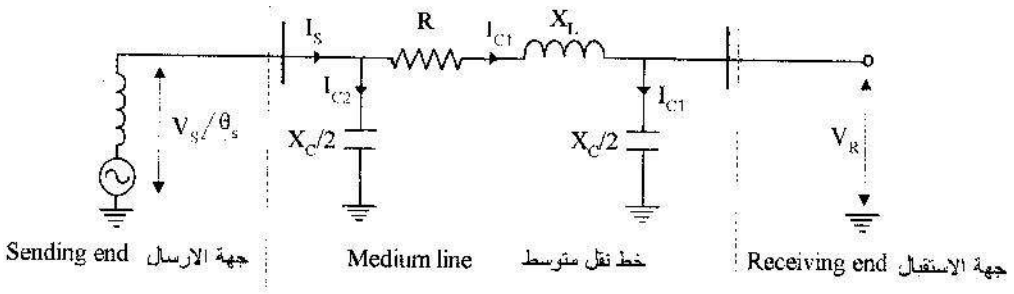
$$C = Y\left(1 + \frac{YZ_L}{2}\right) \quad \text{.....}$$

(٥,١١٠)

ومن الملاحظ مجددا أن : $AD - BC = 1$ .....(٥,١١١)

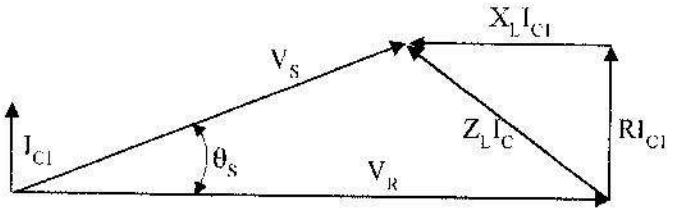
تيار الشحن والجهد عند الإرسال لخط نقل متوسط غير محمل

لخطوط النقل المتوسطة والطويلة مفاعلة سعوية عالية جدا تحدث تيار شحن متقدما عند جهة الإرسال وخاصة عندما تكون الدائرة غير محملة. وفي هذه الحالة يكون الجهد عند الاستقبال أكبر من جهد الإرسال. وهذه الظاهرة تعرف باسم ظاهرة فرانتي Ferranti Effect.



الشكل ٥,١٧ : خط نقل متوسط غير محمل ممثل على طريقة Π (Π-Model)

ويمكن تمثيل ذلك بالرسم المتجه التالي:



الشكل ٥,١٨ : الرسم المتجه لخط نقل متوسط غير محمل ممثل على طريقة Π (Π-Model)

فيكون حساب الجهد عند الإرسال كما يلي:

$$V_S = \sqrt{(V_R - X_L I_C)^2 + (RI_C)^2} \quad \text{.....(٥,١١٢)}$$

تمارين

٥.١ - خط نقل كهربائي قصير ثلاثي الطور، تردده f=٦٠Hz له مقاومة R=٥Ω ومحاثة L=٣٠mH يغذي حملاً متوازنا ثلاثي الطور P=١٠٠٠kW بمعامل قدرة ٠.٨ متأخر Lagging تحت جهد ١١kV بين الخط والخط عند الاستقبال. أوجد:

أ - الجهد عند الإرسال ومعامل القدرة.

ب - كفاءة خط النقل.

ج - معامل التنظيم.

د – ارسم المخطط الاتجاهي.

٥.٢ - خط نقل كهربائي هوائي ثلاثي الطور طوله ١٠٠Km والجهد بين الخطين عند الاستقبال U_R=١٢٢kV له الثوابت التالية:

- المقاومة لكل متر من كل طور = ٠.١٥ Ω = Resistance/km/phase

- المحاثة لكل متر من كل طور = ١.٢٠ mH = Inductance/km/phase

- السعة لكل متر من كل طور = ٠.٠١μF = Capacitance/km/phase

التردد Frequency f = ٦٠ Hz

أ - إذا مثلنا هذا الخط المتوسط بدائرة كهربائية على طريقة T (T-Method) وكان يغذي حملا ٧٢MW بمعامل قدرة p.f = ٠.٨ متأخر، أوجد ما يلي:

- الجهد عند الإرسال.

- التيار عند الإرسال.

- معامل القدر ة عند الإرسال.

ب - ارسم المخطط الاتجاهي لهذه الدائرة.

٥.٣ – خط نقل كهربائي هوائي ثلاثي الطور طوله ٢٠٠Km يغذي حملا P= ٤٠MW تحت جهد U_R=١٣٢kV بين الخطين وبمعامل قدرة ٠.٨ متأخر. وخواص الخط بين الطور و المحايد كالتالي:

- المقاومة = ١١ Ω = Resistance/phase

- المفاعلة الحثية = ٣٨ Ω = Inductive reactance/phase

-القبولية السعوية (المسامحة) = Capacitive susceptance/phase = ٢ x ١٠$^{-٦}$ siemens

التردد Frequency f = ٦٠ Hz

أ - إذا مثلنا هذا الخط المتوسط بدائرة كهربائية على طريقة Π (Π -Method) أوجد ما يلي:

- الجهد والتيار عند الإرسال
- معامل التنظيم
- معامل القدر ة عند الإرسال
- كفاءة خط النقل

ب - ارسم المخطط الاتجاهي لهذه الدائرة

ج – إذا فصل الحمل عن الخط أوجد الجهد والتيار عند الاستقبال مع اعتبار الجهد عند الإرسال ثابت.

الاختبار الذاتي:- اجب بصح او خطأ لكل مما يأتي:-

١. طول الخط القصير اكثر من ٨٠ كم .
٢. في الخطوط القصيره تهمل المتسعه .
٣. فولتية الارسال اكبر من فولتية الاستقبال.
٤. تمثل الخطوط المتوسطه بطريقة T الاسميه

الاختبار البعدي:-

اذكر مميزات الخطوط المتوسطه .

المصادر المعتمده :- الكتاب المنهجي منظومة القدره الكهربائيه د.ضياء النعمه أ. طارق محمد امين

مفاتيح اجوبة الاختبارات :-

الاختبار القبلي	الاختبار الذاتي	الاختبار البعدي
١. يهمل تاثير المتسعه	١. خطأ	١. يؤخذ تاثير المتسعه
٢. طول الخط اقل من ٨٠ كم	٢. صح	٢. طول الخط اكثر من ٨٠ كم واقل من ٢٥٠ كم
٣. فولتية الخط اقل من ٢٠ KV	٣. صح	٣. فولتية الخط اكثر من ٢٠ ك ف
	٤. صح	

مادة الشبكات الكهربائيه

الاسبوع العاشر

الفئه المستهدفه:- الصف الثاني

الموضوع :- ظاهرة فرنتي ، وظاهرة الهاله في الخطوط الهوائيه

الافكار المركزيه :- عندما يكون الخط غير محمل فان فولتية الاستقبال تصبح اكبر من فولتية الارسال .وعندما ترتفع الفولتيه المتناوبه على الخط يظهر توهج بنفسجي مصحوب بازيز يسمى الهاله

الاهداف :-دراسة ظاهرة الهاله وظاهرة فرنتي في الخطوط الهوائيه

الاختبار القبلي :- اجب بصح او خطأ لكل مما يأتي:-

١. تبرز ظاهرة فرنتي في الخطوط الطويله والمتوسطه
٢. تلعب المتسعه والمحاثه دورا كبيرا في توليد ظاهرة فرنتي
٣. ظاهرة الهاله تحدث عندما ترتفع فولتية الخط الى الفولتيه الحرجه المرتيه

٤ـ ١١ ظاهرة فرنتي : Ferranti effects

ان تيار الشحن في خطوط النقل الطويلةذو قيمه مؤثره وعندما يكون الخط مفتوحا او محملا" بحمل خفيف ، فأن فولتية الاستلام تكون اكثر من فولتية الارسال وتسمى هذه الحاله بظاهرة فرنتي . وتنتج من فولتية الهبوط عبر محاثة الخط (بسبب تيار الشحن) والذى يتطاور مع فولتية الارسال . لذا فأن كلا من المتسعه والمحاثه تلعب دورا في توليد هذه الظاهره .

تكون المتسعه مهمله في الخطوط القصيره وتظهر في الخطوط المتوسطه وتكون مؤثره في الخطوط الطويله . لذا فان هذه الظاهره تبرز في الخطوط الطويله والمتوسطه فقط .

يوضح المخطط الطورى (4.14) تأثير فرنتي .

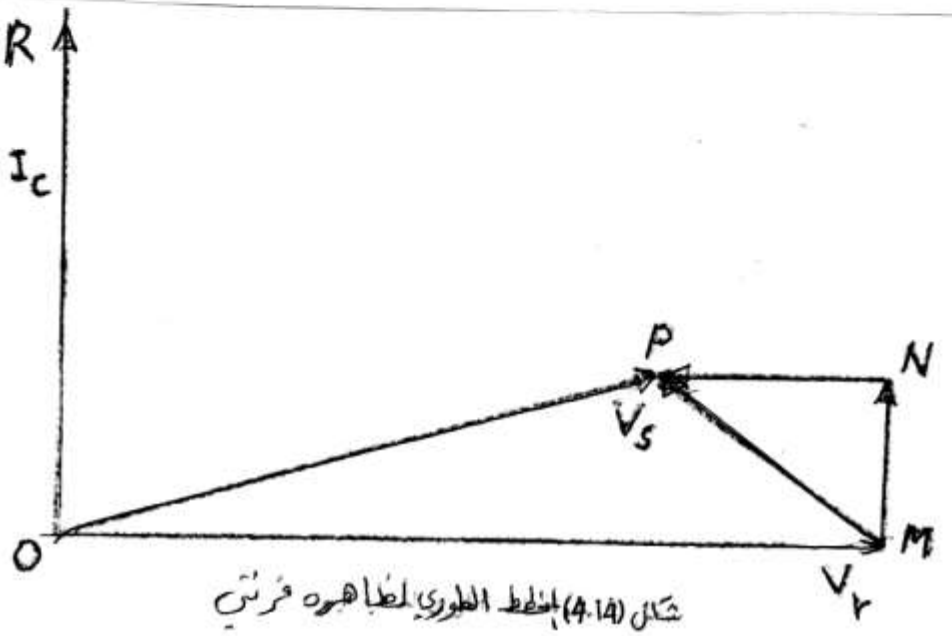
يمكن تمثيل الخط بدائرة (π) الاسميه . تمثل OM فولتية الاستلام ويمثل OR التيار المسحوب الى المتسعه المتركزه في نهاية الاستلام .

MN هبوط الجهد على مقاومة الخط .

NP هبوط الجهد على المفاعله الحثيه للخط

OP يمثل فولتية الارسال تحت حالة انعدام الحمل وهي اقل من فولتية الاستلام مقاومة الخط تكون قليله عادة مقارنة مع المفاعله الحثيه . لذا يمكن اهمالها في حسابات تأثير الفرنتي .

باستخدام ثوابت π الاسميه الموضحه في الجدول (4.3)



شكل (4.14) المخطط الطوري لظاهره فرنتي

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

$$V_s - V_r = V_r \frac{ZY}{2} = \frac{V_r(r + JWL)\,l\,(JW\,Cl)}{2} \quad ...(4\cdot26)$$

بأهمال المقاومة

$$= V_r \frac{-W^2 l^2 LC}{2} \quad ...(4\cdot27)$$

وبما ان سرعة انتشار الموجات الكهرومغناطيسية للخطوط ثابتة وهي $\frac{1}{\sqrt{LC}}$ وتساوي تقريباً سرعة الضوء (3×10^5)كم/ثا . فإن

$$V_s - V_r = -V_r W^2 L^2 \frac{1}{2(3 \times 10^5)^2} = \frac{-V_r W^2 l^2 \times 10^{-10}}{18} \quad ...(4\cdot28)$$

تعني الاشارة السالبة في المعادلة (4.28) ان فولتية الاستلام اكثر من فولتية الارسال .

مثال (9) :

اوجد فولتية الارسال غير الحملية وفرق الفولتية من نهايتي الارسال والاستلام لخط بطول (300)كم ويعمل بفولتية (220KV) وتردد (50) هيرتز.

الحل :

$$V_r = \frac{220 \times 10^3}{\sqrt{3}} = 127017 \text{ volt}$$

$$V_s - V_r = -\frac{127017(2\pi \times 50)^2 \times 300 \times 300 \times 10^{-10}}{18}$$

$$= -6268 \text{ volt}$$

$$V_s = 127017 - 6268 = 120749 \text{ V / phase}$$

فولتية الخط لجهة الارسال

$$= \frac{\sqrt{3} \times 120749}{1000} = 209{\cdot}14 \text{ KV}$$

الصعود في الفولتية

$$\text{(Voltage rise)} = 6268 \text{ فولت/طور}$$

٤ – ١٢ الهالة : Corona

عندما ترفع الفولتية المتناوبة على موصل خط ما تدريجيا فستصل الى قيمة تسمى الفولتية الحرجة المرئية V_c عندها يظهر توهج بنفسجي خافت يعرف بالهالة ويكون مصحوباً بأزيز خفيف ورائحة غاز الاوزون (ozone) عند الفولتية V_o والتي تقل قليلاً من الفولتية V_c .

يكون المجال الكهربائي حول موصل اسطواني غير متجانس ، اذ تصل ذروة شدة المجال على سطح الموصل وتقل بصورة عكسية كلما ابتعدنا من مركز الموصل. وعندما تزداد الفولتية المسلطة على الموصل تتأين طبقة الهواء المحيطة بالموصل. وعندما يزداد المجال اكثر من 30KV/cm فإنها تعطي طاقة كافية الى الالكترونات الحرة الناشئة مثلاً من اشعاعات كونية ، لكي تؤين جزيئات الغاز وبذلك ستظهر الكترونات وايونات موجبة اكثر والتي بدورها ستكون معجلة للمجال الكهربائي مسببة مصادمات ايونية اضافية .

اذا سلط فولتية مستمرة فائقة بين موصلين ، فسيوجد فرق ظهور الهالة بين الموصل الموجب وبين السالب ، فالموصل الموجب يظهر حوله توهج بنفسجي متجانس ، بينما يظهر حول الموصل السالب بقع متوهجة حادة . اما الموصلات التي تحمل تياراً متناوباً فيكون التوهج متماثلاً على الموصلين لأن الموصلات تتردد بين السلب والايجاب .

خسائر الهالة :

تصاحب تكوين الهالة مفاقيد في القدرة والتي تؤثر بدورها على كفاءة النقل الا انها لاتؤثر على تنظيم جهد الشبكة وقد اوجد بيك (Peek) صيغة تجريبية لحساب مفاقيد الهالة تحت الظروف المناخية العادية

$$P_c = 243.5 \frac{(f + 25)}{\delta} \sqrt{\frac{r}{D}} \, (V - V_d)^2 \times 10^{-5} \text{ Kw / Km / phase}$$

.(4.29)

حيث V = فولتية الطور (بالكيلو فولت) جـ . م . ت

V_d = الفولتية الحرجة التمزيقي

D = المسافة بين الموصلات بالأمتار

f = تردد المنظومة

تحسب مفاقيد الهالة تحت الظروف المناخية الاعصارية بأخذ V_d كنسبة 80% من قيمته في حالة الظروف المناخية الطبيعية .

$$\delta = \frac{3{\cdot}86\,P}{273 \pm \theta}$$

مثال (10) :

اوجد مفاقيد الهالة الكلية بأستخدام صيغة بيك تحت ظروف مناخية طبيعية واخرى سيئة لخط ثلاثي الطور بفولتية 220KV وطول 250Km وتردد 50 Hz . قطر كل موصل 22.26ملم والمسافة بين الموصلات (6)م مثبتة على شكل (Δ) دلتا . واعطيت المعلومات التالية ، درجة الحرارة 25°C ، الضغط 75سم زئبقي وفولتية التمزيق الحرجة = 118KV/ طور .

الحل :

لظروف مناخية طبيعية

$$\delta = \frac{3{\cdot}86 \times 75}{273 + 25} = 0{\cdot}9456$$

$$V = 220/\sqrt{3} = 127\ KV/phase$$

$$V_d = 118\ KV/phase$$

$$P_c = 243{\cdot}5\,\frac{(f+25)}{\delta}\sqrt{\frac{r}{D}}\,(V - V_d)^2 \times 10^{-5}\ Kw/Km/phase$$

$$= 243{\cdot}5\left(\frac{50+25}{0{\cdot}9456}\right)\sqrt{\frac{11{\cdot}13}{6}}\,(127 - 118)^2 \times 10^{-5}$$

$$= 0{\cdot}6738\ Kw/phase/Km$$

مفاقيد الهالة الكلية/ طور

$$= 0{\cdot}6738 \times 250 = 168{\cdot}45 \text{ Kw / phase}$$

مفاقيد الهالة الكلية

$$= 168{\cdot}45 \times 3 = 505{\cdot}35 \text{ Kw.}$$

للظروف الجوية السيئة

$$V_d = 0{\cdot}8 \times 118 = 94{\cdot}4 \text{ KV / phase}$$

$$P_c = 243{\cdot}5 \left(\frac{50 + 25}{0{\cdot}9456} \right) \sqrt{\frac{1{\cdot}113 \times 10^{-2}}{6}} \, (127 - 94{\cdot}4)^2 \times 10^{-5}$$

$$= 8{\cdot}84 \text{ Kw / phase / Km}$$

مفاقيد الهالة / طور

$$= 8{\cdot}84 \times 250 = 2210 \text{ Kw / phase}$$

مفاقيد الهالة الكلية

$$= 3 \times 2210 = 6630 \text{ Kw}$$

العوامل التي تؤثر على مفاقيد الهالة : Factors Affecting Corona Loss

توجد عدة عوامل تؤثر على مفاقيد الهالة منها :

١ – تردد النظام :

يتضح من المعادلة (4.29) ان مفاقيد الهالة تتناسب طردياً مع تردد النظام.

٢ – فولتية المنظومة :

يتولد مجال كهربائي (Electric field) حول الموصلات نتيجة فرق الجهد بينها، وبزيادة فرق الجهد (الفولتية) تزداد شدة المجال وبالتالي تزداد المفاقيد.

٣- موصلية الهواء :

تزداد مفاقيد الهالة بزيادة موصلية الهواء Conductivity of air وتعتمد موصلية الهواء على عدد الأيونات الموجبة والسالبة في وحدة الحجم اذ يزداد هذا العدد بزيادة الارتفاع عن مستوى سطح البحر وكذلك العواصف الرعدية .

٤- كثافة الهواء :

تزداد مفاقيد الهالة مع قلة كثافة الهواء . لذا فإن مفاقيد الهالة لشبكة تمر في منطقة جبلية تكون اكثر من مثيلاتها في المناطق المستوية بسبب نقصان قيمة (δ) في المناطق المرتفعة .

٥- المطر والغبار :

الأمطار والغبار يؤديان الى زيادة مفاقيد الهالة . لأن قطرات المطر وجزيئات الغبار تستقر على سطح الموصل مكونة بذلك مناطق تفريغ موضعية ويكون تأثير المطر والغبار اكثر في الموصلات ذات الأقطار الكبيرة .

٦- نصف قطر الموصل :

زيادة (نق) الموصل تعني مساحة اقل لشدة المجال ، ولذا تقل مفاقيد الهالة . ان موصلات (ACSR) لها (نق) اكبر من موصلات النحاس لنفس السعة . لذا فإن مفاقيد الهالة تكون اقل . كذلك فإن مفاقيد الهالة تكون اقل في الموصلات الحزمية لزيادة نصف قطرها الفعال .

٧- سطح الموصل :

ان تدرج الجهد (Potential gradient) على أسطح الموصلات المجدولة اعلى منه على الموصلات الصلدة ، وكنتيجة لذلك فإن فولتية الانهيار تكون اقل ومفاقيد الهالة اعلى للموصلات المجدولة ، وتؤخذ خشونة سطوح الموصلات بنظر الاعتبار باستخدام عامل السطح (mo) .

التداخل الراديوي للهالة : Radio Interference due to corona

لوحظ ان تموجات التيار الناتجة من تفرغات الهالة عندما تنتشر على طول الموصل ، تسبب تداخلاً في اشارات الموجات اللاسلكية . يعتمد معدل زيادة التداخل الراديوي

على المساحة السطحية للموصل وقطره ، وتكون اكثر في حالة الموصلات الملساء ذات الأقطار الكبيرة .

عند ايجاد التأثير الراديوي لخط نقل متدرج يجب تقدير قيم عوامل التأثير الراديوي لخط الموصلات وعلى المدى الكامل لتردد الاشارات . وتشمل هذه العوامل شدة الاشارة الموجودة على طول الخط ، ونسبة الاشارة الى الضوضاء وتأثير المناخ على عوامل التداخل الراديوي واهمية خط الاتصال من الناحية الخدمية .

يتناسب مجال التداخل الراديوي المتولد من خطوط النقل عكسياً مع تردد الراديو فالخدمات المقدمة بترددات عالية (التلفزيون ومحطات FM ، الرادار ، متابعات الامواج الدقيقة ..... الخ) يكون تأثيرها بالتداخل اقل . في حين تزداد نسبة الأشارة الى الضوضاء في الهوائيات الاتجاهية المستخدمة لهذه الترددات .

ان التداخل الراديوي بسبب الهالة مهمة في خطوط الضغط العالي التي تصل فولتيتها الى 220KV . بينما تتأثر تصاميم خطوط الضغط الفائق (EHV) بهذه الظاهرة الى حد بعيد .

الاعتبارات العملية : Practical consideration

توجد عدة مساوئ للهالة هي :-

(١) مفاقيد الهالة تقلل من كفاءة الخط وتكون المفاقيد اكثر في الظروف الجوية السيئة .

(٢) تولد توافقيات (harmonic) بسبب الموجات غير الجيبية الناتجة من التيارات التسريبية في اللحظات التي تكون فيها الفولتية في ذروتها .

(٣) يؤدي الاوزون المتولد مع الهالة الى تحلل المواد العضوية القريبة من خطوط النقل ولكن من محاسن الهالة انها تخمد الموجات المتنقلة (Travelling Waves) الناتجة من الصواعق وبذا تعمل الهالة كصمام امان .

لغرض تقليل مفاقيد الهالة والتداخل الراديوي الناتج منها تستخدم الموصلات الحزمية (bundle conductor) ، إذ يستخدم اكثر من موصلين ، اذ تكون ذروة شدة المجال السطحية في الموصلات الحزمية اقل مما هي عليه في الموصلات العادية واستخدام الموصلات الحزمية يقلل مفاقيد الهالة . وبذلك يمكن زيادة فولتية التشغيل للخط (Operating voltage) .

الاختبار الذاتي :- املأ الفراغات التاليه بما يناسبها.

١. فولتية الانهيار في الموصلات المجدوله اقل منها في الموصلات _____
٢. مفاقيد الهاله في الموصلات المجدوله _____ منها في الموصلات الصلده
٣. في موصلات ACSR مفاقيد الهاله تكون ____ منها في الموصلات النحاسيه لنفس السعه
٤. لغرض تقليل مفاقيد الهاله تستخدم الموصلات _____

الاختبار البعدي :- عدد العوامل المؤثره على مفاقيد الهاله

المصادر المعتمده :- الكتاب المنهجي منظومة القدره الكهربائيه . د.ضياء النعمه أ. طارق محمد امين

مفاتيح اجوبة الاختبارات :-

الاختبار القبلي	الاختبار الذاتي	الاختبار البعدي
	١. الصلده	١. تردد النظام
١. صح	٢. اعلى	٢. فولتية المنظومه
٢. صح	٣. اقل	٣. موصلية الهواء
٣. صح	٤. الحزميه (اكثر من موصلين)	٤. كثافة الهواء
		٥. المطر والغبار
		٦. نصف قطر الموصل
		٧. سطح الموصل

المعهد التقني الموصل / قسم التقنيات الكهربائية

مادة (الشبكات الكهربائية)

المفردة الدراسية للأسبوع (الحادي عشر)

الفئة المستهدفة :ــ طلاب الصف الثاني فرع القوى

الموضوع :ــ الكيبلات الأرضية ، مقارنة بينها وبين الخطوط الهوائيــة ، مكونــات الكيبــل ، أنــواع الكيبلات.

الأفكار المركزية :ــ يمكن نقل وتوزيع القدرة إما بالخطوط الهوائية المعلقة أو بالكيبلات الأرضية . تمتاز الكيبلات الأرضية بعدة خصائص وهي قلة احتمالية حــدوث انهيــار بســبب غيــاب العواصــف والصواعــق، قلة كلفة الصيانة ، قلة حدوث عطب إضافة إلى أفضلية مظهرها العام .

الأهداف :ــ يتعلم الطالب : 1ــ أهمية الكيبلات الأرضية ، محاسنها ، مساوئها .

2ــ المقارنة بين الخطوط الهوائية والكيبلات الأرضية .

3ــ مكونات الكيبل .

4ــ مواد العزل في الكيبلات .

5ــ أنواع الكيبلات .

الاختبار القبلي :ــ أجب بكلمة صح أو خطأ عن ما يلي :

1ــ تستخدم الكيبلات الأرضية في المناطق المزدحمة بالسكان .

2ــ يمكن نقل وتوزيع القدرة الكهربائية باستخدام إما الخطوط الهوائية أو الكيبلات الأرضية .

3ــ من مساوئ الكيبلات هو كلفة تنفيذها المالية .

4ــ كلفة الصيانة للكيبلات الأرضية كبيرة .

الكابلات الارضية

Underground Cables

٥ – ١ مقدمة Introduction

يمكن نقل وتوزيع القدرة الكهربائية اما بالخطوط الهوائية المعلقة او بالكابلات الارضية. تمتاز الكابلات الارضية بعدة خصائص وهي ، قلة احتمالية حدوث انهيار، بسبب غياب العواصف والصواعق ، قلة كلفة الصيانة ، قلة حدوث عطب اضافة الى افضلية مظهرها العام. الا ان الكابلات لاتخلو من مساوئ ومن اهمها كلفة تنفيذها العالية ، اضافة الى مشاكل العزل الكهربائي الضرورية. لذلك تستخدم الكابلات الارضية في الحالات التي يكون فيها استخدام الخطوط الهوائية غير عملي. كما في المناطق السكانية المزدحمة او في مناطق يتعذر فيها اجراء الصيانة على الخطوط الهوائية.

كان الاستخدام الرئيسي للكابلات الارضية منذ سنين عديدة مقتصرا على شبكات التوزيع فقط ، ولكن اصبح بالامكان استخدامها في خطوط نقل القدرة الكهربائية لمسافات قصيرة ومتوسطة بعد التحسينات الكثيرة على تصميم وصناعة الكابلات.

سنحاول في هذا الفصل تسليط الضوء على المظاهر العامة للكابلات واستخدامها في انظمة نقل الطاقة الكهربائية.

٥ – ٢ مقارنة بين الخطوط الهوائية والكابلات :

١) تكون المحاثة هي السائدة في الخطوط الهوائية بينما تكون المتسعة هي المؤثرة في الكابلات الارضية .

٢) تُحدِّد تيارات الشحن العالية في الكابلات من طول الخطوط الارضية ، لذا تفضل الخطوط الهوائية في خطوط النقل الطويلة .

٣) حجم الموصل في الخطوط الهوائية يكون اقل من حجمه في الكابلات الارضية لنفس سعة الخط وذلك للتبدد الجيد للحرارة في الخطوط الهوائية .

٤) كلفة العزل في خطوط الضغط الفائق للكابلات الارضية تكون مكلفة ومعقدة جداً لانها تحتاج الى كابلات مضغوطة ومواد عازلة مكلفة وانظمة تبريد معقدة ، بينما في الخطوط الهوائية يتم العزل بواسطة الهواء ويمكن زيادة الفولتية بزيادة المسافة بين الموصلات .

٥) كلفة التنفيذ للخطوط الهوائية اقل منها للخطوط الارضية (الكابلات) .

٦) تفضل الكابلات الارضية في المناطق السكانية المزدحمة لانها امينة وتعطي تداخلاً اقل ، اضافة الى انها تحافظ على جمالية المدن لانها مدفونة .

٧) تستخدم الكابلات في محطات التوليد والمحطات الثانوية لعمليات الربط مع الخطوط الهوائية واجراء التوصيلات مع اجهزة الحماية داخل المحطة . وكذلك في مناطق التقاطع مع الموانع المائية (انهار– جزر) .

٥–٨ المتطلبات الأساسية للكابل :

تتوفر انواع عديدة من الكابلات ويعتمد نوع الكابل المستخدم على فولتية التشغيل ومتطلبات الخدمة ،، عموماً يجب ان يلبي الكابل المتطلبات الضرورية التالية :–

١ – الموصلات المستخدمة في الكابلات اما ان تكون من النحاس او من الالمنيوم المطلي بالقصدير ومجدول وذي موصلية عالية . تجدل الموصلات لكي تصبح مرنة وتتحمل تيارات عالية .

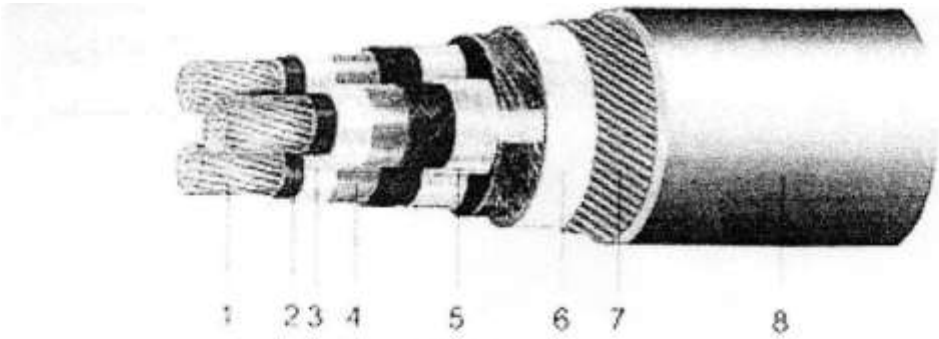
٢ – حجم الموصل ، يجب ان يتحمل التيار المطلوب دون حصول زيادة Over heating في التسخين ، وان يكون هبوط الفولتية ضمن المدى المسموح به .

٣- يجب ان يكون للكابل عزل مناسب ليعطي درجة كافية من الامان (safety) والمعولية عند الفولتيات التصميمة .

٤- يجب ان يمتاز الكابل بقوة ميكانيكية كافية لكي يتحمل عمليات النقل والدفن .

٥- يجب ان تمتاز المواد المستخدمة في تصنيع الكابلات بأستقرارية تامة من الناحيتين الكيميائية والفيزيائية .

٥-٤ مكونات الكابل : Construction of cable



شكل (٢,٣) كابل ذو ثلاثة قلوب

وهذه الأجزاء هي:

١. موصل مجدول

٢. ستارة الموصل (الكربون أو مادة شبه موصلة)

٣. عازل: العازل الرئيسي لموصلات الكابل وقد يكون من الورق المشبع بالزيت أو المطاط، أو البولي إيثيلين، أو البولي فينيل كلورايد وغيرها)

٤. ستارة العازل : طبقة رقيقة جدا من مادة شبه موصلة

٥. ستارة العازل المعدنية : شريط نحاسي سمك ٠,١ مم

٦. حشو وبطانة: الحشو قد يكون من الجوت أو من أي مادة لدنة لملء الفراغ بين الموصلات والبطانة غالبا ما تكون من البولي فينيل كلورايد

٧. التسليح: وهو في الكابل الموضح عبارة عن أسلاك من الصلب المجلفن ولكن قد يكون أيضا في صورة شريط من الصلب المجلفن وقد يكون أيضا من أسلاك الألومونيوم

٨. الغلاف الخارجي وعادة ما يكون من البولي فينيل كلورايد

تابع المكونات الاساسيه للكابل

الموصلConductor :

يسمى الموصل مع عازله بقلب (CORE) الكابل ويكون من النحاس أو الالمونيوم ويتناسب مساحة مقطع مقطعه مع قيمة التيار المار فيه أي كلما زاد مساحة مقطع الموصل يتحمل تيارات اكبر، والكابلات إما أن تكون مفردة القلب single coreأو متعددة القلوبMulti-core ، وقلب الكابل عبارة عن موصل يحيط با مادة عازلة تعزله عن باقي القلوب وكذلك مكونات الكابل.

كابل ذات موصل نحاسي وكابل ذات موصل ألمونيوم

يعتمد اختيار السلك الموصل على مقدار التيار الذي يمر فيه ampacity والجهد والخواص الفيزيائية و المرونة flexibility والشكل والناحية الاقتصادية .

وأنوع هذه الموصلات هي:

أ - مصمتSOLID :

ب- مجدولSTANDED :

الموصلات المصمتةSolid Conductors :

تستخدم الموصلات المصمتة للكابلات ذات المقاسات الصغيرة والتي تعمل علي تيارات صغيرة ولا تحتاج إلى مرونة عالية وتستخدم هذه الكابلات في دوائر التحكم والإنارة بالمحطات الكهربية والمنشئات الصناعية.

الموصلات المجدولة Stranded Conductors :

الموصلات المجدولة تتحمل تيارات اعلي لنفس مساحة مقطع الموصل وذلك نتيجة الخاصية القشرية لمرور التيار skin effect حيث أن الكترونات التيار الكهربي تميل إلى الازدحام في الطبقات الخارجية للموصل وتقل بدرجة كبيرة في الطبقات الداخلية مما يؤدي إلى عمل بعض الموصلات المفرغة من الداخل وأيضا عند عمل الموصل جدائل يمر التيار في الطبقات الخارجية لكل جديلة والتي تكون اكبر بكثير من الطبقة الخارجية لنفس الموصل إذا كان مصمتا وبالتالي الموصل المجدول يتحمل تيار كهربي أعلي من الموصل المصمت لنفس مساحة المقطع وأيضا يمتاز بالمرونة العالية flexibility ولكن يكون القطر الخارجي للموصلات

المجدولة اكبر من القطر الخارجي للموصلات المصمتة والتي لها نفس المساحة .
تصنع الموصلات المجدولة باشكال وانواع مختلفة ومنها:

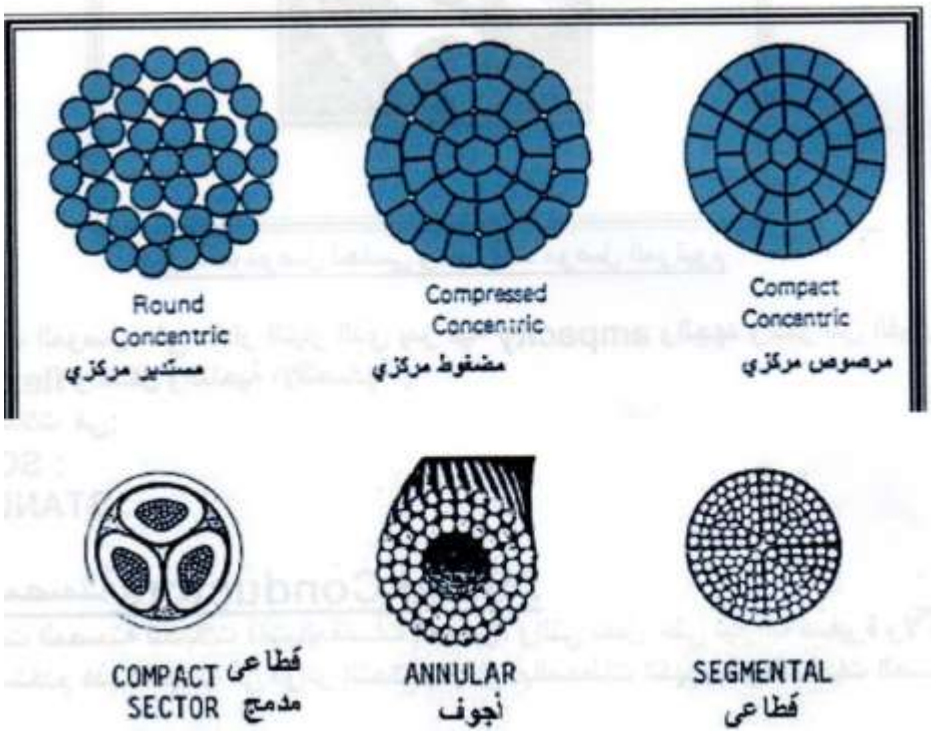
أ -المستدر المركزيConcentric round

ب -المستدر المركزي المدمج Compact round

ج -المستدير الاجوفConcentric annular

د -المستدير القطاعيConcentric segmental

ه -القطاعي المدمج Compact sectors



تابع المكونات الاساسية للكابل

ستارة الموصل (مادة شبه موصلة Conductor(Semi-Conductor)) Screen

هي طبقة من مادة شبه موصلة رقيقة توضع حول الموصل بانتظام وتملئ الفراغات بين جدائل الموصل وهي تحمي الموصل من الإجهاد الكهربي تعمل علي تنظيم المجال الكهربي المتناثر حول القلب نتيجة سطح الجدائل الغير منتظم وكذلك تمنع تكون الفجوات المتأينة بين العازل والموصل والتي تتسبب في ضعف وانهيار العازل

العازل Insulation :

العازل هو من أهم الأجزاء في الكابل والذي يتناسب سمكه مع جهد التشغيل أي كلما ارتفع الجهد زاد سمك العازل ويشترط أن يتوافر فيه:

- شدة عزل كهربية عالية high dielectric strength
- عمر افتراضي طويل long life

- مقاومة لدرجات الحرارة العاليةheat resistance

- مرونة ميكانيكية mechanical flexibility
- مقاومة للرطوبة humidity resistance

قديما كان العازل يصنع من الورق المشبع بالزيت ومن مميزاته شدة العزل الكهربية العالية إلا أن من عيوبه قابليته لامتصاص الرطوبة كما أنه غير مرن لوجود غلاف الرصاص كما أنه قد لا يتحمل درجات الحرارة العالية أما الان فإن العزل يتم بواسطة لدائن بلاستيكية أو بوليميرية وهي مستخرجه من صناعات البتروكيماويات ولكنها تتأثر بالحرارة ويتم معالجتها وتحويلها إلى جوامد تتحمل درجات حرارة مرتفعه بواسطة عمليات معالجة خاصة تسمي التشابكية cross-linking وأهم اللدائن الحرارية المستخدمة في صناعة الكابلات هي:

- كلوريد البولي فينيل Polyvinyl chloride
- بولي اثيلين متقاطع الربط Cross linked polyethylene

- مطاط من الاثيلين والبروبلين Ethylene propylene rubber

ويوجد أنواع أخرى من اللدائن تستخدم في عزل الكابلات وتكون تلك العوازل بمثابة عزل تامي يغطي موصل الكابل بالكامل وتسمي تلك العوازل بالعازل البوليميري وتسمي الكابلات المعزولة بتلك اللدائن بالكابلات ذات العزل البوليميري وسمك ونوع العازل يعتمد علي عدة عوامل منها :

- جهد التشغيل
- تيار الحمل
- درجة حرارة الجو المحيط بالكابل
- نوع ودرجة حماية غلاف الكابل

طريقة تركيب الكابل (دفن مباشر أو في مواسير.... الخ(

ستائر العازل Insulation Shields

ستارة العازل المساعدة هي طبقة من مادة شبه موصلة حول العازل وفائدته تقليل كثافة المجال الكهربي وبالتالي تقليل الإجهادات الكهربية التي يتعرض لها عازل الكابل وكذلك يمنع حدوث تفريغ كهربي بين سطح العازل وستارة العازل الرئيسية.
ستارة العازل الأساسية هي عبارة عن شريط معدني (أو سلك) ملفوفة حول الستارة المساعدة auxiliary screenللعازل وتسمي أيضا بالحيادي المتحد المركز ويستخدم في تأريض الكابل وكذلك تسريب التيارات الشاردة المتجمعة وتيارات الخطأ.

تتكون ستائر العازل من جزئين هما:
- ستارة العازل المساعدة auxiliary screen
- ستارة العازل الأساسية primary shield

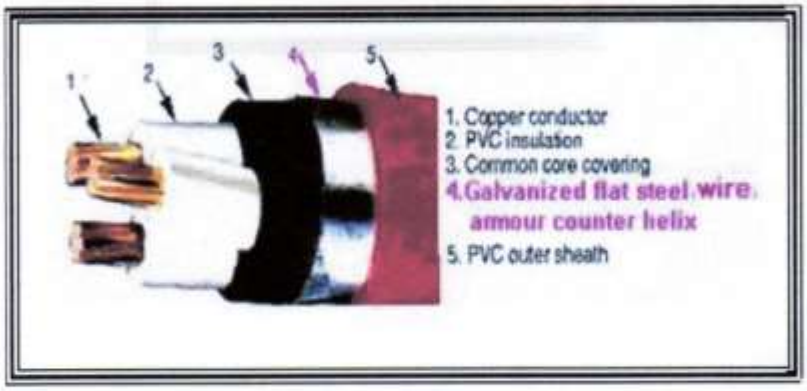
المواد المالئةFilling Materials

هي حشو وبطانة من الجوت أو أي مادة لدنة مثل كلوريد البولي فينيل لملء الفراغ بين الموصلات المعزولة

داخل غلاف الكابل لتعطي الكابل الشكل المستدير ولمنع تحرك الموصلات داخل الغلاف واحتكاكها بعضها البعض مما يضر العازل وملحقاته ويؤدي إلى دماره وبالتالي انهيار الكابل بالكامل.

التسليح Armoring

يتم تسليح الكابل بواسطة أسلاك أو شرائح لولبية من الصلب تلف بطريقة منتظمة حول الكابل بكامل طوله لحماية الكابل من الأضرار الميكانيكية نتيجة الأجسام الحادة أو معدات الحفر أو الحيوانات القارضة أو الحشرات الأرضية..... الخ ويتم التسليح إما بشريط حلزوني حول الكابل من الصلب أو الألمونيوم المعالج حراريا والذي يعطي الكابل صلابة شديدة لكي يقاوم الإجهادات الميكانيكية العالية ولكنه يقلل من مرونة الكابل flexibilityأو يتم التسليح بواسطة أسلاك معدنية ملفوفة بشكل حلزوني أو متوازي منتظم حول الكابل مما يزيد من مرونة الكابل ويسهل نسبيا عمل وصلات النهاية الطرفية للكابل.Termination



الغلاف الخارجي للعازل Jacket or Sheath

يستخدم لحماية ووقاية الموصلات والأجزاء الداخلية للكابل من الرطوبة والحرارة والغازات أو أي مواد كيماوية يمكن أن يتعرض لها الكابل كما يستخدم كعازل كهربي فوق أسلاك أو شريط التسليح للكابل ويجب أن

يكون مانع للهواء والماء ويغطي الكابل بكامل طوله ويسمي هذا الغلاف بالجاكت او الغلاف الواقي للكابل ويكون من مواد مقاومة للظروف التي ممكن أن يستخدم فيها الكابل مثل النايلون nylon أو كلوريد البولي فينيل PVC أو البولي ايثيلين PE ومادة كلوريد البولي فينيل PVC الأكثر استخداما لما لها من خصائص تقاوم معظم الظروف والأحوال التي قد تؤثر علي الكابل.

٢ -٢. أنواع الكابلات

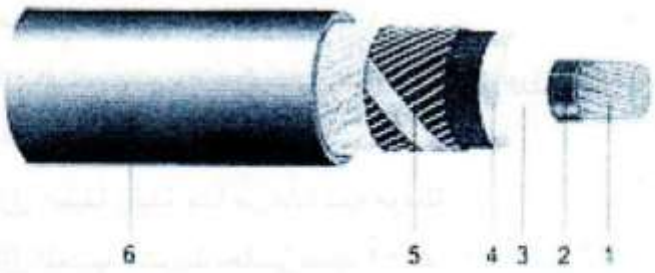
للكابلات أنواع عديدة ويمكن تصنيفها على أسس متعددة كعدد القلوب في الكابل الواحد ونوع المادة العازلة ومستوى الجهد الذي يعمل الكابل عنده وكذلك بالنسبة لمجال استخدامها. وفيما يلي سنستعرض أنواع الكابلات طبقا للتصنيفات المختلفة.

أولاً: بالنسبة لعدد القلوب في الكابل

يمكن تصنيف الكابلات إلى نوعين:

- الكابل ذي القلب الواحد single core cable
- الكابل متعدد القلوب multi-core cable

شكل (١.٣) يبين كابلاً ذا قلب واحد مشتملا على معظم المكونات التي ممكن أن توجد في مثل هذا الكابل، وهذه الأجزاء هي:



شكل (١.٣) كابل ذو قلب واحد

١- موصل مجدول

٢- ستارة الموصل (الكربون أو مادة شبه موصلة)

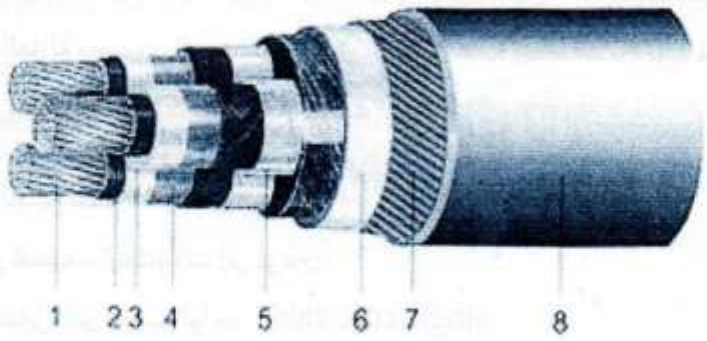
٣- العازل الرئيسي للكابل

٤- ستارة العازل : طبقة رقيقة جدا من مادة شبه موصلة

٥- الغلاف المعدني : عبارة عن أسلاك نحاس ملفوفة بطريقة حلزونية حول الكابل ومن الممكن أن يكون شريط من الرصاص أو النحاس أو الألومونيوم

٦- الغلاف الخارجي وعادة ما يكون من البولي فينيل كلورايد

والشكل (٢,٣) يوضح كابلاً ذا ثلاثة قلوب وبه معظم المكونات الممكن تواجدها في كابل



شكل (٢,٣) كابل ذو ثلاثة قلوب

وهذه الأجزاء هي:

١. موصل مجدول

٢. ستارة الموصل (الكربون أو مادة شبه موصلة)

٣. عازل: العازل الرئيسي لموصلات الكابل وقد يكون من الورق المشبع بالزيت أو المطاط، أو البولي إيثيلين، أو البولي فينيل كلورايد وغيرها)

٤. ستارة العازل : طبقة رقيقة جدا من مادة شبه موصلة

٥. ستارة العازل المعدنية : شريط نحاسي سمك ٠,١ مم

٦. حشو وبطانة: الحشو قد يكون من الجوت أو من أي مادة لدنة لملء الفراغ بين الموصلات والبطانة غالبا ما تكون من البولي فينيل كلورايد

٧. التسليح: وهو في الكابل الموضح عبارة عن أسلاك من الصلب المجلفن ولكن قد يكون أيضا في صورة شريط من الصلب المجلفن وقد يكون أيضا من أسلاك الألومونيوم

٨. الغلاف الخارجي وعادة ما يكون من البولي فينيل كلورايد

وجدير بالذكر هنا أنه ليس من الضروري أن تكون جميع الكابلات لها نفس التركيب بل يختلف تركيب الكابل تبعا لمستوى الجهد الذي يعمل عنده ونوع العازل المستخدم في الكابل وطريقة تركيب الكابل واستخدامه.

والمفاضلة بين كابلات القلب الواحد والكابلات عديدة القلوب يخضع لعوامل اقتصادية وتقنية كثيرة، فحين نجد أن الكابلات عديدة القلوب تكون أقل في التكلفة وتؤدي إلى استخدام اقتصادي أفضل لمجاري الكابلات فإن الكابل وحيد القلب يهيئ مرونة أفضل وسهولة في التركيب والتوصيل ولذلك يفضل استخدام الكابلات وحيدة القلب داخل المباني نظرا لكثرة تعرض الكابل للانحناءات وكذلك كثرة عمل التفريعات والتوصيلات على الكابل.

ثانيا : بالنسبة لنوع المادة العازلة المستخدمة

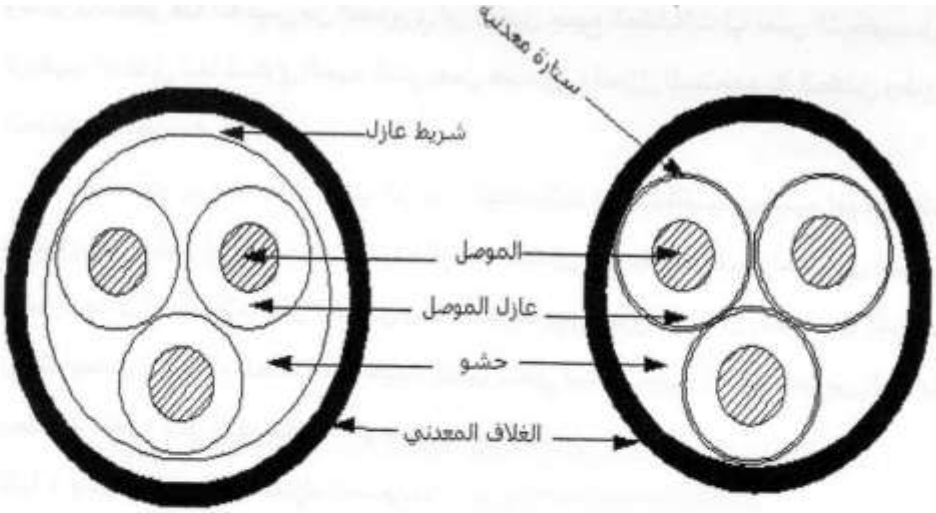
يتم تصنيف الكابلات طبقا لنوع المادة العازلة إلى:

كابلات العازل الورقي paper insulated cables

يتمتع العازل الورقي بخواص كهربية جيدة ولكن عمليات اللحام وتوصيل النهايات لكابل العازل الورقي تحتاج إلى خبرة ودقة في الأداء أعلى من تلك المطلوبة للكابلات التي تستخدم الأنواع الأخرى من العوازل، ويوجد أنواع كثيرة من الكابلات ذات العازل الورقي منها:

كابلات العازل الورقي المصمت

و هي التي لا تستخدم الزيت أو أي سائل أو غاز لمنع تكون الفقاعات الهوائية داخل العازل ولذلك يكون استخدامها محدودا للجهود الأقل من ٦٦ ك.ف. وتصنع الكابلات المصمتة إما بقلب واحد أو بثلاثة قلوب. و الكابل ذو الثلاثة قلوب قد يكون من النوع ذي الشريط "belted cable" حيث يتم عزل كل من الموصلات الثلاثة بالورق المشيع ثم تلف الموصلات المعزولة معا بشريط ورقي عازل ويملأ الفراغ الناشئ بحشو من أي مادة عازلة ثم يحاط الكابل بغلاف معدني واحد، ويستخدم الكابل ذو الشريط عند الجهود المنخفضة أما عند الجهود العالية يؤدي سوء توزيع المجال الكهربي داخل الكابل إلى انخفاض شدة الانهيار الكهربي للعازل، ولتحسين توزيع المجال الكهربي داخل الكابل يحاط العازل الخاص بكل موصل بستارة معدنية وتوصل الستارة المعدنية لكل موصل مع الغلاف المعدني للكابل والذي يوصل بالأرض، ويعرف هذا النوع بالكابل ذي الستارة أو الكابل من النوع H "H type cable" ويعتبر الكابل من النوع H من وجهة النظر الكهربية كما لو كان ثلاثة كابلات أحادية القلب منفصلة. شكل (٣.٣) يبين كلا من الكابل ذي الشريط و الكابل من النوع H.



شكل(٣.٣) الكابل ذو الشريط و الكابل من النوع H ذو الستارة

كابلات العازل الورقي المليئة بالزيت أو الغاز

تحت ضغط منخفض أو تحت ضغط مرتفع وفيها يستخدم الزيت العازل أو غاز النيتروجين الخامل للحد من تكون الفقاعات الهوائية داخل العازل الورقي وكذلك للتبريد وتستخدم هذه الكابلات عند جهود تصل إلى ٧٥٠ ك.ف.، ولا تستخدم هذه الكابلات إلا حين تكون هناك ضرورة قصوى لاستخدامها وذلك لارتفاع تكلفتها وتعقيد التركيبات الخاصة بها وخصوصا التجهيزات اللازمة لسريان الزيت أو الغاز.

كابلات العوازل البوليمرية Polymer insulated cables

المادة العازلة في هذه الكابلات تكون إحدى المواد البوليمرية المستخرجة من صناعات البترو كيماويات وأكثر هذه المواد شيوعا في الاستعمال هي:

١. البولي فينيل كلورايد **PVC**:

ويتميز بخواص كهربية ممتازة عند الجهود المنخفضة ودرجات الحرارة المنخفضة إلى جانب رخص الثمن مقارنة بالكابلات ذات العوازل الأخرى ولذلك تعتبر الكابلات المعزولة بمادة PVC هي الاختيار الأفضل في جميع أنحاء العالم حتى جهد ٣.٣ ك.ف إلا أنها غير مناسبة للجهود الأكبر من ذلك حيث ترتفع مفقودات العزل.

٢. البولي إيثيلين التشابكي XLPE:

وتتميز بمقاومة عالية للرطوبة وتحمل درجات حرارة مرتفعة نسبيا أثناء التحميل العادي وكذلك عند زيادة الحمل أو في حالات القصر، الفقد في العزل أصغر مقارنة بمعظم مواد العزل الأخرى وهي أصلد العوازل المعروفة ولذا لا يحتاج إلى تسليح إلا عند توقع تعرضه لإجهادات ميكانيكية عنيفة ولذلك تستخدم في الجهود الأعلى من ٣,٣ك ف وحتى ٢٧٥ ك ف وهذه الكابلات شائعة الاستعمال في منظومات التوزيع. ولأن XLPE أصلد العوازل المعروفة فإنه يجب مراعاة ذلك عند تركيب الكابل حيث إنه يكون غير مناسب لعمل انحناءات.

٣. العوازل المطاطية:

وأهمها مطاط الإيثيلين بروبلين EPR ومطاط البيتيل PR وتستعمل عند الحاجة لخواص معينة متوفرة فيهما، إلا أن الاتجاه العام هو تفضيل استخدام XLPE في الأحوال العادية

ثالثا: بالنسبة لمستوى الجهد

يتم تقسيم الكابلات إلى:

- كابلات الجهد العالي والفائق high voltage cables
- كابلات الجهد المتوسط medium voltage cables
- كابلات الجهد العالي والفائق low voltage cables

ولأنه لا توجد قيم محددة متفق عليها عالميا لحدود قيم الجهد لكل من هذه المستويات، فمثلا ما يعتبر جهدا متوسطا في المملكة يمكن اعتباره ضمن الجهد العالي في مكان آخر أو العكس، ولذلك يفضل تعريف الكابل بقيمة الجهد بين الموصل والأرض أثناء التشغيل (U_o) والجهد الذي تم تصميم الكابل عليه (U) وكل منهما يعطى بالقيمة الفعالة.

رابعا: أنواع الكابلات طبقا لاستخدامها

١. كابلات نقل وتوزيع القوى الكهربية:

وهى الكابلات التي تستخدم في منظومات القوى الكهربية بمستوياتها المختلفة والكابلات التي تعمل عند الجهود العالية أكبر من ٤٠ ك.ف تعرف بكابلات النقل ويغلب استعمال الكابلات ذات العازل الورقي عند الجهود العالية وإن كانت كابلات XLPE بدأت تجد طريقها للاستعمال عند جهود تصل حتى ٢٧٥ ك ف، وتعمل كابلات التوزيع على جهود تتراوح بين ١١ك ف وحتى ٣٣ ك.ف .وكما ذكرنا سابقا أن الكابلات البوليمرية وخصوصا XLPE هي الأكثر شيوعا في شبكات التوزيع وفي المملكة

حيث درجات الحرارة المرتفعة في معظم الانحاء يكون لكابلات ميزة أخرى حيث إنها تتحمل درجات الحرارة العالية بالإضافة إلى سهولة تركيبها وتوصيلها وإصلاحها.

٢. كابلات التمديدات الكهربائية:

وتعرف أيضا بالكابلات المرنة حيث يكون الكابل مكونا من موصل مصنوع من النحاس الأحمر والعازل –الذي يكون غالبا من مادة PVC - لضمان مرونة الكابل حيث إنه يتعرض لكثير من الانحناءات ولسهولة تمديده داخل المواسير .

٣. الكابلات البحرية:

وتستخدم في نقل القدرة الكهربية عبر البحار ويتم تركيبها في قاع البحر أو المجرى المائي الذي تعبره.

٤. كابلات المنشآت الصناعية العامة:

وهي الكابلات المستخدمة لتغذية الطاقة داخل المنشآت الصناعية وتستخدم كابلات PVC بنجاح تام حتى جهد ٣.٣ك ف وبعض المنشآت تستخدم هذه الكابلات عند جهد ١١ ك ف وحتى ١٥ ك ف إلا أن الاتجاه السائد هو عدم استخدام كابلات لجهود أعلى من ٣.٣ ك ف نظرا لارتفاع السماحية له يزيد من الفقد في العازل ولذلك تستخدم كابلات XLPE , EPR للجهود ١١ك ف وأعلى

٥. كابلات المصانع الكيماوية وصناعة البتر وكيماويات :

الكابلات المستخدمة في مثل هذه الصناعات تكون عرضة لتسرب المواد العضوية التي لها القدرة على اختراق العازل والوصول إلى قلب الكابل مما يتسبب في حدوث الحرائق ولذلك يجب عمل الحماية اللازمة للكابل باستعمال كابلات ذات غلاف أو كابلات عليها طبقة الحماية الخارجية المناسبة أوالطريقتين معا وذلك لمنع تسرب الزيوت والمواد الأخرى القابلة للاشتعال ووصولها إلى الكابل.

الاختبارات الذاتية : أكمل الفراغات الآتية بما يناسبها :

1ـ يعتمد نوع الكيبل المستخدم على ـــــــــــــــ و ـــــــــــــــ .

2ـ تكون المحاثة هي السائدة في ـــــــــــــــ بينما تكون المتسعة هي المؤثرة في ـــــــــــــــ .

3ـ المواد المستخدمة في صناعة موصلات الكيبلات هي ـــــــــــــــ أو ـــــــــــــــ .

4ـ تقسم الكيبلات المضغوطة إلى نوعين هما ـــــــــــــــ و ـــــــــــــــ .

الاختبار البعدي :ـ 1ـ عدِّد أهم مميزات الكيبلات المملوءة بالزيت .

المصادر المعتمدة :ـ كتاب منظومة القدرة الكهربائية .

تأليف : الدكتور ضياء علي بشير النعمة

طارق محمد أمين .

مفاتيح أجوبة الاختبارات

الاختبار القبلي	الاختبارات الذاتية	الاختبار البعدي
1ـ صح .	1ـ فولتية التشغيل ، متطلبات الخدمة .	1ـ أ ـ قلة حدوث الفجوات الهوائية وتأينها .
2ـ صح .	2ـ الخطوط الهوائية ، الكيبلات الأرضية .	ب ـ زيادة مدى الحرارة المسموح بها مع زيادة قوة العزل .
3ـ صح .	3ـ النحاس ، الألمنيوم .	ج ـ تلاشي التيارات التسربية في الغطاء الرصاصي .
4ـ خطأ .	4ـ المملوءة بالزيت ، المضغوطة بالغاز .	

المعهد التقني الموصل / قسم التقنيات الكهربائية

مادة (الشبكات الكهربائية)

المفردة الدراسية للأسبوع (الثاني عشر)

الفئة المستهدفة :ــ طلاب الصف الثاني فرعي / القوى والشبكات

الموضوع : ــ طرق دفن الكيبلات ، حساب مقاومة العازل في الكيبل ، حساب المتسعة في الكيبل.

الأفكار المركزية :ــ يجب أن يكون للكيبل عزل مناسب ليعطي درجة كافية من الأمان ولمنع التيارات التسربية ، تأخذ التيارات التسربية مسارا شعاعيا خلال العازل ، تسمى الممانعة التي يبديها العازل ضد التيارات التسربية بمقاومة العازل .

الأهداف : ــ يتعلم الطالب 1ــ كيفية مد الكيبلات باستخدام ثلاث طرق .

2ــ حساب مقاومة العزل لكيبل ذي لب مفرد .

3ــ حساب السعة لكيبل ذي لب مفرد .

الاختبار القبلي : ــ إملأ الفراغات الآتية بما يناسبها :

1ــ يجب أن تكون مقاومة العزل للكيبل _____ لكي يكون التشغيل جيدا .

2ــ إن وجود الرمل مع الكيبل في طريقة الدفن المباشر له فائدتان هما _____ و _____ .

3ــ تعتبر كلفة تنفيذ الكيبلات الأرضية _____ من كلفة التنفيذ للخطوط الهوائية .

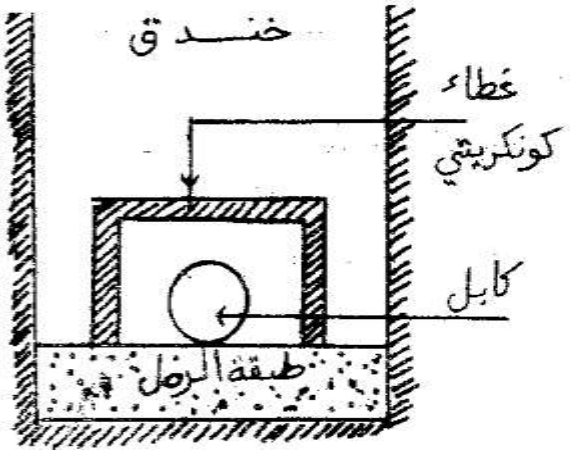
4ــ تحدد تيارات الشحن العالية في _____ من _____ .

٥- ٨ طرق دفن الكابلات : Laying of underground cables

تعتمد معولية الخطوط الأرضية الى حد بعيد على طرق دفنها ونقاط التوصيل والتفرعات ، توجد ثلاث طرق رئيسية لدفن الكابلات وهي :-
الدفن المباشر، النظام المصمت ونظام السحب (draw-in system)

الدفن المباشر: Direct laying

يوضح الشكل (5.5) هذا النوع من الدفن ، اذ يحفر خندق بعمق 1.5 م وبعرض 45 سم تقريباً . تفرش طبقة من الرمل الناعم في اسفل الخندق بسمك 10 سم . ثم يوضع الكابل .



شكل (5.5)
طريقة الدفن المباشر للكابل

ان وجود الرمل يمنع امتصاص الرطوبة من الأرض وبالتالي حماية الكابل . بعد وضع الكابل في الخندق يغطى بطبقة اخرى من الرمل بسمك 10 سم ايضاً ثم يغطى الخندق بطبقة من الطابوق وردم الحفر.

عند دفن اكثر من كابل في خندق واحد يترك فراغات بحدود 30 سم لتقليل تأثير الحرارة المتبادلة بين الكابلات . ولضمان عدم تأثير الكابل المعطوب على الكابل المجاور. ومن فوائد هذا النوع ، سهولة ورخص التنفيذ ، اعطاء حالة انتشار جيدة للحرارة المتولدة من الكابل ، وتمتاز هذه الطريقة بأنها امينة ونظيفة لأن الكابل مخفي وبعيد عن التاثيرات الخارجية . ومن مساوئها .

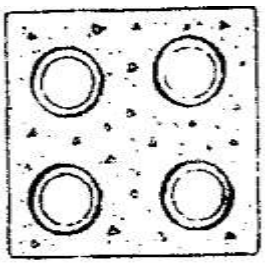
١) وجوب اعادة الحفر من جديد عند اجراء توسعات مما يزيد الكلفة الأصلية .

٢) صعوبة اجراء تغييرات في خطوط الكابل وصعوبة تحديد العطب .

Draw – in system نظام السحب

تمد في هذا النظام مجاري من حديد الصب او الكونكريت في الارض مع وضع مانهولات مناسبة على طول الشبكة. ويتم سحب الكابلات داخل المجاري من المانهولات يوضح الشكل (5.6) مقطعا من مجرى ارضي ذي فتحات. يستخدم ثلاث منها لمد الكابلات في حين تستخدم الرابعة لتوصيل اجهزة الحماية والسيطرة. يجب ان يؤخذ قطر الكابلات في الحساب عند التنفيذ وخاصة في الزوايا والانحناءات وذلك لضمان سهولة سحب الكابلات من خلال المجرى. كما يجب ان تكون المسافة بين المانهولات متقاربة. ليس من الضروري ان تكون الكابلات المحدودة بهذه الطريقة مسّلحة. ومن فوائدها. سهولة اجراء عمليات التغيير والاضافة دون حفر التربة ، سهولة اجراء عمليات التوصيل لكون الكابلات غير مسلحة ، قلة اعطاب النظام لكون الكابلات مزودة بحماية ميكانيكية قوية.

ولكن من اهم مساوئها، كلفتها الابتدائية العالية اضافة الى ان سعة تحملها للتيار اقل. يستخدم هذا النظام في المناطق المزدحمة والتي تكون كلفة الحفريات فيها باهضة.



شكل (5.6)
طريقة دفن الكابل داخل (مجاري)

النظام المصمّت:
Solid system

في هذا النظام، يمد الكابل في انابيب مفتوحة او خنادق تفتح في التربة وعلى طول خط الكابل. ويكون المجرى اما من حديد الصب او الاسفلت او حجر الكلس او الخشب المعالج. بعد ما يمد الكابل في الخندق يملأ بمركب اسفلتي. يضمن هذا النوع من الدفن حماية ميكانيكية عالية. ومن مساوئ هذا النظام كلفته الابتدائية العالية مقارنة بالدفن المباشر وضعف تبديدها للحرارة، لذا فأن سعة تحملها للتيار اقل.

٥-٩ مقاومة العزل لكابل ذي لب مفرد:
Insulation Resistance of a single core cable

يجهز الكابل بمادة عازلة ذات سمك مناسب لمنع التيارات التسريبية Leakage current تأخذ التيارات التسريبية مسارا شعاعيا خلال العازل. تسمى المانعة التي يبديها العازل ضد التيارات التسريبية بمقاومة العزل Insulation Resistance يجب ان تكون مقاومة العزل عالية جدا لكي يكون التشغيل جيداً.

والان لنأخذ كابل ذا لب مفرد كما في الشكل (5.7) نصف قطر موصّله r_1

نفرض ان نصف قطر غلافه الداخلي r_2

طول الكابل l

مقاومية العزل ρ

لنتصور طبقة صغيرة جدا من العازل بسمك (dx) وبنصف قطر (x)

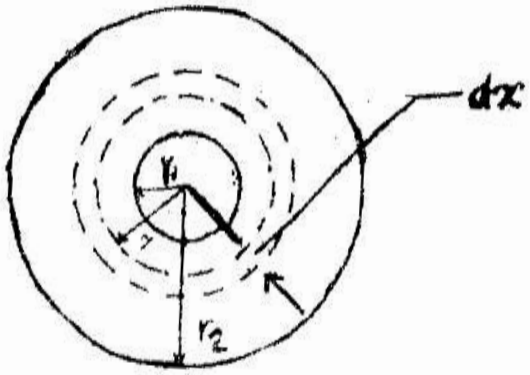
طول المسار للتيار التسريبي هو dx ومساحة المقطع هي $2\pi xl$

∴ مقاومة العزل لهذه الطبقة هي

$$dR = \rho \frac{dx}{2\pi x l} \qquad \ldots (5.1)$$

$$\int dR = \int_{r_1}^{r_2} \rho \frac{dx}{2\pi x l} = \frac{\rho}{2\pi l} \int_{r_1}^{r_2} \frac{1}{x} dx$$

$$R = \frac{\rho}{2\pi l} \ln x \Big|_{r_1}^{r_2} = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{r_2}{r_1} \qquad (5.2)$$



شكل (5.7)
كابل ذو لب مفرد (طريقة حساب مقاومة العزل)

مثال (1):

كابل ذو لب مفرد، قطر موصّله 1 سم وسمك العازل 0.4 سم. اذا كانت المقاومة النوعية للعازل 5×10^{14} اوم.سم. احسب مقاومة العزل لكابل بطول (2Km).

الحل:

نصف قطر الموصل $r_1 = 0.5 \text{ cm}$

طول الكابل $l = 2 \text{ Km} = 2000 \text{ m}$

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

نصف قطر الغلاف الداخلي $r_2 = 0.5 + 0.4 = 0.9 \text{ cm}$

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

$$= \frac{5 \times 10^{12}}{2\pi \times 2000} \ln \frac{0.9}{0.5} = 0.234 \times 10^9 \ \Omega = 234 \text{ M } \Omega$$

مثال (2):

اوجد سمك العازل لكابل ذي لب مفرد، قطر موصله 2.5 سم، المقاومة النوعية للعازل $4.5 \times 10^{14}\ \Omega \cdot cm$. علما ان مقاومة العزل للكابل هو $495\ M\Omega/Km$

الحل:

طول الكابل: $l = 1\ Km = 1000\ m$

مقاومة العزل للكابل: $R = 495\ M\Omega = 495 \times 10^6\ \Omega$

نصف قطر الموصل: $r_1 = 2.5 / 2 = 1.25\ cm$

المقاومة النوعية للعازل: $\rho = 4.5 \times 10^{14}\ \Omega \cdot cm = 4.5 \times 10^{12}\ \Omega \cdot m$

نفرض ان r_2 سم يمثل نصف قطر الداخلي للغلاف

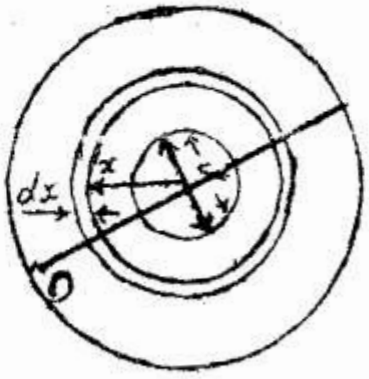
الآن

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

$$\ln = \frac{r_2}{r_1} = \frac{2\pi l R}{\rho} = \frac{2\pi \times 1000 \times 495 \times 10^6}{4.5 \times 10^{12}} = 0.69$$

$$r_2/r_1 = e^{0.69} \Rightarrow r_2 = 2r_1 \Rightarrow r_2 = 2 \times 1.25 = 2.5\ cm$$

سمك العازل: $r_2 - r_1 = 2.5 - 1.25 = 1.25\ cm$



شكل (5.8)

(طريقة حساب السمعة لكابل ذي لب مفرد)

٥-١٠ المتسعة في الكابل ذي اللب المفرد:

Capacitance of a single core cable

يمكن تمثيل كابل ذي لب مفرد بأسطوانتين متمركزتين، اذ يمثل الموصول (اللبّ) الاسطوانة الداخلية، بينما يمثل الغلاف الرصاصي. الاسطوانة الخارجية وعادة تكون مؤرضة.

في الشكل (5.8) نفرض ان قطر الموصل = d

وقطر الغلاف الداخلي = D

فأذاكانت الشحنة / متر طول محوري = Q كولوم.

نفاذية المادة العازلة بين اللب والغلاف الخارجي = ϵ اذا

$\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r$

ϵ_r هي النفاذية النسبية للعازل.

نفرض ان اسطوانة بنصف قطر (x) م. وبطول محوري (١) م.

طبقاً لنظرية كاوس فأن الفيض الكهربائي المار خلال هذه الاسطوانة هو (Q) كولوم.

المساحة السطحية للاسطوانة= $2\pi \times x \times l = 2\pi xl$ م^2 = $2\pi x$ م^2

. ٠ كثافة الفيض (D_x) في اية نقطة (P مثلا) على الاسطوانة هي.

$$D_x = \frac{Q}{2\pi x} \text{ coloum / m}^2 \qquad (5.3)$$

شدة المجال الكهربائي في نقطة (P) هي

$$E_x = D_x / \epsilon$$

$$= \frac{Q}{2\pi x \epsilon} = \frac{Q}{2\pi x \epsilon_0 \epsilon_r} \text{ V / m} \qquad \ldots (5.4)$$

الشغل المنجز لتحريك شحنة موجبة من نقطة P ولمسافة dx بأتجاه المجال الكهربائي هو $E_x d_x$

لذا فأن الشغل المنجز لنقل وحدة شحنة موجبة من الموصل الى الغلاف، والذي تسمى فرق الجهد (v) بين الموصل والغلاف تعطى بالمعادلة.

$$V = \int_{o/2}^{d/2} - Ex\, dx$$

$$V = \int_{d/2}^{o/2} E_x d_x = \int_{d/2}^{o/2} \frac{Q}{2\pi \epsilon_o \epsilon_r x}\, dx = \frac{Q}{2\pi \epsilon_o \epsilon_r} \ln \frac{o}{d} \quad \ldots (5.5)$$

متسعة الكابل

$$C = \frac{Q}{v} = \frac{Q}{\frac{Q}{2\pi \epsilon_o \epsilon_r} \ln \frac{o}{d}} F / m \quad \ldots (5.6)$$

بأختصار المعادلة (5.6) ينتج

$$\epsilon_o = 8.854 \times 10^{12}\ \mu / m$$

$$\log\left(\frac{o}{d}\right) = 2.3 \ln\left(\frac{o}{d}\right)$$

$$C = \frac{8.854 \times 10^{12} \times 2\pi \times \epsilon_r}{\ln\left(\frac{o}{d}\right)} F / m$$

$$C = \frac{\epsilon_r}{41.4 \log(D/d)} \times 10^{-9} F / m$$

اذا كان طول الكابل يساوي (l) م فأن متسعة الكابل هي

$$C = \frac{\epsilon_r l}{41.4 \log(o/d)} \times 10^{-9} F$$

مثال (3):

كابل ذو لب مفرد ، قطر الموصّل 1 سم وقطر الغلاف الداخلي 1.8 سم.
استخدم الورق المزيت ذو النفاذية النسبية (4) كعازل. احسب متسعة الكابل لطول (1Km) كم.

الحل:

متسعة الكابل

$$C = \frac{\epsilon_r l}{41{\cdot}4 \log(o/d)} \times 10^{-9}\ F$$

$$l = 1000\ m$$

معطاة $o = 1{\cdot}8\ cm$, $d = 1\ cm$, $\epsilon_r = 4$

بتعويض القيم في المعادلة اعلاه

$$C = \frac{4 \times 1000}{41{\cdot}4 \log(1{\cdot}8/1)} \times 10^{-9}\ F = 0{\cdot}378\ \mu F$$

الاختبارات الذاتية :ـــ أجب بكلمة صح أو خطأ عن العبارات الآتية :

1ـــ توجد ثلاث طرق رئيسية لدفن الكيبلات هي الدفن المباشر ، النظام المصمّت ، ونظام السحب.

2ـــ من مساوئ النظام المصمّت كلفته الابتدائية العالية وضعف تبديده للحرارة .

3ـــ عند دفن أكثر من كيبل في خندق واحد يترك فراغات بحدود (40) سم لتقليل تأثير الحرارة المتبادلة بين الكيبلات .

4ـــ تمتاز طريقة الدفن المباشر بأنها أمينة ونظيفة لأن الكيبل مخفي وبعيد عن التأثيرات الخارجية .

الاختبار البعدي :ـــ 1ـــ عدد فوائد طريقة نظام السحب للكيبلات .

المصادر المعتمدة :ـــ كتاب منظومة القدرة الكهربائية .

تأليف : الدكتور ضياء علي بشير النعمة

طارق محمد أمين .

مفاتيح أجوبة الاختبارات

الاختبار القبلي	الاختبارات الذاتية	الاختبار البعدي
1ـــ عالية جدا .	1ـــ صح .	1ـــ سهولة إجراء عمليات التغيير والإضافة دون حفر التربة .
2ـــ يمنع امتصاص الرطوبة من الأرض ويحمي الكيبل .	2ـــ صح .	2ـــ سهولة إجراء عمليات التوصيل لكون الكيبلات غير مسلحة .
3ـــ أعلى .	3ـــ خطأ .	3ـــ قلة إعطاب النظام لكون الكيبلات مزودة بحماية ميكانيكية قوية .
4ـــ الكيبلات الأرضية ، طول الكيبلات .	4ـــ صح .	

المعهد التقني الموصل / قسم التقنيات الكهربائية

مادة (الشبكات الكهربائية)

المفردة الدراسية للأسبوع (الثالث عشر)

الفئة المستهدفة :ــ طلاب الصف الثاني فرعي / القوى والشبكات

الموضوع :ــ الخصائص الحرارية للكيبل ، أنواع انهيارات الكيبل .

الأفكار المركزية :ــ إن العمر الحقيقي للكيبل يعتمد على الإجهاد الكهربائي ودرجة تجانس العازل . فكلما كان الإجهاد الكهربائي أقل كان عمر الكيبل أطول ، وكذلك كلما كانت درجة تجانس العازل عالية يطول عمر الكيبل أكثر .

الأهداف :ــ يتعلم الطالب 1ــ الخصائص الحرارية للكيبل .

2ــ خصائص الانهيارات في الكيبلات .

3ــ أنواع الانهيارات في الكيبل .

الاختبار القبلي :ــ أجب بكلمة صح أو خطأ عن العبارات التالية :

1ــ تسمى الممانعة التي يبديها العازل للكيبل ضد التيارات التسربية بمقاومة العازل .

2ــ من مساوئ طريقة الدفن المباشر هي صعوبة تحديد العطب .

3ــ ترتفع درجة حرارة الكيبل نتيجة الحرارة المتولدة من المفاقيد المختلفة .

٥-١١ الخصائص الحرارية للكابل:

ترتفع درجة حرارة الكابل نتيجة الحرارة المتولدة من المفاقيد المختلفة. تتبدد هذه الحرارة في التربة من خلال العازل والغلاف sheath والدرع. ان لغلاف العزل والتربة مقاومة حرارية تسري الحرارة خلالها. بينما يمكن اعتبار مقاومة العزل Insulation Resistance للاغلفة المعدنية والدرع مساوية للصفر لذا فأنها لاتدخل في حسابات الحرارة. تعتمد اعلى درجة حرارة مسموح بها على نوعية الكابل (حزامي، تغليف انفرادي، محجب) وعدد الالباب ، مادة الغلاف، طريقة الدفن ووجود الدرع. يعبر عن الحرارة المتولدة كدالة لتيار الكابل. اذا امكن حساب المقاومة الحرارية لخط الحرارة، اصبحت مسألة ايجاد اقصى تيار مقنن سهلة جداً لذا فأن مشكلة التيار المقنن للكابل تتحول الى مشكلة ايجاد المقاومة الحرارية الكلية لعازل الكابل واغطية الحماية والتربة.

المقاومة الحرارية:

أ- عازل لكابل ذي لب مفرد:

يمكن ايجاد المقاومة الحرارية بطريقة ايجاد مقاومة العزل نفسها . المقاومة الحرارية (dG_i) لحلقة بسمك dx وبنصف قطر x هي: (راجع شكل 5.7)

$$dG_i = \frac{g_1 dx}{2\pi x} \quad \text{مقاومة حرارية /م}$$

حيث (g_1) مقاومة الحرارة النوعية للعازل وهي بحدود 5.5°C.m /watt لمعظم كا الضغط العالي.
المقاومة الحرارية / لمتر طول هي

$$G_i = \int_r^R \frac{g_1}{2\pi x} dx = \frac{g_1}{2\pi} \ln \frac{R}{r} \text{ thermal ohms / m} \qquad \dots (5.7)$$

ب- اغلفة الحماية:

بما ان اغلفة الحماية تكون عادة اسطوانية الشكل لذا فأن المقاومة الحرارية لها : مشابهة للمعادلة (5.7) سمك الدرع عادة يكون قليلاً ويمكن اهماله. لذا فان المقاومة الحرارية لاغلفة الحماية هي.

$$G_p = \frac{g_2}{2\pi} \ln \frac{R_2}{R} \text{ thermal ohms / meter} \qquad \dots (5.8)$$

إذ g_2 = المقاومة الحرارية للاغطية وهي بحدود (5°C.m/watt)
R_1 = نصف قطر الغلاف، م
R_2 = نصف قطر الخارجي للكابل . م.

جـ- التربة:

تنتقل الحرارة المتولدة الى التربة من خلال اغلفة الكابل المختلفة . يمكن تمثيل الحراري لكابل ذي نصف قطر خارجي R مدفون بعمق (h)م بالمجال الكهر موصلات خط هوائي والارض. لذا يمكن اشتقاق المقاومة الحرارية (G_s) لكابل بأسلوب مماثل لحساب متسعة موصل في خط هوائي والمعادلة هي:

$$\frac{g_3}{2\pi} \ln \frac{2h}{R_2} \text{ thermal ohms / meter} \qquad \dots (5.9)$$

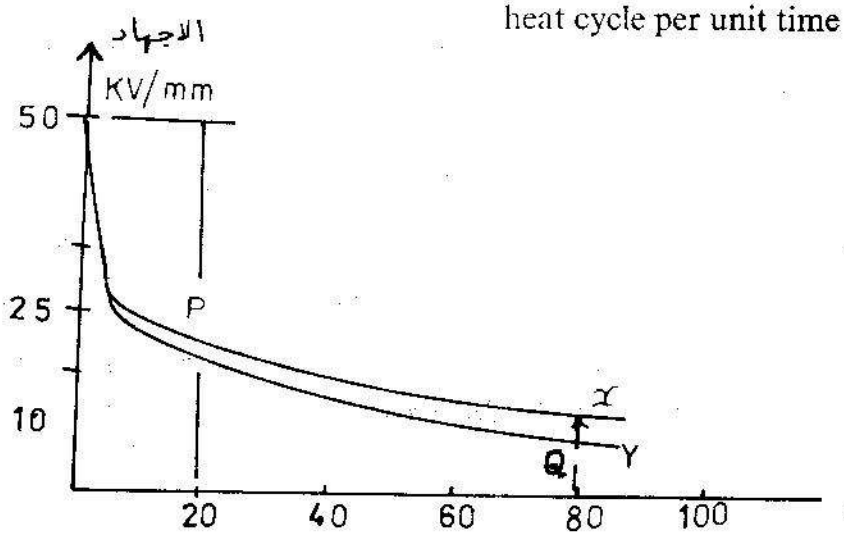
اذ (g_o) المقاومة الحرارية النوعية للتربة (°C.m/watt) وتعتمد على نسبة الرطوبة في التربة وتتراوح من (0.3) للترب الرطبة الطينية الى (3) للترب الرملية الجافة.

خصائص الانهيار في الكابلات: Break down characterisitics in cables

ان الاجهاد الكهربائي الذي يسبب انهيارا للمواد العازلة للكابل غير ثابت، ويعتمد على فترة تسليط الاجهاد. فمثلا يمكن ان يقاوم عازل ما اجهاداً قيمته 500KV/cm اذا سلطت فولتية بتردد قيمته (50Hz) هيرتز لفترة دقائق معدودة. ولربما يتحمل العازل اجهاداً يصل الى 2000KV/cm خلال فترة $0{\cdot}02\,\mu s$ في الاختبار النبضي. ولكن قد لايقاوم اجهاداً يصل الى 100KV/cm لمدة عدة ايام مستمرة.

يوضح الشكل (5.9) العلاقة بين الاجهاد الكهربائي والزمن لنوعين من العوازل يمثل المنحني (x) العلاقة لكابل ذي عازل ورقي مزيت متجانس. والمنحني (y) لورق غير متجانس التزييت تمثل النقطة (P) الانهيار اللحظي للعازل بينما تمثل (Q) الانهيار على المدى الطويل. تقلل الرطوبة والفجوات الهوائية voids من شدة مقاومة الانهيار، ويؤديان الى انهيار العازل بفترة اقصر.

لذا فأن العمر الحقيقي للكابل يعتمد على الاجهاد الكهربائي ودرجة تجانس العازل. فكلما كان الاجهاد الكهربائي اقل كان عمر الكابل اطول. وكذلك كلما كانت درجة تجانس العازل عالية يطول عمر الكابل اكثر. ان التغيرّات الحرارية يمكن ان تزيح المنحني نحو الاسفل. وتعتمد درجة الازاحة على اقصى درجة حرارة يصلها الكابل وعدد دورات الحرارة لكل وحدة زمن heat cycle per unit time



شكل (5.9)

انواع انهيارات الكابل :

تحدث انهيارات لكابل اما بسبب التثقيب، عدم الاستقرارية الحرارية والموالفة الانية التي تعقب تكوين الفجوات.

الانهيار التمزيقي او التثقيب : Puncture or disruptive voltage

يحدث في هذا الانهيار تفريغ بين الموصل والغلاف في نقطة عزل ضعيفة مسببة ثقب في العازل. ربما يؤدي انهيار العازل الى ثقب يظهر في الفحص الابتدائي المختبري. ويكون هذا النوع من الانهيارات قليلة الحدوث في الخدمة لانه يتلافى اثناء الانتاج.

عدم الاستقرارية الحرارية Thermal instability

يسبب تيار الشحن في الكابل، فولتية بزاوية مقدارها $(90-\delta)$ اذ تمثل (δ) زاوية الفقد للعازل. ان مفاقيد العزل والمفاقيد الاومية يؤديان الى تسخين العازل وارتفاع درجة حرارته. وتؤدي زيادة درجة الحرارة عن مدى معين الى زيادة زاوية الفقد وبذلك تزداد الحرارة المتبددة في العازل. وتستمر الحرارة بالارتفاع في العازل وتكون العملية تجميعية cumulative الا في حالة تساوي او زيادة معدل التبدد على معدل توليد الحرارة. ان الكابلات الحديثة لها زاوية فقد واطئة (0.5 او اقل) لذا فأن حالة عدم الاستقرارية الحرارية قلما تحدث.

الموالفة الانية التي تعقب تكوين الفجوات :

Tracking followed void formation

ان تكرار تبريد وتسخين العازل يؤديان الى تكوين فجوات هوائية في العازل . فأذا كان العازل متجانساً فأن التأين لايحدث. ولكن وجود الفجوات يمكن ان يسبب التأين. يتناسب تدرج الفولتية عبر الفجوات عكسياً مع السماحية، لذا فالتدرج عبر فجوة هوائية ربما يساوي ثلاث او اربع مرات ما موجود في العازل المحيطة بالفجوة. يسبب تأين الهواء تكوين طبقة كاربونية في الزيت الموجود بين رقائق الورق المعزول ونقطة اقصى جهد القريبة من سطح الموصل.

الاختبارات الذاتية : إملأ الفراغات الآتية بما يناسبها :

1ـ تتبدد الحرارة للكيبل في التربة من خلال ـــــــــ و ـــــــــ و ـــــــــ .

2ـ تقلل الرطوبة والفجوات الهوائية لعازل موجود في كيبل من ـــــــــ و يؤديان إلى انهيـــار العازل بفترة ـــــــــ .

3ـ إذا كان العازل للكيبل متجانس فإن التأين لا يحدث ولكن وجود ـــــــــ يمكن أن يسبب التأين .

الاختبار البعدي :ـ 1ـ عدد فقط أنواع الانهيارات للكيبلات .

المصادر المعتمدة :ـ كتاب منظومة القدرة الكهربائية .

تأليف : الدكتور ضياء علي بشير النعمة

طارق محمد أمين .

مفاتيح أجوبة الاختبارات

الاختبار القبلي	**الاختبارات الذاتية**	**الاختبار البعدي**
1ـ صح .	1ـ العازل ، الغلاف ، الدرع .	1ـ الانهيار التمزيقي أو التثقيب .
2ـ صح .	2ـ شدة مقاومة الانهيار ، أقصر .	2ـ عدم الاستقرارية الحرارية .
3ـ صح .	3ـ الفجوات الهوائية .	3ـ الموالفة الآنية التي تعقب تكوين الفجوات .

المعهد التقني الموصل / قسم التقنيات الكهربائية

مادة (الشبكات الكهربائية)

المفردة الدراسية للأسبوع (الرابع عشر والخامس عشر)

الفئة المستهدفة :ــ طلاب الصف الثاني فرعي / القوى والشبكات

الموضوع :ــ شبكات التوزيع ، تصنيف شبكات التوزيع ، أنواع موزعات التيار المستمر .

الأفكار المركزية :ــ تنقل الطاقة الكهربائية من محطات التوليد إلى المستهلكين خلال شبكة نقل وأنظمة توزيع . تتألف شبكات التوزيع من مغذيات ، موزعات ، خطوط خدمة .

الأهداف :ــ يتعلم الطالب 1ــ ما هي شبكات التوزيع .

2ــ تصنيف شبكات التوزيع .

3ــ أنواع موزعات التيار المستمر .

الاختبار القبلي :ــ أجب بكلمة صح أو خطأ عن العبارات التالية :

1ــ إن شبكات التوزيع عموما هو ذلك الجزء من أنظمة القدرة الذي يوزع القدرة إلى المستهلكين للاستعمال .

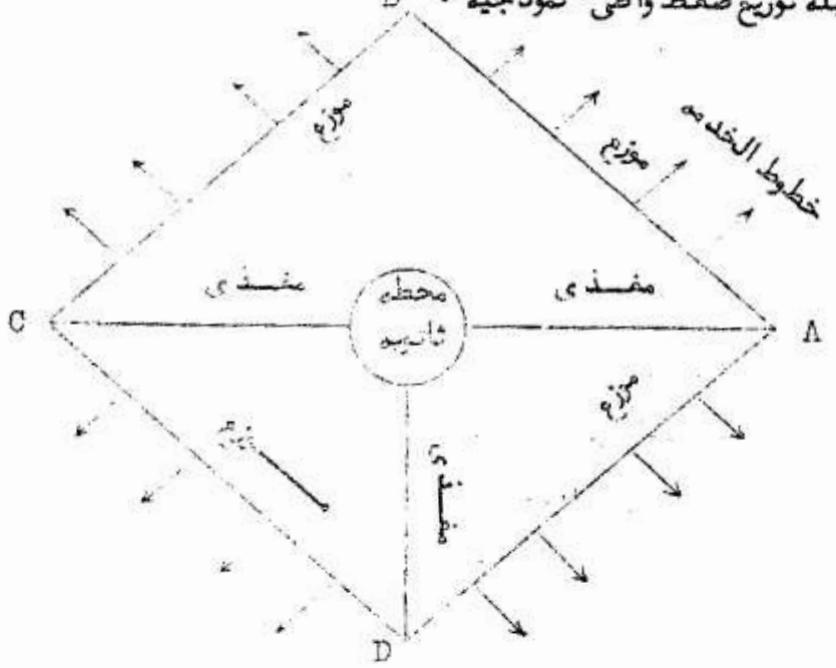
2ــ التيار خلال الموزعات ليس ثابتا بسبب التفرعات الموجودة على امتداد الموزع .

3ــ يمكن اعتبار الموزع الحلقي مجموعة من الموزعات المتوالية والذي يتغذى من طرف واحد .

4ــ تقسم شبكات التوزيع حسب طبيعة التيار إلى التوزيع بالتيار المستمر والتوزيع بالتيار المتناوب .

شبكات التوزيـــع Distribution Network

٢ـ١ مقدمـه : تنقل الطاقه الكهربائيه من محطات التوليـد الى المستهلكين خـــلال شبكة نقـــل وانظمة توزيع • من الصعب عادة رسم خط بين انظمة التوزيع والنقل لشبكات قدره كبيره • ومن الصعب التمييز بين الاثنين على اساس الفولتيه لان مـــا نعتبره اليوم فولتيه عاليه سيصبح مستقبلا ضمن الفولتيات الواطئه • ان شـــبكـات التوزيع عموما هو ذلك الجزء من انظمة النقل الذى يوزع القدره الى المستهلكيـــن للاستعمال • وتتألف شبكات التوزيع من مغذيات (feeders) ، موزعـــــات (distributors) وخطوط الخدمه يوضح الشكل (2.1) التمثيل الاحـادى لشبكة توزيع ضغط واطئ نموذجيه •



شكل (2.1)

شبكة توزيع ضغط واطئ نموذجي

يتألف المغذى من موصل يربط بين المحطه الثانويه الى المنطقه المراد تغذيتهـا ولا يوجد تفرعات للتغذيه على امتداد المغذيات ، لذا فأن التيار يبقى فيها ثابتا • أهم الامور التي تؤخذ بنظر الاعتبار في اختيار وتصميم المغذيات هي سعة تحمل التيـــار

خطوط الخدمه عباره عن كابلات صغيره وقصيره تربط بين الموزع واطراف توصيلة المستهلك (عادة يربط على المقياس من خلال قاطع دوره محدد للتيار) .

٢ ـ٢ تصنيف شبكات التوزيع : Classification of Distribution System

يمكن تصنيف انظمة التوزيع تبعا لما يلي .

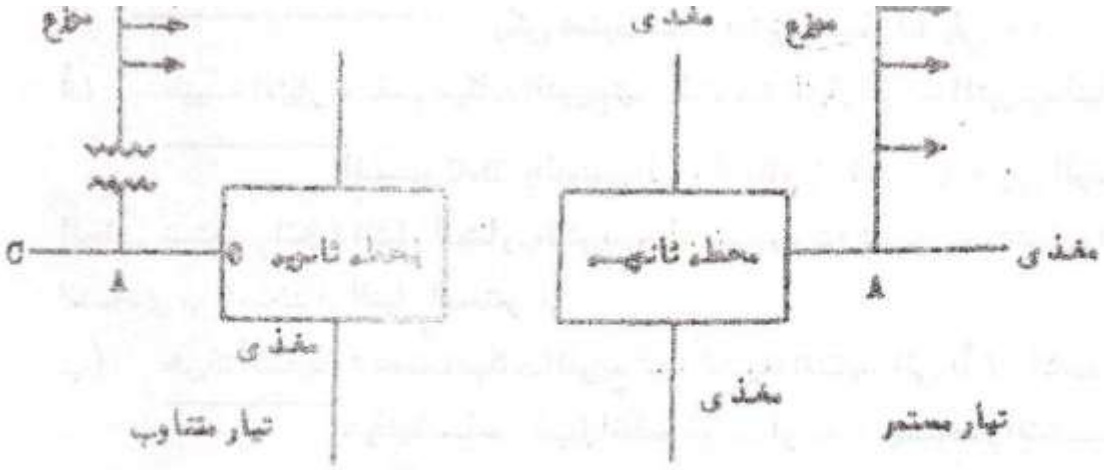
أ) طبيعة التيار : تقسم شبكات التوزيع تبعا لطبيعة التيار الى :- التوزيع بالتيار المستمر D.C والتوزيع بالتيار المتناوب (A.C) . وفي الوقت الحاضر تستخدم انظمة التيار المتناوب للتوزيع وذلك لسهولة توليده وان استخدامه اكثر اقتصادى من استخدام التيار المستمر .

ب) طريقة التنفيذ : تصنف شبكات التوزيع تبعا لطريقة التنفيذ الى (أ) انظمه هوائيه معلقه (ب) انظمة كابلات ارضيه . ويستخدم النظام الهوائي لكونه ارخص من الكابلات الارضيه بـ (5) الى (10) اضعاف . بينما يستخدم نظام التوزيع بالكابلات الارضيه في الاماكن التي تكون فيها الخطوط الهوائيه غير عمليه او محذوره بموجب القانون المحلي .

جـ) طريقة الربط : Scheme of connection

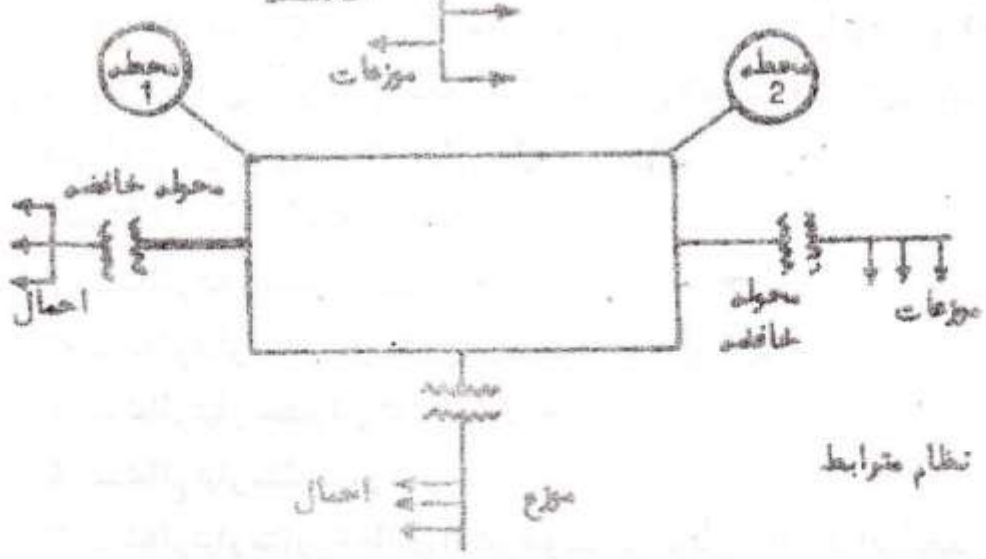
يمكن تصنيف شبكات التوزيع طبقا لطريقة الربط الى

(أ) انظمه شعاعيه (ب) انظمه حلقيه رئيسيه (جـ) انظمه مترابطه . ولكل طريقه لها محاسنها ومساوئها الخاصه بها . طرق الربط اعلاه موضحه بالشكل



(a) - نظام شعاعي

(b) - نظام حلقي



(c) - نظام مترابط

شكل (2o2) انظمة التوزيع

٣-٤ أنواع موزعات التيار المستمر: Types of DC Distibutor

تعد طريقة تقسيم الموزعات على أساس كيفية تغذيتها أكثر الطرق شيوعاً ، وتصنف شبكات التوزيع على هذا الأساس الى الاقسام التالية . .

(١) موزع يتغذى من طرف واحد .
(٢) موزع يتغذى من طرفيه
(٣) موزع يتغذى من المركز.
(٤) الموزع الحلقي .

إضافة الى طرق التغذية المذكورة آنفاً ، الأحمال الموزع لها اما (١) حملاً متمركزاً ، أو (٢) حملاً متجانساً (منظم) (٣) الحمل المتمركز والمتجانس سوية .

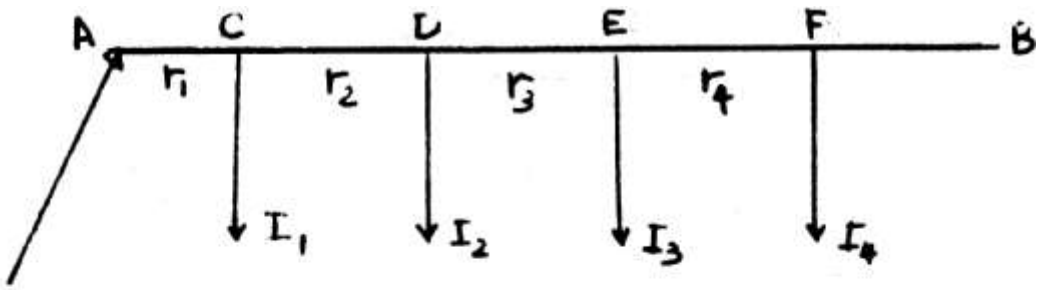
الحمل المتمركز هو ذلك الحمل الذي يؤثر في نقاط معينة . بينما الحمل الموزع ، هو ذلك الحمل الذي يؤثر بتجانس على جميع نقاط الموزع .

أن إيجاد نقطة ادنى فولتية على الموزع ضرورية في حسابات التيار المستمر. ويعتمد موقع هذه النقطة على الحمل وطريقة تغذية الموزع . ويجب أن تصمم الموزعات بحيث لايزيد الفرق بين نقطة أدنى فولتية عن 6% من الفولتية المقننة على أطراف المستهلك .

٣-٤-١ موزع مغذي من طرف واحد : حمل متمركز:

D.C Distributor fed at one end – concentrated loading

يبين الشكل (3.9) التمثيل الأحادي الخط لموزع تيار مستمر ذي سلكين مغذي من نقطة A وله أحمال متمركزة في النقاط F, E, D, C يسحب تيارات I_1, I_2, I_3, I_4 على الترتيب .



شكل (3.9)

لنفرض أن r_1, r_2, r_3, r_4 تمثل مقاومة السلكين (ذهاباً وإياباً) للمقاطع AC,CD, DF,EF للموزع على الترتيب.

التيار المغذي للموزع في نقطة A

$$= I_1 + I_2 + I_3 + I_4$$

التيار في المقطع AC

$$= I_1 + I_2 + I_3 + I_4$$

التيار في المقطع CD

$$= I_2 + I_3 + I_4$$

التيار في المقطع DE

$$= I_3 + I_4$$

التيار في المقطع EF

$$= I_4$$

هبوط الفولتية في المقطع AC

$$= r_1 (I_1 + I_2 + I_3 + I_4)$$

هبوط الفولتية في المقطع CD

$$= r_2 (I_2 + I_3 + I_4)$$

هبوط الفولتية في المقطع DE

$$= r_3 (I_3 + I_4)$$

هبوط الفولتية في المقطع EF

$$= r_4 I_4$$

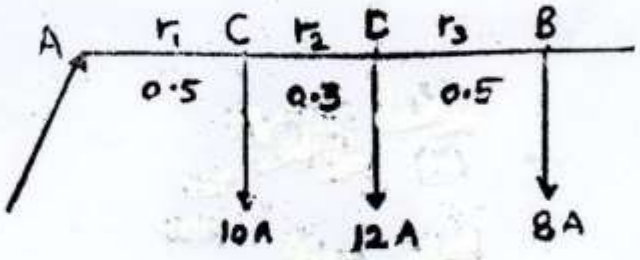
مجموع هبوط الفولتية على الموزع

$$= r_1 (I_1 + I_2 + I_3 + I_4) + r_2 (I_2 + I_3 + I_4) + r_3 (I_3 + I_4) + r_4 I_4$$

من السهل ملاحظة أن اعلى هبوط فولتية يحدث في نقطة F البعيدة من نقطة التغذية

مثال (1) :

في الموزع الموضح في الشكل (3.10) أوجد قيمة الفولتية عند نقطة الحمل (B) ، اذا علمت أن فولتية التغذية عند نقطة A= 200 v وأن مقاومة المقاطع (لخطي الذهاب والرجوع) هي (0.5, 0.3, 0.5) للمقاطع (DB, CD, AC) على الترتيب .



شكل (3.10)

الحل :

الفولتية عند النقطة B

فولتية A – (الهبوط في AC + الهبوط في CD + الهبوط في DB)

∴ فولتية B

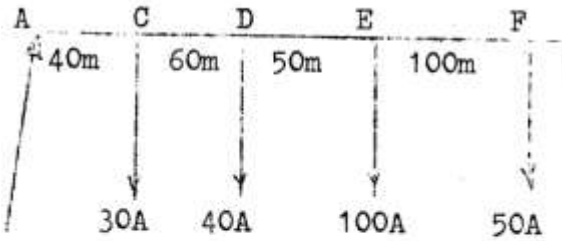
$$= 200 - r_1 (30) - r_2 (20) - r_3 \times 8$$

$$= 200 - 0{\cdot}5 \times 30 - 0{\cdot}3 \times 20 - 0{\cdot}5 \times 8$$

$$= 200 - 15 - 6 - 4 = 175 \text{ volt}$$

مثال (٢) : موزع تيار مستمر بطول 300 م موضح بالشكل (2.11) اوجد مساحة مقطع الموزع ، اذا علمت ان اقصى هبوط فولتيه مسموحه هو (10) فولت

$\rho = 1.78 \times 10^{-8}$ (Ω.m)



الشكل (2.11)

الحل :

الشكل (2.11) يوضح الموزع مع تفرع تيارات الحمل في النقاط المختلفه .

نفرض ان مقاومة 100m موصل (ذهاب ورجوع) = r اوم

∴ مقاومة المقاطع (AC , CD , DE , EF) هي

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

ويمكن ايجاد التيارات في المقاطع المختلفه من الشكل

$$I_{AC} = 30 + 40 + 100 + 50 = 220 \ A$$
$$I_{CD} = 40 + 100 + 50 = 190 \ A$$
$$I_{DE} = 100 + 50 = 150 \ A$$
$$I_{EF} = 50 \ A$$

مجموع هبوط الفولتيه على الموزع

$$= I_{AC}R_{AC} + I_{CD}R_{CD} + I_{DE}R_{DE} + I_{EF}R_{EF}$$
$$= 220 * 0.4r + 190 * 0.6r + 150 * 0.5r + 50 * r$$
$$= 88r + 114r + 75r + 50r = 327 \ r$$

وبما ان اقصى هبوط فولتيه يجب ان لايزيد عن (10) فولت

$$327 \ r = 10 \qquad \therefore \ r = 10/327 = 0.03058 \ \Omega$$

مساحة المقطع

$$R = \frac{\rho l}{A}$$

أو

$$A = \frac{\rho l}{R} = \frac{1.78*10^{-8}*100}{0.03058/2} = 116.4 \times 10^{-6} \ m^2$$

$$= 1.164 \ cm^2$$

٢ــ٤ــ٢ــ موزع تيار مستمر مغذى من طرفيه ويجهز حملا متمركزا" :

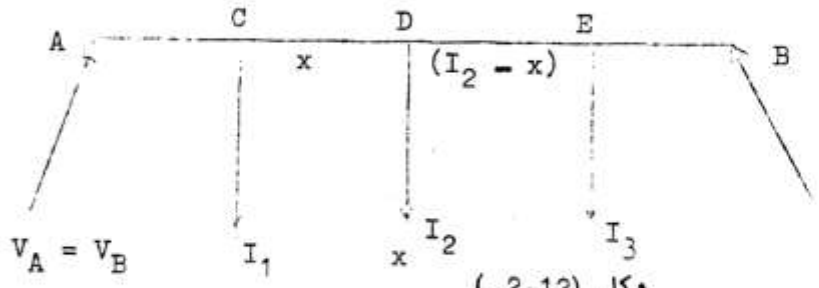
أ) فولتية التغذيه المتساويه : Equal Feeding Voltage

يبين الشكل (2.12) موزع تيار مستمر ذا فولتيه متساويه على طرفيه ويغذى الاحمال المتمركزه في النقاط (C , D , E) على الترتيب فاذا افترضنا ان نقطة (D) هي نقطة ادنى فولتيه (اقصى هبوط) . وان التيار المجهز لهذه النقطه من النهايه (A) هو (x) فيكون التيار المجهز له من النهايه B ($I_2 - x$)

وبما ان نقطة (D) تملك فولتيه واحده ثابته وان طرفي التغذيه A وB لهما نفس الفولتيه فان فرق الجهد بين النقطتين AD هو نفس فرق الجهد بين BD او بمعنى آخر

$$(I_1 + x)\, r_1 + x\, r_2 = (I_2 - x)\, r_3 + (I_3 + I_2 - x)\, r_4$$

في بعض الحالات تظهر قيمة (x) سالبه . وهذا يعني ان النقطه المختاره هي ليست نقطه ادنى فولتيه (اقصى هبوط)



شكل (2.12)

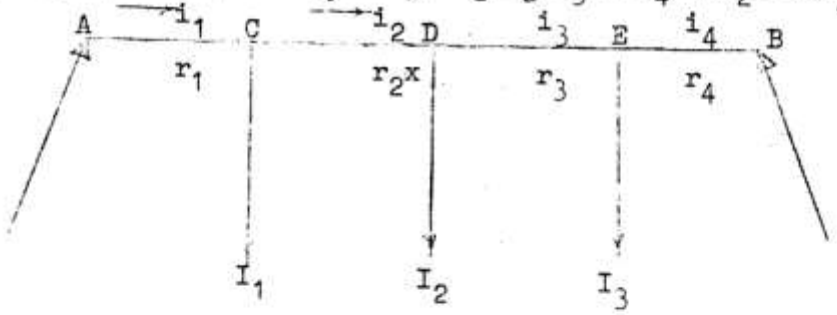
ب) فولتية التغذيه غير المتساويه :

يبين الشكل (2.13) هذا النوع من الموزع حيث ان V_A لاتساوى V_B وتكتب المعادلات بالصيغ التاليه

$$V_A - (i_1 r_1 + i_2 r_2) = V_B - (i_4 r_4 + i_3 r_3)$$

أو

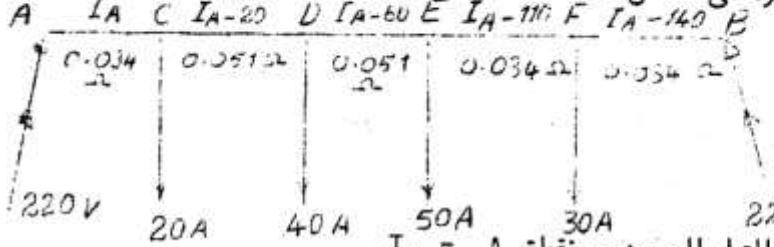
$$V_A - \{(I_1 + x) r_1 + x r_2\} = V_B - \{(I_2 + I_3 - x) r_4 + (I_2 - x) r_3\}$$



$V_A \neq V_B$

شكل (2.13)

مثال (١) : موزع بطول (600) م مغذى من طرفيه بفولتيه (220v) ويجهز الاحمال الموشره كما في الشكل (2.14) . اوجد نقطة ادنى فولتيه . علما ان مقاومات المقاطع موشره على الشكل .



شكل (2.14)

الحل : نفرض ان التيار المجهز من نقطة A = I_A

∴ التيارات في المقاطع الاخرى كما مبين على الشكل

الفولتيه في B = الفولتيه في A ـ مجموع الهبوط على الموزع AB

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

$$220 = 220 - [0.034 I_A + 0.051(I_A - 20) + 0.051(I_A - 60) + 0.034(I_A - 110) + 0.034(I_A - 140)]$$

$$= 220 - [0.204\ I_A - 12.58]$$

$$\therefore\ 0.204\ I_A = 12.58 \qquad \text{or} \qquad I_A = 12.58/0.204 = 61.7\ A$$

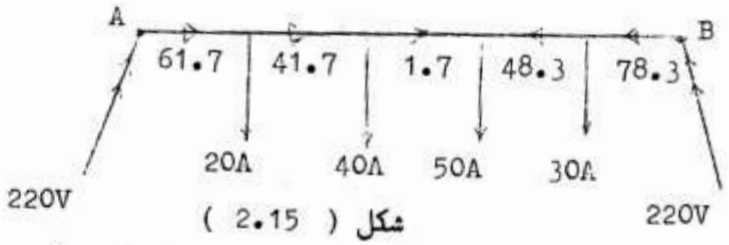
اعيد التوزيع الحقيقي للتيارات في الشكل (2.15) من الواضح ان التيارات الداخلـــه الى النقطه E قادمه من الطرفين (اى من نقطة D ونقطة F) لذا فأن نقطة E هي نقطة ادنى فولتيه ·

∴ ادنى فولتيه

$$V_E = V_A - (I_{AC}R_{AC} + I_{CD}R_{CD} + I_{DE}R_{DE})$$

$$= 220 - (61.7 * 0.034 + 41.7 * 0.051 + 1.7 * 0.051)$$

$$= 220 - 4.31 = 215.69\ \text{volt}$$

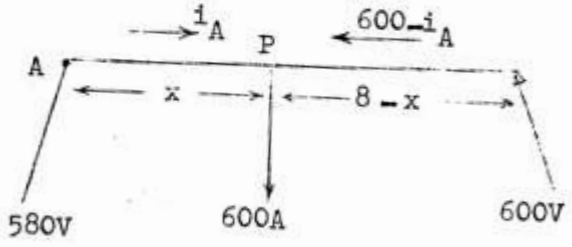


شكل (2.15)

مثال (٢) : قطار كهربائي يسحب تيارا ثابتا قيمته (600) أمبيرا" يسير على مقطع من الخط بين محطتين بينهما مسافة (8) كيلومترات وبفولتيه (600 , 580) لكل منهما · مقاومة الخط (ذهابا ورجوعا) (0.05) اوم/كم · اوجد نقطة ادنى فولتيه على الخط وكذلك قيمة التيار المجهز من كلتا المحطتين في تلك اللحظه ·

الحل :

ـــــ لو فرضنا ان ادنى فولتيه تحصل عند النقطه (P) التي تبعد x عن المحطه A كما في الشكل (2.16)



شكل (2.16)

يمكن كتابة المعادلات بالصيغ التاليه

$$V_P = 580 - i_A * 0.05x = 600 - (660 - i_A) * (8 - x) * 0.05$$

بالاختصار ينتج

$$580 - 0.05 i_A x = 600 - 240 + 30x + 0.4 i_A - 0.05 i_A x$$

$$220 = 30x + 0.4 i_A$$

أو

$$i_A = \frac{220 - 30x}{0.4}$$

أو

$$x = \frac{220 - 0.4 i_A}{30}$$

نعوض عن قيمة التيار في معادلة V_P ينتج

$$V_P = 580 - i_A * 0.05x = 580 - \frac{220 - 30x}{0.4} * 0.05x$$

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

وبما ان V_P يجب ان يكون اقل ما يمكن

∴ نشتق V_P ونساويه بالصفر لايجاد قيمة x

$$\frac{\delta V_P}{\delta x} = \text{zero} - \frac{220}{8} + \frac{60}{8} x$$

$$\therefore \frac{60}{8} x = \frac{220}{8}$$

أو

$$x = \frac{220}{60} = 3.67 \text{ Km}$$

$$i_A = \frac{220 - 30x}{0.4} = (220 - 30*3.67)/0.4 = 265 \text{ Amp}$$ التيار المسحوب من A

∴ التيار المسحوب من محطة B

$$= 600 - 265 = 335 \text{ Amp}$$

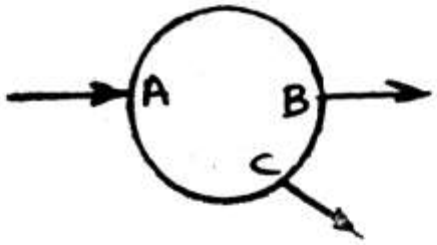
٣-٤-٥ الموزع الحلقي : D.C. Ring Distributor

الموزع الذي يشكل حلقة مغلقة ويغذّي من نقطة واحدة أوعدة نقاط يسمى بالموزع الحلقي.

وتبدأ هذه الموزعات من نقطة معينة وتكوّن حلقة في منطقة الخدمة وترجع الى نقطة البداية.

الموزع الحلقي يمكن أعتباره مجموعة من الموزعات المتوالية والذي يتغذى من الطرفين.
الفائدة الأساسية للمغذي الحلقي ، هو توفير كبير في كمية النحاس المستخدم اذا احسن أختيار عدد نقاط التغذية.

يوضح الشكل (3.19) أبسط أنواع الموزعات الحلقية ، الموزع له نقطة تغذية واحدة هي نقطة (A) بينما النقاط C,D هي نقاط تجهيز. ويمكن تمثيلها بموزع خطي مغذي من طرفيه بفولتية متساوية.

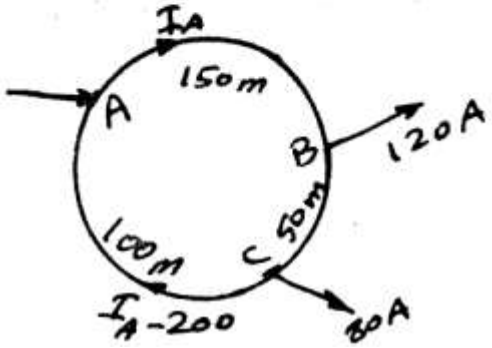


الشكل (3.19)

مثال (٣) :

موزع حلقي ذو سلكين بطول 300م يغذي من نقطة A بفولتية 240 فولت ، ويجهز الاحمال المؤشرة في الشكل (3.20a) . فاذا كان مقاومة 100 م من السلك الواحد = 0·03Ω أوجد

(١) التيار في جميع مقاطع الموزع
(٢) الفولتية في نقطتي C,B



شكل (3.20a)

الحل :

مقاومة موزع سلكين (طول 100 م)

$= 2 \times 0{\cdot}03 = 0{\cdot}06\Omega$

يمكن إيجاد المقاومة للمقاطع المختلفة وكما يلي

مقاومة المقطع AB $= 0{\cdot}06 \times 150 / 100 = 0{\cdot}09\Omega$

مقاومة المقطع BC $= 0{\cdot}06 \times 50 / 100 = 0{\cdot}03\Omega$

مقاومة المقطع AC $= 0{\cdot}06 \times 100 / 100 = 0{\cdot}06\Omega$

نفرض 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 كرشهوف فأن مجموع هبوط الفولتية في دائرة مغلقة = صفر

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

$$0{\cdot}09\, I_A + 0{\cdot}03\,(I_A - 120) + 0{\cdot}06\,(I_A - 200) =$$

$$0{\cdot}18\, I_A = 15{\cdot}6$$

$$I_A = 15{\cdot}6 / 0{\cdot}18 = 86{\cdot}67 \text{ Amp.}$$

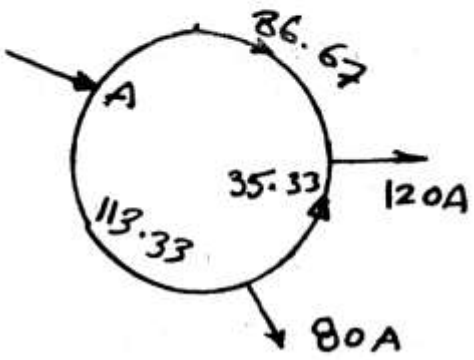
لذا فأن التوزيع الحقيقي للتيارات ، سيكون كما موضح في الشكل (3.20 b) (ب)

الفولتية في نقطة B

$= 240 - 86{\cdot}67 \times 0{\cdot}09 = 232{\cdot}2V$

الفولتية في نقطة C

$= 240 - 113{\cdot}33 \times 0{\cdot}06 = 233{\cdot}2V$



شكل (3.20 b)

مثال (2) :

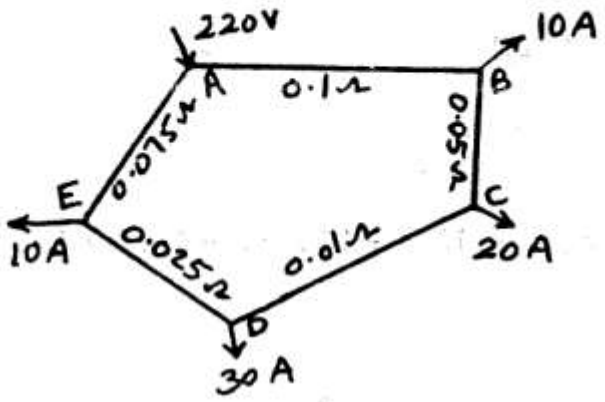
موزع حلقي ذو سلكين مغذي من نقطة A بفولتية 220V ومحمل كما مبين في الشكل (3.21 a). أوجد (أ) نقطة ادنى فولتية (ب) التيار في جميع المقاطع .

ملاحظة :

قيم المقاومات المؤشرة تمثل مقاومة السلكين (الذهاب والرجوع) .

الحل :

يوضح الشكل (3.21 a) الموزع الحلقي والان نفرض أن التيار في المقطع $I_A = AB$ والخارج من نقطة A



شكل (3.21 a)

، وبتطبيق قانون كرشهوف للفولتية نحصل على

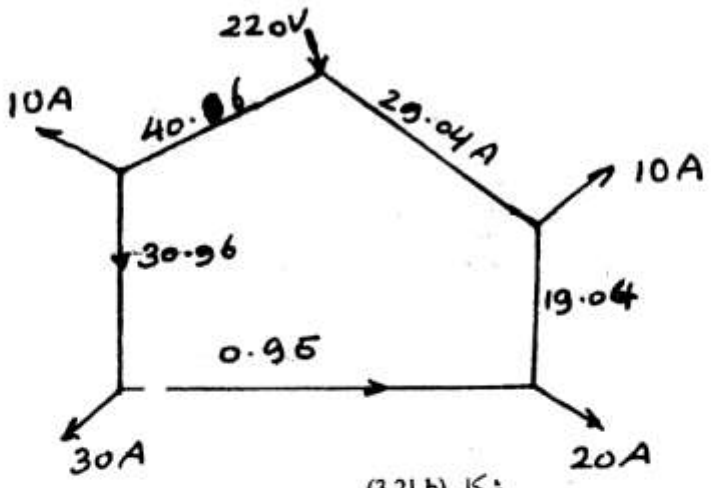
$$I_{AB}R_{AB} + I_{BC}R_{BC} + I_{CD}R_{CD} + I_{DE}R_{DE} + I_{EA}R_{EA} = 0$$

$$0{\cdot}1I_A + 0{\cdot}05\,(I_A - 10) + 0{\cdot}01\,(I_A - 30) + 0{\cdot}025\,(I_A - 60) +$$

$$+ 0{\cdot}075\,(I_A - 70) = 0 \Rightarrow 0{\cdot}26I_A = 7{\cdot}55 \Rightarrow I_A = 29{\cdot}04 \text{ Amp.}$$

لذا فالتوزيع الحقيقي للتيار موضح بالشكل (2.21 b)
ومن الشكل تبدو أن نقطة (C) هي نقطة ادنى فولتية (اعلى هبوط)

$$= 220 - (29{\cdot}04 \times 0{\cdot}1 + 19{\cdot}04 \times 0{\cdot}05) = 216{\cdot}144 \text{ Volt}$$



شكل (3.21 b)

موزع حلقي ذو رابط مشترك : Ring Distributer With Interconnector

في بعض الأحيان يتطلب من الموزع الحلقي تغذية مساحات واسعة . في هذه الحالات قد تصل الفولتية في بعض المقاطع الى مستويات متدنية . ولغرض تقليل هبوط الفولتية في المقاطع المختلفة نربط المسافات البعيدة (مثل النقطتين B,D في الشكل (3.22 a) برابط مشترك . هناك عدة طرق لحل هذه المسائل منها استخدام نظرية ثفنن وذلك بأتباع الخطوات التالية .

(١) نفرض ان الرابط المشترك BD (لاحظ الشكل 2.22 b) قد ازيل . نوجد فرق الجهد بين النقطتين (B,D) . وهذا يعطينا فولتية دائرة ثفنن المكافئة E_o .
(٢) نحسب المقاومة المكافئة المنظورة من نقطتي B,D . وهذه تمثل مقاومة التوالي لدائرة ثفنن المكافئة .
(٣) اذا كانت مقاومة الرابط المشترك $= R_{BD}$. فإن مقاومة دائرة ثفنن المكافئة هي كما في الشكل (2.22 c) .

التيار المار في الرابط المشترك.

$$= \frac{E_0}{R_0 + R_{BD}}$$

وبذلك يمكن ايجاد توزيع التيار في جميع المقاطع ، وكذلك ايجاد فولتية نقاط التوزيع المختلفة .

مثال (I) :

يوضح الشكل (3.23 a) موزعاً حلقياً مع الرابط BD . الموزع يتغذى من نقطة A ويجهز الاحمال المؤشرة في الشكل . احسب

١) التيار في الرابط المشترك.
٢) هبوط الفولتية في الرابط المشترك.

الحل :

نفرض ان التيار في المقطع A B يساوي (I) بعد ازالة الرابط B D . وسيكون التيار موزعاً كما في الشكل (3.23 b) .
بما أن مجموع الهبوط حول الحلقة ABCDEA يساوي صفر.

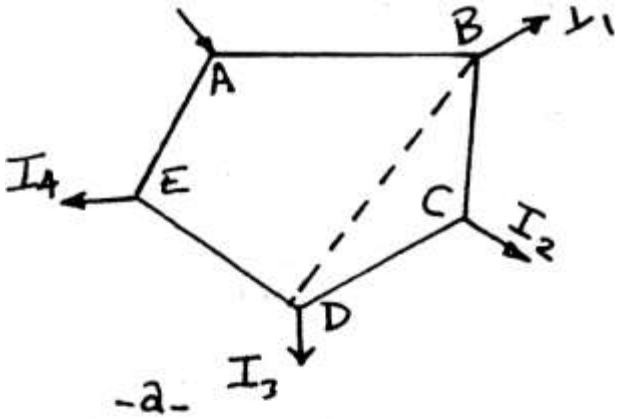
$$0{\cdot}075I + 0{\cdot}025\,(I - 10) + 0{\cdot}01\,(I - 40) + 0{\cdot}05\,(I - 60)$$

$$+ 0{\cdot}1\,(I - 70) = 0$$

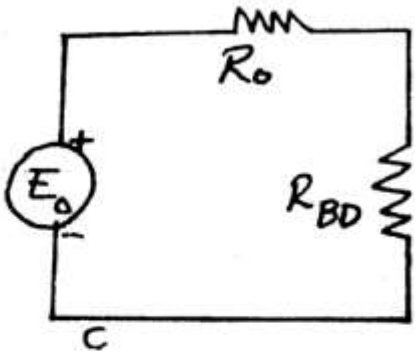
$$0{\cdot}26I = 10{\cdot}65$$

$$= 10{\cdot}65 / 0{\cdot}26 = 40{\cdot}96A$$

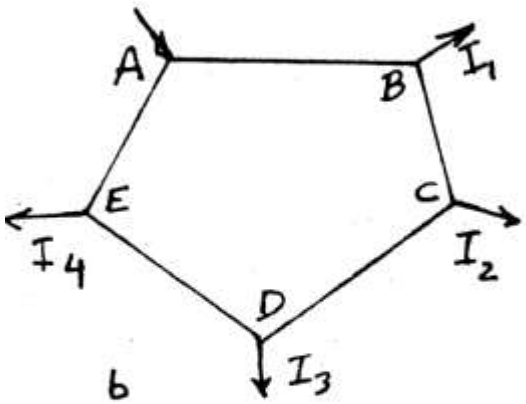
التوزيع الحقيقي للتيارات سيكون كما موضح في الشكل (2.23 c) .
هبوط الفولتية عبر BCD $= 30{\cdot}96 \times 0{\cdot}025 + 0{\cdot}96 \times 0{\cdot}01 = 0{\cdot}7836V$
وهذه مساوية لفولتية دائرة ثفنن المفتوحة المكافئة (E_o) .
$\therefore E_0 = 0{\cdot}7836V$



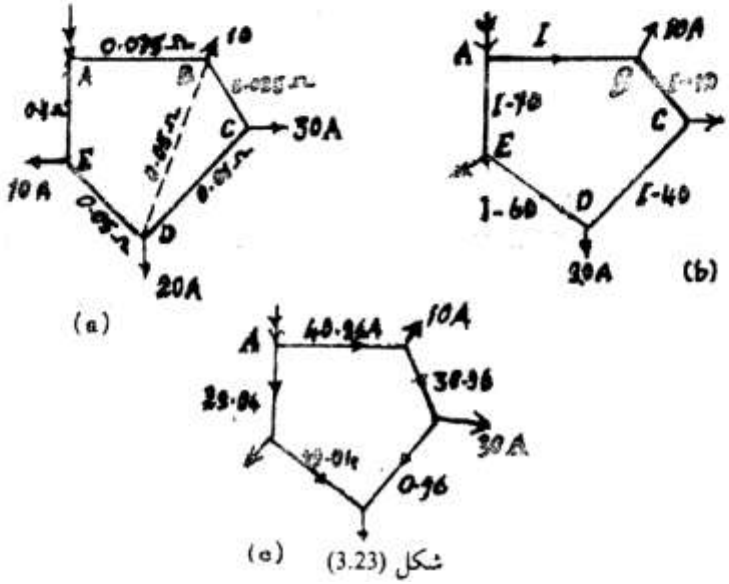
شكل (3.22 a)



شكل (3.22 c)



شكل (3.22 b)



شكل (3.23)

R_0 (المقاومة المنظورة بين النقطتين B و D)

$$= \frac{(0{\cdot}075 + 0{\cdot}1 + 0{\cdot}05)(0{\cdot}025 + 0{\cdot}01)}{(0{\cdot}075 + 0{\cdot}1 + 0{\cdot}05) + (0{\cdot}025 + 0{\cdot}01)} = \frac{(0{\cdot}225)(0{\cdot}035)}{0{\cdot}225 + 0{\cdot}035}$$

$$= 0{\cdot}03\Omega$$

أ) التيار في الرابط BD

$$I_{BD} = \frac{E_0}{R_0 + R_{BD}} = \frac{0{\cdot}7836}{0{\cdot}03 + 0{\cdot}05} = 9{\cdot}8A$$

ب) هبوط الفولتية عبر الرابط BD

$$= I_{BD}R_{BD} = 9{\cdot}8 \times 0{\cdot}05 = 0{\cdot}49 \text{ volt}$$

الاختبارات الذاتية :ــ إملأ الفراغات التالية بما يناسبها :

1ــ خطوط الخدمة عبارة عن كيبلات صغيرة وقصيرة تربط بين ــــــــــــــ و ــــــــــــــ .

2ــ أهم الأمور التي تؤخذ بنظر الاعتبار في اختيار وتصميم المغذيات هي ــــــــــــــ .

3ــ الفائدة الأساسية للمغذي الحلقي هي توفير كبير في ــــــــــــــ المستخدم .

4ــ يستخدم ــــــــــــــ في الموزع الحلقي لغرض تقليل هبوط الفولتية في المقاطع المختلفة .

الاختبار البعدي :ــ عدد الأسس المتبعة في تصنيف شبكات التوزيع .

المصادر المعتمدة :ــ كتاب منظومة القدرة الكهربائية .

تأليف : الدكتور ضياء علي بشير النعمة

طارق محمد أمين .

مفاتيح أجوبة الاختبارات

الاختبار القبلي	**الاختبارات الذاتية**	**الاختبار البعدي**
1ــ صح .	1ــ الموزع ، أطراف توصيلة المستهلك .	1ــ حسب طبيعة التيار إلى مستمر ومتناوب .
2ــ صح .	2ــ سعة تحمله للتيار .	2ــ حسب طريقة التنفيذ إلى أنظمة هوائية معلقة وكيبلات أرضية .
3ــ خطأ .	3ــ كمية النحاس .	3ــ حسب الربط إلى أنظمة شعاعية ، أنظمة حلقية رئيسية ، أنظمة مترابطة.
4ــ صح .	4ــ الرابط المشترك .	

المعهد التقني الموصل / قسم التقنيات الكهربائية

مادة (الشبكات الكهربائية)

المفردة الدراسية للأسبوع (السادس عشر والسابع عشر)

الفئة المستهدفة :ــ طلاب الصف الثاني فرعي /القوى والشبكات

الموضوع :ــ موزعات التيار المتناوب

الأفكار المركزية :ــ هناك عدّة طرق لحل أنظمة التوزيع بالتيار المتناوب أفضلها طريقة تمثيل التيارات والفولتيات والممانعات على شكل كميات مركبة ، وتجري الحسابات بطريقة مماثلة لأنظمة التوزيع بالتيار المستمر .

الأهداف :ــ يتعلم الطالب 1ــ الاختلاف بين موزعات التيار المستمر وموزعات التيار المتناوب .

2ــ كيفية حل الموزع الأحادي والثلاثي للتيار المتناوب عندما يغذى من طرف واحد فقط .

3ــ كيفية حل الموزع الثلاثي المتكون من أربعة أسلاك للتيار المتناوب .

الاختبار القبلي :ــ أجب بكلمة صح أو خطأ عن العبارات الآتية :

1ــ تصمم الموزعات للتيار المستمر بحيث لا يزيد الفرق بين نقطة أدنى فولتية عن 6% من الفولتية المقننة على أطراف المستهلك .

2ــ الحمل المتمركز هو ذلك الحمل الذي يؤثر في نقاط معينة . بينما الحمل الموزع هو ذلك الحمل الذي يؤثر بتجانس على جميع نقاط الموزع .

3ــ تجري عمليات جمع وطرح الفولتيات والتيارات جبريا في أنظمة التيار المتناوب .

موزعات التيار المتناوب :

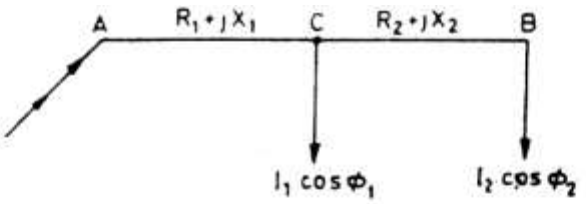
تختلف موزعات التيار المتناوب عن المستمر بالنقاط التالية .

(١) ان سبب هبوط الفولتية في نظام التيار المستمر هو المقاومة فقط بينما يكون في انظمة التيار المتناوب ناتجة عن تأثير المقاومة والمحاثة .

(٢) تجرى عمليات جمع وطرح الفولتيات والتيارات جبرياً في انظمة التيار المستمر بينما تجرى هذه العمليات اتجاهياً في انظمة التيار المتناوب .

(٣) يؤخذ عامل القدرة بنظر الاعتبار في انظمة التيار المتناوب وتكون الاحمال المتفرعة من الموزع بعوامل قدرة مختلفة .

هناك عدة طرق لحل انظمة التوزيع بالتيار المتناوب افضلها طريقة تمثيل التيارات والفولتيات والممانعات على شكل كميات مركبة . وتجرى الحسابات بطريقة مماثلة لانظمة التوزيع بالتيار المستمر.



شكل (3.29)

الموزع AB في الشكل (3.29) هو موزع تيار متناوب يجهز حملين متمركزين في نقطتي c,B نفرض فولتية الاستلام (V_B) هي فولتية المرجع ونفرض ان عامل القدرة في نقطتي التجهيز (B,C) هما $\cos\varphi_1$, $\cos\varphi_2$ بالنسبة الى (V_B) على الترتيب

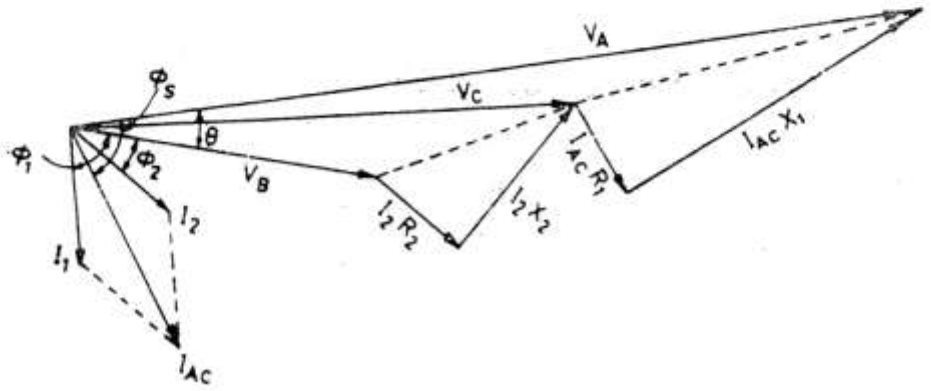
نفرض ان (X_1, R_1) هي مقاومة ومحاثة المقطع AC ; X_2, R_2 مقاومة ومحاثة المقطع CB على الترتيب .

ممانعة المقطع AC

$$\vec{Z}_{AC} = R_1 + JX_1$$

ممانعة المقطع CB

$$\vec{Z}_{CB} = R_2 + JX_2$$



شكل (3. 30)

مخطط اتجاهي لموزع التيار المتناوب الموضح بالشكل (3.29)

تيار الحمل في نقطة C هو

$$\vec{I}_1 = I_1 (\cos \varphi_1 - J \sin \varphi_1)$$

تيار الحمل في نقطة B هو

$$\vec{I}_2 = I_2 (\cos \varphi_2 - J \sin \varphi_2)$$

هبوط الفولتية في المقطع CB

$$V_{CB} = \vec{I}_{CB} \cdot \vec{Z}_{CB} = \vec{I}_2 \cdot \vec{Z}_{CB} = \vec{I}_2 \cdot (R_{CB} + JX_{CB})$$

التيار في المقطع AC

$$I_{AC} = \vec{I}_1 + \vec{I}_2$$

$$= I_1 (\cos \varphi_1 - J \sin \varphi_1) + I_2 (\cos \varphi_2 - J \sin \varphi_2)$$

$$\vec{V}_{AC} = \vec{I}_{AC} \vec{Z}_{AC} = (\vec{I}_1 + \vec{I}_2) Z_{AC}$$

$$= [I_1 (\cos \varphi_1 - J \sin \varphi_1) + I_2 (\cos \varphi_2 - J \sin \varphi_2)] (R_1 + JX_1)$$

فولتية الارسال

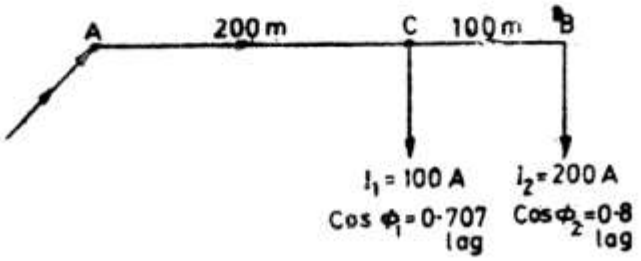
$$V_A = \vec{V}_B + \vec{V}_{CB} + \vec{V}_{AC}$$

تيار جهة الارسال

$$\vec{I}_A = \vec{I}_1 + \vec{I}_2$$

مثال (1) :

AB موزع تيار متناوب ذو طور واحد بطول (300 m) مغذي من جهة A ومحمل بالاحمال المؤشرة على الشكل (3.31) احسب فولتية الهبوط الكلية للموزع . اذا علمت ان المقاومة والمحاثة الكلية للموزع هما (0. 1, 0.2) اوم / كم على التوالي . وان عامل القدرة مرجع الى جهة الاستلام .



شكل (3.31)

$$Z / Km = (0.2 + J 0.1) \Omega$$

$$Z_{AC} = (0.2 + J0.1) \times \frac{200}{1000} = 0.04 + J0.02 \Omega$$

$$Z_{CB} = (0.2 + J0.1) \times \frac{100}{1000} = 0.02 + J0.01 \Omega$$

تيار الحمل في نقطة C هو

$$I_1 = 100 (0.707 - J0.707) = 70.7 - J70.7 \text{ Amp.}$$

تيار الحمل في نقطة B هو

$$I_2 = 200 (0.8 - J0.6) = 160 - J120 \text{ Amp.}$$

التيار في المقطع AC

$$I_{AC} = I_1 + I_2 = 160 - J120 + 70.7 - J70.7 = 230.7 - J190.7$$

هبوط الفولتية في المقطع BC

$$\vec{V}_{BC} = \vec{I}_{BC} Z_{BC} = (160 - J120) (0.02 + J0.01) = 4.4 - J0.8$$

هبوط الفولتية في المقطع $\vec{AC}$

$$\vec{V}_{AC} = I_{AC} Z_{AC}$$

$$= (230.7 - J190.7) (0.04 + J0.02) = (13.04 - J3.01) \text{ Volt}$$

هبوط الفولتية في الموزع

$$= \vec{V}_{AC} + \vec{V}_{BC}$$

$$= 4.4 - J0.8 + 13.04 - J3.01 = 17.44 - J3.81$$

القيمة المطلقة للفولتية

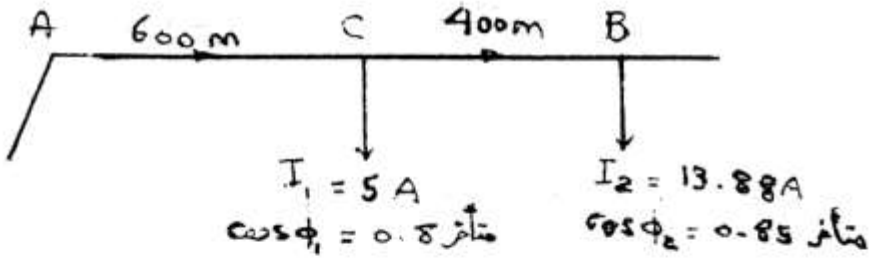
$$V_{drop} = \sqrt{(17.44)^2 + (3.81)^2} = 17.85 \text{ Volt}$$

مثال (2) :

AB موزع ثلاثي الطور (400) فولت . محمل كما في الشكل (3.32) ربط حمل ثلاثي الطور في نقطة C يسحب تياراً قدره (5 A) / طور بعامل قدره (0.8) متأخر. في نقطة B ربط محرك حثي ثلاثي الطور قدرته الخارجة (10) حصان وكفاءة (90%) ويعمل عند فولتية (400) فولت وبعامل قدره (0.85) متأخر. كم يجب ان يكون فولتية نقطة A . اذا اردنا ابقاء فولتية B عند (400) فولت . علماً ان مقاومة ومحاثة الخط هما (0.5, 1) اوم / طور– كم على التوالي .

ملاحظة :

يؤخذ الربط على انه نجمي في انظمة التوزيع الثلاثية الطور اذا لم يذكر نوع الربط .



شكل (3.32)

الحل :

فولتية الطور في نقطة B

$$V_B = 400 / \sqrt{3}$$

$$= 231 \text{ Volt}$$

نفرض ان الفولتية (V_B) في النقطة B هي فولتية مرجعية

$$\therefore V_B = 230 + J0$$

تيار الخط في النقطة B

$$\eta\ \%\ (\text{الكفاءة}) = \frac{\text{القدرة الخارجة}}{\text{القدرة الداخلية}} = \frac{P_0}{P_{in}}$$

$$I_B = \frac{10 \times 735.5}{\sqrt{3} \times 400 \times 0.85 \times 0.9} = 13.88\ A$$

∴ تيار الطور

$$I_B = 13.88\ \text{Amp.}$$

تيار الحمل

$$I_2 = 13.88\ (0.85 - J0.527) = 11.8 - J7.3$$

تيار الحمل في النقطة C هو

$$I_1 = 5\ (0.8 - J0.6) = 4 - J3$$

التيار في المقطع AC

$$I_{AC} = I_1 + I_2 = 11.8 - J7.3 + 4 - J3 = 15.8 - J10.3$$

التيار في المقطع CB هو

$$\vec{I}_{CB} = \vec{I}_2 = 11.8 - J7.3$$

هبوط الفولتية في المقطع CB

$$V_{CB} = \vec{I}_{CB}\, Z_{CB} = (11.8 - J7.3)\,(0.4 + J0.2) = 6.18 - J0.56$$

هبوط الفولتية في المقطع AC

$$\vec{V}_{AC} = \vec{I}_{AC}\, \vec{Z}_{AC} = (15.8 - J10.3)\,(0.6 + J0.3)$$

$$= 12.57 - J1.44$$

الفولتية في نقطة A/ طور

$$V_A = \vec{V}_B + \vec{V}_{CB} + \vec{V}_{CA}$$

$$= 231 + J0 + 6.18 - J0.56 + 12.57 - J1.44 = 249.75 - J2$$

$$V_4 \text{ / phase} = \sqrt{(249.75)^2 + (2)^2} = 250 \text{ Volt}$$

$$\text{Line voltage} = \sqrt{3} \times 250 = 433 \text{ V.}$$

مثال (3) :

موزع ثلاثي الطور/ ٤ اسلاك يجهز حملا غير متزن بفولتية 230/400V الى الاحمال المؤشرة بالشكل (3.33). مقاومة المحايد= ١ / ٢ مقاومة الموصلات. احسب فولتية التجهيز للطور (R) علماً ان التتابع الطوري هو (RYB).

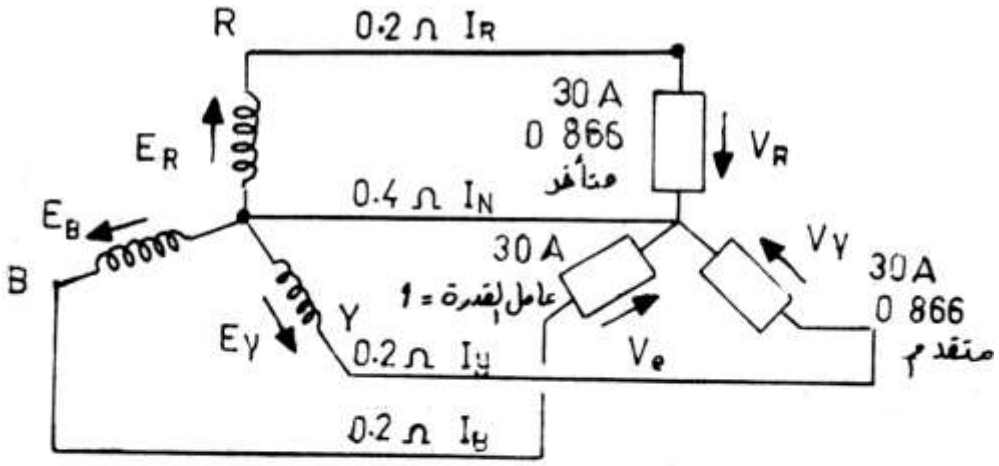
الحل :

الدائرة موضحة بالشكل (3.33)
مقاومة المحايد= 0.4Ω

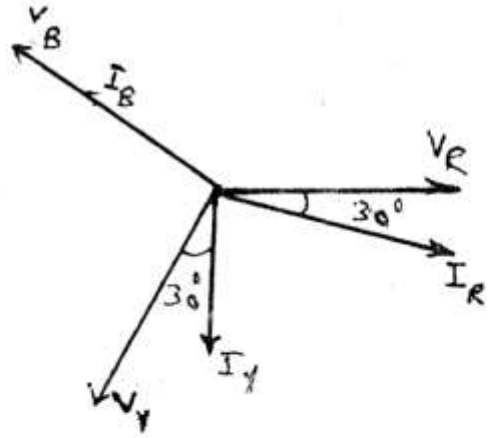
نفرض ان فولتية الحمل للطور (R) هو المتجه المرجعي
لذا يمكن كتابة فولتيات الاطوار الاخرى

$$V_R = 230 \angle 0^\circ \text{ volt} ; V_Y = 230 \angle -120^\circ ; V_B = 230 \angle 120^\circ$$

الشكل (3.34) يوضح المخطط الاتجاهي للتيارات والفولتيات. تيار (I_R) يتأخر عن الفولتية (V_R) بزاوية (30°)
التيار I_Y يسبق الفولتية (V_Y) بزاوية قدرها (30°)
التيار I_B متحدد الطور مع (inphase) الفولتية (V_B) اي زاوية الطور (O°)
لذا يمكن ايجاد الزوايا بين التيارات والفولتية المرجعية V_R من الشكل.



شكل (3.33)



شكل (3.34)

$$\vec{I}_R = 30 \angle -30^\circ \text{ Amp.}$$

$$I_Y = 30 \angle -90^\circ \text{ Amp.}$$

$$I_B = 30 \angle 120^\circ \text{ Amp.}$$

التيار في نقطة المحايد

$$\vec{I}_N = \vec{I}_R + \vec{I}_Y + \vec{I}_B$$

$$= 30 \angle -30^\circ + 30 \angle -90^\circ + 30 \angle 120^\circ$$

$$= 30 (0.866 - J0.5) - 30 (J) + 30 (-0.5 + J0.88)$$

والان نفرض ان فولتية المجهز للطور (R) الى المحايد هي E_R

$$\vec{E}_R = V_R + \text{Drop in } R_{phase} + \text{Drop in neutral} \quad \therefore$$

$$= (230 + J0) + 0.2 \times 30 \angle -30^\circ + (10.98 - J19.02) \times 0.4$$

$$= 230 + 6 (0.866 - J0.5) + 0.4 (10.98 - J19.02)$$

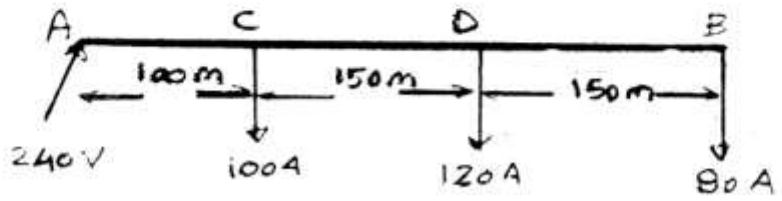
$$= 239.588 - J10.608 = 239.8 \angle -2^\circ 32 \text{ Volt}$$

أمثلة اضافية على موزعات التيار المتناوب

مثال (1) :

موصل ثلاثي الطور بطول (400m) يغذي الاحمال المتمركزة الموضحة بالشكل (2.37d) عامل قدرة الاحمال واحد (unity). بأهمال الهبوط في المحايد. أوجد فولتية نقط B علماً ان مقاومة 1 Km للموصل هي(0.25 Ω)وفولتية التغذية / طور هي 240 V

الحل :



شكل (3.37a)

الاختبارات الذاتية :ـ أكمل الفراغات الآتية بما يناسبها :

1ـ من مساوئ شبكات التوزيع بالتيار المستمر صعوبة ـــــــــــــــ إذ يتطلب تغييرها ـــــــــــــــ والتي غالبا ما تكون مكلفة .

2ـ في مسائل موزعات التيار المتناوب تتبع قيمة التيار للحمل بمقدار ـــــــــــــــ .

3ـ إن سبب هبوط الفولتية في أنظمة التيار المتناوب ناتجة عن تأثير ـــــــــــــــ و ـــــــــــــــ .

الاختبار البعدي :ـ عدد نقاط الاختلاف بين موزعات التيار المتناوب وموزعات التيار المستمر .

المصادر المعتمدة :ـ كتاب منظومة القدرة الكهربائية .

تأليف : الدكتور ضياء علي بشير النعمة

طارق محمد أمين .

مفاتيح أجوبة الاختبارات

الاختبار القبلي	**الاختبارات الذاتية**	**الاختبار البعدي**
1ـ صح .	1ـ تغيير الفولتية ، مكائن دوارة .	1ـ سبب الهبوط بالفولتية في نظام التيار المستمر هو المقاومة فقط بينما في المتناوب ناتجة عن تأثير المقاومة والمحاثة.
2ـ صح .	2ـ عامل القدرة للحمل .	2ـ تجري عمليات جمع وطرح الفولتيات والتيارات جبريا في أنظمة التيار المستمر بينما تجري هذه العمليات اتجاهيا في أنظمة المتناوب .
3ـ خطأ .	3ـ المقاومة ، المحاثة .	3ـ يؤخذ عامل القدرة بنظر الاعتبار في أنظمة التيار المتناوب وتكون الأحمال المتفرعة من الموزع بعوامل قدرة مختلفة .

المعهد التقني الموصل / قسم التقنيات الكهربائية

مادة (الشبكات الكهربائية)

المفردة الدراسية للأسبوع (الثامن عشر)

الفئة المستهدفة :ـ طلاب الصف الثاني فرعي / القوى والشبكات

الموضوع :ـ القدرة في دوائر التيار المتناوب .

الأفكار المركزية :ـ من أهم أهداف منظومة القدرة الكهربائية هو التجهيز الدائم بفولتية ثابتة وبتردد ثابت ، فإذا كان التجهيز متناوبا في طبيعته يجب الإبقاء بثبوت الفولتية والتردد للشبكة بغض النظر عن تغير الطلبات على النظام . إن عملية السيطرة على القدرة الفاعلة والقدرة المتفاعلة ربما تساعد على السيطرة على الفولتية والتردد ولإبقائهما ثابتين .

الأهداف :ـ يتعلم الطالب أن :ـ 1ـ القدرة في دوائر التيار المتناوب (A . C) لها مركبتان الفاعلة والقدرة المتفاعلة .

2ـ مكونات دائرة منظم السرعة .

الاختبار القبلي :ـ أجب بكلمة صح أو خطأ عن العبارات الآتية :

1ـ تتبع قيمة تيارات الحمل بقيم عامل القدرة في موزعات التيار المتناوب .

2ـ إن سبب هبوط الفولتية في أنظمة التيار المتناوب ناتجة عن تأثير المقاومة فقط .

3ـ من أهم أهداف منظومة القدرة الكهربائية هو التجهيز الدائم بفولتية ثابتة وبتردد ثابت .

4ـ تسمى القدرة الحقيقية (P) وتقاس بالواط وتسمى القدرة المتفاعلة (Q) وتقاس بـ (var).

المنظومة في حالة التشغيل الطبيعية

Normal operation of the system

٦ – ١ مقدمة :

من أهم أهداف منظومة القدرة الكهربائية هو التجهيز الدائم بفولتية ثابتة . وبتردد ثابت ، فأذا كان التجهيز متناوباً في طبيعته . يجب الابقاء بثبوت الفولتية والتردد للشبكة بغض النظر عن تغير الطلبات على النظام . تسمى مثلا هذه الانظمة بأنظمة القضبان العمومية غير المحدودة infinite busbar system في الانظمة الحقيقية ، يتغير الطلب من لحظة الى اخرى ، لان الطلب يتحدد بعدد كبير من المستهلكين. يتولد الكهرباء بوساطة منوبّات (مولدات) متزامنة بعضها مع الاخر. تدار هذه المولدات في شبكة مترابطة كبيرة ومعقدة ، بوساطة توربينات (بخارية او مائية) ويتم التحكم بكمية البخار او الماء بوساطة متحكمات governer اي أن دخل التوربينات يتحكم في تردد النظام وتعتمد فولتية الخرج للمولدات على أثارة لفائف المجال وتعتبر فولتية الخرج كذلك دالة للقدرة المتفاعله المطلوبة او عامل القدرة للمستهلكين. لذا فأن ابقاء الفولتية والتردد ثابتين من العمليات المعقدة وفي الوقت نفسه فإن عملية السيطرة على القدرة الفاعلة والقدرة المتفاعلة ربما تساعد على السيطرة على الفولتية والتردد لابقاءهما ثابتين

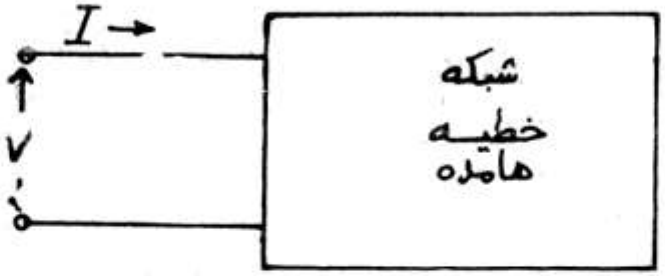
القدرة في دوائر التيار المتناوب (AC)

لتصور الدائرة الاحادية الطور في الشكل (6.1a)

نفرض $I = |I| \angle \theta_2$ $V = |V| \angle \theta_1$

. القدرة المركبة (S) المارة خلال الشبكة يعرف

$$= VI^* = |V||I| \angle (\theta_1 - \theta_2)$$
$$= |V||I| \cos(\theta_1 - \theta_2) + J|V||I| \sin(\theta_1 - \theta_2) \quad \ldots (6.10)$$



شكل (6.1a)
شبكة ذات اربعة أطراف

للقدرة المركبة مركبتان. المركبة الاولى $|V||I| \cos(\theta_1 - \theta_2)$ تسمى القدرة الحقيقية (الفاعلة) P وتقاس بالواط أو (KW, MW) والمركبة الثانية $|V||I| \sin(\theta_1 - \theta_2)$ تسمى بالقدرة المتفاعلة (Q) وتقاس بالفار (var) أو (Kvar, Mvar). الزاوية $(\theta_1 - \theta_2)$ هي زاوية الطور بين الفولتية والتيار. القدرة الحقيقية تكون موجبة عندما تكون الزاوية $(90 > (\theta_1 - \theta_2) > -90)$ نحصل على اشارة P بالاتجاه الموجب للفولتية والتيار.

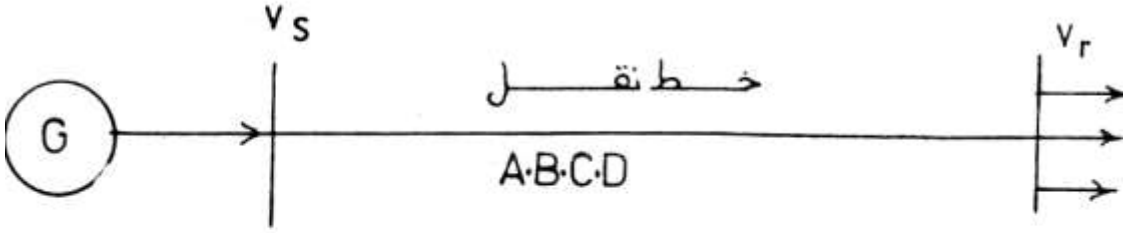
الاختيار الطبيعي للاتجاه هو ان القدرة (P) تكون موجبة عندما تدخل الحمل او تخرج من المولدة. في خطوط النقل تعتبر (P) موجبة من جهة الاستلام اذا كانت داخله وتعتبر موجبة اذا خرجت من جهه الارسال.

تعتمد اشارة (Q) على اشارة $\sin(\theta_1 - \theta_2)$. عندما تكون $(\theta_1 - \theta_2)$ موجبة، Q تصبح موجبة. وعندما تكون $(\theta_1 - \theta_2)$ سالبة، Q تصبح سالبة.

$(\theta_1 - \theta_2)$ موجبة عندما يتأخر التيار عن الفولتية كما في الاحمال الحثية.

$(\theta_1 - \theta_2)$ سالبة عندما يتقدم التيار عن الفولتية كما في الاحمال السعوية.

القدرة الفاعلة والقدرة المتفاعلة : Active & Reactive Power



شكل (6.1b)
منظومة قدرة بقضيبين عموميين

يمثل الشكل (6.1b) منظومة ذات قضيبين عموميين، ربطت احداهما الى مولدة لتغذية الشبكة والاخرى ربطت عليها احمال. تمثل (S_r) القدرة المركبة في جهة الاستلام و (S_s) تمثل القدرة المركبة في جهة الارسال. بأستخدام المعادلات (4.24) (4.25) يمكن التعبير عن I_r و I_s بدلالة V_r و V_s

$$I_1 = \frac{1}{B} V_s - \frac{A}{B} V_r \qquad \ldots (6.11)$$

$$I_s = \frac{D}{B} V_s - \frac{1}{B} V_r = \frac{A}{B} V_s - \frac{1}{B} V_r \qquad \ldots (6.12)$$

لنفرض ان

$$V_r = |V_r| \angle 0 \ , \ V_s = |V_s| \angle \delta \ , D = A = |A| \angle \alpha \ , B = |B| \angle \beta$$

اذن

$$I_s = \frac{|V_s|}{|B|} \angle (\delta - \beta) - \frac{|A||V_r|}{|B|} \angle (\alpha - \beta) \qquad (6.13)$$

$$I_s = \frac{|A||V_s|}{|B|} \angle (\alpha + \delta - \beta) - \frac{|V_r|}{|B|} \angle -\beta \qquad \ldots (6.14)$$

يمكن كتابة مرافقات $I_r$conjugate ، I_r كما يلي

$$I_r^* = \frac{|V_s|}{|B|}\angle(\beta - \delta) - \frac{|A|\,|V_r|}{|B|}\angle(\beta - \alpha) \quad \ldots (6.15)$$

$$I_s^* = \frac{|A|\,|V_s|}{|B|}\angle(\beta - \alpha - \delta) - \frac{|V_r|}{|B|}\angle\beta \quad \ldots (6.16)$$

القدرة المركبة/ طور في جهة الاستلام هي

$$S_r = P_r + JQ_r = V_r I_r \quad \ldots (6.17)$$

يمكن كتابة المعادلات الخاصة بالقدرة الفاعلة والقدرة المتفاعلة من المعادلة (6.17) لجهة الاستلام مباشرة وكما يلي :

$$P_r = \frac{|V_s|\,|V_r|}{|B|}\cos(\beta - \delta) - \frac{|A|\,|V_r^2|}{|B|}\cos(\beta - \alpha)$$

$$\ldots (6.18)$$

$$Q_r = \frac{|V_s|\,|V_r|}{|B|}\sin(\beta - \delta) - \frac{|A|\,|V_r^2|}{|B|}\sin(\beta - \alpha)$$

القدرة المركبة/ طور لجهة الارسال هي

$$S_s = P_s + JQ_s = V_s I_s^* \quad \ldots (6.19)$$

يمكن بنفس الطريقة كتابة المعادلات الخاصة بالقدرة الفاعلة والمتفاعلة من المعادلة (6.19) لجهة الارسال وكما يلي :

$$P_s = \frac{|A|\,|V_s^2|}{|B|}\cos(\beta - \alpha) - \frac{|V_r|\,|V_s|}{|B|}\cos(\beta + \delta)$$

$$Q_s = \frac{|A|\,|V_s|^2}{|B|}\sin(\beta - \alpha) - \frac{|V_r|\,|V_s|}{|B|}\sin(\beta + \delta)$$

يجب الانتباه الى الملاحظات التالية حول مجموعة المعادلات (6.18) و (6.20) والتي تخص الانظمة الثلاثية الطور المتماثلة .

١ – تعطي هذه المعادلات القدرة/ طور اذا كانت الفولتية فولتية طور (فولتية خط – محايد) في جهتي الارسال والاستلام V_r وكذلك V_s .

٢ – القدرة الكلية = ثلاثة اضعاف القدرة/ طور. تحتوي حدود هذه المعادلات اما على الفولتية او مربع الفولتية وبما ان فولتية (خط – خط) = $(\sqrt{3})$ مرة فولتية خط / محايد ، فأن هذه المعادلات تعطي القدرة الثلاثية (3 φ power) مباشرة اذا اعطيت v_r وكذلك v_s كفولتيات خط – خط لجهتي الارسال والاستلام .

٣ – اذا كانت وحدة الفولتية هي الفولت فالقدرة يعبر عنها بالواط او بالفار (var) اما اذا اعطيت الفولتية بالكيلوفولت (Kv) فالقدرة يعبر عنها بالميكا واط (MW) والميكا فار (Mvar) .

والان نعيد نظره سريعة للمعادلات (6.18). اذا كانت قيم V_r وكذلك V_s ثابتة فأنه يمكن استلام اقصى قدرة حقيقية حينما $(\delta = \beta)$: اي

$$P_r\,max = \frac{|V_s|\,|V_r|}{|B|} - \frac{|A|\,|V_r|^2}{|B|}\cos(\beta - \alpha) \qquad \ldots (6.21)$$

قيمة القدرة المتفاعلة (Q_r) عند هذه القدرة من المعادلة (6.18) تساوي :

$$Q_r = -\frac{|A|\,|V_r|^2}{|B|}\sin(\beta - \alpha) \qquad \ldots (6.22)$$

للحصول على أعظم قدرة في جهة الاستلام

يجب ان يسحب الحمل قدره متفاعلة متقدمة leading var .

يمكن استنتاج ملاحظة مهمة جداً حول نقل القدرة في شبكة نقل قصيرة والتي لها المعاملات $A = D = 1 \angle 0$ ، $B = Z = |Z| \angle \theta$ بتعويض هذه القيم في المعادلات (6.18) و (6.20) نحصل على

$$P_r = \frac{|V_s|\,|V_r|}{|Z|}\cos(\theta - \delta) - \frac{|V_r^2|}{|Z|}\cos\theta$$

... (6·23)

$$Q_r = -\frac{|V_s|\,|V_r|}{|Z|}\sin(\theta - \delta) - \frac{|V_r^2|}{|Z|}\sin\theta$$

$$P_s = \frac{|V_s^2|}{|Z|}\cos\theta - \frac{|V_s|\,|V_r|}{|Z|}\cos($$)

(6·24)

$$Q_s = \frac{|V_s^2|}{|Z|}\sin\theta - \frac{|V_s|\,|V_r|}{|Z|}\sin(\theta + \sigma)$$

عادة تكون مقاومة خطوط النقل قليلة مقارنة مع المحاثة

اي $|Z| \simeq X$

وكذلك $\theta \simeq 90$ بتعويض هذه القيم في المعادلات اعلاه

$$P_r = \frac{|V_s|\,|V_r|}{X}\sin\delta$$

... (6·25)

$$Q_r = \frac{|V_s|\,|V_r|}{X}\cos\delta - \frac{|V_r^2|}{X}$$

زاوية القدرة اوزاوية الحمل(δ)عادة ما تكون قليلة لاعتبارات استقرارية الشبكة اي ان $\cos\delta \simeq 1$ وبذا يختصر المعادلات (6.25) الى

$$Q_r = \frac{|V_s|\,|V_r|}{X} - \frac{|V_r^2|}{X}$$

$$= \frac{|V_r|}{X}(|V_s| - |V_r|)$$ ... (6·26)

ان المعادلات من (6.23) الى (6.26) هي لخطوط نقل قصيرة اما في الشبكات الطويله فيمكن تمثيلها بدائرة (π) المكافئة . يمكن دمج المانعة الموازية من جهة الاستلام مع الحمل كما يمكن دمج المانعة الموازية من جهة الارسال مع شبكة المولدة . لذا يمكن تطبيق المعادلات اعلاه على الخطوط الطويلة كذلك تقودنا دراسة للمعادلات (6.25) و (6.26) الى استنتاجات مهمة هي بمثابة الهدف الرئيسي لدراستنا للمعادلات السابقة . وهي :

١ – تعتمد القدرة الفاعلة (الحقيقية) لقيم ثابتة لـ (X, V_s, V_r) على الزاوية (δ) وهي زاوية الطور بين فولتية الارسال (V_s) وفولتية الاستلام (V_r) . لذا فتسمى هذه الزاوية بزاوية القدرة وتصل القدرة (P) الذروة عندما ($\delta = 90$) على اية حال يجب ان تكون (δ) قليلة دائما واقل من 90^o لاغراض استقرارية الشبكة .

٢ – تنتقل القدرة عبر خط نقل حتى في حالة تساوي $|V_r| = |V_s|$. بسبب اختلاف الطور بين الفولتيتين (V_r) و (V_s) مسببا مرور التيار في الخط . إن انظمة القدرة الحديثة تعمل عند فولتيات متشابهه (اي 1 p.u)

٣ – تزداد القدرة الحقيقية القصوى المتنقلة عبر خط مع زيادة V_s و V_r . اذ ان زيادة V_s و V_r بنسبة 10% تؤدي الى زياده القدرة المرسله بنسبة 21% . وهذا يبين سبب انشاء خطوط نقل بالضغط الفائق .

٤ – تعتمد اقصى قدرة حقيقية مرسله خلال خط على (X) والتي تتناسب طرديا مع مقاومة خط النقل . ان نقصان مقاومة الخط يؤدي الى زيادة سعته . ويمكن تقليل مقاومة خط باستخدام شبكات ذات خطوط مزدوجة أو بأستعمال الموصلات الحزمية . اما الطرق الاخرى لتقليل المقاومة فهي ادخال متسعات متوالية . وتسمى هذه الطريقة بالتعويض compensation . وتوضع عادة في منتصف خط النقل :

٥ – تتناسب القدرة المتفاعلة المرسلة عبر خط طردياً مع ($|V_r| - |V_s|$) (اي هبوط الفولتية عبر الخط) ولاتعتمد على زاوية القدرة (δ) . هذا يعني أن من اهم اسباب هبوط الفولتية هو أنتقال القدرة المتفاعلة عبر خط النقل ولضمان ثبوت الفولتية يجب السيطرة على القدرة المتفاعلة

٦ – ٤ العلاقة بين الفولتية والتردد والقدرة الفاعلة والمتفاعلة :

Relationship between V, f, P and Q

لنفرض ان المولدة الموضحة في الشكل (6.2a) ربطت الى موصل عمومي غير محدودة

شكل (6.2a)
مولدة ربطت الى موصل غير محدود

نفرض ان V هي فولتية اطراف المولد
I التيار المجهز من المولد
X_s , R_s مقاومة وممانعة المولد على الترتيب
من الشكل (6.2 b)

$$\Delta V = IR \cos \varphi + IX_s \sin \varphi \qquad \ldots (6{\cdot}1)$$

وكذلك

$$\delta V = IX_s \cos \varphi - IR \sin \varphi \qquad \ldots (6{\cdot}2)$$

لكن

$$VI \cos \varphi = P \quad , \quad VI \sin \varphi = Q$$

اذن

$$I \cos \varphi = \frac{P}{V} \quad , \quad I \sin \varphi = \frac{Q}{V} \qquad \ldots (6{\cdot}3)$$

من المعادلات (6.1), (6.2), (6.3) نحصل على

$$\Delta V = \frac{PR + QX_s}{V} \qquad \ldots (6.4)$$

$$\delta V = \frac{PX_s + QR}{V} \qquad \ldots (6.5)$$

للمكائن التزامنية $R << X$

اذن $\Delta V = Q\,(X_s / V)$

أو $\Delta V \simeq f_1\,(Q_1)$ (6.6)

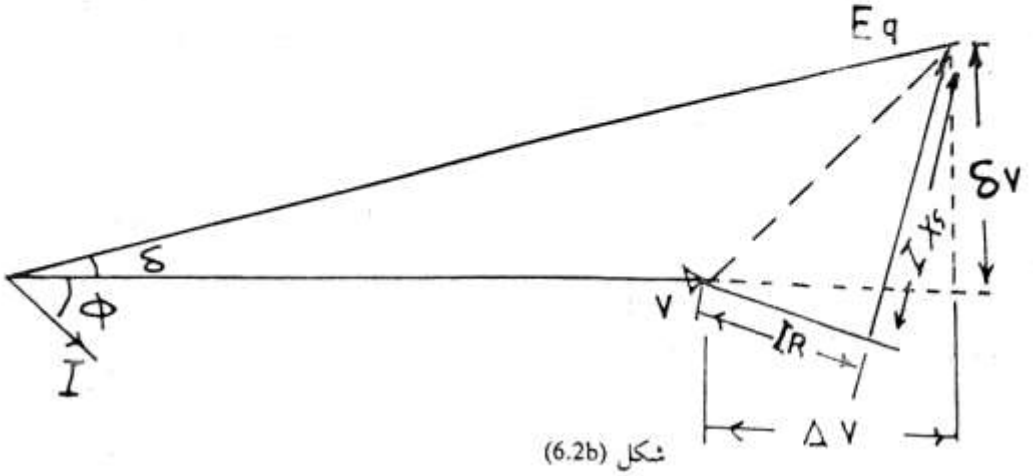
وهذا يعني ان التغيير في قيمة فولتية المولد الى حد بعيد ، هو دالة للقدرة المتفاعلة للمولد .

كذلك $$\sin\delta = \frac{\delta V}{E_g} \simeq \frac{PX_s}{VE}$$

$$\therefore \delta V = f_2\,(P) \qquad \ldots (6.7)$$

$$\frac{d\delta}{dt} = w = 2\pi f = f_3\,(P) \qquad \ldots (6.8)$$

وهذا يعني ايضا ان التردد هو دالة للقدرة الفاعله التي يتحملها المولد .



شكل (6.2b)
مخطط طوري

عندما يبدو تأثير مقاومة المولد فأن كلاً من القدرة الفاعلة والمتفاعلة يحددان الفولتية والتردد . ويمكن كتابة المعادلات لهذه الانظمة كالاتي :

$$\left.\begin{aligned}\Delta V &= f_4(P,Q)\\ \Delta f &= f_5(P,Q)\end{aligned}\right\} \quad \ldots (6\text{-}9)$$

توجد في انظمة القدرة العملية الحديثة انظمة سيطرة مغلقة . من اهم اهداف هذه الانظمة تحسس الانحرافات (التغيرات) التي تحدث في الفولتية (ΔV) والتردد (Δf) ومن بين عدد كبير من المولدات التزامنية يؤخذ قسم من هذه المولدات وتجرى عليها التحسسات الدقيقة وتسمى بالمولدات الرئيسية Master machine وتبلغ مقنناتها بحدود 10% الى 15% من المقنن الكلي للمنظومة لضمان ثبوت الفولتية والتردد . يجب ان تبقى القدرة الفاعلة والمتفاعلة تحت سيطرة متكاملة . يصعب في التطبيق العملي موازنة القدرة الفاعلة والقدرة المتفاعلة طالما تجهز مصادر التجهيز عدداً كبيراً من المستهلكين ويصعب احتسابها بصورة دقيقة .

٦ – ٤ – ١ السيطرة على القدرة والتردد : Frequncy & power control

١ – السيطرة على تردد الحمل : Load Frequncy control

يسمىٰ أيضاً بسيطرة عامل القدرة ، الهدف من هذه السيطرة الابقاء علىٰ موازنة القدرة الحقيقة في المنظومة من خلال السيطرة على التردد . تغير الطلب على القدرة الحقيقة يؤدي الى تغير في التردد ، الخطأ الناتج في التردد ، يتم تكبيرها ومزجها مع أشارة مرجعية وترسل الىٰ بادئ الحركة Prime mover للتوربين ، إذ يعمل علىٰ إعادة التوازن بين قدرة الدخل والخرج للتوربين وذلك بتغير قدرة الدخل للتوربين .

٢ – تأثير القدرة الحقيقة على التردد :

تدور محركات التيار المتناوب بسُرع يعتمد على تردد المنظومة . من الضروري الابقاء على تردد المنظومة ضمن 2Hz ± لتردد 50Hz لضمان عمل المحركات بكفاءة . اهم سبب لثبوت تردد الشبكة ضمن حدود صارمة هو ضمان موازنة كفوءة بين القدرة المتولدة والممتصة في الشبكة . لذا فإن السيطرة على تردد الشبكة يساعد على السيطرة على القدرة الحقيقة للمنظومة .

كل مولد في الشبكة يدور تزامنياً ويولد قدرة حقيقية .

القدرة المتولدة للمولدات تساوي قدرة الاحمال اضافة الى المفاقيد . في حالة حدوث تغير في الحمل . يبدأ التردد بالتأرجح ، إذ تحاول الطاقة الكامنة لدوّار المولد بالأبقاء على الموازنة آنياً لحين زيادة القدرة الداخلة للتوربين من خلال بادئ الحركة Prime mover يتم أنحياز المتحكم Governer من خلال التغيرات الناتجة بسبب تأرجح الاحمال ، إذ تتحسس دائرة المتحكم Governer بدخلين input 2 أحدهما $\Delta'p$ (التغير في موقع بادئ الحركة) وثانيها Δf التغير في التردد .

ان اية زيادة في $\Delta'p$ تؤدي الى زيادة القدرة الخارجة ، وكذلك أي أنخفاض في $\Delta'p$ يسبب زيادة أضافية للقدرة الخارجة هذا يمكن التعبير عن القدرة الخارجة من المتحكم بالمعادلة التالية

$$\Delta p_o = \Delta'p - \frac{1}{R}\Delta f$$

الثابت (R) يسمى بتنظيم السرعة للمتحكم وله وحدة HZ/ MW أو HZ/ P. U. MW هناك معامل آخر، يُعرف اثناء دراسة السيطرة على التردد ويعني $\frac{\partial p}{\partial f}$ (اي معدل تغير الحمل مع التردد) ويسمى D أي أن

$$D = \frac{\partial p}{\partial f}$$

ووحدته MW/ HZ وهو معكوس (R) .
كذلك يمكن ايجاد ثابت الزمن من المعادلة التالية

$$T_p = \frac{zH}{fP}$$

إذ يمثل H ثابت القصور الذاتي لدوّار المولد .

مثال 1

أنخفضت سرعة مولد (100 MW) بنسبة 4% من حالة انعدام الحمل الى حالة الحمل . اوجد

أ- تنظيم السرعة (R) للمولد عبر عن النتائج HZ/ P. UMW, HZ/ MW
ب- اوجد التغير في القدرة الخارجة إذا أنخفض التردد o.1HZ

الحل.

$$a)\quad R = \frac{\partial p}{\partial f} \text{ when } \Delta' p = 0$$

$$R = \frac{4 \times 50}{100 \times 1} = 2 \text{ Hz / p.u MW}$$

$$R = \frac{4 \times 50}{100 \times 100} = 0{\cdot}02 \text{ Hz / p.u MW}$$

$$b)\quad \Delta p = -\frac{1}{R}\Delta f = -\frac{1}{0{\cdot}02}(-0{\cdot}1) = 5 \text{ MW}$$

مقدار التغير في القدرة الخارجة (زيادة)

مثال 2

مولدان مقنناتها 500MW ، 200MW يُغذيان منظومة ويعملان بتردد 50HZ. أزداد الحمل علىٰ المنظومة بمقدار (140)MW ، وكنتيجة لذلك قل التردد ألىٰ (49.5HZ). كم يجب أن تكون قيمة R لكل وحدة توليد اذا كان تقسيم الحمل الأضافي يتناسب مع مقنناتها.

الحل :

الوحدة الاولى (1) سعة 500MW

الوحدة الثانية (2) سعة 200MW

نسبة زيادة الحمل على الوحدة الاولىٰ

$$\Delta p_1 = 140 \times \frac{500}{700} = 100 \text{ MW}$$

نسبة زيادة الحمل على الوحدة الثانية

$$\Delta p_2 = 140 \times \frac{200}{700} = 40 \text{ MW}$$

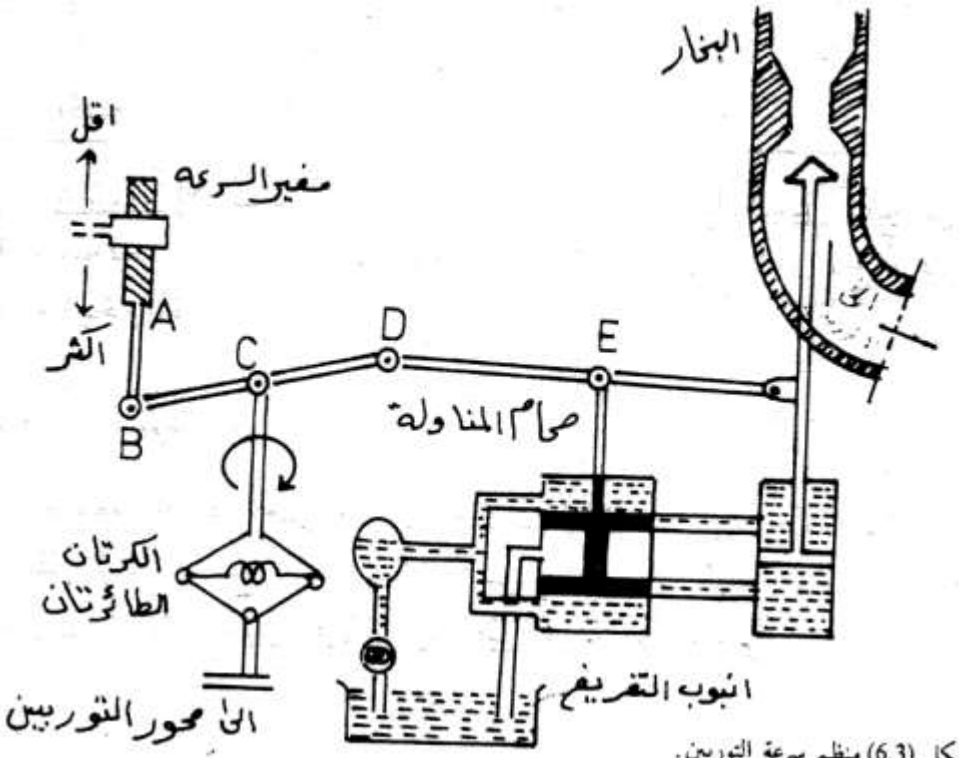
بما أنه لايوجد تغير في القيمة المرجعية

$$\Delta' p = 0$$

$$\therefore \Delta p_1 = \Delta' p_1 - \frac{\Delta f_1}{R_1}$$

$$100 = 0 - \frac{(-0{\cdot}5)}{R_1} \qquad R_1 = \frac{0{\cdot}5}{100} = 0{\cdot}005 \text{ Hz / MW}$$

$$R_2 = -\frac{\Delta f_2}{\Delta p_2} = -\frac{(-0{\cdot}5)}{40} = \frac{0{\cdot}5}{40} = 0{\cdot}125 \text{ Hz / MW}$$



شكل (6.3) منظم سرعة التوربين.

يتم السيطرة على التردد بواسطة منظومة التحكم والتي بدورها تؤدي الى السيطرة على سريان القدرة الحقيقة في المنظومة وكما هو واضح من المعادلة (6.8) والتي تبين ان القدرة الحقيقة (P) هي دالة للتردد.

تتألف دائرة منظم السرعة والموضحة بالشكل (6.3) من الاجزاء الرئيسية التالية.

١ – منظم السرعة

يُمثل مُنظم السرعة القلب النابض للمنظومة والذي يتحسس التغيُّر في السُرعة أو التردد، حينما تزداد السرعة تتحرك الكُرتان الى الخارج مؤديتان الى أندفاع نقطة (B) الى الأسفل وبالعكس.

٢ – آلية التوصيل

توصيلات ABC ، CDE هي توصيلات صلدة مربوطة في نقطتي B ، D ، إذ توفر هذه الآلية حركة لصمام السيطرة يتناسب مع التغيّر في السرعة. حلقة (Link 4) يقوم بالتغذية العكسية لصمام البخار.

٣ – المضخم الهايدروليكي :

يتألف من الأسطوانة الرئيسية والصمام الدليلي حركة الصمام الدليلي الناتج من مستوى قدرة منخفض يتحول الى حركة مستوى قدرة مرتفع لصمام مؤدياً الى فتح أو غلق الصمام بوجه البخار المضغوط.

٤ – مغير السرعه

يقوم مغير السرعة بتغيير القدرة في الحالات المستقرة للتوربين. حركة مُغير السرعة الى الأسفل تؤدي الى فتح الصمام الدليلي العلوي، مما يؤدي الى دخول بُخار أضافي الى التوربين. يحدث العكس حينما يتحرك مغيّر السرعة الى الاعلى.

الاختبارات الذاتيه :ــ اكمل الفراغات التاليه بما يناسبها :

1ــ تكون مقاومة خطوط النقل قليلة مقارنة مع ــــــــــــــــــــ .

2ــ تعتمد أقصى قدرة حقيقية مرسلة خلال خط على ــــــــــــــــــــ والتي تتناسب طرديا مع محاثــة خط النقل .

3ــ يقوم مغيّر السرعة بتغيير ــــــــــــــــــــ في الحالات المستقرة للتوربين .

الاختبار البعدي :ــ عدّد الأجزاء الرئيسية المكونة لدائرة منظم السزعة .

المصادر المعتمدة :ــ كتاب منظومة القدرة الكهربائية .

تأليف : الدكتور ضياء علي بشير النعمة

طارق محمد أمين .

مفاتيح أجوبة الاختبارات

الاختبار القبلي	**الاختبارات الذاتية**	**الاختبار البعدي**
1ــ صح .	1ــ المحاثة .	1ــ منظم السرعة .
2ــ خطأ .	2ــ المفاعلة الحثية.	2ــ آلية التوصيل .
3ــ صح .	3ــ القدرة .	3ــ المضخم الهايدروليكي .
4ــ صح .		4ــ مغير السرعة .

المعهد التقني الموصل / قسم التقنيات الكهربائية

مادة (الشبكات الكهربائية)

المفردة الدراسية للأسبوع (التاسع عشر والعشرون)

الفئة المستهدفة :ــ طلاب الصف الثاني فرعي / القوى والشبكات

الموضوع :ــ تنظيم جهد الشبكة ، طرق تنظيم الجهد ، المنظمات الحثية ، التحكم بالفولتية باستخدام المكثفات السكونية والتزامنية .

الأفكار المركزية :ــ عندما يتغير الحمل على أنظمة القدرة الكهربائية تتغير الفولتية الطرفية في جهة المستهلك كذلك إن تغيّر الفولتية غير مرغوب فيه ويجب أن تبقى الفولتية ثابتة . تمتص معظم الأحمال (var) موجبة (متأخر) والناتجة من تأثير تيار المغنطة في المحولات والمحركات الحثية .

الأهداف :ــ يتعلم الطالب 1ــ طرق تنظيم الجهد .

2ــ تأثير استخدام أجهزة تحسين القدرة المتفاعلة في أنظمة القدرة .

الاختبار القبلي :ــ أجب بكلمة صح أو خطأ عن العبارات الآتية :

1ــ المكونات الرئيسية لدائرة منظم السرعة هي منظم السرعة ، آلية التوصيل ، المضخم الهايدروليكي ، مغير السرعة .

2ــ إن استخدام أجهزة تحسين القدرة المتفاعلة يؤدي إلى تقليل مركبة التيار المتفاعلة .

3ــ المحاثات التي تربط على التوازي مع الخطوط تمتص (var) متأخرا بينما متسعات التوازي تولد (var) متأخرا .

4ــ المنظم الحثي بالأساس عبارة عن محولة ذات فولتية ثابتة .

٦ – ٥ تنظيم جهد الشبكة Voltage regulation of system

عندما يتغير الحمل على انظمة القدرة الكهربائية ، تتغير الفولتية الطرفية في جهة المستهلك كذلك ان تغير الفولتية غير مرغوب فيه ويجب ان تبقى الفولتية ثابتة . تمتص معظم الاحمال فار Vars موجبة (متأخر)، والناتجة من تأثير تيار المغنطة في المحولات والمحركات الحثية .... الخ .

تزيد الفار Vars المطلوبة من قبل الاحمال على الفار Var التي تنقل خلال شبكة نقل لأعتبارات هبوط الفولتية وذلك في حالات الحمل العالية . لذا فوجود أجهزة إضافية ومساعدة لتوليد فار متأخر lagging Vars لسد متطلبات المستهلكين من القدرة المتفاعلة ضرورية واذا لم تنجز هذه العملية فأن الفولتية في بعض القضبان العمومية buses تكون اقل من الفولتية الاسمية . تمتص متسعات التوازي فاراً متقدماً Leading Var (اي تولد فاراً متأخراً) . في حالة الاحمال الخفيفة يتولد فار متأخر من الخطوط إكثر من متطلبات الحمل . لذا يتطلب وجود احهزة اضافية لامتصاص فار متأخر والا تصبح فولتية القضبان اكثر من الفولتية الاسمية .

يتضح من المناقشة اعلاه ، ضرورة وجود اجهزة اضافية ، تسمى اجهزة تحسين (معالجة) القدرة المتفاعلة لامتصاص او توليد Vars فالمحاثات التي تربط على التوازي مع الخطوط تمتص فاراً متأخراً lagging Var بينما متسعات التوازي تولد فاراً متأخراً generates lagging Var .

ان استخدام اجهزة تحسين القدرة المتفاعلة في انظمة القدرة لها التأثيرات التالية :

1 – تقليل مركبة التيار المتفاعلة .
2 – ابقاء فولتية القضبان المختلفة ضمن المديات المسموح بها .
3 – تقليل المفاقيد النحاسية وذلك بتقليل التيار.
4 – زياده الاستثمار للكيلو واط من الحمل المجهز
5 – تحسين عامل القدرة للمولدات .
6 – تقليل اجور (KVA) للمستهلكين الكبار.

طرق تنظيم الجهد :

يتم تنظيم الجهد بأحدى الطرق التالية :

١ – بأستخدام محولات ذات تفريعة متغيرة : Tap changing transformer

٢ – محولات ذاتية ذات تفريعة متغيرة : Auto – transformer tap changing

٣ – المعززات : Boosters

٤ – المنظمات الحثية : Induction regulators

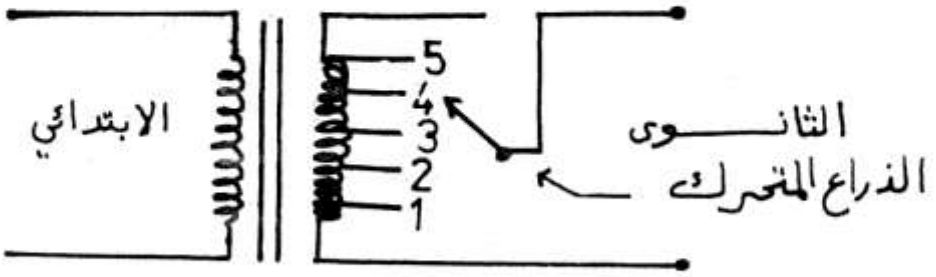
٥ – مكثفات تزامنية : Synchronous condenser

٦ – متسعات سكونية : Static condenser

محولات مغير التفريعة : Tap changing transformer

تزود المحولات بتفريعات على اللفائف لتنظيم نسبة التحويل. توضع التفريعات على جهة الضغط العالي لأن التفرعات على الضغط الواطئ لاتعطي سيطرة جيدة على الفولتية . ان تغير التفريعة يغير المركبات المتطاورة للفولتية ويؤثر على توزيع الفار (vars) في المنظومة وقد تستخدم للسيطرة على سريان القدرة المتفاعلة . يوضح الشكل (6.4) محولة ذات معير تفريعة غير حملي (Off load tap – changing transformer) حين يربط الذراع المتحرك مع مسمار التماس (stud) رقم (١) ، فإن فولتية الثانوي تكون اقل مايمكن وحينما يربط مع (٥) يكون اعلى مايمكن . لايستخدم هذا النوع من المحولات في حالة وجود حمل لأنه في حالة حركة الذراع من مسمار رقم (١) الى مسمار رقم (٢) اذا حصل قطع بين الذراع والمسمار رقم (١) قبل ان يحدث توصيل بين الذراع ومسمار رقم (٢) يحدث قطع في استمرارية التجهيز وتتولد شرارة . من جهة اخرى اذا بقى الذراع موصلاً مع مسمار (١) اثناء تغيرها على موقع (٢) فإنه يحدث دائرة قصيرة بين النقطتين (١) ، (٢) ويؤدي الى مرور تيار كهربائي عال . يوضح الشكل (6.5) محولة ذات مغير تفريعة حملي On Line tap – changing transformer يتألف الثانوي من مجموعتين من اللفائف المتوازية تبقى المفاتيح (b,a) مقفلة واللفائف تبقى عند تفريعاتها العادية في حالات التشغيل الطبيعية . افرض ان المحولة تعمل والمغير مثبت على التفريعتين 4b,4a والمطلوب تغييرها الى التفريعتين 5b,5a يفتح لهذا الغرض احد المفتاحين b,a (a مثلاً) . هذا يجعل اللفائف التي يسيطر عليها بالمفتاح (a) خارج الدائرة . ان ملفات الثانوي الآن التي يسيطر عليها بالمفتاح (b) تحمل التيار الكلي والذي يساوي ضعف التيار المقنن. وبعد ذلك يغير موقع

الملفات المفتوحة الى (5a) ثم يغلق المفتاح (a). يفتح المفتاح (b) بعد ذلك وتعاد نفس العملية بالنسبة للملفات التي يسيطر عليها بالمفتاح (b). ثم تغير مواقع التفريعات دون قطع التيار بهذه الطريقة. من مساوئ هذه الطريقة (اثناء عمليات الغلق والفتح switching) ، زيادة ممانعة المحولة مما يؤدي الى حدوث تمورات في الفولتية.

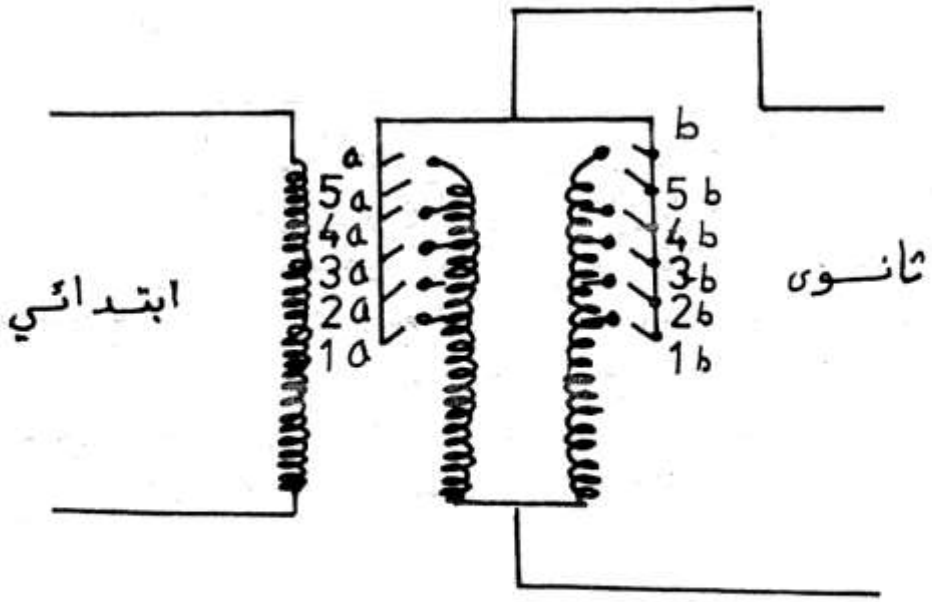


شكل (6.4)

محولة ذات مغير تفريعة غير حملي

OFF – Losd Tap Changing

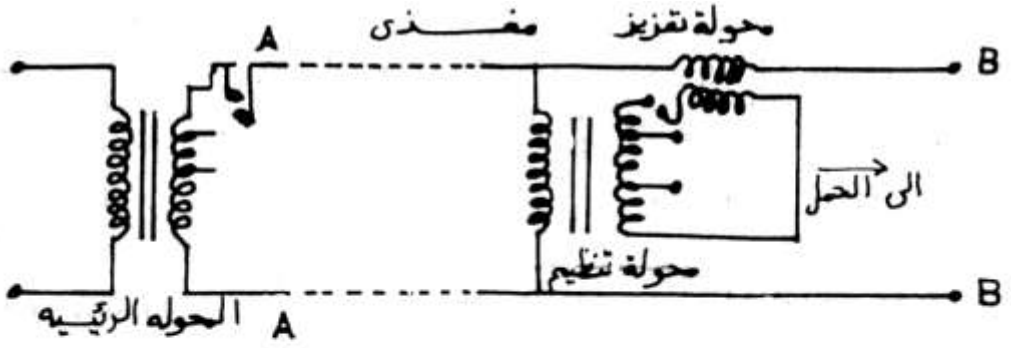
OFF – Load Tap Changing Transformer



شكل (6.5)

محولة ذات مغير تفريعة حملي

ON – Load Tap Changing Transformer

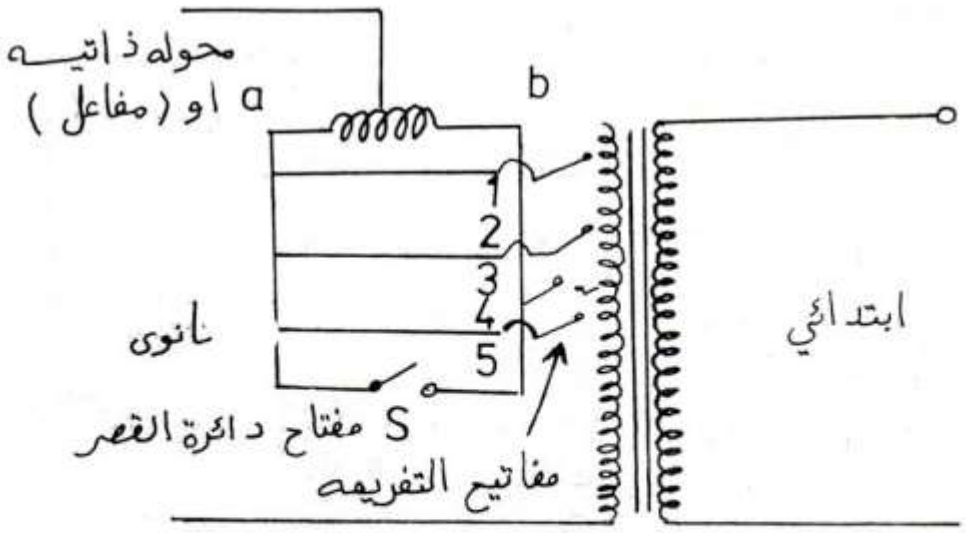


شكل (6.6)
محوّلة معززة
Booster transformer

كذلك عدد التفريعات على الثانوي يساوي ضعف عدد خطوات تغيير الفولتية .

محولة ذاتية ذات مغير تفريعة . **Auto transformer tap – changing**

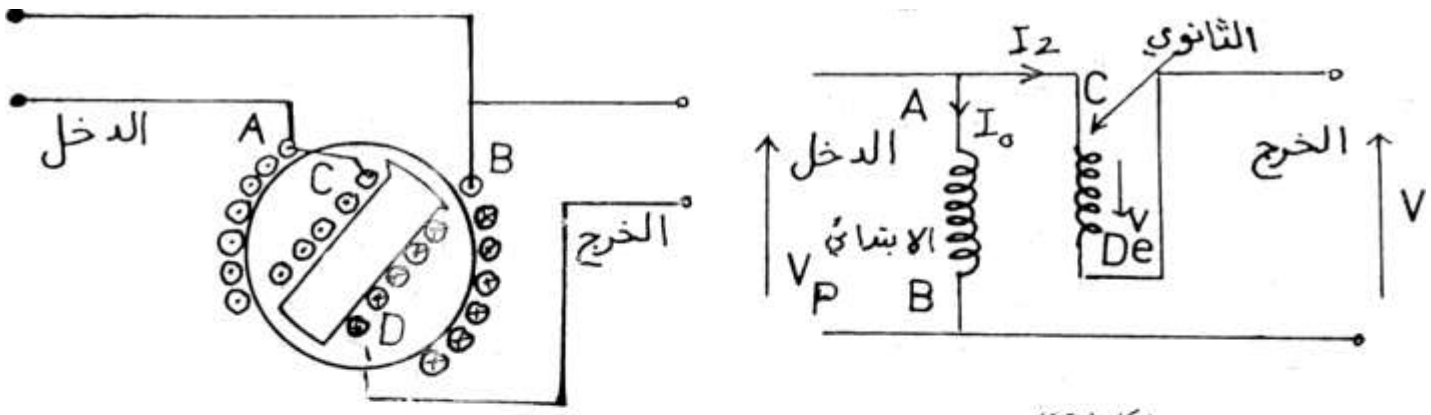
يوضح الشكل (6.7) محولة ذاتية ربطت التفريعات الفردية مباشرة الى المحولة الذاتية في حين ربطت التفريعات الزوجة الى المحولة من خلال مفتاح (S) . يكون المفتاح (S) مغلقاً في حالات التشغيل الطبيعية . اذا اريد تغير التفريعة من نقطة (5) الى نقطة (4) مثلاً لزيادة الفولتية . يفتح المفتاح (S) اولاً ، يغلق المفتاح (4) ، ثم يفتح المفتاح (5) وأخيراً يعاد غلق المفتاح (S) . بهذه الطريقة يتم تغير التفريعة دون التأثر على استمرارية التجهيز. عندما يفتح المفتاح (S) ، يمر جميع تيار الحمل خلال $\frac{1}{2}$ ملفات المفاعل مودية الى هبوط للفولتية عبر المفاعل . عندما يغلق المفتاح (4) تربط اللفائف المحصورة بين التفرعين 4 و 5 خلال ملفات المفاعل . ويمر تيار دوراني خلال الدائرة الموقعية ولكن يمكن تحديد هذا التيار الى قيمة منخفظة وذلك بأستخدام محاثة ذات قيمة عالية .



شكل (6.7)
محولة ذاتية ذات مغير تفريعة
Auto transformer tap–changing

المعزّزات : Boosters

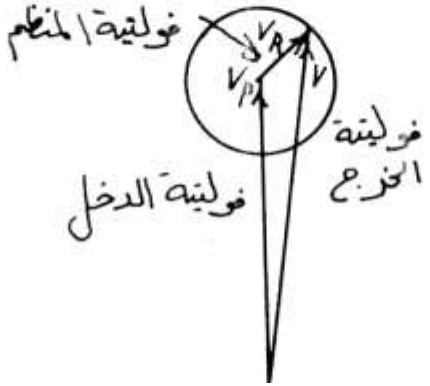
من المرغوب السيطرة على فولتية خطوط النقل بعيداً عن المحولة الرئيسة في بعض الأحيان. تستخدم محولات التعزيز لهذا الغرض. اذ تربط ملفات الثانوي لمحولة التعزيز والتي تربط على التوالي مع الخط المراد السيطرة على فولتيته. تغذي ملفات الابتدائي لمحولة التعزيز من محولة تنظيم Regulating transformer مجهز بمغير تفريعة حملي يوضح الشكل (6.6) محولة تعزيز، اذ تربط المحولة بشكل يجعل فولتية الثانوي للمحولة متحد الطور (in phase) مع فولتية الخط. تثبت الفولتية AA بوساطة تفريعات المحولة الرئيسة. قد يكون هناك هبوط بالفولتية بين AA و BB نتيجة طول المغذي. يتم السيطرة على فولتية BB بوساطة محولة التنظيم ومحولة التعزيز. بتغير تفريعات محولة التنظيم، يمكن تغير قيمة الفولتية الداخلة الى الخط.



شكل (6.8a)

منظم حثي احادي الطور

1 – Induction Regulator



شكل (6.8b)

المخطط الطوري لمنظم حثي احادي الطور

Phasor of 1 Induction Regulator

وبهذا يمكن ابقاء فولتية BB عند القيمة المرغوبة. لهذه الطريقة ثلاث مساوئ عند أستخدامها مع المحولات الرئيسية اولها اكثر كلفة من محولات ذات مغير التفريعة الحملي. ثانياً اقل كفاءة منها بسبب المفاقيد في المعزز. وأخيراً تحتاج الى مساحة اكثر للتنفيذ إلانشاء. ولكن عندما تكون أجهزة التنظيم مستقلة عن المحولة الرئيسية فإن حدوث عطل في المحولة لاتلغي خدمة المعزز كما أنها ارخص ثمناً.

المنظمات الحثية : Induction Regulators

المنظم الحثي بالأساس عبارة عن محولة ذات فولتية ثابتة. يتحرك أحد الملفات بالنسبة للآخر، وبذلك يتم الحصول على فولتية ثانوي متغيرة. تربط ملفات الابتدائي عبر المصدر بينما تربط ملفات الثانوي على التوالي مع الخط المراد تنظيم فولتيته.

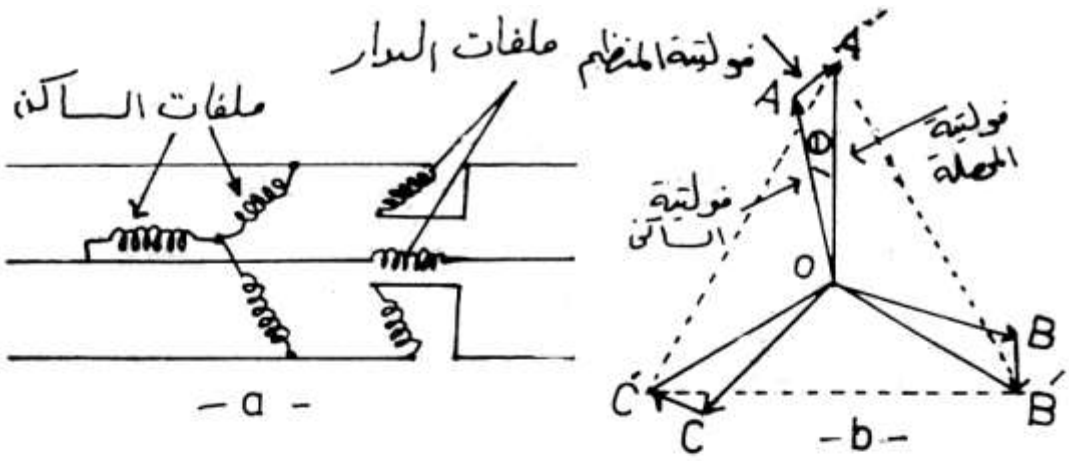
عندما يتغير موقع احد اللفائف مع الآخر (الابتدائي مع الثانوي) تتغير الفولتية الداخلة الى الخط.

يوجد نوعان من المنظمات الحثية الأول احادي الطور والثاني ثلاثي الطور يوضح الشكل (6.8) منظم حثي أحادي الطور والذي يشبه في تركيبه محركاً حثياً أحادي الطور. الفرق الوحيد هو ان الدوار لايدور بأستمرار ولكن ينظم حركته الى النقطة المطلوبة اما يدوياً أو بوساطة محرك صغير. تلف ملفات الابتدائي (AB) على الساكن وتربط مع المصدر.

تلف ملفات الثانوي (CD) على الجزء الدوار وتربط مع الخط المراد تنظيم فولتيته على التوالي.

والذي يشبه المحركات الحثية من النوع ذي الحلقات الأنزلاقية ، لكن مع ربط الجزء الدّوار الى المصدر من خلال توصيلات مرنة.

يكون الموجة المتحركة للفيض داخل الفُرجة الهوائية ذا قيمة ثابتة تقريباً لذا فإن قيمة فولتية الثانوي يكون ثابتاً أيضاً لكن زاويته (θ). يتغير مع فولتية الأبتدائي ، فولتية الثانوي V_2 هي جمع اتجاهين لفولتية الابتدائي V_1 ، والفولتية المتولدة E_2 يوضح الشكل (6.9b) المخطط الطوري لمنظم حثي ثلاثي الطور.



الشكل (6.9)
منظم حثي ثلاثي الطور مع المخطط الطوري

يولد تيار الاثارة الابتدائي فيضاً متناوباً مما يؤدي الى توليد فولتية محتثة متناوبة في ملفات الثانوي (CD) تعتمد قيمة الفولتية المحتثة في الثانوي على موقعه بالنسبة الى الابتدائي . اذ تتغير فولتية الثانوي من أقصى قيمة موجبة الى اقصى قيمة سالبة . لذا فإن المنظم يمكن ان يضيف او يطرح من فولتية الشبكة تبعاً لموقع الدوار النسبي مع الساكن .

تستخدم المنظمات الحثية الاحادية الطور، بكثرة للسيطرة على فولتيات التوزيع في المغذيات الابتدائية نظراً لمرونتها العالية .

أما المنظمات الحثية الثلاثية الطور مشابهة للمنظمات أحادية الطور من حيث العمل غير ان تثبيت موقع الدوار يتم بوساطة (worm gear) . يوضح الشكل (6.9a) المنظم الحثي الثلاثي الطور .

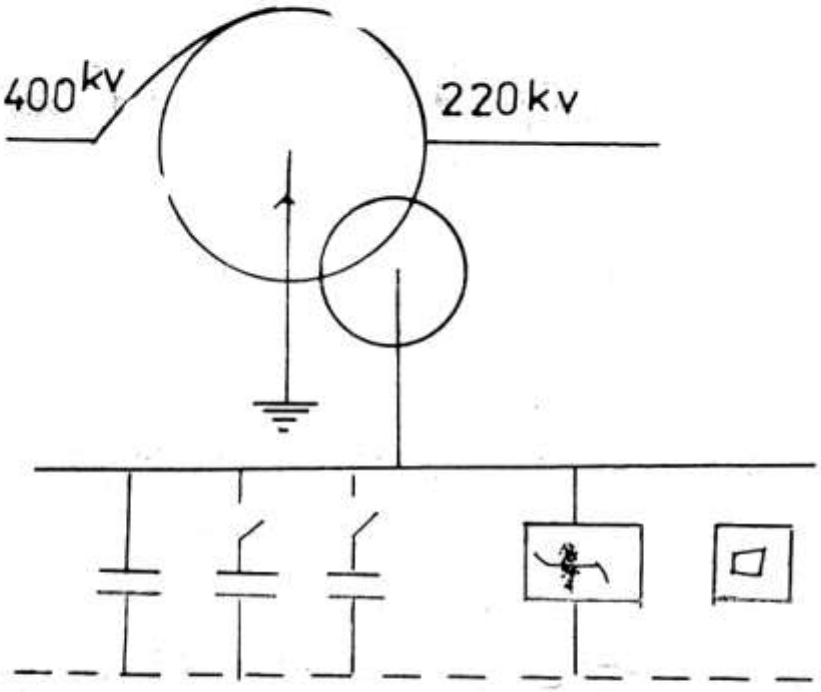
التحكم بالفولتية باستخدام المكثفات السكونية والتزامنية :

Voltage control by static capacitors & synchronous condenser

اولاً : المتسعات الساكنة : static condenser

تستخدم المتسعات لأغراض تحسين عامل القدرة وتربط على التوازي بشكل ثلاثة اطوار (3-phase) وبسعات تصل الى اكثر من 100Mvar . يجب ان يجرى عليها عمليات الفتح والغلق تبعاً لحالات تغير الحمل لأغراض تنظيم الفولتية . اذ يغلق

(switched on) في حالات الحمل القصوى ويفتح في حالات الاحمال الخفيفة. ويتم السيطرة على عمليات الفتح والغلق اما يدوياً او بأستخدام ساعات توقت على ضوء متطلبات الفولتية او القدرة المتفاعلة. يوضح الشكل (6.10) طريقة ربط متسعات التحسين مع محولة ثالثية اللفائف (tertiary winding).



شكل (6.10)
التحسين باستخدام أجهزة ساكنة
Static Compensation

في حالة المتسعات نجمية الربط

$$I_c = \frac{|V|}{\sqrt{3}\,X_c} \text{ KA}$$

$$Q_c = \frac{3|V|}{\sqrt{3}\,X_c} \times \frac{|V|}{\sqrt{3}} = \frac{|V^2|}{X_c} \text{ MVAR} \qquad \ldots (6{\cdot}27)$$

اذ تمثل (V) فولتية اللفيفة الثالثة للمحولة tertiary .

X_c المانعة السعوية / طور.

Q_c القدرة المتفاعلة / ثلاثة اطوار المتولدة من المتسعات .

عندما يكون الحمل خفيفاً فإن فولتية الاستلام تكون اعلى من فولتية الارسال في بعض الأحيان. وقد أشير الى هذه الحالة في الفصل الرابع بظاهرة فرنتي. تؤثر زيادة الفولتية على اطراف الاستلام على الأجهزة. لذا تستخدم في بعض الشبكات محاثات متوازية (Shunt inductors) لامتصاص فار (Var) متأخر. ويربط بأسلوب ربط المتسعات نفسه.

في حالة المحاثات نجمية الربط

$$Q_L = -\frac{|V^2|}{X_L} \quad \text{MVar} \qquad \ldots (6\text{-}28)$$

اذ Q_L هي الفار المتقدم (سالب) المتولد بوساطة المحاثات ثلاثية الطور.

X_L الممناعة الحثية / طور.

تستخدم متسعات على التوالي في بعض الشبكات وهي اكثر حداثة من استخدام متسعات التوازي. اذ تولد فار (Var) يتناسب مع مربع التيار. ان الاستخدام الأساسي لمتسعات التوالي هو للتقليل من محاثة الخط لغرض زيادة القدرة المرسلة ولتحسين استقرارية الشبكة.

المكثفات التزامنية : Synchronous Condenser

المكثفات التزامنية ، هي بالاصل محركات تزامنية بدون قدرة ميكانيكية خارجة اذ تسحب قدرة فقط لتغذية مفاقيدها. وتكون عادة من نوع الأقطاب البارزة (6) الى 8) اقطاب وبتقنين يصل الى (60MVA) ، (11KV) وتربط الى خطوط الضغط الفائق من خلال محولات.

يمكن الحصول على التحسين المطلوب بتغيير اثارة الماكنة. يعطي المكثف التزامني (Var) متأخراً عندما تكون الاثارة عالية ويعطي فار (Var) متقدماً عندما تكون الاثارة

قليلة . لذلك فهو يمتاز بمرونة عالية كمصدر لتوليد القدرة المتفاعلة (Vars) من حيث الكمية والاتجاه وبتغيير بسيط في اثارة الماكنة .

يمكن تلخيص محاسن ومساوئ المكثفات التزامنية بالنقاط التالية :

1- بما ان المكثفات التزامنية تعطي قدرة متفاعلة متقدماً ومتأخراً حسب درجة الاثارة فإنه يقوم بدور المتسعات والمحاثات المتوازية في آن واحد .
2- السيطرة على المكثفات التزامنية سهلة وسريعة .
3- يمكن تحميل المكثفات التزامنية اكثر من المقنن لفترات قصيرة ، بينما لايمكن ذلك في المتسعات .
4- عزم القصور الذاتي للماكنة يزيد من استقرارية النظام وبذلك يقلل من التأثيرات المفاجئة الناتجة من تغير الحمل .

ومن مساوئها :

1- يمكن توزيع المتسعات على الخطوط وحسب متطلبات الشبكة . بينما تثبيت مكائن تزامنية في مواقع مختلفة تجعلها غير اقتصادية لكلفتها العالية .
2- عطب مجموعة (bank) من المتسعات لايؤثر على البقية حيث تبقى عاملة ، بينما عطب المكثف التزامني يؤدي الى عطب كلي في وحدة التحسين وزيادة تيار القصر حينما يكون الخطأ قريب منه .

مثال (1) :

خط ثلاثي الطور 132KV يجهز حملا (50MVA) بفولتية (132KV) وعامل قدرة متأخر (0.8) في جهة الاستلام . ثوابت الخط ($A = 0{\cdot}98 \angle 3^\circ$) ($B = 110 \angle 75^\circ$) اوم/ طور احسب :

أ) فولتية الارسال وزاوية القدرة .

ب) القدرة الفاعلة والمتفاعلة لجهة الارسال .

جـ) مفاقيد الخط وكذلك (Vars) الممتصة من قبل الخط .

الحل :

$$a)\quad V_r = \frac{132000}{\sqrt{3}} = 76210 \angle 0$$

$$I_r = \frac{50 \times 10^6}{\sqrt{3} \times 132000} = 218{\cdot}7 \angle (-\cos^{-1} 0{\cdot}8)$$

$$= 218{\cdot}7 \angle -36{\cdot}87^\circ \text{ Amp.}$$

$$V_s = AV_r + BI_r = (0{\cdot}98 \angle 3^\circ)(76210)$$

$$+ (110 \angle 75^\circ)(218{\cdot}7 \angle -36{\cdot}87)$$

$$= 74685{\cdot}8 \angle 3 + 24057 \angle 38{\cdot}13^\circ$$

$$= 74583{\cdot}4 + J3908{\cdot}86 + 18923{\cdot}5 + J14853{\cdot}9$$

$$= 93506{\cdot}9 + J18762{\cdot}76 = 95370{\cdot}62 \angle 11{\cdot}35^\circ$$

∴ فولتية الخط لجهة الارسال

$$= \frac{\sqrt{3} \times 95370{\cdot}62}{1000} = 165{\cdot}2 \text{ KV}$$

b) $11{\cdot}35^\circ = (\delta)$ زاوية القدرة

عندما تعطى قيم V_r ، V_s كقيم خط – خط فإن القدرة تكون ثلاثية الطور (phase)

معطاة في المسالة $|A| = 0{\cdot}98$, $|B| = 110$, $|V_r| = 132\text{KV}$, $|V_s| = 165{\cdot}2\text{KV}$

$\alpha = 30^\circ$, $\beta = 75^\circ$, $\delta = 11{\cdot}35$

بأستخدام المعادلات (6.19)

$$P_s = \frac{|A||V_s|}{|B|} \angle \beta - \alpha - \frac{|V_r||V_s|}{|B|} \angle \beta + \delta$$

$$= \frac{0{\cdot}98(165{\cdot}2)^2}{110} \angle (75{\cdot}3)^\circ - \frac{(132)(165{\cdot}2)}{110} \angle 75^\circ + 11{\cdot}35^\circ$$

$$= 243{\cdot}14 \angle 72 - 198{\cdot}24 \angle 86{\cdot}35^\circ$$

القدرة الحقيقية (الفاعلة) لجهة الارسال $P_s = 243{\cdot}14 \cos 72 - 198{\cdot}24 \cos 86{\cdot}35$

$= 75{\cdot}13 - 12{\cdot}62 = 62{\cdot}51$ MW

القدرة المتفاعلة لجهة الارسال (Q_s)

$Q_s = 243{\cdot}14 \sin 72 - 198{\cdot}24 \sin 86{\cdot}35$

$= 231{\cdot}24 - 197{\cdot}84 = 33{\cdot}40$ MVar متأخر

(ج) مفاقيد الخط

$= P_s - P_r = 62{\cdot}51 - 50 \times 0{\cdot}8 = 22{\cdot}51$ MW

الميكا فار (MVar) الممتص من قبل الخط

$= Q_s - Q_r = 33{\cdot}4 - 5 \times 0{\cdot}6 = 3{\cdot}4$ MVar

مثال (2) :

احسب سعة اجهزة التحسين الاستاتيكية (static compensator) في جهة الاستلام لجعل فولتية الارسال (140KV) ولنفس حالة الحمل للمثال السابق.

الحل :

$$P_r = 50 \times 0{\cdot}8 = 40 \,, \; |V_s| = 140 \,, \; |V_r| = 132$$

$$P_r = \frac{|V||V_s|}{|B|} \cos(\beta - \delta) - \frac{|A||V_r|^2}{|B|} \cos(\beta - \alpha)$$

$$40 = \frac{140 \times 132}{110} \cos(\beta - \delta) - \frac{0{\cdot}98 \times (132)^2}{110} \cos(75 - 3)$$

$$40 = 168 \cos(\beta - \delta) - 155{\cdot}23 \cos(72) \quad \text{أو}$$

$$\cos(\beta - \delta) = 0{\cdot}524 \text{ or } \underline{/(\beta - \delta)} = 58{\cdot}4^\circ \quad \text{أو}$$

$$Q_r = \frac{|V_s||V_r|}{|B|} \sin(\beta - \delta) - \frac{|A||V_r|^2}{|B|} \sin(\beta - \alpha)$$

$$Q_r = \frac{140 \times 132}{110} \sin 58{\cdot}4 - \frac{0{\cdot}98 \times (132)^2}{110} \sin 72$$

$$= 143{\cdot}1 - 147{\cdot}6 = -4{\cdot}5 \text{ MVar}$$

لذا في حالة $P_r = 40MW, V_r = 132KV, V_s = 140KV$ يسحب (MVar)

قدرة (4.5) ميكا فار. وبما أن الحمل يتطلب $50 \times 0{\cdot}6 = 30$ MVar

∴ فإن اجهزة تحسين القدرة تعطي

$30 + 4{\cdot}5 = 34{\cdot}5$ MVar / متأخر

∴ سعة متسعات التحسين هي 34.5 ميكا فار متأخر.

الاختبارات الذاتية :ـــ أكمل الفراغات التالية بما يناسبها :

1ـــ استخدام أجهزة تحسين القدرة المتفاعلة يؤدي إلى تقليل ـــــــــــــ وذلك بتقليل التيار .

2ـــ يوجد نوعان من المنظمات الحثية الأول ـــــــــــــ والثاني ـــــــــــــ .

3ـــ تستخدم المنظمات الحثية الأحادية الطور بكثرة للسيطرة على ـــــــــــــ في المغذيات الابتدائية نظرا لمرونتها العالية .

4ـــ تستخدم المتسعات لأغراض تحسين عامل القدرة وتربط ـــــــــــــ بشكل ثلاثة أطوار .

الاختبار البعدي :ـــ عدّد الطرق المستخدمة في تنظيم الجهد لأنظمة القدرة .

المصادر المعتمدة :ـــ كتاب منظومة القدرة الكهربائية .

تأليف : الدكتور ضياء علي بشير النعمة

طارق محمد أمين .

مفاتيح أجوبة الاختبارات

الاختبار القبلي	الاختبارات الذاتية	الاختبار البعدي
1ـــ صح .	1ـــ المفاقيد النحاسية .	1ـــ استخدام محولات ذات تفريعة
2ـــ صح .	2ـــ أحادي الطور ، ثلاثي الطور .	متغيرة .
3ـــ صح .	3ـــ فولتيات التوزيع .	2ـــ محولات ذاتية ذات تفريعة متغيرة .
4ـــ صح .	4ـــ على التوازي .	3ـــ المعززات .
		4ـــ المنظمات الحثية .
		5ـــ مكثفات تزامنية .
		6ـــ متسعات سكونية .

الأسبوع (21)

الموضوع : دوائر القصر والمفاعلات short circuits & Reactors .

الفئة المستهدفة : الصف الثاني/ قسم التقنيات الكهربائية.

الأفكار المركزية : تعليم الطالب وتعريفه:

- بالقصر (شورت Short) (العطب Fault).
- أنواع الأعطاب.
- كيفية حساب تيار العطب لمواقع مختلفة لحدوث العطب .
- نسبة الوحدة للممانعات P.U. .

الأهداف : تعليم الطالب:

- أهمية دراسة الشبكة في حالات العطب.
- كيفية حساب تيار العطب.
- طرق حساب الممانعات على أساس MVA موحد.

الاختبار القبلي : Pre-test

املأ الفراغات التالية:

1- الأعطاب تسبب مرور ـــــــ عالية في الشبكة.
2- يتحدد تيار العطب بـ ـــــــ إلى نقطة العطب .
3- ممانعة الأساس هي النسبة بين ـــــــ الأساس إلى ـــــــ الأساس.
4- تمثل المحولة بممانعة على ـــــــ.
5- تهمل ـــــــ المحولات والمولدات أذا كانت غير مؤثرة.

الاختبار الذاتي : Self Test

أملأ الفراغات التالية:

1- يعد خطأ خط - ارض ـــــــ الأخطاء شيوعاً.
2- أكثر الأخطاء قساوة على الشبكة هو خطأ ـــــــ.
3- إضافة مولدات إلى الشبكة يؤدي إلى ـــــــ الممانعة الكلية .
4- عند حدوث قصر على محولة ذو ممانعة 4% فان تيار القصر يصل إلى ـــــــ ضعف التيار المقنن.

دوائر القصر والمفاعلات

Short Circuits & Reactors

Introduction مقدمة :

تقع الاخطاء في أنظمة القدرة اما بسبب انهيار العازل نتيجة الفولتيات العابرة كتمورات الاقلدة او ضربات الصواعق، او بسبب كسر العوازل او الموصلات وتأخذ الاعطاب الناتجة حالات مختلفة هي:

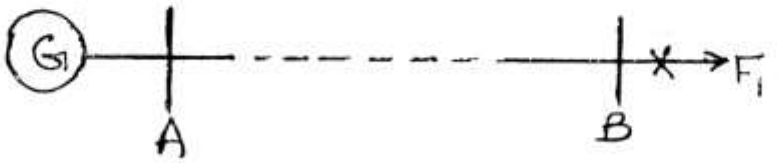
1- خطأ طور- ارض	Phase – earth Fault
2- خطأ طور - طور	Phase – phase Fault
3- خطأ طورين - ارض	2 Phase – earth Fault
4- خطأ ثلاثة اطوار	3 Phase short Circuit

وهذه الاخطاء (الاعطاب) تسبب مرور تيارات عالية تسمى تيارات دوائر القصر. ان ايجاد قيم هذه التيارات يساعدنا كثيرا على اختيار اجهزة حماية مناسبة. كقواطع الدورة ومتابعات الوقاية. وكذلك تساعدنا على حسن اختيار الاجهزة المساعدة كالقضبان العمومية والمحولات واجهزة التوليد والنقل.

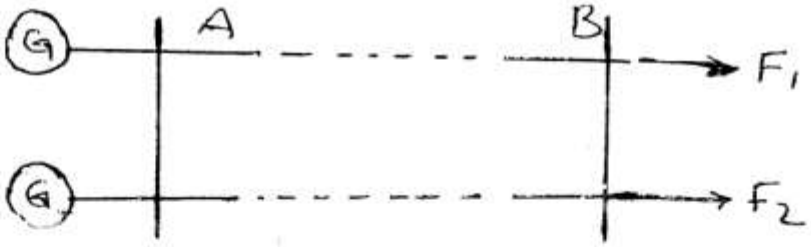
اكثر انواع الاعطاب شيوعاً هو عطب خط – ارض Line–earth fault بينما يندر وقوع الاعطاب الثلاثية الطور وهي اشد الانواع تأثرا. سوف نتناول في هذا الفصل فقط الاعطاب الثلاثية 3phase short circult

محددات تيار العطب: Limitations of fault current

في الشكل (7.1) B,A يمثلان قضبان محطة توليد ومحطة ثانوية على الترتيب. F_1 مغذى خارج عن المحطة الثانوية B ومربوط من خلال قاطع الدورة X.



دائرة قصر على اطراف مغذي ذو مولدة واحدة



(b) دائرة قصر في شبكة تحتوي على اكثر من مولدة

شكل (7.1)

يتحدد تيار العطب في الشكل (7.1) بممانعة المولدة وممانعة الخط الى نقطة العطب. والان افرض انه اضيفت احمال اخرى الى قضبان المحطة الثانوية (B) . فهذا يعني زيادة وحدات التوليد لتلبية متطلبات الحمل الاضافية. تيار العطب الخارج من محطة توليد عند حدوث عطب على اطراف احد المغذيات ، (F_1 على سبيل المثال) اكثر من المنظومة الاصلية ذات المولدة الواحدة وذلك للاسباب التالية.

١ – زيادة KVA محطة التوليد بسبب عدد المولدات.

٢ – نقصان الممانعة الكلية لمحطة التوليد (ممانعة مولدتين على التوازي اقل من ممانعة مولدة واحدة).

٣ – نقصان الممانعة الكلية لخط النقل.

٧–٣ النسبة المئوية للممانعات: Percentage Reactance

تهمل المقاومة في حسابات الاعطاب لانها تكون قليلة عادة عند مقارنته بقيمة المفاعلة ولايزيد هذا على الافتراض على (5%) خطأ.

يعبر عن ممانعات المحركات التزامنية والمحولات والمفاعلات وخطوط النقل بالنسبة المئوية. لذا فالنسبة المئوية للممانعة تعرف بأنها

$$\%X = \frac{IX}{V} \times 100 \qquad ...(7.1)$$

اذ X هي الممانعة بالاوم

V الفولتية المقننة (بالفولت)

I تيار الحمل الكلي المقنن (بالامبير)

اذا كانت (X) هي الممانعة الوحيدة في الدائرة، فأن تيار القصر I_{sh} يعطى بالتعبير $I_{sh} = \frac{V}{X}$ والتي يمكن كتابتها

$$I_{sh} = \frac{V}{X} = \left(I \times \frac{100}{X\%} \right) \qquad ...(7.2)$$

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

من الضروري تحويل ممانعات الكابلات والخطوط الهوائية الى نسب مئوية لانها تعطى عادة بالاوم ويمكن تحويلها بأستخدام المعادلة (7.1) كما يلي:

$$X = \frac{\% \times V}{100\, I} = \frac{\% \times V^2}{100\, VI} = \frac{\% \times \left(\frac{V}{1000}\right)\left(\frac{V}{1000}\right) \times 1000}{100\left(\frac{V}{1000}\right) I}$$

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

$$X = \frac{10 \times X\% \times (KV)^2}{KVA} \qquad ...(7\cdot3)$$

$$X\% = \frac{KVA}{10 \times (KV)^2} X \qquad ...(7\cdot4)$$

٧–٤ نسبة الوحدات Perunit (p.u)

في انظمة القدرة الكهربائية المتداخلة والكبيرة من الضروري دراسة هذه الانظمة على اساس نسبة الوحدة (p.u) بدلاً من القيم الحقيقة للفولتيات والتيارات في الخطوط والقضبان وذلك لوجود اختلاف كبير بين قيم هذه الكميات وفي بعض الاحيان تستخدم النسبة المئوية كما في الفقرة (٧–٣)

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

يُعد التيار I ، الفولتية V ، الممانعة Z من الكميات الأساسية في الهندسة الكهربائية ، اذا تم اختيار الاساس لاثنين منها، فأن الأساس للكمية الثالثة يظهر تلقائياً، فعلى سبيل المثال اذا كان V و I يمثلان فولتية وتيار الأساس في اية منظومة على الترتيب فأن ممانعة الأساس (Z)

$$\text{ممانعة الاساس (Z)} = \frac{\text{فولتية الاساس (V)}}{\text{تيار الاساس (I)}}$$

تُعطى مقننات الاجهزة الكهربائية في أنظمة القدرة على اساس الفولتية العاملة (V) والسعة (KVA). لذا من المفيد أختيار KVA اساس

فلو فرضنا ان V_b يمثل فولتية الاساس base voltage

KVA_b يمثل كيلو فولت أمبير الاساس

فأن تيار الأساس

$$I_b = \frac{KVA \times 1000}{(V_b)} \quad \text{(تيار الاساس)} \qquad \text{فولتية الأساس} \qquad ...(7\cdot5)$$

• • التيار بنسبة الوحدة (p.u)

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

$$\text{ممانعة الأساس (Z)} = \frac{\text{فولتية الأساس}}{\text{تيار الأساس}} = \frac{(\text{الأساس V})^2}{\text{الأساس KVA} \times 1000} \qquad ...(7\cdot6a)$$

الممانعة بنسبة الوحدة

$$\text{نسبة الوحدة (Z)} = \frac{\text{الممانعة الحقيقية}}{\text{ممانعة الاساس}}$$

$$= \frac{Z \times \text{الاساس KVA} \times 1000}{(\text{الاساس V})^2} = \frac{Z.(MVA)_b}{(KV)_b^2} \qquad ...(7\cdot6b)$$

اذ يمثل (Kv) فولتية (خط محايد)

كذلك يتطلب إيجاد الممانعة لجميع الاجهزة الكهربائية المربوطة في الشبكة على أساس موحد، اذا كانت القيم الأنفرادية للجهاز تمثل (Zp.u) القديم (KVA) القديمة، (V) القديم، والكميات على اساس موحد هي (Zp.u) الجديد، (KVA) الجديد و (V) الجديد، فيمكن ايجاد المعادلة التالية

$$\text{القديم } Z_{p.u} \times \frac{\text{KVA الجديد}}{\text{KVA القديم}} \times \left(\frac{\text{V القديم}}{\text{V الجديد}}\right)^2 = \text{(الجديد) } Z_{p.u} \qquad ...(7\cdot6c)$$

٢) المفاعلة العابرة : Transient Reactance

عند حدوث دائرة قصر فجائية على اطراف منوب . فأن المفاعلة المكافئة تكون اقل من المفاعلة في الحالة المستقرة . يمكن معرفة السبب بوضوح اكثر وذلك بفرض ان محركا ثلاثي الطور (تزامنيا) يدور في حالة انعدام الحمل مثار للفولتية المقننة . فعند حدوث دائرة قصر على اطراف الماكنة ، تتولد تيارات هائلة في المنتج وهذه التيارات متأخرة عن الفولتية بـ (90^{o}) تقريبا . تسبب هذه التيارات قوة دافعة كهربائية تحاول ازالة التمغنط للقوة الدافعة الرئيسية . يتغير الفيض داخل الفرجة الهوائية بسرعة ولكن يحتاج الفيض الى فترة اطول في الحديد (وخاصة الاقطاب) وذلك بسبب المحاثة العالية لمجال الدائرة ليس بسبب القلب الحديدي وحده ولكن بسبب العدد الكبير من اللفائف ايضاً . لذا فأن الـ ق . د . ك (emf) تقل من E الى E' . تيار القصر يساوي $\left(I' = \frac{E'}{X_L} \right)$ ، اذ ان X_L هي المفاعلة التسريبية . يكتب التيار عادة $(I' = E / X'd)$ وتسمى ($X'd$) المفاعلة العابرة وهي اكبر من X_L $(X'd > XL)$. تشمل المفاعلة العابرة تأثير كل من المنتج والمفاعلات التسريبية . (I) هو التيار العابر :

٣) المفاعلة دون العابرة : Sub-Transient Reactance

في المكائن التي تحتوي على لفائف اخماد او ذات اوجه اقطاب صلدة كما في المولدات التوربينية ، فأن الفيض داخل الفرجة الهوائية في بداية دائرة القصر لايتغير الى حد بعيد . ويعزى ذلك الى حقيقة وجود فيض تسريبي قليل وتصبح التيارات في الحالة دون العابره هذه (I") ويساوي $\left(\frac{E}{Xd''} \right)$ اذ تمثل ($X''d$) مفاعلة دون العابرة . وتساوي تقريبا المفاعلة التسريبية للمنتج وتختلف فقط بالجزء الذي يتسرب الى لفائف الاخماد damper winding . تستخدم قيم المفاعلة دون العابرة للمولد عند دراسة حالات القصر للمولدات .

٧ – ٦ دائرة قصر على اطراف مولد :

عند حدوث دائرة قصر على اطراف مولد ثلاثي الطور فأن تيار القصر الابتدائي يتحدد بالمفاعلة دون العابرة فقط ولفترة قصيرة جدا تبلغ (عدة دورات) few cycles . ثم يقل التيار الى القيمة العابرة Transient Current وتتحدد قيمته بالمفاعلة العابرة Transient

Reactance ثم يستقر الى حالة القصر المستقرة Steady state short circuit وتحدد قيمته بالمفاعلة التزامنية Synchronous reactance . يوضح الشكل (7.2) ، أشكال تيارات القصر والذي يحتوي على مركبات مستمرة (dc) ، يرجع سبب أحتواء تيار الساكن على مركبة (d.c) الى ثبوت التدفُق الذي يُطبق علىٰ كل طور من الأطوار الثلاثة الخالية من المقاومة للجزء الساكن ، فإذا حدث القصر في اللحظة التي يكون فيها الفيض الواشج مع احد الأطوار صفرا لاتظهر مركبة (d.c) علىٰ تيار ذلك الطور (كما هي الحال في هذا المثال) . إما إذا حدث القصر في لحظة يكون فيها الفيض الواشج أكبر من الصفر من جهة أُخرى تظهر مركبة مستمرة في ذلك الطور من أجل الأبقاء على مقدار التدفُق الواشج .

اعظم قيمة للمركبة المستمرة . تحدث في اللحظة التي يكون فيها التدفق الواشج للطور في قيمته العُظمى ، ثم تضمحل المركبة المستمرة أُسياً بمعدل يعتمد علىٰ مقاومة الجسم الساكن ومحاثته المكافئة

يمكن ملاحظة مايلي من المنحنيات :

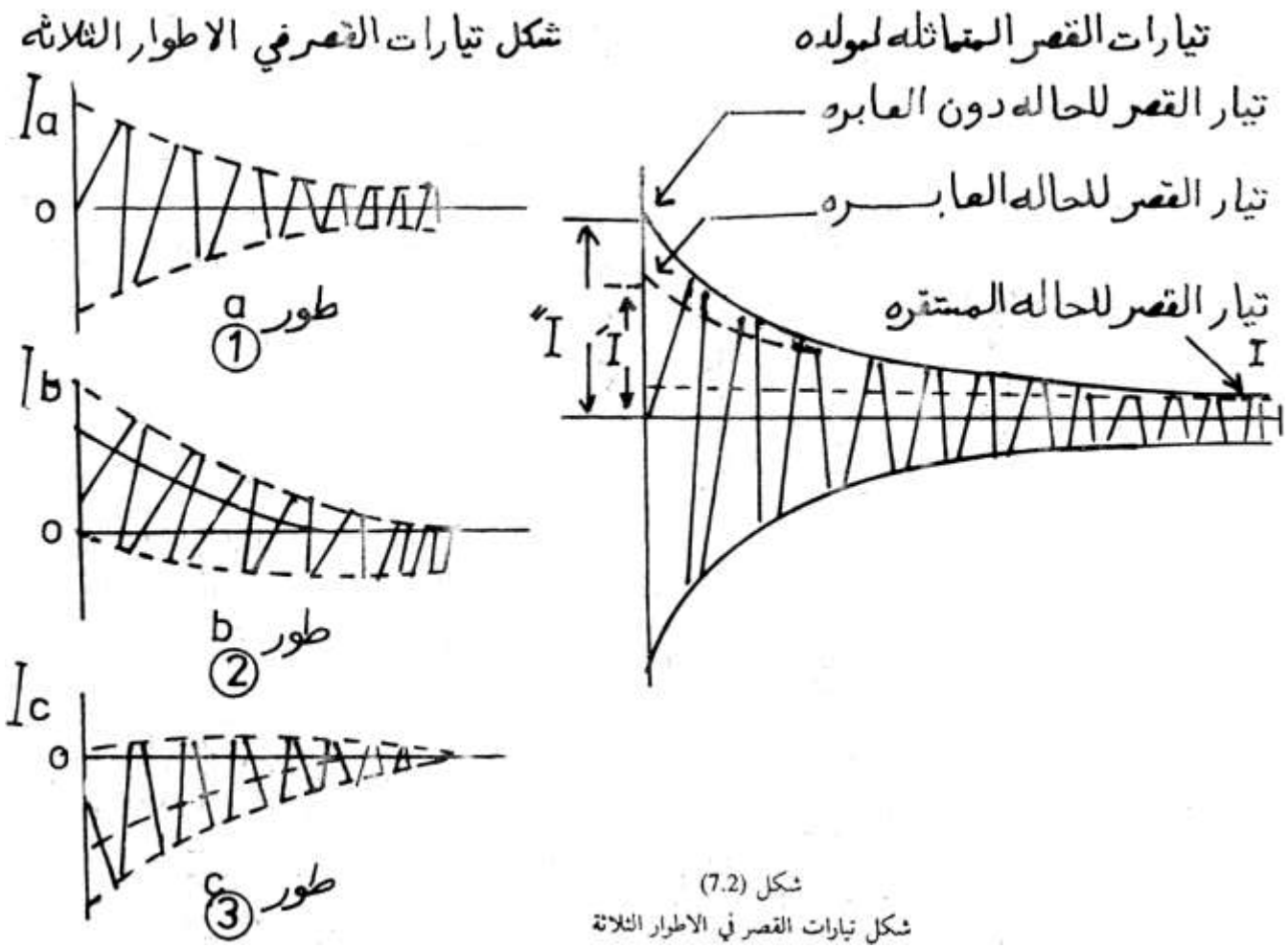
١) تيار القصر في الطور (a) متماثل (لايحتوي على مركبات DC) بينما تيارا القصر في الطويرين b و c ليسا متماثلين .

٢) تيار القصر في لحظة حدوث العطب اكبر بأضعاف المرات من تيار القصر للحالة المستقرة .

يمكن التعبير عن تيار القصر المتماثل في الطور (a) او في الاطوار b و c بعد ازالة مركبة (d.c) بالمعادلة التالية :

$$i_{ac} = (I'' - I')\,e^{-t/T''} + (I' - I)\,e^{-t/T'} + I \qquad ...(7.8)$$

اذ ان T'' ثابت الزمن للحالة دون العابرة وهي قليلة جدا مقارنة مع T' (ثابت الزمن للحالة العابرة) فمثلا لمولدات توربينية ضخمة $T'' = 0.5$ ثانية بينما $T' = 1.5$ ثانية .



شكل (7.2)
شكل تيارات القصر في الاطوار الثلاثة

الاختبار ألبعدي: Post Test

اختر الإجابة الصحيحة :

1. خطأ طور – طور يعني :

أ - فتح موصل في الشبكة ب – عدم عمل المولدة حـ - حدوث قصر بين طورين

2. انهيار العوازل لخط واحد في الخطوط الهوائية يؤدي إلى :

أ – خطأ – خطين - ارض ب – خطا ثلاثي الطور حـ - خطا – خط – ارض

3. يتم حماية الشبكات الكهربائية من ألأعطاب باستخدام :

أ – قواطع دورة ب – محولات قدرة حـ - تأريض الشبكة

4. نسبة الوحدة (p.u) للممانعات يعني إن الممانعة :

أ – يوحد الأوم ب – يوحد الهنري حـ - بدون وحدة

مفاتيح الأجوبة النموذجية

ت	اختبار قبلي	اختبار ذاتي	اختبار بعدي
-1	تيارات	أكثر	حـ
-2	بممانعة العطب	ثلاثي الطور	حـ
-3	فولتية - تيار	نقصان	أ
-4	مقاومة	20	حـ

المصادر :

1- منظومة القدرة الكهربائية تأليف د . ضياء علي – طارق محمد أمين
2- أنظمة القدرة الكهربائية تأليف د . محمد فائق العزاوي

الأسبوع (22)

الموضوع : خطوات حساب تيار القصر - المفاعلات

الفئة المستهدفة : الصف الثاني/ قسم التقنيات الكهربائية.

الأفكار المركزية : تعليم الطلاب وتعريفه

- المفاعلات
- أنواع المفاعلات
- محاسن ومساوئ المفاعلات

الأهداف : تعريف الطالب بأهمية استخدام المفاعلات في الشبكات الحديثة ذو الفولتيات الفائقة للتقليل من مستوى تيار العطب إثناء حدوث الإعطاب.

الاختبار القبلي : Pre-test

املأ الفراغات التالية بالكلمات المناسبة :

1- الهدف من استخدام المتابعات هو تقليل _____ إثناء حدوث الإعطاب
2- عند استخدام لب حديدي للمفاعل تزداد المفاقيد بسبب _____ والتيارات _____
3- تربط مفاعلات المولدات على _____ مع المولدات
4- في مفاعلات المغذيات يوجد هبوط _____ ومفاقيد _____ عبر المفاعلات
5- عند ربط المفاعلات على القضبان العمومية لشحن بمفاعلات _____

اختبار الذاتي: Self Test

اجب بصح أو خطأ

1- تستخدم المفاعلات للتقليل من هبوط الفولتية أثناء الأعطال .
2- تستخدم المفاعلات على التوازي مع المولدات .
3- مفاعلات القضبان العمومية أفضل من مفاعلات المولدات .
4- مفاعلات القضيب الرابط (tie –bar) يستخدم قضيب عمومي أضافي .
5- استخدام المفاعلات يؤدي إلى تقليل مقننات قواطع الدورة إثناء العطب .

خطوات حساب تيار القصر:

Steps for short circuit current calculation

الخطوات التالية تسهل حل الاعطاب الثلاثية الطور.

1- يرسم التمثيل الاحادي للشبكة Single Line diagram موضحا عليه سعة وفولتية وممانعة جميع المولدات ، خطوط النقل ، المحولات والمفاعلات.

2- اعتماد على التمثيل الاحادي الطور. ترسم الممانعة الاحادية للخط (طور واحد- محايد) ونكتب قيم الممانعات بالنسب المئوية (على اساس KVA موحد) ويمكن اخذ الامور التالية بنظر الاعتبار.

a) اهمال مقاومة المولدات والمحولات اذا كانت قليلة وغير مؤثرة.

b) تمثيل المحولة بممانعة على التوالي.

c) عدم اهمال المقاومة في الخطوط الهوائية الطويلة او الكابلات لان قيمتها تكون مؤثرة عادة.

3- بعد رسم الممانعات ، تحسب الممانعة الكلية الى نقطة العطب.

4- يمكن بعد ذلك احتساب تيار القصر و(MVA) القصر للدائرة وكما يلي :

(A) عندما تكون الممانعات معطاة بالنسب المئوية من المعادلة (7.2) تيار القصر

$$I_{sh} = \frac{I \times 100}{\%\, X}$$

لذا فأن MVA القصر للدائرة

$$= \left(\frac{100}{\%\, X} \times \text{base MVA} \right)$$

ويمكن ايجاد تيار القصر (جـ . م . ت) (rms) بدلالة MVA القصر للدائرة والفولتية .

$$= \frac{\text{short circuit MVA} \times 10^3}{\text{Line to Line KV} \times \sqrt{3}} \text{ Amp.} \qquad \ldots(7.9)$$

(B) عندما تكون القيم معطاة بالاوم

تيار القصر (جـ . م . ت . rms)

$$= \frac{V}{\sqrt{3} \times X} \text{ Amp} \qquad \ldots(7.10)$$

MVA القصر للدائرة

$$= \frac{I_{sh} \times V \times \sqrt{3}}{10^6} \qquad \ldots(7.11)$$

في المعادلتين (7.10) و (7.11) الفولتية هي فولتية الخط .

مثال (1)

خط ثلاثي الطور (33KV) له مقاومة (5) اوم ومفاعله (20) اوم . ربط الى قضبا محطة توليد خلال محوله رافعه 5000KVA بممانعة 6% . في المحطة مولدتان احداهما بسه 10MVA وممانعة 10% والاخرى بسعة 5MVA وممانعة 7.5 . احسب KVA العطر حينما يحدث (أ) في نهايات الضغط العالي للمحولة (H.T) (ب) في جهة الحمل لخه النقل .

الحل :

نختار 510000KVA (KVA) اساس

مفاعلة المولدة A = 10 %

مفاعلة المولدة B =

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

مفاعلة المحولة

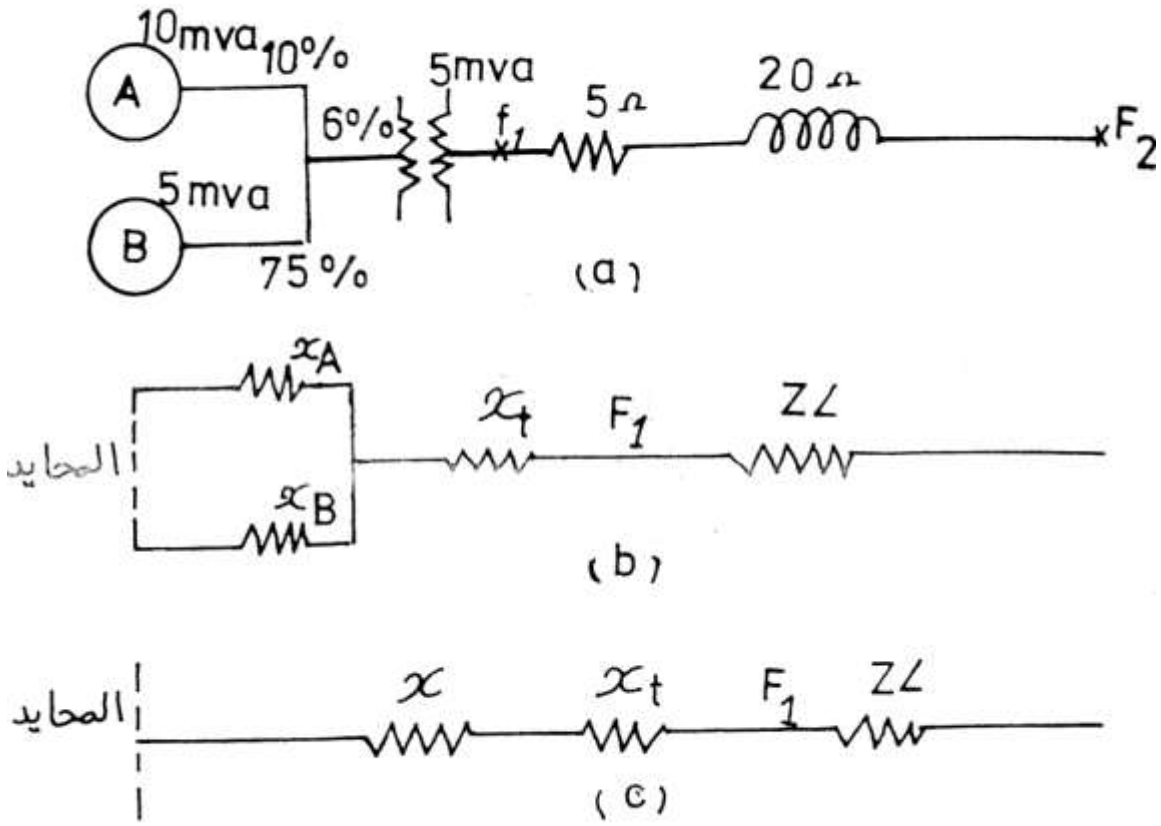
$$= \frac{6\% \times 10000}{5000} = 12\ \%$$

يمكن تحويل ممانعة الخط من الاوم الى النسبة المئوية بأستخدام المعادلة (7.4)

$$\%X = \frac{(KVA)X}{10(KV)^2} = \frac{10000}{10 \times (33)^2} \times 20 = 18.368\ \%$$

$$\%R = \frac{10000}{10 \times (33)^2} \times 5 = 4.592\ \%$$

يمكن رسم التمثيل الاحادي للممانعات اعتماداً على الشكل (7.3a) كما في الشكل (7.3b) وبأختصار الدائرة اكثر نحصل على الشكل (7.3c).



شكل (7.3)

(أ) في حالة حدوث عطب في اطراف الضغط العالي للمحولة.
الممانعة لحد العطب (F_1)

$$= \frac{15\% \times 10\%}{25\%} + 12\% = 18\%$$

∴ KVA قصر الدائرة الذي يغذي العطب

$$= 10000 \times \frac{100}{18} = 55560 \text{ KVA}$$

(ب) في حالة حدوث العطب في جهة الحمل (F_2)

المفاعلة الكلية الى نقطة العطب (F_2) $= 18 + 18.368 = 36.368\%$

المعانعة الكلية $= \sqrt{(4.592)^2 + (36.368)^2} = 36.68$

$\therefore$ القصر المغذي للعطب في F_2 KVA $= 10000 \times 100 / 36.68 = 27260$ KVA

مثال (2)

ربطت مولدتان متماثلتان تقنين كل منها 13.8 KV, 21000 KVA وبمانعة عابر 30% لكل منها الى خط خلال محولتين متماثلتين ايضاً تقنين كل منها 13.8/66 KV 7000 KVA وبمانعة 8.4 %. طول خط التوصيل بين المحطتين (50) ميل. كل موصل له ممانعة 0.848 اوم / ميل. اوجد تيار القصر لعطب ثلاثي الطور حدث على بعد (20) ميل عن المحطة (A) وكما موضح في الشكل (7.4a).

الحل :

التمثيل الاحادي للممانعات موضح في الشكل (7.4b)

نختار KVA اساس قيمته 21000 KVA

$\therefore$ $X_A = 30\%$ ويساوي X_B

اي

$X_A = X_B = 30\%$

ممانعة المحولة

$Xt_2 = Xt_1$

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

ممانعة الموصّل بالنسبة المئوية (20 ميل)

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

ممانعة الجزء الثاني (30 ميل)

$$\%X_2 = 8.175 \times \frac{30}{20} = 12.25\%$$

محصلة المانعة الكلية من المولدة (A) الى النقطة F

$$= 30 + 25{\cdot}2 + 8{\cdot}175 = 63{\cdot}375\%$$

محصلة المانعة الكلية من المولدة (B) الى نقطة العطب (F)

$$= 30 + 25{\cdot}2 + 12{\cdot}25 = 67{\cdot}45\%$$

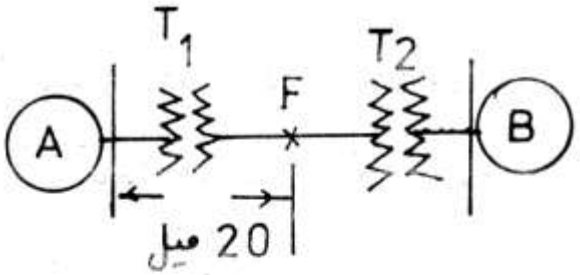
المانعة المكافئة لحد نقطة العطب (F)

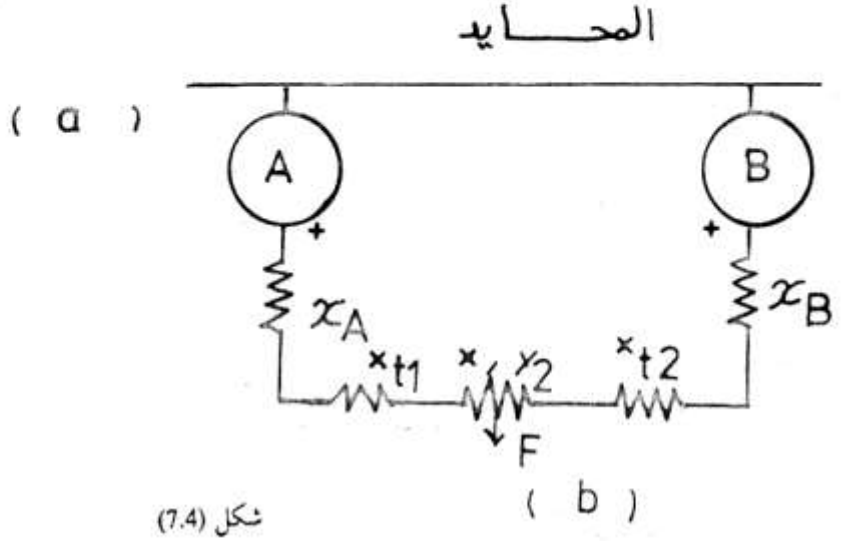
$$= \frac{63{\cdot}375 \times 67{\cdot}45}{(63{\cdot}375 + 67{\cdot}45)} = 32{\cdot}5\%$$

$$= \frac{21000}{32{\cdot}5} \times 100 \quad \text{القصر KVA}$$

تيار دائرة القصر

$$= \left(\frac{21000}{32{\cdot}5} \times 100 \right) \times \frac{1}{\sqrt{3} \times 66} = 565 \text{ Amp.}$$





شكل (7.4)

المفاعلات Reactors

تستخدم المفاعلات في شبكات التوليد الضخمة والهدف من استخدامها هو تقليل تيار القصر اثناء حدوث الاعطاب. تمتاز المفاعلات بمحاثة ذاتية عالية ومقاومة واطئة نسبياً، لذا فأن القدرة الضائعة في هذه المفاعلات تكون قليلة. تضاف مولدات ومغذيات جديدة على التوازي الى محطات التوليد القديمة لزيادة سعتها. ولكن اضافة هذه المولدات والمغذيات يؤدي الى زيادة مستوى تيارات العطب بسبب زيادة تقنين الـ (KVA) ونقصان المانعة الكلية للمنظومة لغرض حماية المحطات يصبح من الضروري تبديل اجهزة الحماية القديمة بأخرى ذات سعات اعلى، ولكن يمكن الابقاء على اجهزة الحماية القديمة بأستخدام المفاعلات. ويجب ان لاتقل مفاعلة المفاعل في حالات دوائر القصر. مفاقيد المفاعل هي I^2R.

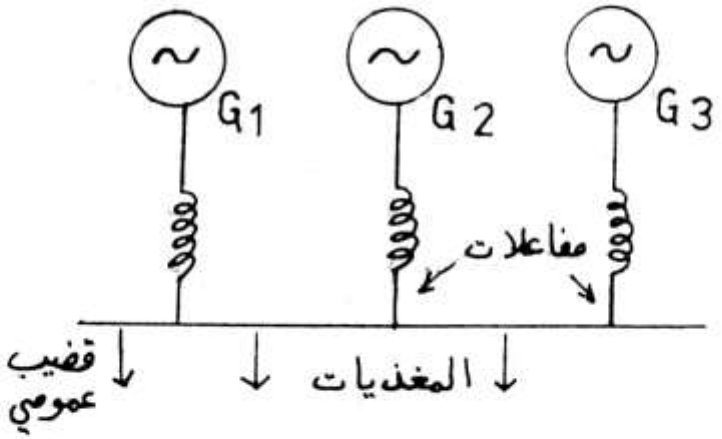
في حالة استخدام لب حديدي للمفاعل تزداد المفاقيد بسبب الهسترة والتيارات الدوامية في اللب الحديدي. تصل المفاقيد الكلية للمفاعل 5% من مقنن KVA المفاعل.

تحديد مواقع المفاعلات Methods of Locating Reactors

توضع المفاعلات في المواقع التي لاتحدث معها هبوط فولتية عالية عبره خلال حالات التشغيل الطبيعية ولكنها تحد من تيارات دوائر القصر وبذلك يحدد تيارات القطع التي تفصل بوساطة قواطع الدورة.

مفاعلات المولدة : Generator Reactor

تربط المفاغلات في هذا النوع على التوالي مع المولدات كما موضح بالشكل (7.5) تحتسب مفاعلة المفاعل كجزء من المانعة التسريبية للمولد بالرغم من ان الهدف هو حماية المولدة اثناء حالات القصر. ومن مساوئ هذا النوع (١) وجود فولتية ومفاقيد ثابتة على المفاعل اثناء فترات التشغيل الطبيعية (٢) عند حدوث عطب قريب من القضبان فأن فولتية المولدات بسبب الهبوط في المفاعلات تنخفض الى درجة كبيرة تؤدي الى فقدان التزامن في المولدات وبالتالي اطفاء الشبكة Shut down لذا فأن هذا النوع لايستخدم في محطات التوليد الحديثة، بل ان المانعة التسريبية للمولدات كافية لحمايتها.



شكل (٤-7)

مفاعلات المغذيات · Feeder Reactors

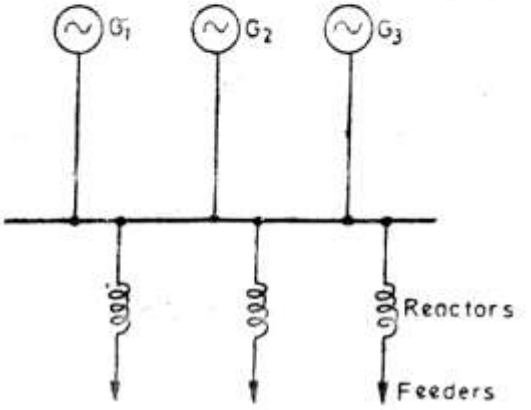
عندما تربط المفاعلات على التوالي مع المغذيات كما في الشكل (7.6) تسمى بمفاعلات المغذيات ، وبما ان لكل شبكة عدداً كبيراً من المغذيات فهذا يتطلب استخدام عدد كبير من المفاعلات . ومن محاسن هذا النوع .

١) عند حدوث عطب في اي مغذي ، فأن هبوط الفولتية في المفاعل لايؤثر على فولتية القضيب لذا فأن هناك احتمالاً ضئيلاً لفقدان التزامن loss of synchronisum .

٢) حدوث عطب في احد المغذيات لايؤثر على البقية اي ان الاعطاب لاتنتشر ولكن من مساوئها .

١) وجود هبوط فولتية ومفاقيد ثابتة عبر المفاعلات حتى في حالات التشغيل الطبيعية .

٢) عند زيادة عدد وحدات التوليد . فإن حجم مفاعلات المغذيات يجب ان يزداد . لإبقاء تيارات القصر ضمن مقننات قواطع الدورة العاملة .



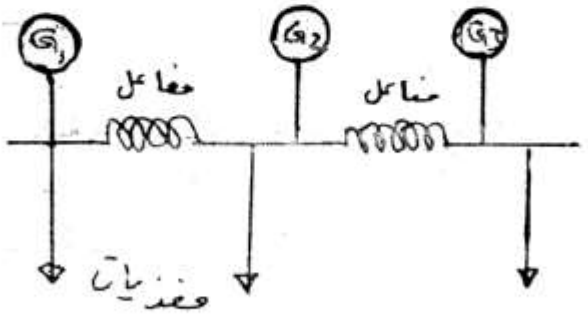
شكل (7.6) مفاعل المغذيات

٣ مفاعلات القضبان العمومية : Busbar Reactors

ذكرنا مساوئ وضع المفاعلات على التوالي مع المولدات والمغذيات وهي هبوط الفولتية ووجود مفاقيد ثابتة اثناء التشغيل الطبيعي. يمكن التغلب على هذه المساوئ بوضع المفاعلات في القضبان العمومية وهناك طريقتان هما النظام الحلقي (Ring System) والنظام الشدّاد (Tie – bar system)

أ) النظام الحلقي : Ring System

في هذا النظام يقسم القضيب الى عدة مقاطع ، تربط المقاطع المختلفة خلال مفاعلات كما في الشكل (7.7). كل مغذي يتغذى عادة من مولدة واحدة فقط وكل مولدة تغذي مقطعها الخاص بها. تنتج عن هذه الطريقة مفاقيد قدرة وهبوط فولتية اقل. من محاسن هذا النظام انه [illegible] عطب في اي مغذي ، هناك مولدة واحدة فقط تغذي العطب. اما التيارات الداخلة الى العطب من المولدات الاخرى فقليلة بسبب وجود المفاعلات. لذا فإن المقطع المغذي للعطب يتأثر فقط بينما تبقى بقية المقاطع مستمرة بالتجهيز والعمل.

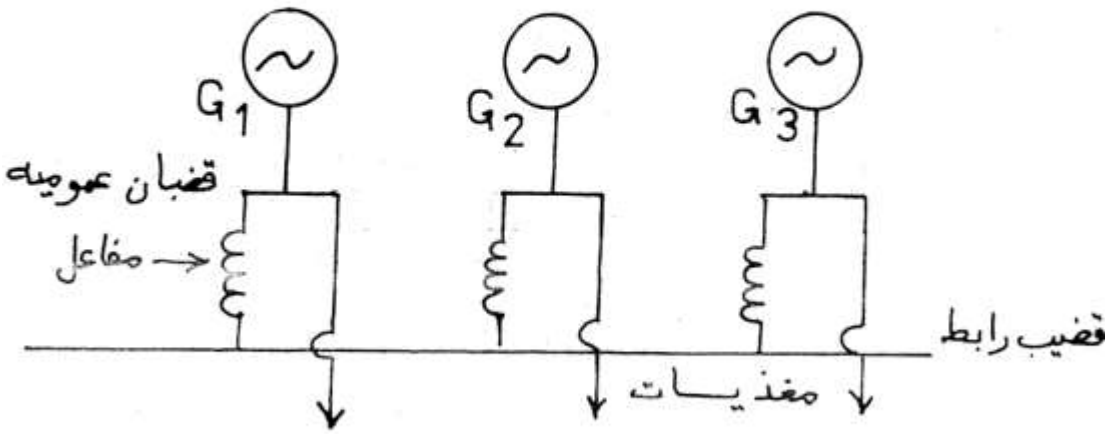


شكل (7.7)
مفاعل القضبان العمومية الحلقي

ب) النظام الشداد : Tie – Bar Systems

يتضح النظام الشّداد من الشكل (7.8) وبمقارنته مع النظام الحلقي. توجد في النظام الشداد مفاعلتان موثرتان على التوالي بين المقاطع ، لذا فإن المفاعلات لها

قيمة المفاعلة المستخدمة في النظام الحلقي نفسها ومن محاسنها ايضاً امكانية اضافة مولدات جديدة للشبكة دون تغيير الممانعات الموجودة. ولكن من مساوئ هذا النظام استخدام قضيب عمومي آخر اي القضيب الرابط (Tie – bar)



شكل (7.8)
«مفاعل ذو قضيب شداده»

مثال (1) :

مولد ثلاثي الطور 20MVA,10KV ذو ممانعة داخلية 5% ومقاومة مهملة اوجد المفاعلة الخارجية (مفاعلة المفاعل) / طور والتي يجب ان تربط على التوالي مع المولد لكي لايزيد تيار الحالة المستقرة للقصر على (8) مرات التيار الحملي الكلي.

الحل :

$$I_{f.l.} = \frac{MVA}{\sqrt{3} \times KV} = \frac{20 \times 10^6}{\sqrt{3} \times 10 \times 10^3} = 1154{\cdot}7 \text{ Amp.}$$

فولتية الطور $= \dfrac{10 \times 10^3}{\sqrt{3}}$

بما أن تيار القصر $(I_{sh}) = 8$ مرات تيار الحمل الكلي

$$I_{sh} = I \times \frac{100}{X\%}$$

$$\therefore 8 \times I = I \times \frac{100}{X\%}$$

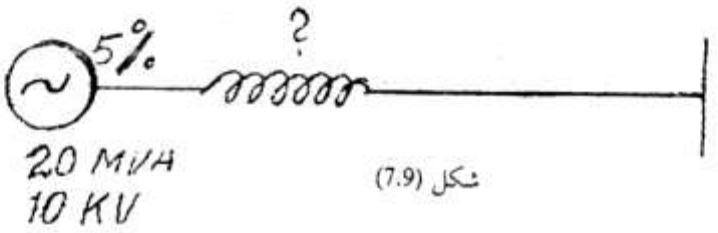
$$X\% = \frac{100}{8} = 12{\cdot}5\%$$

∴ المفاعلة الخارجة اللازمة

$$= 12{\cdot}5\% - 5\% = 7{\cdot}5\%$$

$$\%X = \frac{(KVA)X}{10(KV)^2} \qquad \therefore 7{\cdot}5\% = \frac{20 \times 10^3 X}{10(10)^2}$$

$$X = 0{\cdot}375\ \Omega$$



شكل (7.9)

مثال (2) :

ربط مقطعان من القضبان B,A من خلال مفاعل ذي تقنين 5MVA وممانعة 10% توجد على المقطع A من القضبان مولدتان سعة كل منها 10MVA وممانعة 10% . وعلى المقطع B مولدتان ايضاً سعة كل منها 8MVA والممانعة 12% . اوجد MVA القصر للحالة المستقرة لدائرة قصر بين اطوار القضيب B مع وجود المفاعل .

الحل :

يمثل الشكل (7.10a) التمثيل الاحادي للمنظومة .

نختار MVA اساس قيمته 10MVA .

٪ لممانعة المولدة 2,1 على (MVA) الأساس

$$= 10 \times \frac{10MVA}{10MVA} = 10\%$$

٪ ممانعة المولدتين 4,3 على (MVA) الأساس

$$= 12 \times \frac{10MVA}{8MVA} = 15\%$$

٪ مفاعلة المفاعل على (MVA) الأساس

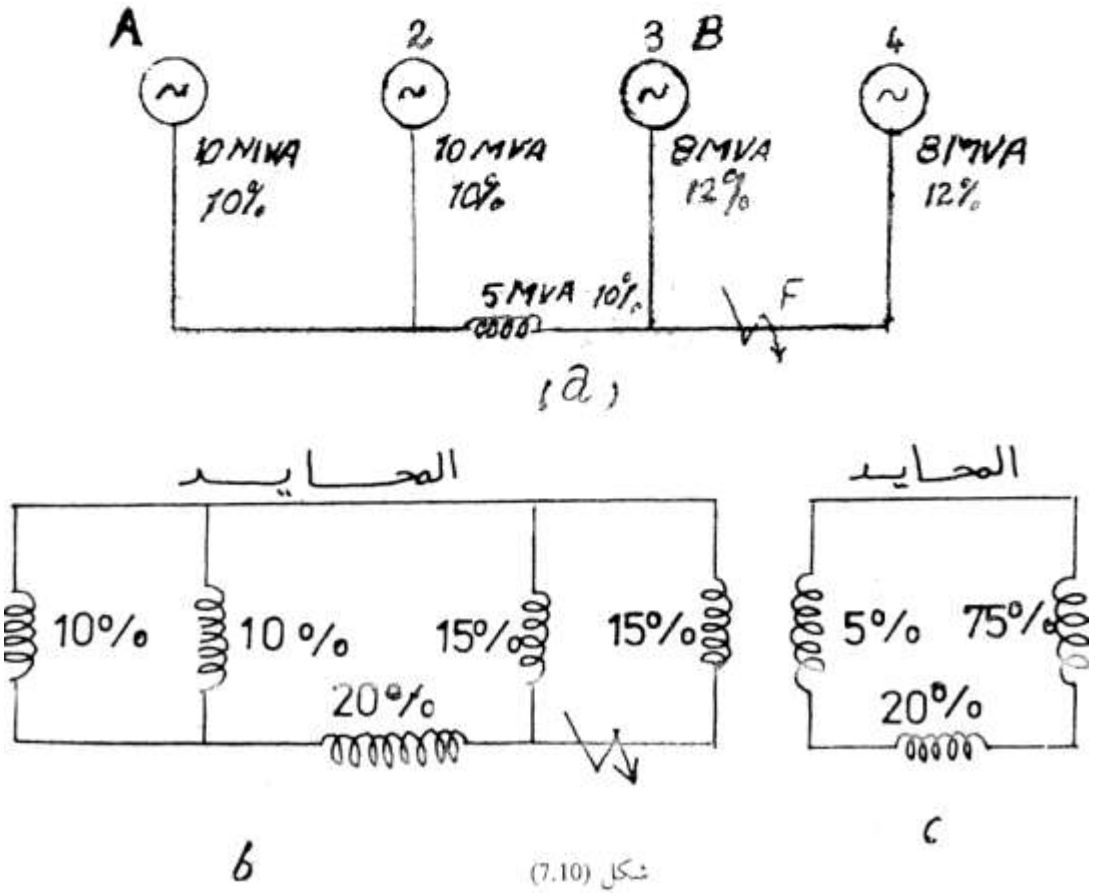
$$= 10 \times \frac{10}{5} = 20\%$$

والآن نرسم التمثيل الاحادي للممانعات في الشكل (7.10b)
وقد اختصرت الدائرة اكثر كما في الشكل (7.10c)
الممانعة الكلية من محايد المولدة الى نقطة العطب F

$$= \frac{(5\% + 20\%) \times 7{\cdot}5}{32{\cdot}5} = 5{\cdot}77\%$$

العطب KVA

$$= 10000 \times \frac{100}{5{\cdot}77} = 173310 \text{ KVA} = 173{\cdot}31 \text{ MVA}$$



شكل (7.10)

مثال (3) :

محطة توليد ذات ثلاثة مقاطع موضحة بالشكل (7.11) ربطت بقضيب رابط خلال مفاعلات مفاعلة كل واحدة 6% وبتقنين 5MVA. ربطت ثلاثة مولدات على القضبان، سعة كل مولدة 5MVA وبمانعة 12%. اوجد MVA العطب عند حدوث عطب على (أ) المقطع (3) بوجود المفاعل (ب) بعدم وجود المفاعل.

الحل :

يبين الشكل (7.11a) التمثيل الاحادي للمنظومة.

نفرض أن MVA الأساس = 5MVA.

(أ) بوجود المفاعل :

التمثيل الاحادي للممانعات موضح بالشكل (7.11b) مؤشر عليه موقع العطب.

الممانعة المكافئة للفرعين AG و BG

$$= \frac{18\%}{2} = 9\%$$

ويمكن اختصار الدائرة اكثر كما في الشكل (7.11 c)

∴ الممانعة الكلية من محايد المولدة الى نقطة العطب (F)

$$= \frac{15 \times 12}{27} = 6{\cdot}67\%$$

∴ MVA العطب

$$= \frac{5 \times 100}{6{\cdot}67} = 74{\cdot}962 \text{ MVA}$$

(ب) بدون مفاعل :

الممانعة المكافئة للفرعين AG و BG

$$= \frac{12\%}{2} = 6\%$$

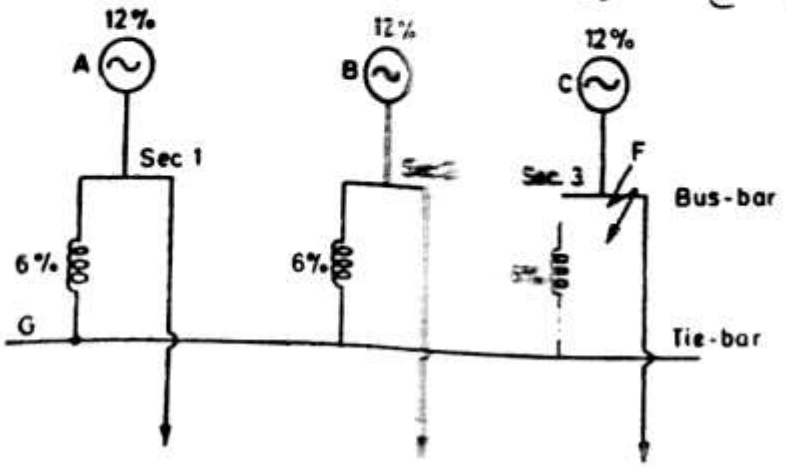
الممانعة الكلية من محايد المولدة الى نقطة العطب (F)

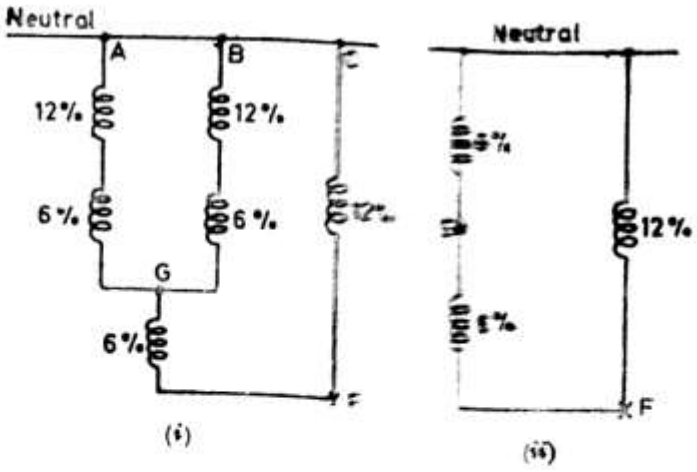
$$= \frac{6 \times 12}{18} = 4\%$$

MVA العطب

$$= \frac{5 \times 100}{4} = 125 \text{ MVA}$$

يبدو من النتائج ان مستوى MVA العطب على يكثير عندما تكون الشبكة بدون مفاعل .

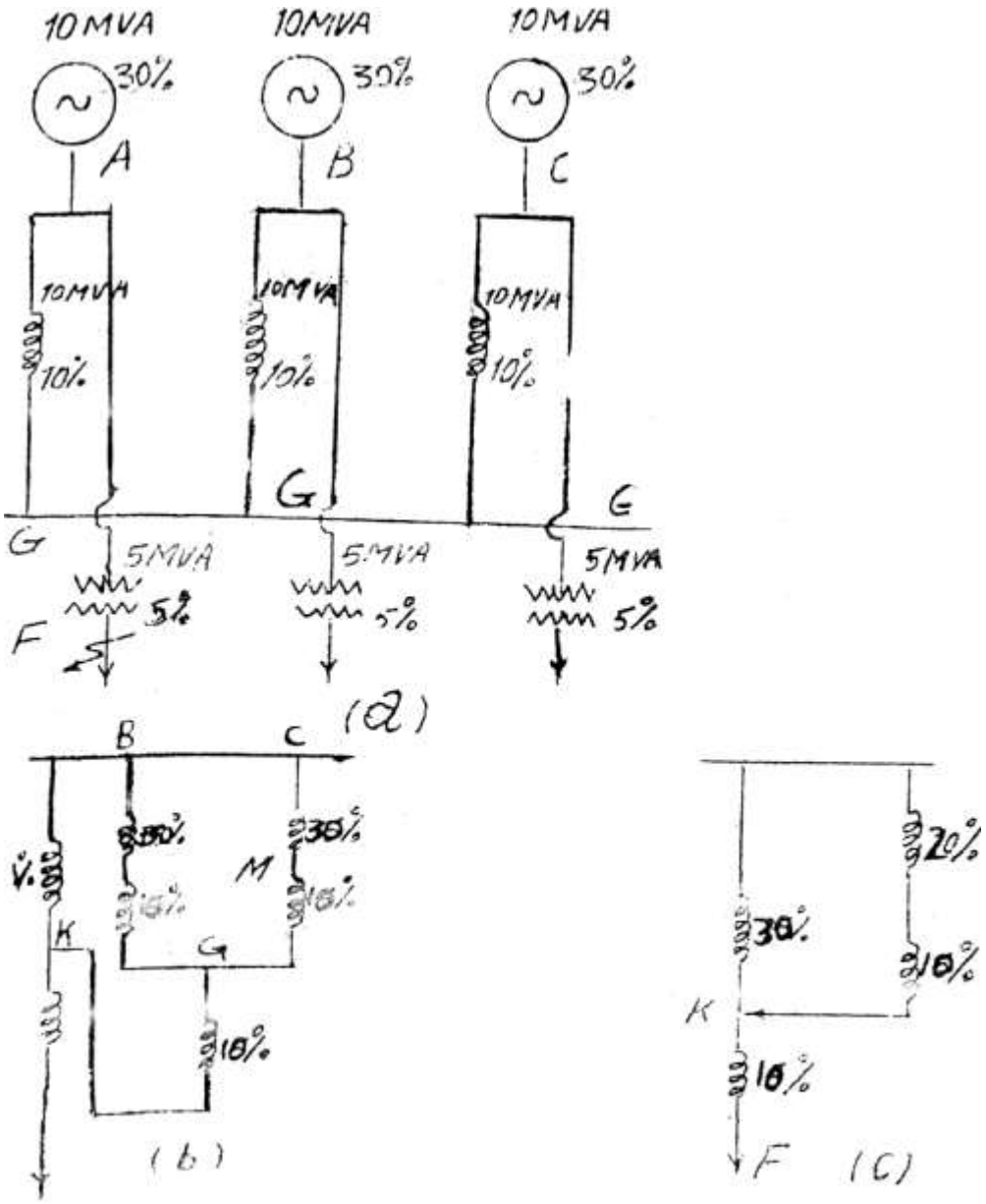




شكل

مثال (4) :

يوضح الشكل (7.12a) محطة توليد مقننات الأجهزة والنسب المئوية للممانعات موضحة على الشكل . اوجد التيار العطب لدائرة قصر ثلاثية الطور تحدث على اطراف الثانوي لمحولة كما موضح في الشكل


10 MVA
10MVA
10 MVA
30%
A
B
C
10MVA
10%
G
G
G
5MVA
5%
F
(a)
B
C
30%
M
K
G
10%
(b)
20%
30%
10%
K
10%
F
(c)

شكل (7.12)

الحل :

يبين الشكل (7.12a) التمثيل الاحادي للمنظومة .

نفرض ان MVA الأساس = 10MVA

النسبة المئوية لمانعات المولدات تبقى ثابتة = 30%

النسبة المئوية لمفاعلة المفاعلات تبقى ثابتة ايضاً = 10%

النسبة المئوية لمانعة المحولات

$$= 5\% \times \frac{10}{5} = 10\%$$

عندما تحدث دائرة قصر ثلاثية الطور في نقطة (F) على المغذي بالقرب من ثانوي المحولة فإن مخطط المانعات سيكون كما موضح في الشكل (7.12b) ويمكن اختصار الدائرة اكثر. لاحظ الشكل (7.12c)

المانعة الكلية للفرعين BG ، CG

$$= 40 / 2 = 20\%$$

$$20 + 10 = 30\% \; ; \; \frac{30 \times 30}{60} = 15\%$$

المانعة الكلية

$$= 15\% + 10\% = 25\%$$

$$\text{MVA العطب} = 100 \times \frac{\text{MVA الأساس}}{X\%}$$

$$= 10 \times \frac{100}{25} = 40 \text{ MVA}$$

الاختبار ألبعدى : Post Test

اختر الإجابة الصحيحة

1- حدوث قصر(عطب) على الشبكة يعني

أ- زيادة التيار ب- زيادة الممانعة جـ - زيادة الفولتية

2- يستخدم المفاعلات في الشبكة

أ- لزيادة الفولتية ب- نقصان الممانعة جـ - لتقليل تيار القصر

3- مفاعلات القضبان العمومية تربط

أ- على التوالي مع المحولات ب- على التوالي مع المغذيات جـ - بين القضبان العمومي

4- تمتاز المفاعلات

أ- بمقاومة عالية ب- بمحاثة عالية جـ - بمحاثة عالية ومقاومة واطئة

مفاتيح الأجوبة النموذجية :

ت	اختبار قبلي	اختبار ذاتي	اختبار بعدي
1	تيار القصر	خطأ	أ
2	الهسترة – الدوامية	خطأ	جـ
3	التوالي	صح	جـ
4	فولتية - ثابتة	صح	جـ
5	القضبان العمومية	صح	

المصادر :

1- منظومة القدرة الكهربائية تأليف د . ضياء علي – طارق محمد أمين

2- أنظمة القدرة الكهربائية تأليف د . محمد فائق العزاوي

الأسبوع (23)

الموضوع : الحمل ومنحني الحمل load & load curve

الفئة المستهدفة : الصف الثاني/ قسم التقنيات الكهربائية.

الفئة المستهدفة : صف ثاني – قسم التقنيات الكهربائية – فرعي الشبكات والقوى

الأفكار المركزية : يتعلم الطالب:

1- ما المقصود بالحمل الكهربائي .
2- أنواع الأحمال .
3- منحني الحمل .
4- عامل الحمل – السنوي – الشهري – اليومي .

الأهداف : تعليم الطالب وتعريفه بعد الانتهاء من المحاضرة :

- معرفة حساب الحمل وعامل الحمل .
- كيفية حساب معامل الحمل على المحطة .
- أهمية دراسة الأحمال لوضع الخطط لتوفير الطاقة اللازمة من المحطات ومصادر الطاقة.

الاختبار القبلي : Pre-test

أجب بصح أو خطأ :

1- تتولد الطاقة الكهربائية في محطات التوليد.
2- يجب أن لايزيد هبوط الفولتية في شبكات التوزيع عن 6%.
3- تردد الكهرباء في العراق 60 Hz.
4- فولتية الاستهلاك المنزلي 127 VOLT طور واحدٌ .
5- يزداد الطلب على الكهرباء في العراق صيفاً.

الاختبار الذاتي : Self Test

أملأ الفراغات التالية بالكلمات المناسبة:

1- فولتية شبكات التوزيع في الاحياء السكنية ـــــــ كيلو فولت .
2- اعلى فولتية نقل ضغط فائق في العراق Kv ـــــــ.
3- معظم شبكات التوزيع هي ـــــــ الطور.
4- يعرف عامل الحمل بأنه متوسط الطلب إلى ـــــــ.
5- ذروة الحمل التجاري يكون في الفترة بين الساعة ـــــــ .
إلى الساعة ـــــــ نهاراً.

الحمل ومنحني الحمل

Load & Load Curve

مقدمة :

تتولد الطاقة الكهربائية بكميات هائلة من محطات التوليد المختلفة (البخارية ، المائية ، النووية ... الخ) .

وتكون هذه المحطات بعيدة عن مراكز الاحمال ، مما يتطلب عملية نقلها وتوزيعها الى شبكات كبيرة ، وتكاليف باهضة .

يمكن تقسيم شبكات الكهرباء الى نوعين رئيسيين هما شبكات النقل وشبكات التوزيع وتقسم هذه الشبكات بدورها الى قسمين ايضاً هما الابتدائي والثانوي : تنقل شبكات التوزيع كميات كبيرة من الكهرباء من محطات الارسال (التوليد) الى محطات الاستلام (التوزيع) دون تغذية اي مستهلك . بينما تجهز شبكات التوزيع المستهلكين ، وعلى مسافات قصيرة من طول الشبكة .

تخضع شبكات التوزيع الى قيود قانونية وهي أن فولتية التوزيع يجب أن لاتتغير اكثر من (±6%) من الفولتية المقننة . بينما لاتخضع شبكات النقل الى مثل هذه القيود ، وقد تتغير فولتية النقل بحدود (10%) وتصل احياناً الى (15%) من الفولتية المقننة .

ويسمى نظام النقل لمقاطعه معينة بالشبكة (grid) ، تربط الشبكات المختلفة بوساطة خطوط التوصيل لتكون مايسمى بالشبكات الاقليمية . كما تربط الشبكات الاقليمية مع بعضها لتكون الشبكات الدولية . وتعمل كل شبكة بصورة منفصلة عن الاخرى . ولكن يمكن نقل القدرة من شبكة الى اخرى من خلال خطوط التوصيل في حالة اخفاق احدى محطات التوليد او زيادة الحمل في شبكة ما .

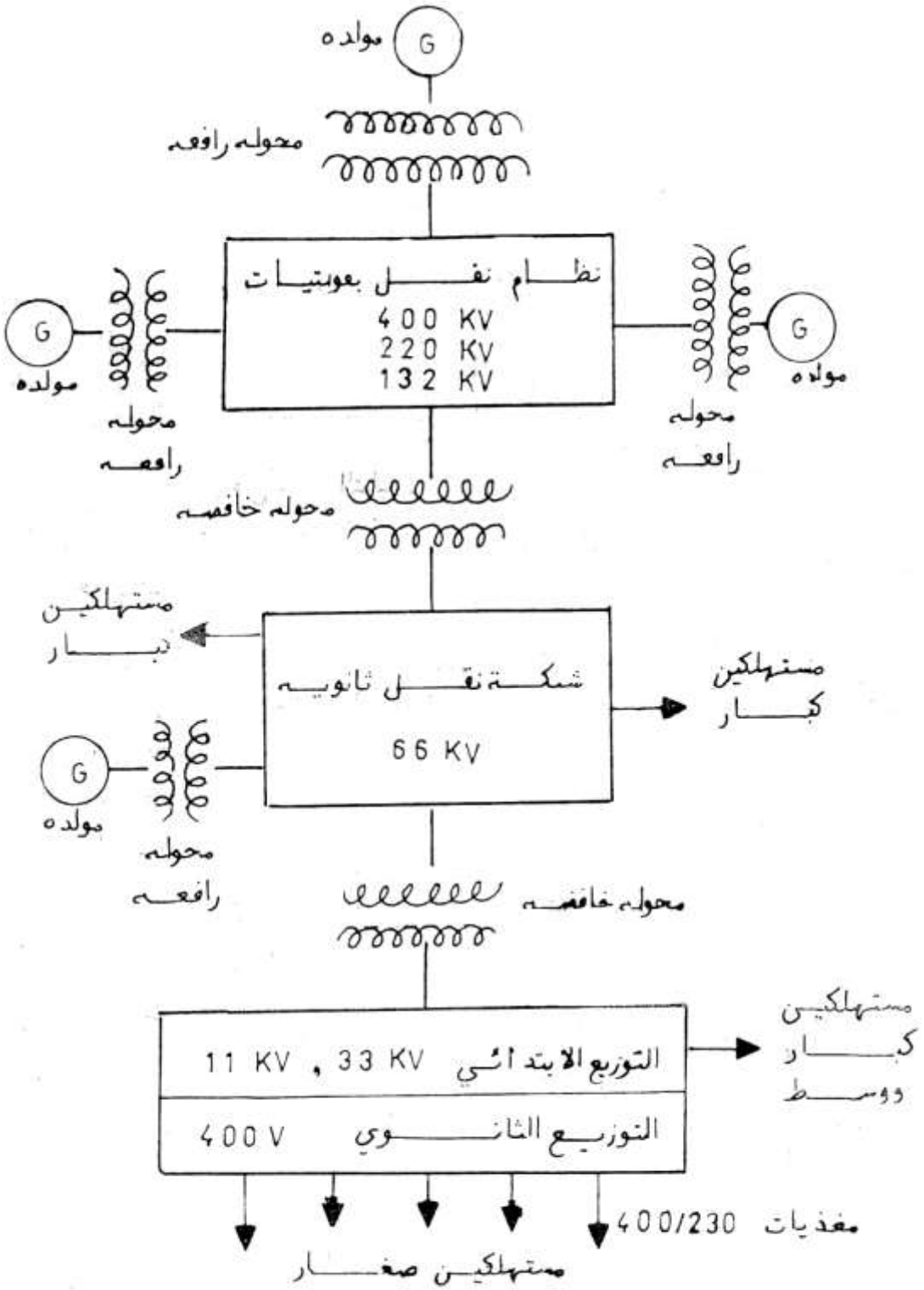
ان فولتيات التوليد في كثير من الدول المتقدمة هي (33) كيلوفولت . واذا تم نقل القدره بهذه الفولتيات فإن مفاقيد القدرة خلال شبكات النقل والتوزيع تكون عالية جداً . لذا فإن فولتيات التوليد ترفع في المحطات الثانوية ، بواسطة محولات رفع الفولتية step – up – Transformer وتصل الى 110 ، 132 ، 220 ، 400 كيلو فولت ويعاد خفض هذه الفولتيات ثانية من محطات الاستلام الى قيم 11 ، 33 ، 66 كيلو فولت .

يوضح الشكل (1.1) شبكة كهربائية نموذجية ، ولكن ليس بالضروري ان تكون لجميع الشبكات الأجزاء الموضحة في الشكل .

تحتاج دوائر الطور الواحد الى سلكين ، بينما تحتاج دوائر ثلاثية الطور الى ثلاثة اسلاك . الا ان القدرة المنقولة بالدوائر الثلاثية الطور هي ثلاثة اضعاف القدرة المنقولة بدوائر الطور الواحد ولنفس حجم الموصلات .

لذا فإن الشبكات الثلاثية الطور اكثر اقتصادية من الشبكات ذات الطور الواحد بالنسبة للكلفة الابتدائية وكذلك المفقودات . وعليه فإن جميع شبكات النقل والتوزيع ثلاثية الطور . غالباً ماتكون شبكات النقل متوازنة ، فلا تحتاج الى سلك محايد . وتكون معظم خطوط النقل والمغذيات دوائر ثلاثية الطور ثلاثة السلك .

ان التردد القياسي لمعظم البلدان ومنها العراق هو (50) هيرتز . يمثل في هذا الكتاب جميع الدوائر الثلاثية الطور والشبكات بالمخطط الأحادي او (المفرد) Single line diagram .



شكل (1-1)
شبكة قدرة كهربائية نموذجية

تعاريف عامة :

الحمل المربوط : Connected load

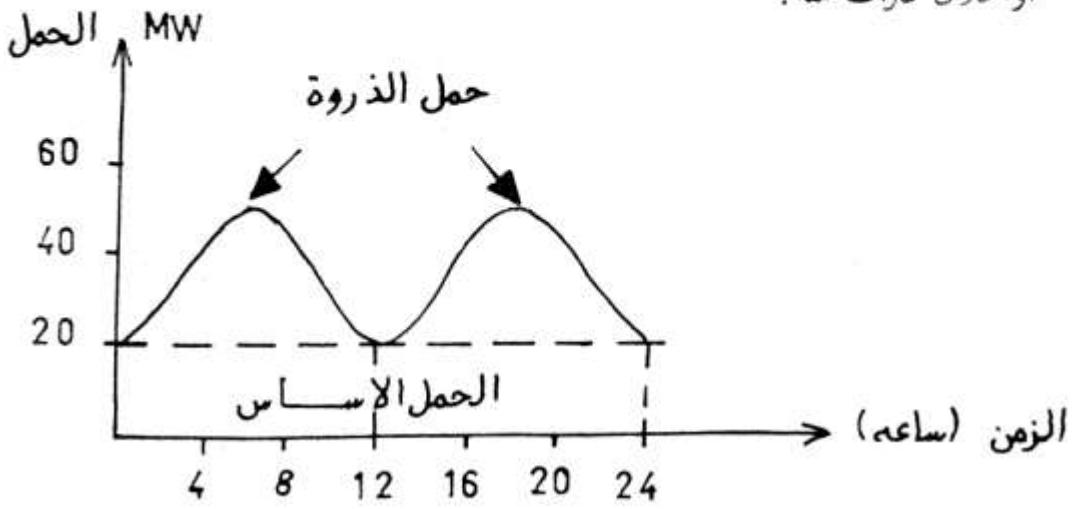
نقصد بالحمل المربوط ، مجموع مقننات القدرة المستمرة لجميع الأجهزة المربوطة على نظام التجهيز. تجهز محطات التوليد آلاف المستهلكين. وكل مستهلك له عدد معين من الأجهزة المستخدمة. فعلى سبيل المثال اذا كان لمستهلك (5) مصابيح بسعة (100) واط لكل واحد وماخذ سعة (500) واط فإن الحمل المربوط للمستهلك يصل ($5 \times 100 + 500 = 1000W$). ان مجموع الاحمال المربوطة لجميع المستهلكين تمثل الحمل الكلي المربوط على محطة التوليد.

الحمل الأساس : Base load

نقصد بالحمل الاساسي ، الذي يبقى ثابتاً ولا يتغير طوال الليل والنهار وبالرجوع الى الشكل (1.2) يتبين ان الحمل 20 MW هو حمل اساس لأن المحطة تجهز به طوال الليل والنهار (اي خلال ٢٤ ساعة).

حمل الذروة : Peak load

يمثل النهايات العظمى على المنحني (1.2) والتي تقع اعلى الحمل الاساس للمحطة بأقصى حمل وتكون هذه الطلبيات جزءا من الحمل الكلي والذي ربما يحدث طوال النهار او خلال فترات منه.



شكل (1.2) منحني الحمل

متوسط الطلب : **Average Demand**

نعني بمتوسط الطلب لمنشأة مامتوسط القدرة المطلوبة خلال فترة زمنية معينة مثل يوم او شهر او سنة ، ونحصل على متوسط القدرة اليومي أو متوسط القدرة الشهري او المتوسط السنوي للقدرة .

من الواضح ، ان متوسط طلب القدرة لمنشأة خلال فترة معينة ، يمكن كتابته على الوجه التالي ..

$$\text{متوسط طلب القدرة} = \frac{\text{القدرة المستهلكة خلال فترة معينة (KWH)}}{\text{عدد الساعات خلال الفترة}} \qquad (1.1)$$

اقصى طلب : **Maximum Demand**

نعني بأقصى طلب لمنشأة ما ، بأنه اعلى طلب يحدث ضمن فترة زمنية معينة . الشكل (1.3) يوضح حمل على مدى (5) ساعات ، اقصى طلب يحدث في فترة الـ (30) دقيقة الواقعة بين الساعة 8.30 – 9 مساءاً ، وضمن المدى المؤشر (AB) وقد تم احتساب هذه القيمة فوجد انها KWH (300) .

بعد القاء نظرة سريعة للمنحني (1.3) يتضح ان متوسط الحمل في هذه الفترة اكثر من بقية الفترات . وقد تم ايجاد متوسط الحمل في هذه الفترة بتقسيم المسافة AB الى خمسة اقسام وايجاد المتوسط الحسابي ، ويمكن الحصول على نتائج ادق اذا جزئت المسافة الى اجزاء اكثر. كما نلاحظ ان اقصى طلب يصل الى (350 KWH) اذا احتسب المتوسط على مدى (15) دقيقة . لذا فإن اقصى طلب لفترة (15) دقيقة هي اكثر من اقصى طلب لفترة (30) دقيقة وتحدث بين الاحداثيين (MN) على المنحني ، بل ان اقصى

طلب لفترة (دقيقة واحدة) لايزال قيمته اكثر ويحدث عند نقطة قريبة من (M) لذا نستنتج من المناقشة اعلاه ، ان كلمة اقصى طلب لايعني شيئاً معيناً ولمعرفته يجب ان تحدد الامور التالية ..

أ- بيان الفترة المطلوب ايجاد اقصى حمل فيها .
ب- بيان الفترة الزمنية التي يتم على اساسها احتساب اقصى طلب مثال (١٥ ، ٣٠ دقيقة .... الخ) .
جـ- الطريقة المستخدمة لايجاد متوسط الطلب خلال هذه الفترة .

عامل الطلب : demand Factor

يعرف عامل الطلب بأنه النسبة بين اقصى طلب حقيقي الى مقنن الاحمال المربوطة .

$$\text{اي عامل الطلب (D.f)} = \frac{\text{اقصى طلب}}{\text{مقنن الحمل المربوط}} \quad \ldots\ldots\ldots (1.2)$$

ان فكرة عامل الطلب جاءت من حقيقة ان اقصى طلب (KW) لمجموعة اجهزة كهربائية عادة تكون اقل من مجموع مقننات اوسعات هذه الأجهزة (KW,KVA) وهذا يرجع الى سببين هما .

أ- اختيار الاجهزة الكهربائية بسعات اعلى من المقننة لكي تتحمل حالات التحميل الاضافية .
ب- عدم تشغيل جميع الأجهزة المربوطة بالحمل الكامل في آن واحد .

ويمكن ايجاد عامل الطلب لأي منشأ في حالة توفر معلومات عن اقصى طلب والحمل المربوط .

مثال (1) :

اوجد عامل الطلب (D.f) لمغذي يجهز الاحمال التالية ، 3 مصابيح 100 واط ، 10 مصابيح 40 واط ، 5 مصابيح 60 واط ، على فرض ان اقصى طلب لفترة (30) دقيقة هو (650) واط .

الحل :

$$\text{عامل الطلب D.f} = \frac{\text{اقصى طلب}}{\text{مجموع الاحمال المربوطة}}$$

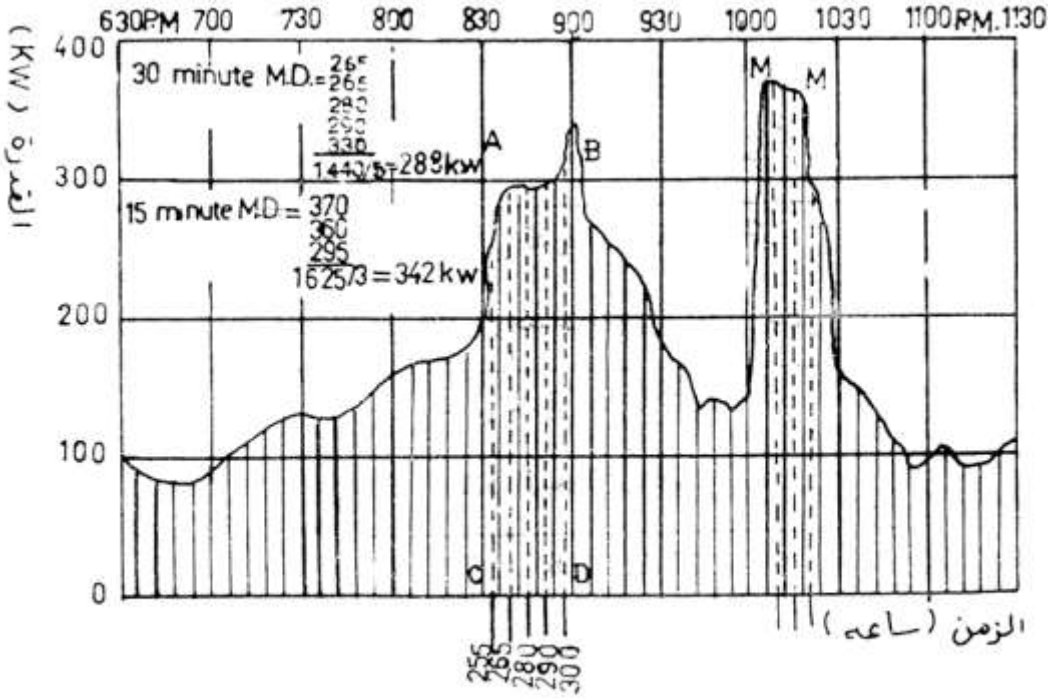
مجموع الاحمال

$$= 3 \times 100 + 10 \times 40 + 5 \times 60 = 1000 \text{ W}$$

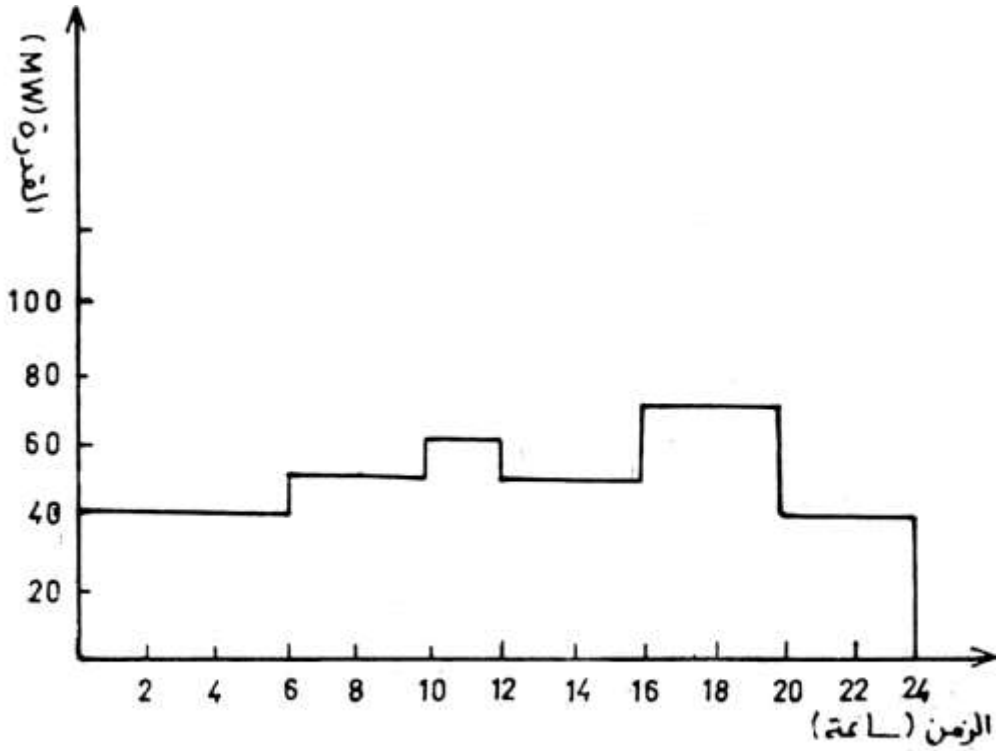
$$\therefore \text{عامل الطلب} = \frac{650}{1000} = 0.65 = 65\ \%$$

عامل الحمل : Load Factor

يعرف عامل الحمل بأنه النسبة بين متوسط القدرة الى اقصى طلب . ان من الضروري معرفة الفترة الزمنية التي يتم فيها احتساب اقصى طلب ومتوسط القدرة بدقة فمثلاً اذا احتسب اقصى طلب لمدة (30) دقيقة ، ومتوسط القدرة على مدى شهر، فيكون عامل القدرة ($\frac{1}{2}$ ساعة – شهري) .



شكل (1.3)



شكل (1.4)

يعبر عن عامل الحمل بالنسب المئوية عادة ، ان متوسط القدرة اما أن تكون مولدة أو مستهلكة تبعاً لعامل الحمل المطلوب لأجهزة التوليد أو الاستهلاك.

$$\text{عامل الحمل السنوي} = \frac{\text{متوسط عدد الوحدات المجهزة فعليا / سنة}}{\text{اقصى قدرة مطلوبة} \times 8760} \quad (1.3)$$

$$\text{عامل الحمل الشهري} = \frac{\text{عدد الوحدات المجهزة فعلياً/ شهر}}{\text{اقصى قدرة مطلوبة} \times 24 \times 30} \quad (1.4)$$

$$\text{عامل الحمل اليومي} = \frac{\text{عدد الوحدات المجهزة / يوم}}{\text{اقصى قدرة مطلوبة} \times 24} \quad (1.5)$$

$$\text{عموماً عامل الحمل} = \frac{\text{متوسط الطلب}}{\text{اقصى طلب}} \quad (1.6)$$

مثال (2) :

محطة توليد ربط عليها حمل قيمته 43MW واقصى طلب 20MW ، وعدد وحدات التوليد / سنة = 61.5×10^6 احسب (أ) عامل الطلب (D.f) (ب) عامل الحمل (L.f) .

الحل :

$$\text{عامل الطلب (D.f)} = \frac{\text{اقصى طلب}}{\text{الحمل المربوط}} = \frac{20}{43} = 0.465$$

$$\text{عامل الحمل السنوى} = \frac{\text{عدد الوحدات المجهزة /}}{\text{اقصى طلب} \times 8760}$$

$$= \frac{61.5 \times 10^6}{20 \times 10^3 \times 8760} = 0.351 = 35.1\ \%$$

مثال (3) :

محطة توليد بسعة (100MW) تجهز 100MW لفترة 2 ساعة ، 50MW لفترة (6) ساعات وتبقى بدون توليد لبقية النهار. كما انها لاتعمل (45) يوم سنوياً لاغراض الصيانة . احسب عامل الحمل السنوي .

الحل :

عدد الوحدات المجهزة فعلياً/ يوم

$$\text{يوم /} \quad = 2 \times 100 + 6 \times 50 = 500\ \text{MWh}$$

عدد الوحدات المجهزة فعلياً/ سنة

$$= 500 \times (365 - 45) = 160{,}000\ \text{MWh}$$

$$\therefore \text{عامل الحمل السنوي} = \frac{\text{عدد الوحدات المجهزة فعلياً/ سنة}}{\text{اقصى طلب} \times 8760}$$

$$= \frac{160{,}000}{8760 \times 100} \times 100 = 20.8\ \%$$

مثال (4) :

محطة توليد لها دورة حمل يومي كما يلي..

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

ارسم منحني الحمل وأوجد (أ) اقصى طلب (ب) عدد وحدات التوليد/ يوم (جـ) معدل الحمل (د) عامل الحمل.

الحل :

رسم منحني الحمل كما في الشكل (1.4) حيث يمثل المحور السيني (عدد الساعات) والمحور الصادي يمثل الحمل.

(أ) من الواضح ان اقصى طلب هو (70) ميكاواط ويحدث في الفترة (20 – 16) ساعة كما في الشكل (1.4).

∴ أقصى طلب = 70MW

(ب) وحدات التوليد/ يوم = المساحة (KWh) تحت منحني الحمل.

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

$$= 12 \times 10^5 \text{ KWh}$$

(جـ) معدل الحمل = $\dfrac{\text{وحدات التوليد/ يوم}}{\text{24 ساعة}}$

$$= \frac{12 \times 10^5}{24} = 50{,}000 \text{ KW}$$

(د) عامل الحمل = $\dfrac{\text{معدل الحمل}}{\text{اقصى طلب}}$

$$= \frac{50000}{70000} = 0{\cdot}714 = 71{\cdot}4\ \%$$

الاختبار ألبعدي : Post Test

اختر الإجابة الصحيحة :

1. ينقل الكهرباء بفولتيات عالية:

ا- لزيادة المفاقيد ب- لتقليل التيار جـ - لزيادة التيار

2- هبوط الفولتية في الموزعات :

أ – جيد ب- سيئ جـ - لايؤثر

3- شبكات التوزيع معظمها:

أ – خطوط هوائية ب - قابلوات أرضية جـ - هوائي وقابلوات

4- منحني الحمل السنوي يعطي معلومات عن:

ا – مدى تغير الحمل على الشبكة ب- تغير التردد جـ تغير الفولتية

مفاتيح أجوبة الاختيارات :

ت	الاختبار القبلي	الاختبار الذاتي	الاختبار ألبعدي
1	صح	11 Kv	ب
2	صح	400 Kv	ب
3	خطأ	ثلاثي	جـ
4	خطأ	أقصى طلب	أ
5	صح	8 - 8	

المصادر :

1- منظومة القدرة الكهربائية تأليف د . ضياء علي – طارق محمد أمين

2- أنظمة القدرة الكهربائية تأليف د . محمد فائق العزاوي

الأسبوع (24)

الموضوع :اجهزة الحماية (الوقاية) protection device

الفئة المستهدفة : الصف الثاني/ قسم التقنيات الكهربائية.

الأفكار المركزية : يتعلم الطالب :

1. مبدأ الحماية.
2. أنواع أجهزة الحماية .
3. متى تبدأ الحماية.
4. خصائص أجهزة الحماية .

الأهداف : يتعلم الطالب وظيفة أجهزة الحماية المختلفة :

1. المصهرات ابسط صور الحماية .
2. محولات الحماية لتحسس الكميات الكهربائية .
3. المرحلات (المتابعات) تقرر متى يبدأ العطب .
4. قواطع الدورة تقوم بفصل الجزء المعطوب من الجزء السليم .

الاختبار القبلي : Pre-test

اجب بصح أو خطأ :

1. يجب أن تمتاز أجهزة الحماية بحساسية عالية تجاه الأعطاب .
2. تستخدم محولات التيار لرفع تيارات الشبكة لعمل المتابعات .
3. قواطع الدورة تفصل الشبكة بعد استلامها إشارة من المتابعات بوجود عطل .
4. الفواصل الهوائية (Isolator) تفصل الخطوط أثناء الحمل .
5. المتابعات الاتجاهية تعمل عند مرور القدرة باتجاه معاكس للاتجاه الطبيعي .

الاختبار الذاتي: Self Test

املأ الفراغات التالية:

1. يتم حماية الخطوط من زيادة التيار باستخدام ـــــــــ .
2. يتم حماية المحولات من الأعطال الداخلية باستخدام متابعات ـــــــــ .
3. يجب عدم السماح لانخفاض التردد عن ـــــــ لأنه يؤدي إلى انهار الاتزان.
4. متابع بوخلص يستخدم لحماية ـــــــــ من زيادة الحمل والقصر.
5. المتابع فوق القياس العكسي التيار يتناسب عكسياً مع ـــــــ الفصل .

٢.١ المصطلحات المستعملة في مجال حماية النظم الكهربية

سنحاول هنا ذكر بعض التعاريف لعبارات ومصطلحات ستواجهنا اثنا دراستنا لهذا المقرر.

- كلمة (**Normal**) تشير إلى الحالة السليمة أو حالة اللاعطل في الدائرة المحمية ولكن عندما تستخدم في مجال التوصيلات لملامس المرحل فإنها تعني أن المرحل غير مهيج.

- كلمة (**Relays**) وهي المرحلات أي الأجهزة التي تعمل عمل المراقب الذي لا يتعب فهي تقيس وباستمرار الكميات الكهربية للدائرة المحمية، وجاهزة لإعطاء الأمر للقاطع ليفصل الدائرة حالا عندما يصبح أحد تلك الكميات أكبر من العادي أي Abnormal (حالة العطل للدائرة المحمية).

- إن اصطلاح **Normally Open Contact (NOC)** يعني أن الملامس للمرحل مفتوح في الحالة الطبيعية أي عندما يكون المرحل غير مهيج. كما تشير إلى أن الملامس يقوم بإغلاق الدائرة عندما يعمل المرحل ويسمى هذا الملامس بملامس وصل أو ملامس عامل. وهذا النوع من الملامسات مستخدم في المرحلات المصممة لتعمل في ظروف حالة ارتفاع الكميات العاملة مثل مرحل زيادة التيار أو المرحل الذي يعمل عند زيادة الجهد أو زيادة التردد.

- إن مصطلح **Normally Closed Contact (NCC)** يعني أن ملامسات المرحل مغلق في الحالة الطبيعية عندما يكون المرحل غير مثار أو غير مهيج. وعند إثارته فإن الملامسات تفتح ويعرف أيضا بأنه ملامس يفتح الدائرة أو ملامس عكسي. ويمكن أن يتضمن المرحل على ملامسات عاملة (مفتوحة في الحالة الطبيعية) أو ملامسات عكسية (مغلقة في الحالة الطبيعية) أو مجموعة منهما. وفي جميع الأحوال يكون للملامس إحدى موضعين إما وضعية الوصل أو وضعية الفصل. وعندما يكون الملامس موصلا فإنه يمر فيه تيار تحدد قيمة عناصر الدائرة التي يشكل جزءاً منها. بينما عندما يكون الملامس في وضعية الفصل فإنه لا يمر فيه تيار.

- المرحلات الأولية **Primary Relays**

وهي المرحلات التي توصل بشكل مباشر في الدائرة المحمية.

المرحلات الثانوية **Secondary Relays**

وهي المرحلات التي توصل إلى الدائرة المحمية عبر محولات التيار أو الجهد أو كليهما معا.

- المرحلات الكهرومغناطيسية **Electromagnetic Relays**

وهي المرحلات التي تعمل بمبدأ الجذب أو التحريض وتحتوي على ملامسات يقوم المرحل بوصلها أو فصلها حسب نوع أو مجال العمل.

- المرحلات الإستاتيكية **Static Relays**

وهي المرحلات التي تتكون من أشباه الموصلات (semi-conductors) أو من بعض الدوائر المغناطيسية الخاصة وهي لا تحتوي على ملامسات متحركة على عكس المرحلات الكهرومغناطيسية. وهي تعطي أوامر الفصل باستخدام مرحلات مساعدة تسمى المواليات (slave devices) وأغلبها من المرحلات ذات الجذب الكهرومغناطيسي.

- المرحلات الرئيسية **Main Relays**

وهي المرحلات التي تكون مخصصة لحماية قسم محدد بشكل أساسي.

- المرحلات الداعمة أو الاحتياطية **Back-Up Relays**

وهي المرحلات التي تقوم بالعمل بعد تأخير زمني عندما تفشل المرحلات الرئيسية بفصل القسم المتعطل وهي إما أن تكون محلية في نفس مكان المرحلات الأساسية أو بعيدة في مناطق أخرى.

- الانتقائية **Selectivity**

وهي مقدرة أجهزة الحماية (المرحلات) على التمييز بين العطل في المنطقة المحمية والحالات الطبيعية أو العطل في مكان آخر في المنظومة الكهربية، وذلك من أجل عزل المنطقة المتعطلة فقط عن باقي المنظومة واستمرار الخدمة في باقي الشبكة الكهربية.

الحســاسية **Sensitivity**

وهي مقدرة المرحل على التجاوب مع الأعطال التي تظهر في المنطقة المحمية.

- المتانة **Consistency**

وهي قدرة المرحل على إمكانية إعادة خواصه الكهربائية والزمنية.

- زمن التشغيل **Operating Time**

يعتبر زمن التشغيل هو الفترة الزمنية اللازمة للحماية كي توصل دائرتها وتكمل مهمتها وذلك اعتبارا من وصول كمية التشغيل إلى قيمة الجذب وحتى تعمل الحماية وتغلق ملامستها.

- المرحلات اللحظية **Instantaneous Relays**

المرحلات اللحظية هي المرحلات التي تعمل (تعطي أمر الفصل) بشكل فوري وبدون أي تأخير زمني وعلي الغالب فإنها تعمل في أقل من ١و٠ ثانية.

- مرحلات التأخير الزمني **Time-delay Relay**

هن المرحلات اللاتي تعمل بعد تأخير زمني وذلك بوسائل تأخير مختلفة.

- مرحلات زيادة التيار **Over Current Relays**

وهي المرحلات التي تعمل عندما يرتفع التيار في الدائرة المحمية فوق قيمة محددة وتنقسم هذه المرحلات إلى عدة أنواع منها :

١. مرحلات زيادة التيار ذات التأخير الزمني **Definite time-Current Relay**

وهي مرحلات زيادة التيار التي لا تعمل إلا بعد تأخير زمني وهذا التأخير الزمني مستقل عن تيار العطل.

٢. مرحلات زيادة التيار ذات الزمن العكسي **Inverse-time-Current Relays**

وهي مرحلات زيادة التيار التي لا تعمل إلا بعد تأخير زمني وهذا التأخير الزمني يتناسب عكسيا مع تيار العطل حسب العلاقة ($I \cdot t = k$) أي أنه كلما كان تيار العطل أكبر كان زمن الفصل أسرع.

٣. مرحل زيادة التيار ذات الزمن العكسي وذات زمن أصغر محدود

Inverse-definite time Relay

وهذه المرحلات هي نفس النوع السابق باستثناء أن الزمن يصل إلى قيمة صغرى لا يمكن تجاوزها مهما ازداد تيار العطل.

١. ٣ دور أجهزة الحماية (المرحلات)

إن أجهزة الحماية الكهربية هي أجهزة تستجيب للحالات غير النظامية (حالة الأعطال) في الشبكة الكهربية وتتحكم بالقواطع الآلية وذلك من أجل عزل الجزء المتعطل فقط من النظام المحمي دون بقية الأجزاء السليمة.

ومن أجل أن تكون أجهزة الحماية قادرة على فعل ذلك، فإنها يجب أن تكون قادرة وبدون أي تأخير على تقرير أي من القواطع الآلية يجب فصله لعزل الجزء المتعطل فقط من الشبكة المراد حمايتها. كما تعتبر أجهزة الحماية شكلا من أشكال التأمين من وجهة النظر الاقتصادية. فهي تحمي نظام القدرة ذو المنفعة العامة من ضياع الموارد المالية بسبب تلف وانهيار التجهيزات وانقطاع التغذية في حالة عدم استخدامها. وتقدر تكلفة أجهزة الحماية في نظام القدرة بين (١: ٢ ٪) من التكلفة الكلية لمنظومة القدرة.

بالإضافة إلى عمل أجهزة الحماية الرئيسية وهي تحديد الأعطال بسرعة وعزل الأجزاء المتضررة فقط فإنها تحمي الأشخاص وتساعد على الحد من تضرر الأجهزة وتعطل الإنتاج فهي تدعى بالحارس الصامت والعقل الكهربي "Electric Brain" . وتتعرض الشبكات الكهربية إلى بعض الحالات غير العادية (الأعطال) وأهم مايتضمنه العطل زيادة التيار وهبوط الجهد وتحدث الأعطال في أغلب الأحيان نتيجة حدوث دائرة قصر أو انهيار في العوازل أو التعرض لصدمات البرق أو نتيجة عمليات خاطئة في الدائرة.

وينجم عن زيادة التيار انتشار حرارة تتناسب مع تيار العطل وتغير بالأجزاء الحاملة لهذا التيار وربما بالأجزاء المجاورة لها أيضا. وأما هبوط الجهد فإنه يسبب اضطرابا في عمل الآلات وفي استقرار المولدات التي تعمل على التوازي واستقرار مجموعات القدرة بشكل عام. وقد يرافق الأعطال في الدائرة هبوط في التردد والذي يقارب في نتائجه هبوط الجهد. وبالإضافة إلى مهمة أجهزة الحماية بفصل الأجزاء المتعطلة فإنها تعمل على إعطاء التنبيه أو الإنذار عند ظهور حالات غير نظامية في عمل المنشأة أو أنها تعمل على إزالة الأحوال غير النظامية من أصلها. ومن مهام أجهزة الحماية ما يلي:

١. مراقبة ظروف العمل لكل عنصر من عناصر منظومة القوى الكهربية.

٢. كشف الأعطال وتحديد حالة المنظومة.

٣. عزل الجزء المتعطل من الشبكة بواسطة القواطع الآلية.

٤. القيام بالتصحيح اللازم لاستفادة العمل النظامي باستخدام أجهزة تحكم مناسبة.

٥. التنبيه أو الإنذار لكي يتدخل العنصر البشري ليقوم بالتصحيح اللازم.

وتشتمل أجهزة الحماية على

- المصهرات **Fuses**
- القواطع الآلية **Circuit Breakers**
- المرحلات **Relays**
- مانعات الصواعق **Lightning Arrestors**

وتستخدم هذه الأجهزة لحماية التجهيزات والآلات الكهربية كالمولدات والمحركات والمحولات والقضبان المجمعة والخطوط الهوائية والكابلات الأرضية من كافة الأعطال التي تحدث على منظومة القدرة الكهربية.

ويجب أن تركب أجهزة الحماية في الأماكن المناسبة التي تلائم عملها وذلك لضمان موثقية العمل ولإبعاد إمكانية إصابتها بالأضرار الميكانيكية ولتجنب العاملين من مخاطر الصدمات الكهربية. وتصمم أجهزة الحماية بحيث تستجيب لعملها عند اختلاف الكميات الكهربية أثناء الحالات الطبيعية والحالات غير الطبيعية (الأعطال). وتعتبر الكميات الكهربية الأساسية التي يمكن أن تتغير أثناء التحول من الحالة السليمة إلى حالة العطل هي التيار والجهد والاتجاه والتردد وعامل القدرة (زاوية الطور). ومن الضروري أن تكون الحماية من أجل الاستجابة لأكثر من كمية من هذه الكميات الكهربية وذلك بسبب أن تيار العطل أثناء حالة التوليد الصغرى يمكن أن يكون أقل من تيار الحمولة العادية أثناء حالة التوليد القصوى.

١. ٤ وظيفة وأسلوب عمل أجهزة الحماية

يلاحظ مما تقدم أن المرحلات تعمل عمل المراقب الذي لا يتعب فهي تقيس باستمرار الكميات الكهربية للدائرة المحمية ، وجاهزة لتفصل الدائرة حالا عندما يصبح أحد هذه الكميات غير عادي (حالة العطل). فمثلا المرحلات المسافية نوع المفاعلة (Distance Relay type reactance) من أجل حماية خط نقل فإنها تفصل الخط من القضبان المجمعة إذا حدث العطل ضمن المنطقة المحمية ولا تفصله إذا حدث العطل خارج تلك المنطقة المحمية وليتم تحقيق ذلك فإنها تقيس التيار والجهد ومعامل القدرة (Cos Φ) وتحسب المقدار ($\left|\frac{V}{I}\right| \operatorname{Sin} \varphi$) بشكل صحيح بدقة تصل إلى ٢٪ وتغلق ملامساتها أو لا تغلقها ويعتمد ذلك على موقع العطل ضمن المنطقة المحمية أو خارجها.

ومن أجل المحافظة على حجم وتكاليف أجهزة الحماية إلى قيم مقبولة فإن التيارات العالية والجهود للدائرة الأولية لا تطبق مباشرة على أجهزة الحماية وإنما تنقص إلى قيم صغيرة نسبيا باستخدام محولات القياس ـ وهي محول الجهد (Potential Transformer) ومحول التيار (Current Transformer). والتي يكون مهمتها ما يلي :

١. إنقاص تيارات وجهود نظام القدرة المستخدمة إلى قيم صغيرة تكون مناسبة لسلامة الأجهزة المستخدمة.

٢. عزل دائرة الأجهزة المستخدمة عن الدائرة الأولية والتي تكون غير مناسبة في الجهد والتيار.

٣. تحويل قيم التيار والجهد في الدائرة الأساسية إلى قيم نظامية عالمية مستخدمة لكافة الأجهزة .

وتؤخذ تيارات الحماية من الدائرة الثانوية لمحولات التيار كما تؤخذ جهود الحماية من الدائرة الثانوية لمحولات الجهد أو من عناصر جهد سعوية. وتكفي مجموعة واحدة من محولات الجهد مربوطة إلى القضبان المجمعة لتأمين تغذية الحمايات بالجهد لكافة الدوائر المرطبة بهذه القضبان وتعتمد الدقة والموثقية لخطط الحماية بشكل كبير على دقة محولات القياس المستخدمة وخصوصا محولات التيار عندما تمر فيها تيارات كبيرة ناتجة عن دوائر القصر.

ويمكن تقسيم كل مرحل إلى عنصرين أساسيين أحدهما عنصر للتحسس (Sensing element) والآخر للتحكم (Control element) . وعنصر التحسس في المرحلات الكهرومغناطيسية أو التحريضية عبارة عن وشيعة تتغذى من تيار أو جهد الجزء المحمي من الشبكة عن طريق الدائرة الثانوية لمحولات القياس وذلك حسب نوع الاستعمال. وتزود الحمايات المسافية أو حمايات القدرة بوشيعتين وشيعة للتيار ووشيعة للجهد ومن خلالهما تتحسس الحماية لتغيرات الكميات الكهربية وتستجيب لها. ويتكون عنصر التحكم في المرحل من مجموعة من الملامسات تتحرك بتأثير القوة الكهرومغناطيسية الناتجة عن

عنصر التحسس فينتج عن ذلك وصل أو فصل ملامسات المرحل ومن ثم يعطي أمر الفصل للقاطع الآلي مما يؤدي إلى فصل ميكانيكي مباشر للقاطع الآلي.

١. ٥ المبادىء الأساسية لعمل دائرة الحماية

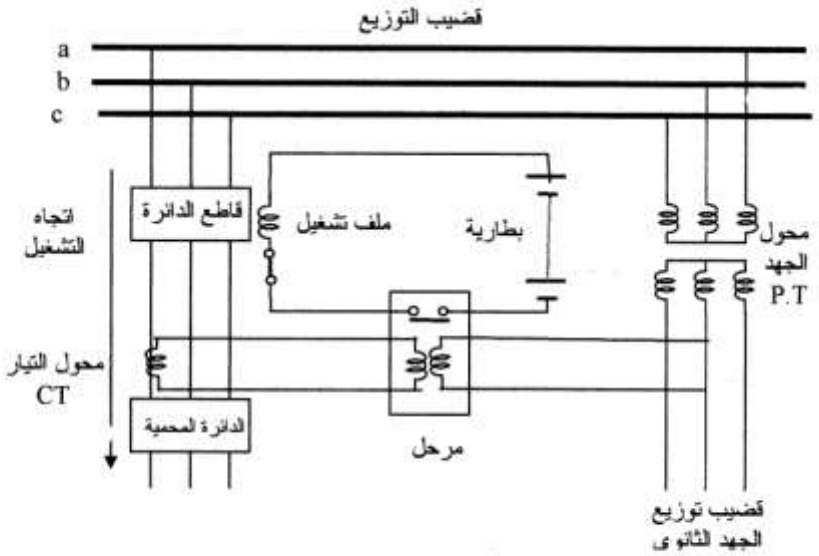
إن لجميع مرحلات الحماية (Protective Relays) وضعيتين الوضع الأول وهو الوضع النظامي ويكون الملامس عادة مفتوح الدائرة والوضع الثاني وهو وضع العطل ويكون الملامس مغلق الدائرة وتتغير وضعية الملامس في الحماية إلى الوضعية المغلقة (وضعية العطل) عندم تزيد كميات العطل غير النظامية (زيادة التيار مثلا) على الكميات النظامية.

ويبين الشكل (١.١) التوصيلات الأساسية لمرحل حماية من الأعطال التي تحدث على القسم المراد حمايته. ويوضح الشكل القضبان المجمعة (Bus-Bars) لمحطة توزيع وأحد المغذيات (Feeders) ومحولات الجهد لأغراض القياس والحماية. كما يبين موقع أحد محولات التيار في الدائرة المراد حمايتها. ويجب أن تتضمن الدائرة المراد حمايتها ثلاث محولات تيار من أجل نظام الحماية الفعال وتغذي الدائرة الثانوية لمحولات التيار ملف التيار في جهاز الحماية (المرحل) ويتغذى ملف الجهد في المرحل من الدائرة الثانوية لمحولات الجهد. وقد مثل المرحل بأحد ملفات التيار وملف الجهد وأحد ملامس التحكم، ووجد ملف للجهد دلالة على أن المرحل يفصل بشكل اتجاهي حسب السهم في الشكل الموضح كما يتضح في الدائرة وشيعة الفصل للقاطع الآلي (Trip Coil t.c.) والملامس المساعد (auxiliary switch) للقاطع الآلي. كما توصل في الدائرة مجموعة من البطاريات حسب الشكل من أجل تغذية أجهزة الحمايات والقاطع الآلي. ويمكن شرح عملية فصل القاطع الآلي عند حصول عطل في الدائرة المحمية بالشكل التالي:

عند حصول عطل ما في الدائرة المحمية يرتفع التيار في الدائرة الأولية وبالتالي يرتفع التيار في الدائرة الثانوية لمحولات التيار والذي يغذي ملفات التيار في المرحل. وهذا التيار يكون أكبر من التيار الطبيعي والذي يكون المرحل معاير من أجله وتنشأ قوة كهرومغناطيسية كافية لعملية جذب الحافظة التي تحمل الملامسات أو تدوير القرص التحريضي وبالتالي تغلق ملامسات المرحل الذي يؤدي إلى اكتمال دائرة وشيعة الفصل للقاطع الآلي حيث يطبق جهد البطاريات عليها ومن ثم ينتج فصل ميكانيكي للقاطع الآلي وتنفصل التغذية عن المخرج ويعود المرحل إلى وضعه الأساسي.

كما يجب أن نذكر أنه عندما تغلق ملامس المرحل فإن النسبة العالية (L/R) لوشيعة الفصل للقاطع الآلي تؤخر تعاظم التيار، وهكذا فإن القاطع السريع يفصل قبل أن يصل التيار إلى القيمة الثابتة.

وبعد أن يفصل القاطع الآلي فإن الملامس المساعد (a) يفتح ومن ثم فإن دائرة وشيعة الفصل تصبح غير مهيجة ويفتح المرحل ملامساته وتعود إلى وضعها الأساسي (rest) . ومن الأمور المهمة المطلوبة من ملامس المرحل ألا يتذبذب بسرعة أثناء استمرار تيار الفصل و إلا فإن الملامسات سوف تحترق وتصبح سيئة.



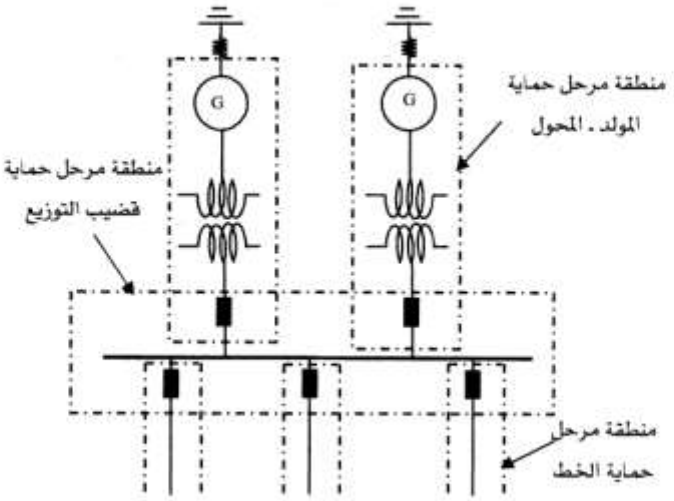
الشكل (١ -١) مباديء عمل دائرة الحماية

المتطلبات العامة لأجهزة الحماية

إن القواطع الآلية غير كافية لوحدها لعزل الأعطال التي يمكن أن تحدث على تجهيزات نظام القدرة المراد حمايتها. ويجب أن تدعم القواطع الآلية بأجهزة حماية مناسبة مثل المرحلات للكشف على وجود الأعطال وعزل الجزء المتعطل عن بقية أجزاء نظام القدرة السليمة، وبذلك تعمل على الحد من انتشار التلف الذي يمكن أن يحدث بسبب حدوث الأعطال. وجميع أجهزة الحماية المستخدمة مهما كانت نوعيتها واستعمالها يجب أن تتصف بعدة صفات أساسية. ومن هذه الصفات: الانتقائية و الموثوقية وسرعة العمل والحساسية و الاستقرار. وسنقدم بعض الإيضاح لهذه الصفات:

١ الإنتقائية Selectivity

إن صفة الانتقائية لجهاز الحماية هو قدرته على عزل الجزء المتعطل من الشبكة دون بقية الأجزاء السليمة واستمرار التغذية في بقية الشبكة الكهربية. وفي هذه الحالة فإن الحماية لها القدرة على اكتشاف وجود الأعطال في النظام المراد حمايته وتحديد القواطع الآلية التي تعمل لعزل العطل. ويبين الشكل (١ ـ ٢) محطة توليد صغيرة مكونة من مجموعتي توليد كل مجموعة مكونة من مولد ومحول تغذي قضبان مجمعة، يخرج منها عدة مخارج أو مغذيات خارجية.

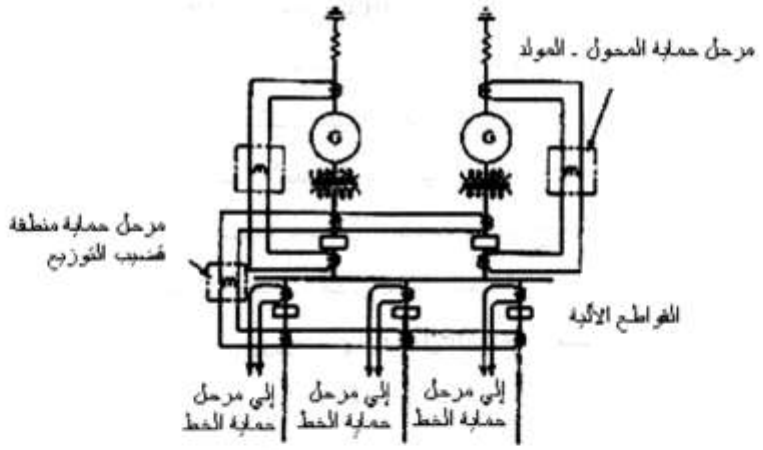


شكل (١ ـ ٢) تأمين مناطق الحماية المتراكبة لتفادي المناطق الميتة بدون حماية

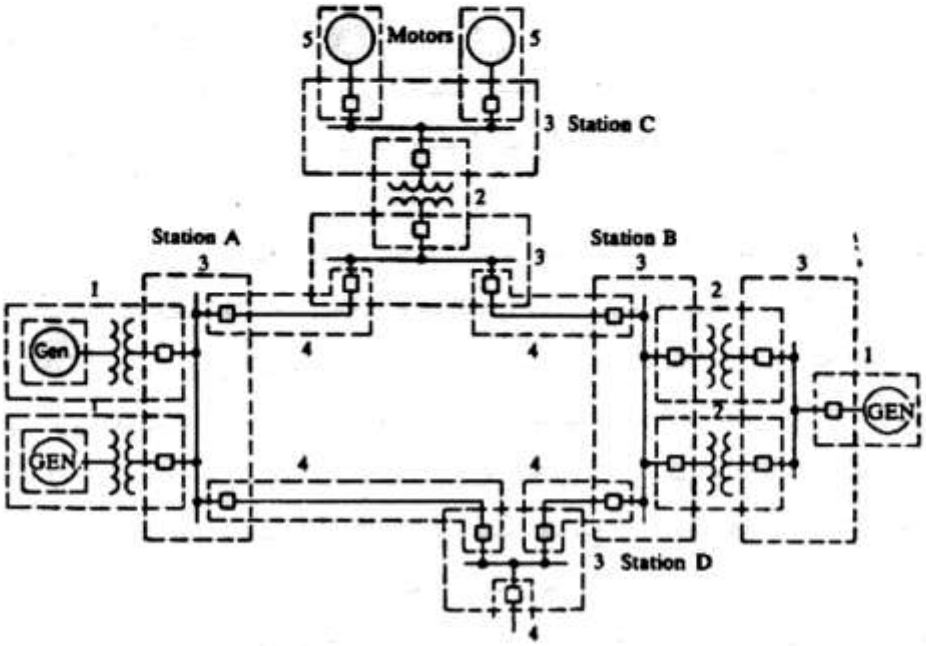
فعند حدوث عطل على أحد المغذيات الخارجية فإن الحماية الخاصة بهذا المغذي تعطي أمر الفصل للقاطع الآلي لهذا المغذي فقط وتبقى التغذية في بقية أقسام المنشأة. وكذلك الأمر عند حدوث عطل على القضبان المجمعة فإن الحماية تعطي أمر الفصل لفصل التغذية عن منطقة العطل.

أما إذا حدث العطل ضمن منطقة مجموعة (المولد ـ المحول) فإن الحماية لهذه المنطقة تعطي أمر الفصل فقط للقاطع الآلي الخاص بهذه المنطقة. و يلاحظ أن المنشأة مقسمة إلى عدة مناطق محمية، كل منطقة لها حماية مستقلة. كما يلاحظ أن مناطق الحماية تتراكب (over lapping) وذلك من أجل الحماية الكاملة وعدم وجود مناطق ميتة بدون حماية.

ويلاحظ أن منطقة حماية القضبان المجمعة تتراكب مع حماية المغذيات الخارجية و كذلك مع منطقة الحماية لمجموعة المولد ـ المحول. ويبين الشكل (١ ـ ٣) موقع محولات التيار لتأمين الحماية المتراكبة لمناطق الحماية الخاصة بالشكل (١ ـ ٢). ويلاحظ من الشكل (١ ـ ٣) أن القاطع الآلي للمغذيات يقع ضمن منطقتي حماية لأنه تم تركيب محولات التيار على جانبي القاطع ويعتبر هذا الترتيب مكلفا ولا يمكن تحقيقه في الخلايا المعدنية الجاهزة Metal clad type والتي تكون إما للاستعمال الداخلي أو للاستعمال الخارجي وإذا تم تركيب محولات التيار بعد القاطع الآلي فإن القاطع الآلي ترك بدون حماية إلا إذا وجدت حماية للقضبان المجمعة. كما يبين الشكل (١ ـ ٤) نظام قدرة نموذجي أشد تعقيدا مكون من مجموعات توليد تغذي عدة محطات تحويل مع ارتباطها بخطوط نقل القدرة. وقد تم تقسيم هذا النظام إلى عدة مناطق حماية مع تأكيد أن تكون هذه المناطق متراكبة. فإذا حدث عطل على أحد هذه المناطق فإن كافة القواطع الآلية الواقعة بين تلك المنطقة وبين بقية المناطق يجب أن تفصل. ويظهر في الشكل أن الرقم ١ يشير إلى منطقة الحماية لمجموعة المولد ـ المحول والرقم ٢ يشير إلى منطقة حماية محول الاستطاعة والرقم ٣ يشير إلى حماية قضبان مجمعة و٤ إلى حماية الخطوط و ٥ إلى حماية المحركات.



شكل (١ ـ ٣) موقع محولات التيار لتحقيق الحماية المتراكبة



شكل (١ ـ ٤) نظام قدرة نموذجي مع مناطق الحماية المتراكبة

٢ سرعة العمل Speed of operation

إن المطلب الثاني الذي يجب تحقيقه من أجهزة الحماية هو سرعة العمل، فعند حدوث عطل في منطقة ما فإن الحماية في هذه المنطقة يجب أن تقرر دون تأخير إذا كان هذا العطل ضمن منطقة الحماية أو خارجها وكلما طالت فترة بقاء العطل استمر تيار العطل مما يؤدي إلى تلف الأجهزة. وإذا كان العطل ضمن المنطقة المحمية فإن الحماية يجب أن تفصل القاطع الآلي مباشرة ولكن الحماية لا يمكنها التأكد بشكل لحظي فيما إذا كان العطل ضمن منطقة الحماية أو خارجها.

وتعتبر خاصية السرعة ضرورية لأنها تفصل القسم المتعطل خلال فترة زمنية قصيرة مما يؤدي إلى التخفيف أو الحد من التلف والدمار للتجهيزات كما يتم تجنب فقدان الاستقرار في عمل مجموعات التوليد ومجموعات القدرة، ويتحدد زمن عزل العطل بعدة أمور منها مواصفات وجودة أجهزة الحماية ونوعيتها، كما يعتمد على استطاعة وجهد وتكاليف نظام القدرة، كما يعتمد أيضا على نوعية العطل. وحتى تحافظ مجموعات القدرة على استقرارها يجب إزالة العطل ضمن زمن معين وسنتعرف على بعض الأزمنة التقريبية للفصل.

فمثلا لخطوط النقل ذات الجهد الفائق فإن زمن الفصل للخط المتعطل يتراوح بين (٠.١ وحتى ٠.١٢) من الثانية. وبالنسبة خطوط نقل الجهد العالي فإن زمن الفصل يتراوح بين ٠.١٥ حتى ٠.٣ من الثانية أما في شبكات الجهد المتوسط فإن زمن الفصل للعطل يتراوح بين ١.٥ حتى ٣ ثوانٍ.

ويمكن أن تعدل هذه الأزمنة حسب بقية العوامل المحددة للزمن المسموح به وإن الأزمنة المعطاه تحدد بحسابات خاصة لاستقرار مجموعات القدرة وإن زمن عزل العطل عبارة عن مجموع زمنين هما زمن عمل المرحل وزمن عمل القاطع الآلي، وحتى يعزل العطل بسرعة يجب تسريع عمل المرحلات والقواطع الآلية، وأن معظم القواطع الآلية المستعملة يقع زمن عملها بين (٠.٠٦ حتى ٠.١٥) من الثانية ، ولعزل عطل خلال ٠.٢ ثانية مثلا فإن المرحل يجب أن يعمل في المجال ٠.٠٥ وحتى ٠.١٤ من الثانية

وإذا كان زمن العطل ٠.١٢ ثانية وزمن عمل القاطع ٠.٠٨ ثانية فإن زمن عمل الحماية يجب ألا يزيد على ٠.٠٤ ثانية وتعتبر المرحلات التي تعمل ضمن مجال ٠.١ إلى ٠.٢ ثانية سريعة العمل ولكن هناك مرحلات حديثة سريعة جدا يمكنها العمل خلال ٠.٠٢ وحتى ٠.٠٤ من الثانية. وإن عملية تطوير وإنتاج المرحلات السريعة جدا تعتبر هامة وصعبة ومثل هذه المرحلات تكون مكلفة ومعقدة لذلك يجب ألا تستعمل إلا للتجهيزات ذات الأهمية الكبيرة.

٣ الحساسية Sensitivity

وتعرف الحساسية بأنها مستوى قيمة تيار العطل الذي تعمل عنده المرحلات. ويعبر عنه بالأمبير في الدوائر الفعلية (التيار الأولي) أو كنسبة مئوية من تيار الدوائر الثانوية لمحولات التيار. أي أن الحساسية هي تجاوب المرحلات مع الأعطال التي تظهر في المنطقة المحمية ويجب أن تفصل المرحلات أدنى قيمة لتيار العطل في القسم المراد حمايته. وعند عدم تجاوب المرحلات فإن العطل يمتد إلى الأقسام السليمة من الشبكة إذا لم نعمل الحمايات الاحتياطية (Back – up protection) .

٤ الموثوقية Reliability

إن صفة الموثوقية لعمل المرحلات أو ضمان العمل تتحقق عندما تعمل المرحلات بشكل سليم ومناسب وكاف لعزل جميع أنواع الأعطال التي تحدث. ويعتبر أغلب حوادث فصل الدوائر نتيجة العمل الخاطىء للمرحلات نفسها.

ويجب أن تعمل المرحلات بدون أي خلل عند حدوث عطل في المنطقة المحمية وعندما تفشل المرحلات في العمل لسبب ما من الأسباب فإنها تسبب اضطرابا في التغذية واضطرابا في المنشآت وكذلك عندما تعمل المرحلات بدون حدوث أي عطل فإنها تسبب أيضا اضطرابا في التغذية نتيجة العمليات الخاطئة.

لذلك تعتبر صفة الانتقائية والحساسية هي الصفتان الرئيسيتان اللتان تعطيان صفة الموثوقية للمرحل. كما تعتبر صفة الحساسية والسرعة والعمل الإيجابي من الأمور الضرورية والهامة لعملية تصميم أجهزة الحماية.

٥ الاستقرار Stability

تعرف صفة استقرار الحماية بأنها قدرة أجهزة الحماية بأن تكون غير عاملة (مقالة) بالنسبة للأعطال التي تحدث خارج منطقة الحماية والتي تسمى بالأعطال الخارجية. وتكون عاملة بالنسبة للأعطال التي تحدث ضمن منطقة الحماية والتي تسمى بالأعطال الداخلية.

المـرحـــلات

المرحلات

مقدمة

يعرف المرحل بصفة عامة بأنه جهاز يستقبل إشارة تحكم معينة من الدائرة المركب عليها، وتبعا لتلك الإشارة فإنه يجري تغييرا أو أكثر في تلك الدائرة. ومرحلات الحماية هي مرحلات تستجيب لحالات التشغيل غير العادية في منظومات القوى الكهربية كالأخطاء وتجاوز الحمل. ويعطي المرحل تبعا لذلك الإشارة المناسبة لقاطع الدائرة الذي يفصل بدوره الجزء الخاطىء أو المعيب من المنظومة في أقل زمن ممكن. يبين الشكل (٢ ـ ٣٥) المبدأ الأساسي الذي يعمل عليه المرحل مع القاطع.

تتألف منظومة الحماية التقليدية كما بالشكل (٢ ـ ٣٥) من الأجزاء الأساسية الآتية:

١. مرحل الحماية.

٢. قاطع الدائرة.

٣. محول التيار.

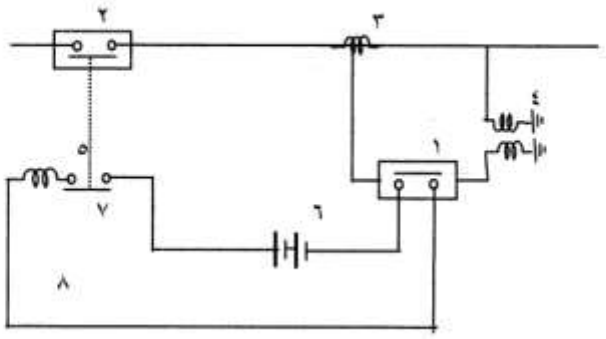
٤. محول الجهد.

٥. ملف إعتاق القاطع.

٦. بطارية.

٧. مفتاح مساعد.

٨. دائرة إعتاق القاطع.



كميات التشغيل

يعتمد المرحل في التمييز بين الحالة العادية وغير العادية على قياس كمية التشغيل له. وتكون هذه الكمية إما تيارا أو جهدا أو الاثنين معا. وتنقسم الكمية المقاسة في معظم المرحلات إلى ما يأتي :

١.قياس للمقدار ، كزيادة التيار وزيادة الجهد ونقص الجهد.

٢.قياس حاصل ضرب، كقياس القدرة ($VI \cos\Phi$) .

٣.قياس النسبة، كما في مرحلات المعاوقة التي تقيس النسبة بين V/I

٤.قياس الفرق، كما في المرحلات الفرقية التي تقيس الفرق بين كميتين من نفس النوع (تيار أو جهد).

٢. ٥. ٣ أنواع المرحلات

يمكن تصنيف المرحلات حسب مبدأ عملها أو تركيبها إلى أنواع كثيرة منها :

١.المرحلات الحرارية **Thermal Relays**

٢.المرحلات الكهرومغناطيسية ذات مبدأ الجذب **Electromagnetic - Attracted - Relays**

٣.المرحلات الكهرومغناطيسية ذات المبدأ الحثي **Electromagnetic Induction Relays**

٤.المرحلات الإستاتيكية **Static Relays**

وسوف نقتصر هنا على شرح النوعين الأخيرين وهما المرحلات الكهرومغناطيسية ذات المبدأ الحثي والمرحلات الإستاتيكية حيث أنهما أكثر المرحلات استخداما في منظومات الحماية في الآونة الأخيرة.

(أ) المرحلات الحثية Induction relays

إن المرحلات الحثية هي أكثر المرحلات استخداما في منظومات الحماية نظرا لأن التنوع الكبير في خصائصها الزمنية يعطيها مرونة كبيرة في إمكانية التنسيق بين مرحلات مستخدمة للعمل على التوالي، أو التنسيق بين مرحلات وقواطع أو مصهرات.

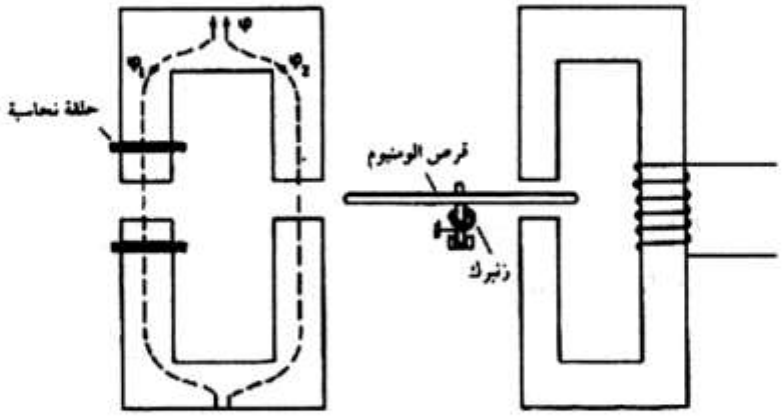
تعتمد المرحلات الحثية في نظرية تشغيلها على الفعل المتبادل بين فيضين مغناطيسين Φ_1 وΦ_2 وبين التيارات الدوامية المستحثة في الجزء المتحرك من الرحل. ويمكن إثبات أن عزم التدوير الكهرومغناطيسي T يتناسب طرديا مع كل من Φ_1 وΦ_2 وجيب الزاوية بينهما α أي أن :

$$T \alpha \ \Phi_1 \ \Phi_1 \sin \alpha$$

هناك طريقتان للحصول على فيضين مغناطيسيين بينهما زاوية α.

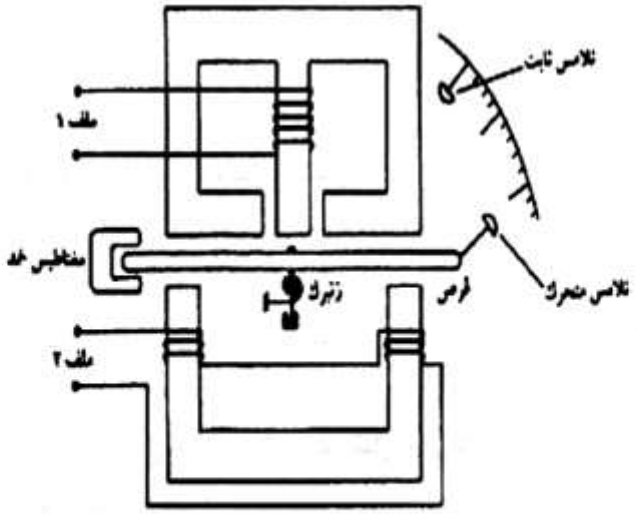
الطريقة الأولى : يستخدم فيها ملف إثارة واحد ودائرة مغناطيسية واحدة لها قطب محجب (shaded – Pole) . **والطريقة الثانية** ويستخدم فيها ملفين للإثارة ودائرتين مغناطيسين.

ويبين الشكل (٢ ـ ٣٦) مكونات المرحل الحثي ذي القطب المحجب. وهو يتكون من قرص من النحاس أو الألومنيوم مزود بمحاور ارتكاز وطليقة الدوران في الثغرة بين قطبي المغناطيس الكهربي. وكل قطب منشق إلى جزأين أحدهما محوط بحلقة ثقلية من النحاس. وتقوم هذه الحلقة _ نتيجة للتيارات المستحثة فيها. بتأخير مرحلي للفيض المار في الشق المحجب من القطب بالنسبة للفيض المار في الشق غير المحجب بزاوية α تتراوح بين ° ٤٥ – ٤٠° .

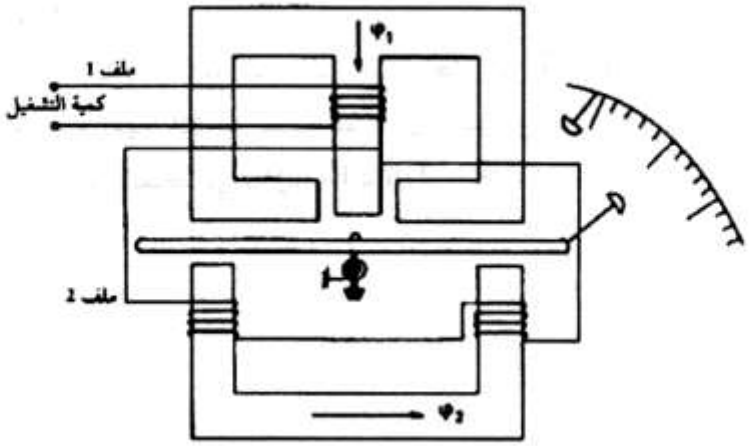


الشكل (٢ ـ ٣٦) مرحل حثي ذو قطب محجب

ويبين الشكل (٢ ـ ٣٧) مكونات مرحل حثي ذي ملفي إثارة يعملان بكميتي تشغيل، كما يبين الشكل (٢ ـ ٣٨) طريقة توصيل الملفين في حالة استخدام المرحل كمرحل تجاوز حمل. ويمتاز هذا المرحل بإمكانية الحصول على قيم للزاوية α أكبر من تلك التي نحصل عليها من المرحل ذي القطب المحجب. وعلي العموم، فإن غالبية المرحلات الحثية هي من النوع ذي الملفين بحيث يتولد في القرص مجالان مغناطيسيان.



شكل (٢ ـ ٣٧) مرحل حثي ذو ملفي إثارة



شكل (٢ ـ ٣٨) مرحل تجاوز حمل حثي

نظرية الأداء

العزوم المتولدة في المرحل هي :

١. عزم التشغيل T_1 ، وهو يتناسب مع مربع التيار $T_1 = k_1 I^2$

٢.عزم مقاومة الزنبرك T_2 ،وهو ثابت $T_2 = k_1 I_s^2$

حيث I_s هو تيار اللقط.

٣.عزم الخمد T_3 وهو يتناسب مع سرعة القرص $T_3 = k_3 (d/t)$

حيث (d) هي المسافة التي يتحركها القرص قبل أن يتلامس طرفاه و (t) هو زمن حركة القرص (على فرض أن سرعة القرص ثابتة).

ولذلك فإن العزم الكلي المؤثر على القرص هو :

$$T = k_1 I^2 - k_1 I_s^2 - k_3 (d / t)$$

ويبدأ القرص في الحركة عندما يكون $T = 0$ ، أي :

$$K_1 (I^2 - I_s^2) = k_3 (d / t)$$

أي أن :

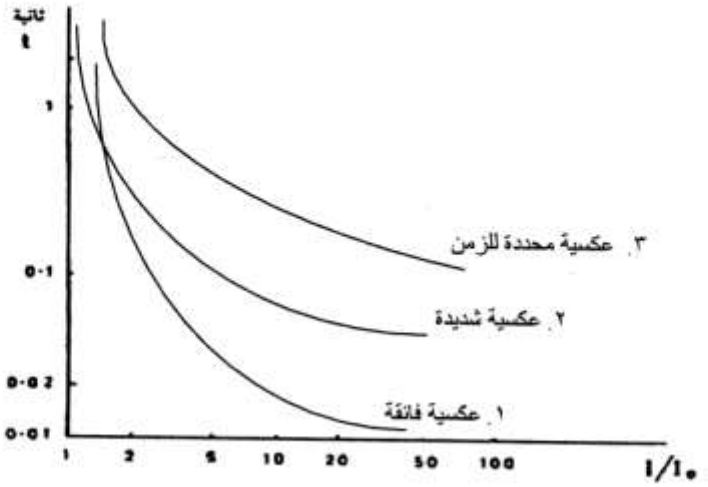
$$T = k\, d\, (I^2 - I_s^2)$$

ويتضح من هذه العلاقة الأخيرة أنه لقيمة معينة لكل من I_s and d فإن زمن تشغيل المرحل يتناسب عكسيا مع مربع التيار المار به كما هو مبين بالشكل (٢ ـ ٣٩). ولهذا فإن هذه المرحلات تعرف بالمرحلات ذات الزمن العكسي (Inverse – Time Relays) .

٢. ٥. ٤ الحماية ضد زيادة التيار Over Current (O/C) Protection

إن نظام الحماية ضد زيادة التيار هو أكثر النظم شيوعا واستخداما في حماية منظومات التوزيع. يعتمد هذا النوع من الحماية أساسا على مرحلات تجاوز التيار. وتكون هذه المرحلات عادة إما مرحلات الذراع المنجذب أو مرحلات حثية ذات كمية تشغيل واحدة.

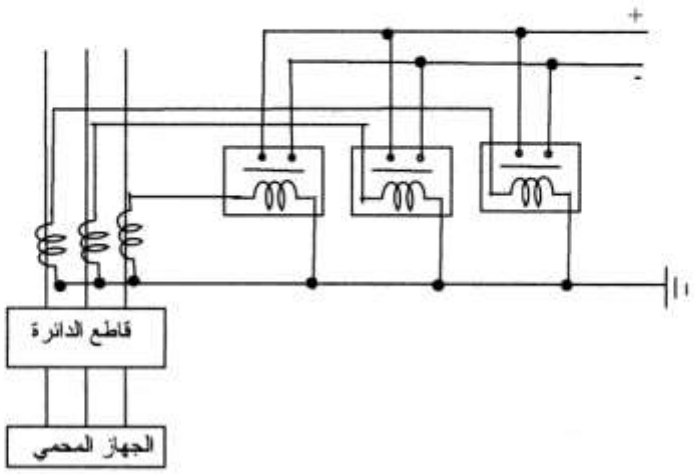
تستخدم مرحلات الذراع المنجذب في حالات التشغيل الفوري للحصول على علاقة خصائصية ذات أقل محدد زمني. بينما تستخدم المرحلات الحثية للحصول على علاقة عكسية بين الزمن والتيار . وفي هذه الحالة يقل زمن التشغيل بسرعة كبيرة مع إزدياد التيار بحيث يكاد أن يكون التشغيل فوريا بالنسبة لتيارات القصر. وهذه الخاصية غير مرغوبة إذا أردنا التنسيق بين مرحلين أو أكثر على التوالي حيث يصعب التمييز بينهم في حالات الخطأ. ولذلك فإن التصميم الحديث لهذه المرحلات يستخدم ظاهرة التشبع المغناطيسي في دائرة المغناطيس الكهربي للحصول على منحني خصائصي يصل إلى قيمة دنيا محددة لزمن التشغيل كما هو مبين بالشكل (٢ ـ ٤٥ a). ويعرف هذا النوع من المرحلات بمرحل عكسي ذي قيمة صغرى محددة الزمن (Inverse – Definite – Minimum Time Relay; IDMT) . ويبين الشكل (٢ ـ ٤٥ b)المنحنيات الخصائصية لثلاثة أنواع من المرحلات العكسية. ويمكن في بعض الأحيان الحصول على المنحني الخصائصي المبين بالشكل (٢ ـ ٤٥ b) عن طريق استخدام مرحل له عنصران، أحدهما حثي له علاقة عكسية والآخر كهرومغناطيسي يعمل فوريا. ويتم اختبار نوع المرحل على أساس متطلبات التنسيق بحيث يمكن التوصل إلى التنسيق الأمثل بين المرحلات وبعضها أو بين المرحلات وأجهزة الحماية الأخرى مثل القواطع والمصهرات.



(a) مرحلات ذات علاقات عكسية

طريقة التوصيل

توجد عدة طرق مختلفة لتوصيل مرحلات تجاوز التيار. أكثر هذه الطرق شيوعا تلك التي تستخدم ثلاثة محولات للتيار وثلاثة مرحلات توصل كما هو مبين بالشكل (٢ ـ ٤٦).



شكل (٢ ـ ٤٦) منظومة حماية باستخدام ثلاثة محولات تيار وثلاثة مرحلات تجاوز التيار

استخدامات مرحلات زيادة التيار

تستخدم مرحلات تجاوز التيار على نطاق واسع في حماية منظومات القوى الكهربية. ومن هذه الاستخدامات ما يأتي :

١. حماية المحركات ذات المقننات الكبيرة (أعلى من ١٠٠٠ حصان).
٢. حماية المحولات ذات المقننات الكبيرة (أعلى من ٥٠٠ kVA) حيث تستخدم مرحلات تجاوز التيار كحماية ثانوية للحماية التفاضلية (differential Protection) .
٣. حماية المغذيات وخطوط النقل بالإضافة إلى نظام حماية المعاوقة (Impedance Protection) .
٤. حماية بعض الأجهزة الخاصة كالأفران الكهربية الصناعية.

ضبط مرحلات زيادة التيار

١.يجب اختيار مرحل زيادة التيار بحيث تتلاءم منحنيات تشغيله الخصائصية مع خطة الحماية المطلوبة.

٢.يجب التنسيق بين المرحل والمرحلات وأجهزة الحماية والقطع الأخرى المجاورة. ويتم عمل التنسيق بين المرحلات بإحدى الطرق التالية:

أ. التدرج الزمني Time grading

ب.تدرج التيار Current grading

ج.التدرج بواسطة التيار والزمن وذلك باستخدام مرحلات ذات خواص عكسية مناسبة (IDMT Relays).

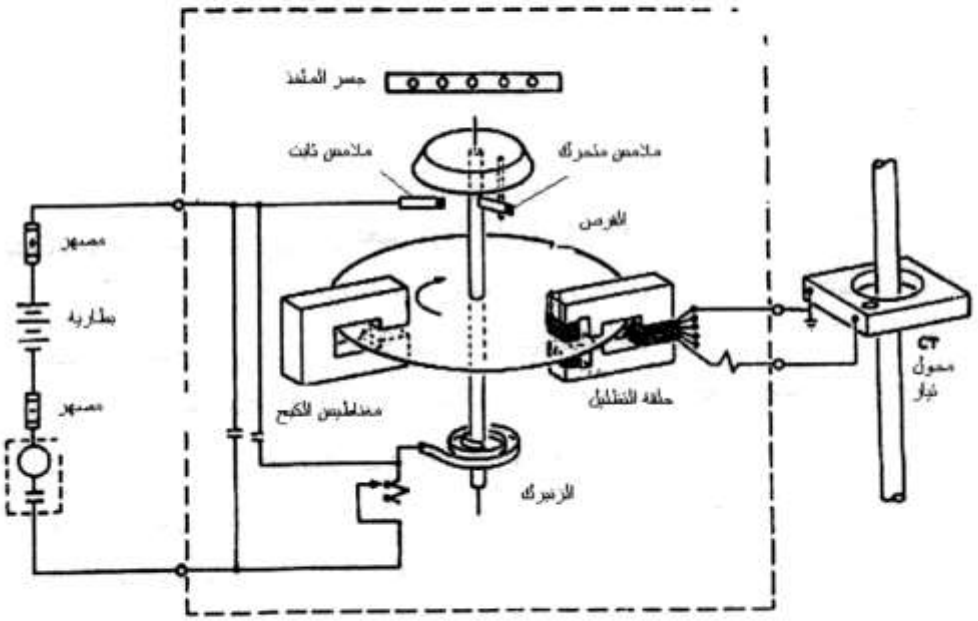
مكونات مرحل زيادة التيار من النوع الحثي Components of Induction Type O/C Relay

يمثل الشكل (٢ ـ ٤٧) الرسم التفصيلي لمرحل زيادة التيار من النوع الحثي الذي سبق شرحه. وسوف نستعرض باختصار وظيفة الأجزاء الرئيسية لهذا المرحل :

- جسر الأخذ Tap Block : وظيفة جسر الأخذ هي التحكم في قيمة التيار الذي يبدأ المرحل بالعمل عنده (تيار اللقط). هذا يتم عن طريق اختيار وضعية مأخذ التيار المناسبة.
- حلقة التظليل Shading Ring : وظيفة هذه الحلقة هي شطر (تقسيم) المجال المغناطيسي الناتج عن التيار المار في ملف التشغيل إلى مجالين بينهما زاوية في الطور. وبدون هذه الحلقة لن يدور القرص مهما كان تيار القصر كبيرا.
- مغناطيس الكبح أو التخميد Damping Magnet : لهذا المغناطيس وظيفتان رئيسيتان هما سرعة القرص وضمان عدم عمل المرحل نتيجة القصور الذاتي للقرص (أي بعد فصل تيار الخطأ من الجزء المتعطل من الشبكة بواسطة مرحل آخر).
- القرص الزمني Time Dial : وظيفته التحكم في زمن عمل المرحل .
- الزنبرك Spring : وظيفة الزنبرك تنقسم إلى قسمين هما ، الأول هي توليد عزم مضاد لعزم دوران القرص كما في لمنع القرص من الدوران تحت ظروف التحميل العادية. أما السم الثاني فهو أن يضمن الزنبرك رجوع الملامسات المتحركة أوتوماتيكيا إلى وضعها الأساسي بعد فصل تيار الخطأ.
- محول التيار C.T. : حيث إن تغذية مرحل التيار تتم عن طريق محول التيار فلابد من ذكر وظيفة محول التيار وهي:

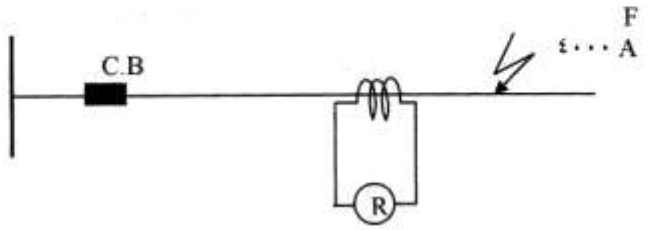
١.تخفيض تيار الشبكة المطلوب حمايتها إلى تيار مناسب لعمل المرحل. مقنن التيار للمرحل عادة ١A or ٥A .

٢.عزل دائرة المرحل عن الجهد العالي للشبكة وذلك لضمان سلامة الذين يعملون في غرفة التحكم والمراقبة.



شكل (٢ ـ ٤٧) رسم تفصيلي لمرحل زيادة التيار من النوع الحثي

مثال : مرحل زيادة تيار حثي وله مقنن تيار A ١ ومضبوط عند وضعية مأخذ تيار % ١٢٥ من التيار المقنن ومضاعف زمن T.M.S = ٠.٦ . يتغذى المرحل من محول تيار ١ : ٤٠٠ وتيار العطل A ٤٠٠٠ كما هو موضح في شكل (٢ ـ ٤٨) . المطلوب حساب زمن عمل المرحل.



شكل (٢ ـ ٤٨)

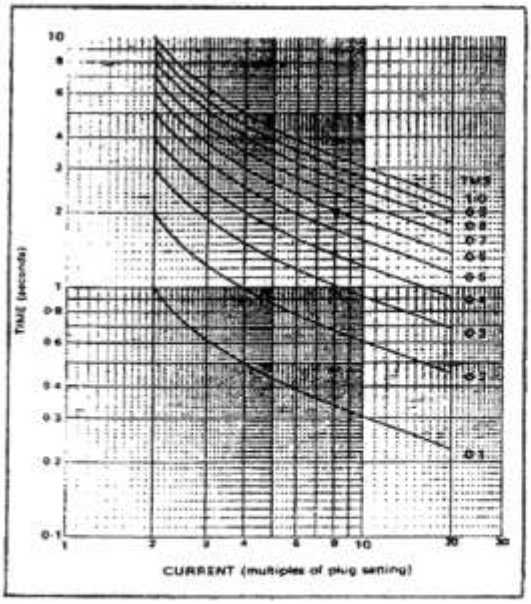
الحل :

التيار المار بالمرحل $I = ٤٠٠٠ / ٤٠٠ = ١٠ A$

التيار المضبوط عنده المرحل هو $I_s = ١ * (١٢٥ / ١٠٠) = ١.٢٥ A$

النسبة بين التيار المار في المرحل إلى التيار المضبوط عنده المرحل $I / I_s = (١٠ / ١.٢٥) = ٨$

ومن الشكل (٢ ـ ٤٩) يكون زمن التشغيل للمرحل $t = ٢ Seconds$



شكل (٢ ـ ٤٩)

الاختبار ألبعدى : Post Test

اختر الإجابة الصحيحة:

1.المرحل النقار يعمل بعد استجابة عدد محدد من .

أ - إشارة المدخل النبضية ب – إشارة الخروج النبضية حـ - إشارة DC

2.المتابع اللحظي هو المتابع الذي يفصل بعد استلام الإشارة .

أ - لحظيا ب – بعد تأخر زمني حـ - لايفصل

3.مصهرات ذو الطاقة البيانية العالية تحدث .

أ - صوتاً عندما تعمل ب – تعطي إشارة عندما تعمل حـ - كليهما أ . ب

4.معامل الانصهار للمصهرات هي النسبة بين تيار الانصهار إلى .

أ - تيار العطل ب – الفولتية المقننة حـ - فولتية اللاحمل

5.يعتمد تيار الانصهار للمصهرات على .

أ - قطر السلك ب – طول السلك حـ - كليهما أ . ب

مفاتيح أجوبة الاختيارات :

ت	اختبار قبلي	اختبار ذاتي	اختبار بعدي
1	صح	فوق التيار	أ
2	خطأ	تفاضلية	أ
3	صح	48 HZ	جـ
4	خطأ	المحولات	ب
5	صح	زمن الفصل	جـ

المصادر :

1- منظومة القدرة الكهربائية تأليف د . ضياء علي – طارق محمد أمين
2- أنظمة القدرة الكهربائية تأليف د . محمد فائق العزاوي

الأسبوع (25)

الموضوع :الوقاية التفاضلية Differential Protection .

الفئة المستهدفة : الصف الثاني/ قسم التقنيات الكهربائية.

الأفكار المركزية : تعليم الطالب وتعريفه:

- ما المقصود بالحماية التفاضلية .
- مبدأ عمل المتابع التفاضلي .
- الحماية التفاضلية باتزان التيار، باتزان الجهد.
- الحماية التفاضلية المنحازة .

الأهداف : تعليم الطالب بعد الانتهاء من المحاضرة :

- المتابع التفاضلي وطريقة ربطه مع محولات التيار .
- المتابع التفاضلي تسمى بالحماية Unit Protection.
- تيار التشغيل تيار الإمساك للمتابع .
- منع المتابع من العمل في حالة التيار الاندفاعي للمحولات .

الاختبار القبلي : Pre Test

أملأ الفراغات التالية :

1. يعتمد مبدأ العمل المتابع التفاضلي على ـــــــــ بين كميتين متشابهتين
2. يستخدم ملف ـــــــ لمنع المتابع من العمل في حالة اختلاف بسيط بين الكميات
3. منطقة الحماية للمتابع التفاضلي هي المنطقة المحصورة بين ـــــــــ .
4. المتابع التفاضلي باتزان الجهد يقارن بين ـــــــــ و ـــــــــ
5. المتابع التفاضلي باتزان التيار يقارن بين ـــــــــ و ـــــــــ

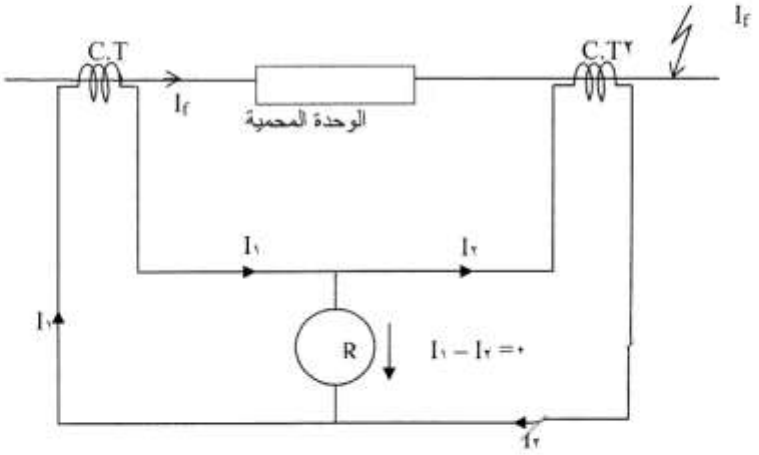
الاختبار الذاتي: Self Test

اجب بصح أو خطأ:

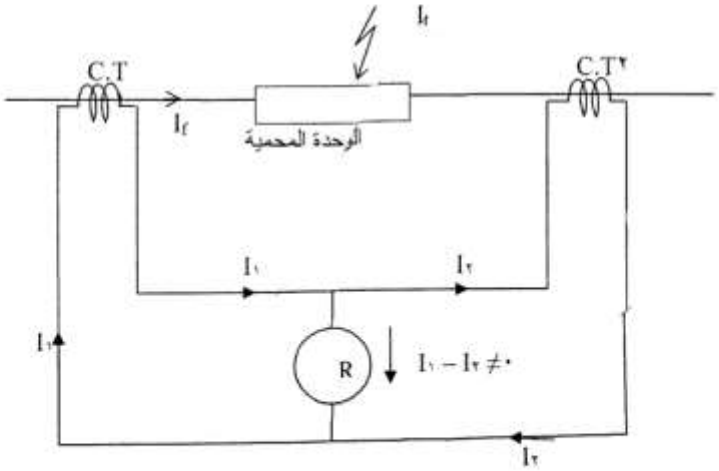
1. الحماية التفاضلية تعمل عند حدوث فرق بين التيار الداخل إلى المتابع مع التيار الخارج
2. التيار المار في ملف الكبح للمتابع التفاضلي $= i_1 + i_2 / 2$.
3. تيار التشغيل للمتابع التفاضلي $= i_1 + i_2$ في حالة عمل المتابع باتزان التيار .
4. منطقة الحماية للمتابع التفاضلي هي المنطقة المحصورة بين محولات التيار على طرفي المعدة تحت الحماية .
5. المتابع التفاضلي يستجيب للأعطال التي تقع خارج منطقة محولات التيار .

٤.٣.١ نظرية عمل الحماية التفاضلية Operation Theory

نظرية عمل المرحلات التفاضلية تعتمد على مبدأ Merz – Price . ببساطة إذا كان التيار الداخل إلى الوحدة المحمية يساوي التيار الخارج منها فإن هذا يعني عدم وجود عطل في المنطقة المحمية والحماية لا تعمل. من ناحية أخرى فإن وجود فرق بين التيار الداخل إلى والخارج من المنطقة المحمية يدل على وجود عطل والحماية في هذه الحالة تعمل لفصل تيار العطل بأسرع ما يمكن. شكل (٤ ـ ٢) وشكل (٤ ـ ٣)



شكل (٤ ـ ٢) حماية تفاضلية والخطأ خارج منطقة الحماية (المرحل يجب أن لا يعمل)



شكل (٤ ـ ٣) حماية تفاضلية والخطأ داخل منطقة الحماية (المرحل يجب أن يعمل)

ويوضح الشكل (٤ . ٢) أن المرحل لا يعمل إذا حدث عطل خارج المنطقة المحمية لأن التيار الذي **يمر في** المرحل يساوي صفر وهذا هو المطلوب. ولكن في الحقيقة نجد أن التيار المار في المرحل في **هذه الحالة** يساوي الفرق بين تيارات المغنطة Magnetising currents المارة في محولات التيار CT_1 , CT_2 . وحتى لو استخدمنا محولات تيار متشابهة تماما من حيث التيار المقنن والشركة المصنعة **ونسبة التحويل** فإننا لا نضمن بأن يكون لهما نفس تيارات المغنطة. بمعنى آخر فإنه من الناحية العملية سيكون هنالك فرق في الخواص المغناطيسية للمحولات. هذا الفرق مهما كان طفيفا سيؤدي إلى عدم اتزان في عمل المرحل وخصوصا نتيجة الأعطال خارج منطقة الحماية. وعمليا تحل هذه المشكلة بإحدى الطريقتين:

١. استخدام مرحلات تفاضلية عالية المعاوقة High impedance differential relays

٢. استخدام مرحلات تفاضلية انحيازية Biased differential relays

حماية محولات القدرة باستخدام الحماية التفاضلية

Differential Protection of Power Transformer

لحماية المحولات نتيجة أخطاء داخلية نستخدم إحدى الطريقتين التاليتين :

١. الحماية التفاضلية المنفصلة **Separate winding differential protection**

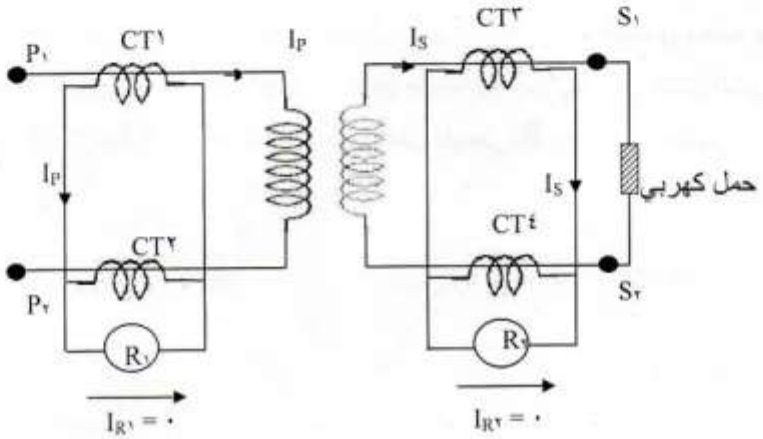
٢. الحماية التفاضلية المتكاملة **Overall winding differential protection**

الحماية التفاضلية المنفصلة Separate winding differential protection

في هذه الحالة يتم حماية ملفات الابتدائي والثانوي كل على حدة. مبدأ عمل هذه الوقاية يمكن فهمه من خلال محول أحادي الوجه . تعتمد نظرية الحماية التفاضلية على التوازن بين التيار الداخل إلى والخارج من ملفات المحول كما هو مبين في شكل (٤ . ٤). في هذا النوع من الحماية نستخدم محولي تيار مع مرحل واحد في كل ناحية من الابتدائي والثانوي. ولكي يكون نظام الحماية متزنا يجب أن يتحقق الشروط التالية :

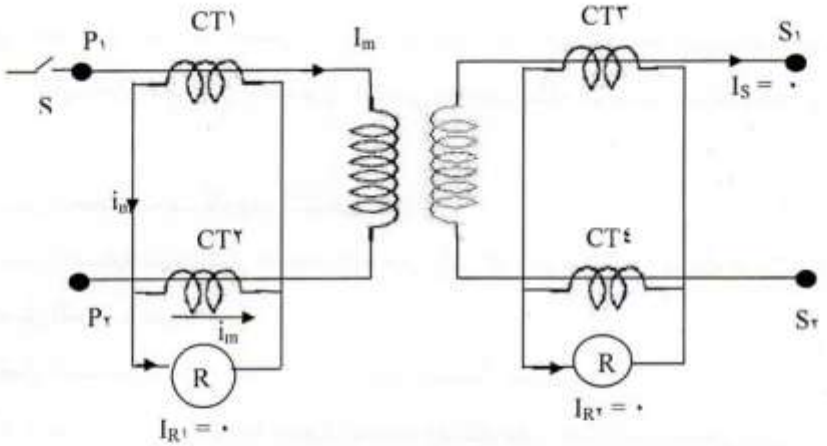
- يجب ألا تعمل الحماية تحت ظروف التشغيل العادية.
- يجب ألا تعمل الحماية نتيجة تيار المغنطة اللحظي المار في محول القدرة لحظة إدخاله إلى الشبكة.
- يجب ألا تعمل الحماية نتيجة خطأ خارجي.
- يجب أن تعمل الحماية نتيجة الخطأ الواقع خلال منطقة الحماية.

شكل (٤ . ٤) يمثل المحول في حالة تحميل عادية. ولذلك فإن التيارات في محول التيارات C.T$_١$, C.T$_٢$ متساوية القيمة ومتضادة في الاتجاه وبالتالي فإن المرحل R$_١$ لا يعمل وكذلك الحال بالنسبة للمرحل R$_٢$



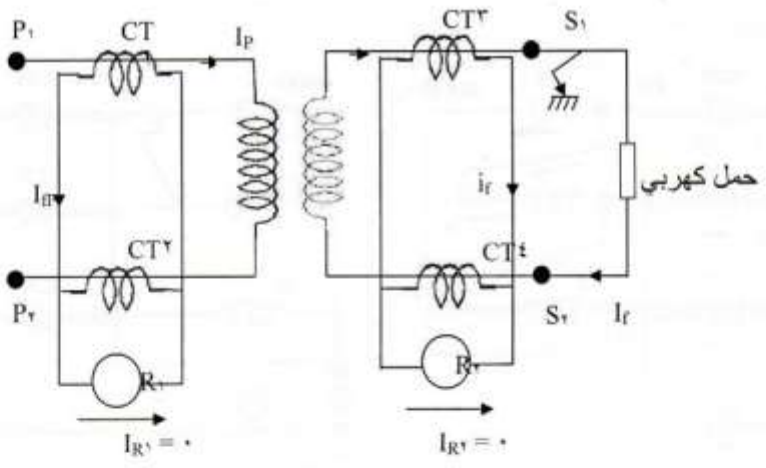
شكل (٤ . ٤) المحول في حالة تشغيل عادية

شكل (٤ ـ ٥) يمثل المحول لحظة توصيله إلى الشبكة وقبل أن يتم توصيل الحمل على أطراف الثانوي. تيار الثانوي (I_S) في هذه الحالة يساوي صفرا وبالتالي فإن المرحل R_2 لا يعمل. أما التيار الابتدائي لحظة قفل المفتاح S يبدأ بقيمة كبيرة قد تصل إلى (١٠ – ٨) من مقنن تيار المحول. وهذا التيار يسمى تيار المغنطة اللحظي (Magnetising inrush current) وسيمر هذا التيار (i_m) في كل من محولي التيار CT_1 and CT_2 وفي اتجاهات متعاكسة فتكون محصلة التيار المار في المرحل R_1 صفرا وبالتالي فإن المرحل لا يعمل وهذا هو المطلوب.



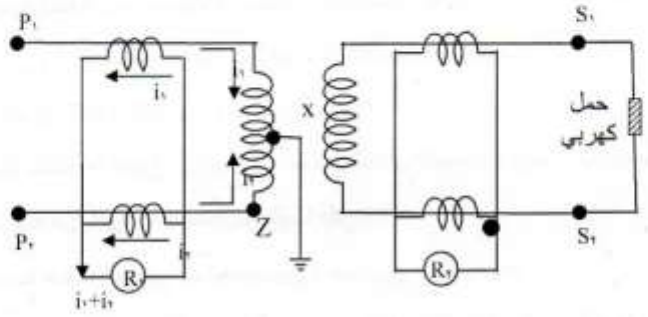
شكل (٤ ـ ٥) المحول في حالة إدخال إلى الشبكة

شكل (٤ ـ ٦) يمثل حالة قصر أرضي خارجي على أطراف الملف الثانوي وعليه فإن تيار القصر سوف يمر في محولات التيار CT_1 , CT_2 وفي اتجاهين متضادين وبالتالي فإن التيار الذي يمر في المرحل R_2 سيكون صفر $(I_{R2} = 0)$. والأمر نفسه ينطبق على المرحل R_1 وهذا هو المطلوب.



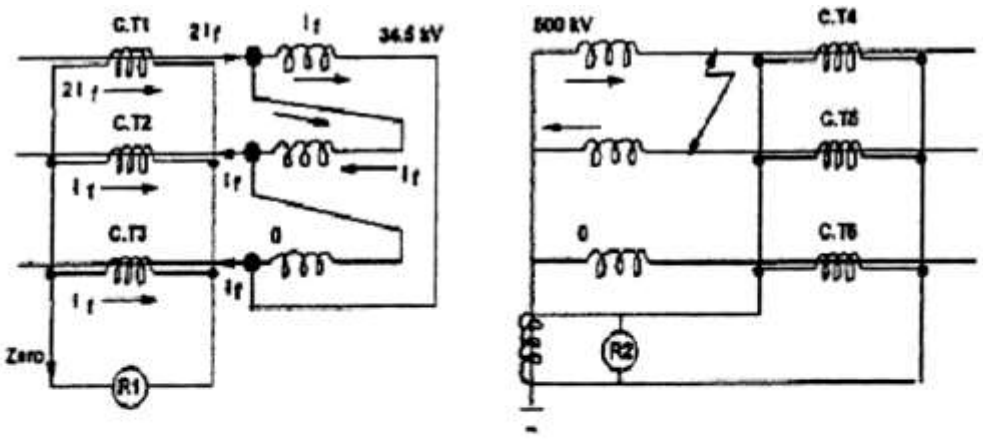
شكل (٤ ـ ٦) المحول في حالة خطأ أرضي خارجي

شكل (٤ ـ ٧) يمثل حالة قصر بين ملفات الابتدائي والأرضي عند النقطة X (خطأ داخلي). من الواضح أن التوازن بين التيارات المارة في محولات التيار CT_1 , CT_2 قد انعدم في هذه الحالة. وكلما اقتربت نقطة الخطأ من Z سيزيد I_2 ويقل I_1 وسيعمل المحول في هذه الحالة كمحول ذاتي. ومحصلة التيارين I_1 , I_2 ستمر في المرحل R_1 وتكون كافية لعمل المرحل نتيجة خطأ داخلي.



شكل (٤ ـ ٧) المحول في حالة قصر بين ملفات الابتدائي والأرض

مما سبق يتضح أن شروط العمل الوقائي الصحيح متوفرة أي أن المرحل لا يعمل تحت ظروف التشغيل العادية أو مع الأخطاء الخارجية أو مع تيار المغنطة اللحظي ويعمل نتيجة الخطأ الداخلي فقط. وعلي ذلك فإنه بالإمكان استخدام هذه الطريقة لوقاية محولات القدرة ثلاثية الأوجه كما هو واضح في شكل (٤ ـ ٨).



شكل (٤ ـ ٨) الوقاية الأرضية لمحول نجمة / دلتا باستخدام وقاية تفاضلية منفصلة

المرحلات المستخدمة في حالة الحماية التفاضلية المنفصلة للمحولات تكون عادة من نوع مرحلات الحافظة المنجذبة ذات المعاوقة العالية. وميزة المعاوقة العالية هي ضمان عدم عمل أجهزة الوقاية نتيجة تشبع أحد محولات التيار بسبب خطأ خارجي.

مزايا الوقاية التفاضلية المنفصلة للمحولات يمكن تلخيصها كما يلي :

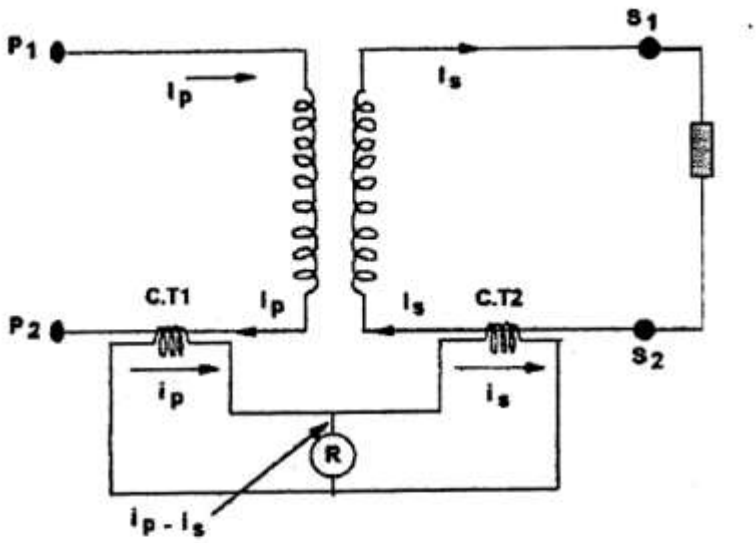
- لا تتأثر بتيار الحمل ولا الأخطاء الخارجية أو تيار المغنطة اللحظي.
- لا تتأثر بنسبة التحويل لمحول القدرة أو محولات التيار.
- تؤمن وقاية كاملة لملفات المحول إذا كانت نقطة تعادل النجمة مؤرضة تأريضا مباشرا.

أما عيوب هذه الطريقة من الوقاية فتتلخص فيما يلي:

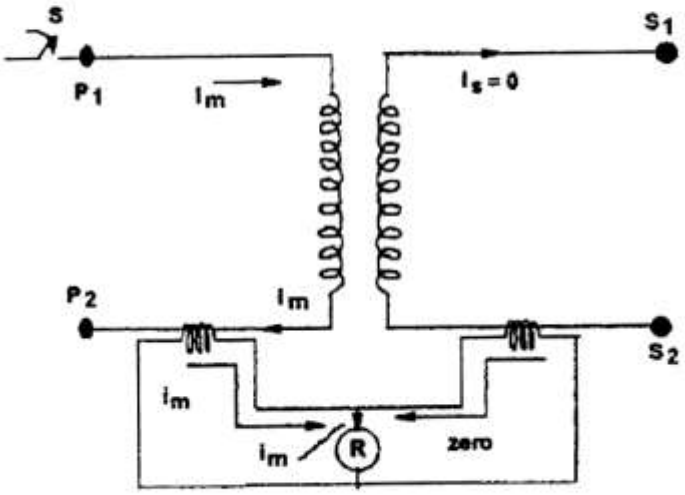
- لا يمكنها كشف حالة القصر الداخلية بين وجهين أو ثلاثة أوجه.
- لا تؤمن وقاية كاملة لملفات المحول إذا كانت نقطة التعادل النجمة مؤرضة من خلال معاوقة أو مقاومة عالية.

٤. ٤. ٢ الحماية التفاضلية المتكاملة Overall differential protection

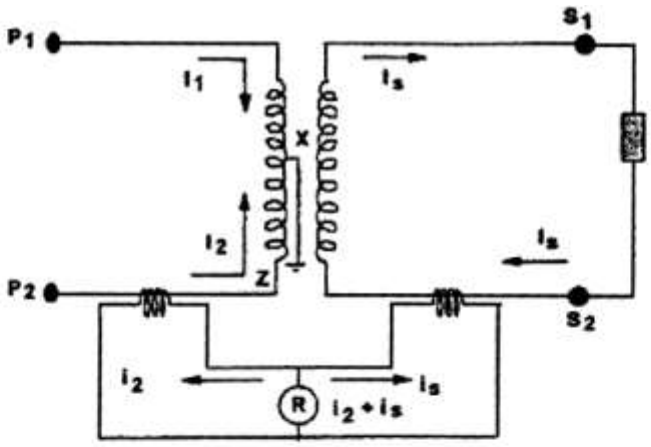
في هذه الحالة يتم وقاية المحول كوحدة متكاملة أي أن شروط التوازن يجب أن تتحقق بين تيار الابتدائي والثانوي كما هو مبين في شكل (٤ ـ ٩) ، شكل (٤ ـ ١٠) ، شكل (٤ ـ ١١) وكذلك (٤ ـ ١٢).



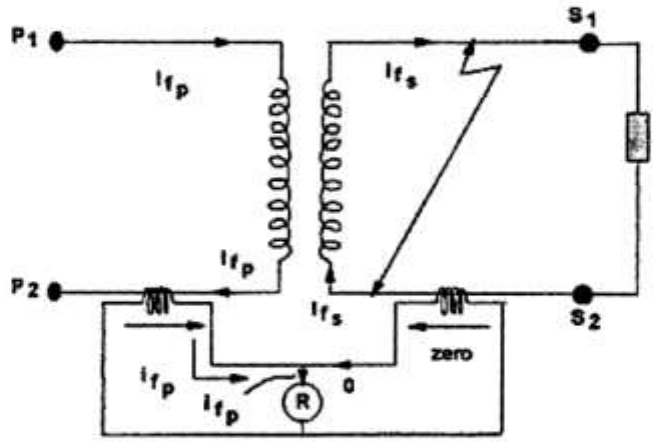
شكل (٤ ـ ٩) المحول في حالة تشغيل عادية



شكل (٤ ـ ١٠) المحول في حالة إدخال إلى الشبكة



شكل (٤ ـ ١١) المحول في حالة قصر بين ملفات الابتدائي والأرض



شكل (٤ ـ ١٢) المحول في حالة قصر بين ملفات الثانوي

بالنسبة للوقاية التفاضلية المتكاملة يتضح الآتي :

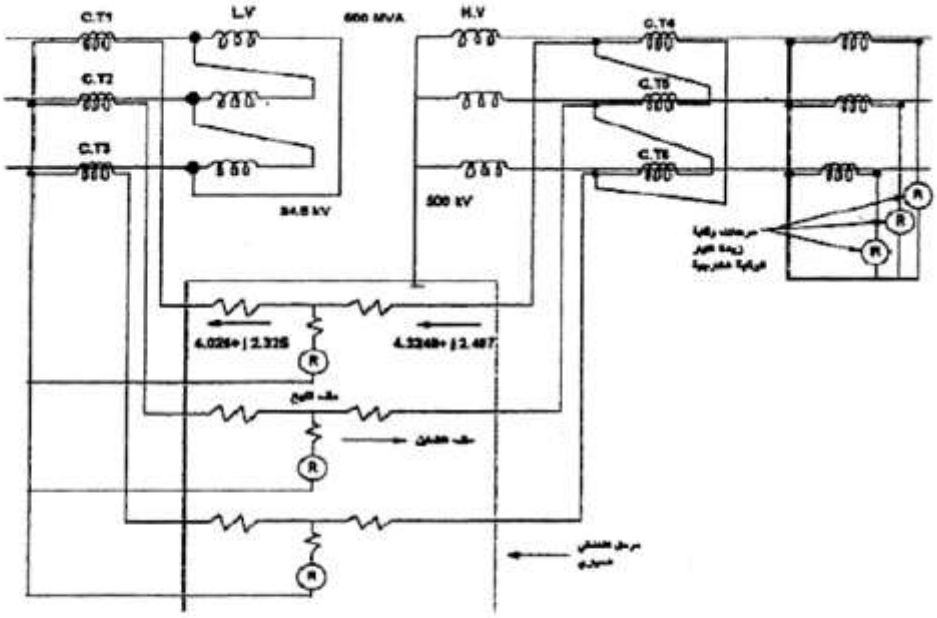
- من الواضح أن هذا النظام الوقائي يتأثر بتيار المغنطة اللحظي الذي يكون مصحوبا بتيارات توافقية عالية التردد من الدرجة الثانية والثالثة .....وهذا شيء غير مرغوب فيه.
- يتأثر هذا النظام من الحماية بالأخطاء الداخلية الأرضية والأخطاء الخارجية بين الأوجه وهذا مطلوب.
- يبقى متزنا تحت ظروف التشغيل العادية والأخطاء الخارجية بشرط أن يتحقق تطابق كلي بين CT_1 و CT_2 وهذا يصعب تحقيقه عمليا.

- أي عدم تطابق بين CT_1 , CT_2 من ناحية نسبة التحويل أو تيار المغنطة قد يؤدي إلى عمل المرحل تحت ظروف التحميل العادية أو خارج منطقة الحماية أضف إلى ذلك العوامل التالية.

١.وضعية المأخذ وتأثيرها على تيارات الحمل وما قد تسببه من عدم توازن بين تيارات الثانوي في CT_1 , CT_2 تحت ظروف التشغيل العادي والأخطاء الخارجية.

٢. توصيلة Δ . Y في المحولات ثلاثية الوجه التي تسبب انحياز 30° في زاوية الطور بين تيارات الخط ناحية الـ Δ وناحية Y .

وعلي ذلك فإنه لكي يعمل هذا النظام الوقائي بشكل سليم لابد من تطبيق الوقاية التفاضلية الانحيازية التوافقية. هذا من ناحية ومن ناحية أخرى يتم توصيل محولات التيار ناحية Y . بشكل Δ وناحية الـ Δ بشكل Y حتى نتخلص من ظاهرة الانحياز في زاوية الطور بين التيارات المارة في خطوط الـ Δ و الـ Y كما هو موضح في شكل (٤ . ١٣).



شكل (٤ . ١٣) الوقاية التفاضلية الانحيازية الكاملة لمحولات القدرة.

نوع المرحل المستخدم عادة في الوقاية التفاضلية الانحيازية هو المرحل الحثي ذو القرص المتحرك وزمن الفصل يكون قصير جدا. ولحماية المحول من الأخطاء الخارجية نستخدم عادة مرحلات زيادة التيار لكل وجه. هذه المرحلات تعمل كحماية احتياطية للوقاية التفاضلية لأن زمن فصلها عادة يكون أكبر بكثير من زمن فصل المرحلات التي تستخدم في الوقاية الداخلية للمحول.

مثال :

في الشكل (٤ . ١٣) اعتبر أن مقنن القدرة الظاهرية للمحول هي ٥٠٠ MVA والجهد ناحية الدلتا هو ٣٤.٥ kV والجهد ناحية النجمة ٥٠٠ kV . والمطلوب :

١. اختيار نسبة تحويل محولات التيار CT_1 , CT_2

٢. التيار المار في ملف التشغيل والكبح ونسبة الانحياز في الوجه A للمرحل الانحيازي التفاضلي.

الحل

نفرض أن المحول يحمل تيار الحمل الكامل :

$$I_a = \frac{500\ X10^6}{\sqrt{3}\ X\ 500\ X1000} = 577.35\angle 0$$

والتيار في خط الدلتا (الوجه A) هو

$$I_{a\Delta} = \frac{500\ X10^6}{\sqrt{3}\ X\ 34.5\ X1000} = 8367.165\angle 30^\circ$$

إذا نختار نسبة التحويل لمحول التيار CT_1 كما يلي : ٥ / ٩٠٠٠

وبالتالي فإن القيمة المطلقة لتيار الثانوي في CT_1 تساوي $\frac{8367.165}{1800} = 4.65\ A$

وعلي ذلك فإن القيمة الاتجاهية لتيار الثانوي في محول التيار CT_1 هي

$$4.65\angle 30^\circ = 4.026 + j2.325\ A$$

إذا حتى يكون تيار الكبح ن الجزء الثاني من ملف الكبح مساويا (٤.٦٥ A) يجب أن تكون نسبة تحويل CT_2 بحيث يكون تيار الثانوي المار فيه مساويا (٤.٦٥ / √٣) .

و حيث إن I_a = ٥٧٧.٣٥ A

فإن نسبة التحويل لمحول التيار CT_2 = - (٥٧٧.٣٥ / ٢.٦٨) = ١٠٧٧.١٦ : ٥ وعلى ذلك نختار نسبة التحويل لمحول التيار CT_2 بنسبة ٥ : ١٠٠٠ .

التيار الذي يمر في ملف الثانوي لمحول التيار CT_2 $= -\frac{577.35}{200} = -2.88\ A$

وعلى ذلك فإن التيار المار في الجزء الثاني من ملف الكبح $= -2.88\sqrt{3}\angle 30^\circ = 4.3249 + j2.497$

مثال :

في الشكل (٤ ـ ١٣) اعتبر أن مقنن القدرة الظاهرية للمحول هي ٥٠٠ MVA والجهد ناحية الدلتا هو ٣٤.٥ kV والجهد ناحية النجمة ٥٠٠ kV . والمطلوب :

١. اختيار نسبة تحويل محولات التيار CT_1 ، CT_2

٢. التيار المار في ملف التشغيل والكبح ونسبة الانحياز في الوجه A للمرحل الانحيازي التفاضلي.

الحل

نفرض أن المحول يحمل تيار الحمل الكامل :

$$I_a = \frac{500 \times 10^6}{\sqrt{3} \times 500 \times 1000} = 577.35 \angle 0$$

والتيار في خط الدلتا (الوجه A) هو

$$I_{a\Delta} = \frac{500 \times 10^6}{\sqrt{3} \times 34.5 \times 1000} = 8367.165 \angle 30^\circ$$

إذا نختار نسبة التحويل لمحول التيار CT_1 كما يلي : ٥ / ٩٠٠٠

وبالتالي فإن القيمة المطلقة لتيار الثانوي في CT_1 تساوي $\frac{8367.165}{1800} = 4.65$ A

وعلي ذلك فإن القيمة الاتجاهية لتيار الثانوي في محول التيار CT_1 هي

$$4.65 \angle 30^\circ = 4.026 + j2.325 \text{ A}$$

إذا حتى يكون تيار الكبح ن الجزء الثاني من ملف الكبح مساويا (٤.٦٥ A) يجب أن تكون نسبة تحويل CT_2 بحيث يكون تيار الثانوي المار فيه مساويا (٤.٦٥ / √٣) .

و حيث إن I_a = ٥٧٧.٣٥ A

فإن نسبة التحويل لمحول التيار CT_1 = - (٥٧٧.٣٥ / ٢.٦٨) = ١٠٧٧.١٦ : ٥ وعلى ذلك نختار نسبة التحويل لمحول التيار CT_2 بنسبة ٥ : ١٠٠٠ .

التيار الذي يمر في ملف الثانوي لمحول التيار CT_2 $= -\frac{577.35}{200} = -2.88$ A

وعلى ذلك فإن التيار المار في الجزء الثاني من ملف الكبح $= -2.88\sqrt{3}\angle 30^\circ = 4.3249 + j2.497$

وبالتالي فإن التيار المار في ملف التشغيل $= I_1 - I_2 = ٠.٢٩٨٩ + j٠.١٧٢\ A$

$$So,\ K_1 = \left| I_1 - I_2 \right| = ٠,٣٤٤\ A$$

$$But,\quad [(I_1 + I_2)/٢] = ٤,١٧٥٤٥ + j\ ٤,٨٢٢$$

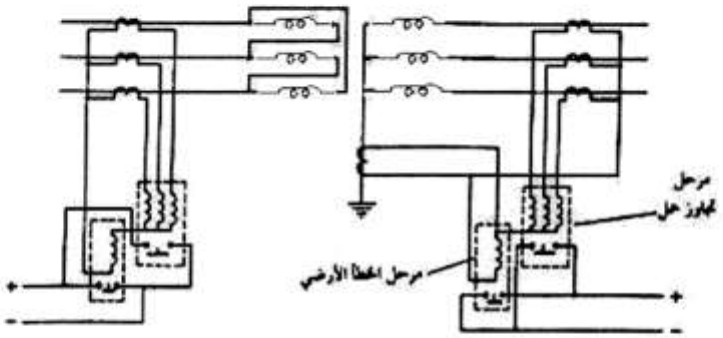
$$So,\ K_2 = \left| (I_1 + I_2)/٢ \right| = ٦,٣٧٤\ A$$

$$So,\ K_1 / K_2 = ٠.٣٤٤ / ٦.٣٧٤ = ٠.٠٥٤ = ٥.٤\ \%$$

وهذه النسبة كما ذكرنا سابقا سببها عدم التطابق الكلي بين محولات التيار ناحية ملفات الثانوي والابتدائي ، لذلك فإن المرحل يجب أن يضبط عند معامل انحياز K أكبر من ٥.٤ % أي عند $K = ١٠$ %.

٤. ٥ حماية المحول ضد زيادة الحمل

لحماية المحولات ضد زيادة الحمل يتم استخدام مرحل تجاوز حمل . ويبين الشكل (٤. ١٤) كيفية حماية محول ضد تجاوز التيار وضد الخطأ الأرضي



شكل(٤ ـ ١٤) حماية محول ضد تجاوز التيار وضد الخطأ الأرضي

٤. ٦ جهاز البوخولز Bucholoz Relay

يستخدم مرحل بوخولوز لحماية المحولات المغمورة بالزيت Oil – filled transformers ويبين شكل (٤ . ١٥) وضع الجهاز بالنسبة للمحول وخزان الزيت الإضافي conservator وكذلك أجزاء المرحل نفسه وطرق توصيله إلى جرس الدائرة Alarm أو القاطع الآلي .

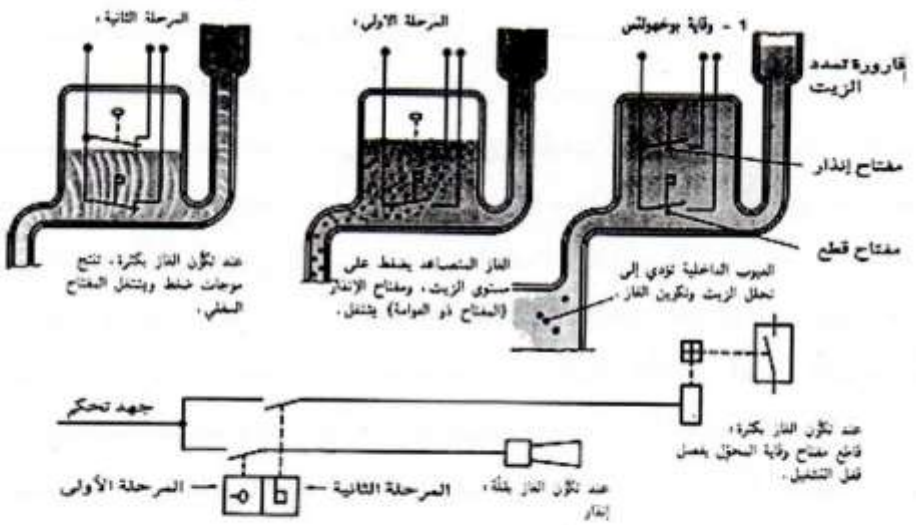
والميزة الأساسية وراء استخدام هذا المرحل ، بالإضافة إلى المرحل الحراري والتفاضلي لحماية المحولات هي مراقبة وكشف الأعطال داخل المحول في مرحلتها الأولى وقبل أن يسبب العطل إتلافا لملفات المحول أو انفجارا للمحول إذا زادت الغازات القابلة للاشتعال بداخل المحول. وبالنسبة لنظرية عمل هذا المرحل فهي كالتالي :

١. في حالة زيادة الحمل على المحول ترتفع درجة حرارة الزيت إلى درجات أعلى من المعدل المسموح به. وزيادة درجة حرارة الزيت تسبب تبخر للزيت وبالتالي إلى ظهور فقاقيع من غاز الهيدروجين H_2 وأول أكسيد الكربون CO . هذه الفقاقيع تشق طريقها إلى أعلى داخل المحول وتتجمع في أعلى جهاز البوخولز المليء بالزيت عادة. عندها تسقط عوامة مفتاح الإنذار مسببة عمل لهذا المفتاح وقفل

الملامسات المتصلة بجهاز الإنذار (المرحلة الأولى). أيضا يسبب المرحل عمل أجهزة الإنذار في حالة انخفاض مستوى الزيت بداخله نتيجة تسرب زيت الخزان الرئيسي.

٢. في حالة حصول خطأ شديد داخل المحول (قصر بين الملفات أو قصر بين الملفات والأرض مصحوبا بشرارة عالية) فإن تكوين فقاعات الغاز سيكون شديدا جدا وعلي شكل نافورة من الغازات مسببة تغيير وضعية العوامة الثانية والتي تقفل الملامسات المتصلة بالقاطع الآلي الرئيسي Main circuit breaker . في هذه الحالة يعمل مرحل البوخولز كحماية احتياطية للحماية التفاضلية (مرحل بوخولز أبطأ من المرحل التفاضلي في العمل وأسرع من مرحل زيادة التيار O/C relay). الشيء الجيد في هذا المرحل أنه مزود أيضا بصمام يمكن فتحه وأخذ عينات من الغازات المتجمعة لتحليلها.

ومن تحليل عينة الغازات المذابة بالزيت يمكن معرفة نوعية الغازات الموجودة بالزيت وبالتالي يمكن تشخيص نوعية العطل الذي تعرض له المحول وبالتالي عزل المحول عن الشبكة يدويا إذا لزم الأمر لذلك قبل أن يستفحل الخطأ وهذا ما يسمى بالصيانة الوقائية Preventive maintenance . والغازات المذابة داخل الزيت والتي تنتج عن الأخطاء داخل المحول هي غاز الهيدروجين H_2 واول أكسيد الكربون CO والميثان CH_4 والإيثان C_2H_6 والإسيتلين C_2H_2 وثاني أكسيد الكربون CO_2 . ويمكن استخدام هذه الغازات كأداة تشخيصية للأعطال .فمثلا وجود غاز الهيدروجين وغاز الإسيتلين يدل على وجود قوس كهربي داخل الزيت Arcing بين الأجزاء المعدنية. ووجود غازات مثل CH_4 , C_2H_4 , C_2H_6 , CO_2 يدل على وجود بقعة ساخنة Hot spots داخل ملفات الزيت.



شكل (٤ ـ ١٥) رسم تفصيلي لمرحل بوخولز

الاختبار ألبعدى : Post Test

اختر الإجابة الصحيحة

1. متابع بوخلص يحمي المولدة من :

أ – جميع الأعطال الداخلية ب – عطب لفة – لفة حـ - أ . ب خطأ

2. الحماية التفاضلية هي أكثر أنواع الحماية كفاءة لحماية المولدات والمحولات من :

أ – الأعطال الخارجية ب – الأعطال الداخلية حـ - الأعطال الأرضية

3. يتم استخدام كاشفات الحرارة بين ملفات الساكن للمولدات لكشف عن :

أ – فرط الفولتية ب – فرط حرارة الملفات حـ - فرط السرعة

4. تعتمد قيمة التيار الاندفاعي في المحولات على :

أ – حجم المحولات ومنظومة القدرة ب – نوع مادة القلب الحديدي

حـ - كليهما أ . ب

5. الاختلاف بين تياري التفاضلي في المتابعات التفاضلية ناتجة في الحالات الطبيعية من

أ – عدم تساوي ممانعة الأسلاك الذليلية ب – وجود مغير التفريعة

حـ - كليهما أ . ب

مفاتيح الأجوبة الاختيارات :

ت	الاختبار القبلي	اختبار ذاتي	اختبار بعدي
1	بوخلص	صح	جـ
2	الداخلية	صح	ب
3	تفاضلية.اتجاهية. فوق التيار	خطأ	ب
4	السالب	صح	جـ
5	فقد المجال	صح	جـ

المصادر :

1- منظومة القدرة الكهربائية تأليف د . ضياء علي – طارق محمد أمين

2- أنظمة القدرة الكهربائية تأليف د . محمد فائق العزاوي

الأسبوع (26)

الموضوع :الحماية المسافية (البعدية) Distance Protection

الفئة المستهدفة : الصف الثاني/ قسم التقنيات الكهربائية.

الأفكار المركزية : تعريف الطالب وتعليمه

1. ماهية الحماية المسافية .
2. مبدأ عمل الحماية المسافية .
3. لماذا يستخدم هذا المبدع في حماية خطوط النقل .
4. لماذا يفضل هذا النوع في المغذيات الحلقية بينما يفشل الأنواع الأخرى للحماية .

الأهداف المركزية : تعريف الطالب بعد الانتهاء من المحاضرة

1. بأهمية الحماية البعدية المغذيات وخطوط النقل .
2. مبدع عمل متابع البعد (متابع الممانعة) Impedance Relay.
3. أنواع المتابعات - متابع الممانعة - متابع مهو – متابع اتجاهي - متابع X .
4. متابعات البعد الالكترونية .
5. متابعات نوع Lens العدسة و Blend الأعمى لمنع تأثير قساوة الشرارة Rare .

الاختبار القبلي : Pre Test

أملأ الفراغات التالية :

1. متابع البعد يعمل على مبدأ قياس ـــــــ العطب .
2. يتكون متابع الممانعة من ملفي احدهما يتحسس ـــــــ والأخر يتحسس ـــــــ للشبكة .
3. خصائص متابع الممانعة عبارة عن دائرة مركزها نقطة الأصل وفق ـــــــ .
4. متابع البعد لايعمل ـــــــ الدائرة لأن Z_F اكبر من Z_R
5. لمنع المتابع من العمل للمغذيات الواقعة على جهتي المتابع يضاف إليه وحدة المتابع ـــــــ لكي يعمل باتجاه واحد .

الاختبار الذاتي : Self Test

أجب صح أو خطأ:

1- يعتمد مبدأ العمل على ممانع الخط .
2- عن حدوث عطب على الخط فان ممانعة العطب يكون اعلي من الممانعة الذي تم تعبير المتابع علية $Z_f > Z$ setting.
3- متابعات البعد الاتجاهية تعمل على الأعطال التي تقع على طرفي المتابع.
4- متابعات البعد ذو 3 مراحل تقوم بحماية 3 مقاطع من المغذيات بتخلف زمني معين
5- متابعات البعد تمتاز بخصائص أفضل من المتابعات الأخرى لحماية الخطوط .

٢. ٥. ٥ المرحلات المسافية Distance Relays

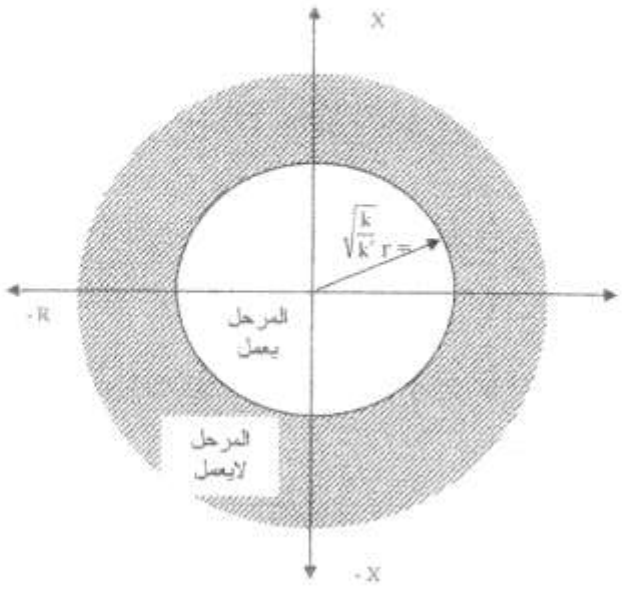
عندما يكون طول الخط المراد حمايته طويلا فإن الحماية بواسطة أسلاك البيلوت تصبح مكلفة وغير اقتصادية. وتتم الحماية في هذه الحالة باستخدام مرحلات الممانعة أو المسافة حيث يتم فيها مقارنة التيار المحلي مع الجهد المحلي في طور محدد. ففي المرحلات الكهرومغناطيسية فإن مغناطيس التيار يخلق قوة أو عزماً ($k I^2$) يحاول إغلاق ملامس المرحل ومغناطيس الجهد يخلق قوة أو عزماً مقاوماً ($k' V^2$) يحاول أن يبقي الملامس مفتوحاً. ويحدث العمل في المرحل عندما يتغلب عزم التيار على عزم الجهد.

$$k\,|I|^2 \succ k'\,|V^2|$$

$$\left|\frac{V}{I}\right|^2 \prec \frac{k}{k'}$$

$$|Z| \prec \sqrt{\frac{k}{k'}}$$

ويظهر في المعادلة الأخير أن مميزات التشغيل على مخطط الممانعة دائرة نصف قطرها $\sqrt{\frac{k}{k'}}$ ومركزها في مركز الإحداثيات ويبين الشكل (٢ . ٥٠) هذه الحالة. ويعمل المرحل عندما تنخفض الممانعة عن قيمة محددة. وبما أن ممانعة الخطوط تتناسب مع الطول لذلك تستعمل هذه الحماية للحماية من عطل ضمن منطقة معينة. ويعير المرحل بحيث تصبح ممانعة الجزء المحمي مساوية $\sqrt{\frac{k}{k'}}$ حيث k ، k' ثوابت.



شكل (٢ . ٥٠) خصائص الحماية المسافية

المرحلات الاتجاهية Directional Relays

إن المرحلات مثل زيادة التيار والممانعة تستجيب للأعطال في أي اتجاه كما في الشكل (٢ . ٥٠).

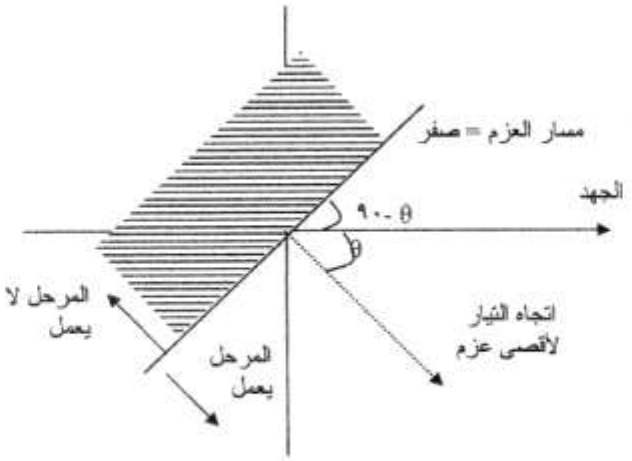
ولمنع هذه المرحلات من فصل الخطوط السليمة فإنه يتم مراقبتها بالمرحلات الاتجاهية كما بالشكل (٢ . ٥١) وتستجيب فقط لسريان التيار من القضبان المجمعة إلى الخط.

إن عزم المرحل يكون :

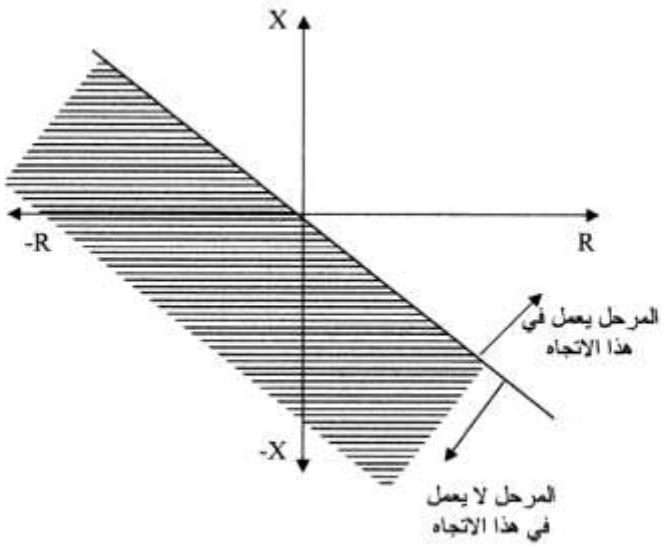
$$T = |V|\ |I| \cos(\varphi - \theta)$$

حيث إن φ هي الزاوية بين التيار I والجهد V

و θ هي قيمة الزاوية φ التي يكون للمرحل أكبر عزم.



(أ) مخطط التيار للمرحل الاتجاهي



(ب) مخطط الممانعة

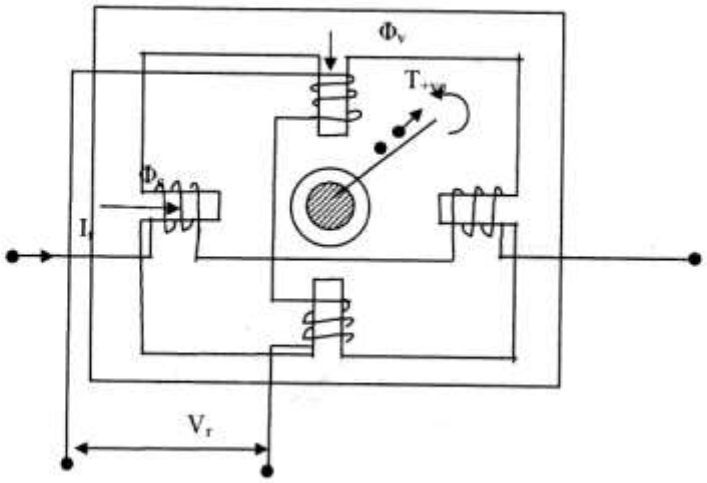
شكل (٢ . ٥١) مميزات المرحلات الاتجاهية

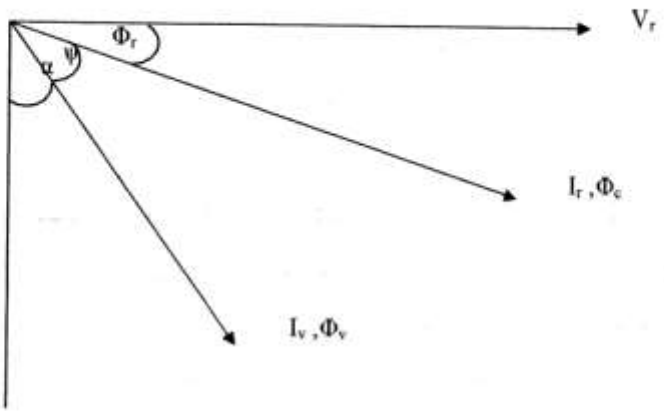
حماية زيادة التيار الاتجاهية Directional Over Current Protection

تستخدم الحمايات الاتجاهية في أنظمة القدرة والشبكات الكهربية التي تتغذى من مصدرين أو في الشبكات الحلقية أو الدوائر المتوازية وليس من الضروري استخدام هذه الحمايات في الدوائر الشعاعية المفردة والمغذاة من مصدر واحد. ويعتمد مبدأ عمل الحماية الاتجاهية على الاستجابة لسريان التيار باتجاه واحد محدد ولاتستجيب لسريان التيار بالاتجاه المعاكس مهما كانت قيمته.

طريقة عمل المرحلات الاتجاهية Method of Operation for Directional Relays

معظم المرحلات الاتجاهية هي مرحل حثي Induction Relay مزود بملفين (ملف للتيار وملف للجهد) وشكل (٢ . ٥٠) يوضح طريقة توصيل مرحل حثي اتجاهي.



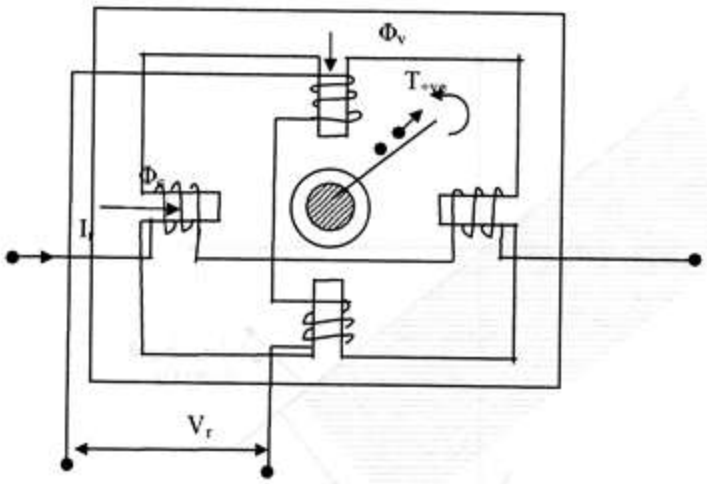


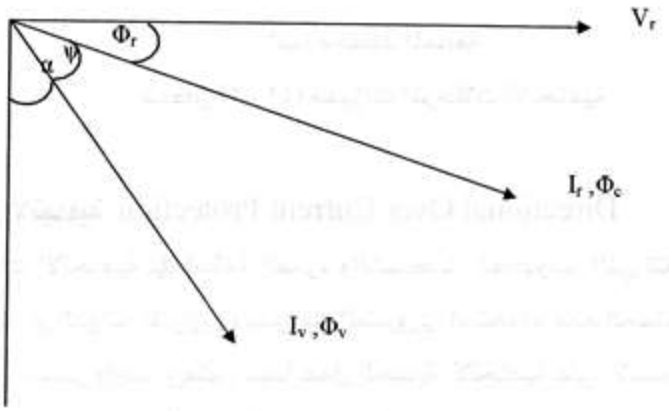
شكل (٢ ـ ٥٠) مرحل حثي اتجاهي

فلو فرضنا أن الجهد V_r يعطي فيضا مغناطيسيا φ_v والتيار I_r يعطي فيضا مغناطيسيا φ_c فإن يمكن كتابة معادلة العزم الناتج كما يلي :

$$T = k_1 \ \varphi_v \ . \ \varphi_c . \ Sin \ (\varphi_v, \varphi_c)$$

$$T = k_1 \ \varphi_v \ . \ \varphi_c . \ Sin \ (\varphi)$$





شكل (٢ ـ ٥٠) مرحل حثي اتجاهي

فلو فرضنا أن الجهد V_r يعطي فيضا مغناطيسيا φ_v والتيار I_r يعطي فيضا مغناطيسيا φ_c فإن يمكن كتابة معادلة العزم الناتج كما يلي :

$$T = k_1 \ \varphi_v \ . \ \varphi_c . \ Sin \ (\varphi_v, \varphi_c)$$

$$T = k_1 \ \varphi_v \ . \ \varphi_c . \ Sin \ (\varphi)$$

حيث إن φ هي الزاوية بين تيار ملف التيار وتيار ملف الجهد وتعتمد على معاوقة ملف الجهد وعلى ذلك فإن معادلة العزم تصبح كما يلي:

$$T = k_1 \ \varphi_v \ . \ \varphi_c . \ Sin \ (٩٠ - (\varphi_r + \alpha)$$

حيث إن φ_r هي الزاوية بين التيار والجهد للدائرة المحمية وعلى ذلك فإن معادلة العزم تكون :

$$T = k_1 \ \varphi_v \ . \ \varphi_c . \ Cos \ (\ \varphi_r + \alpha)$$

$$So, \ T = k_1 \ Vr \ . \ Ir . \ Cos \ (\ \varphi_r + \alpha)$$

حيث إن (α) هي الزاوية الداخلية للمرحل. وهناك حالات خاصة لهذا المرحل منها :

- مرحل لقياس القدرة غير الفعالة ويصبح فيها معادلة العزم كما يلي :

$$\alpha = ٩٠^{\circ}, \ So; \ T = k_2 \ Vr \ . \ Ir . \ Sin \ \varphi_r$$

- مرحل لقياس القدرة الفعالة Active Power Relay ويصبح فيها معادلة العزم كما يلي :

$$\alpha = ٠^{\circ}, \ So; \ T = k_1 \ Vr \ . \ Ir . \ Cos \ \varphi_r$$

وعليه فإنه وبشكل عام فإن معادلة العزم تكون :

$$T = k_2 \ Vr \ . \ Ir . \ Cos \ (\ \varphi_r + \alpha)$$

فإذا كانت φ_r حادة فإن العزم يكون موجبا ويستجيب المرحل ويعمل.

أما إذا كانت الزاوية φ_r منفرجة فإن العزم يكون سالبا ولايستجيب المرحل مهما كانت قيمة التيار. وعلي هذا فإن هذا المرحل يعمل في اتجاه واحد فقط ولايعمل في الاتجاه الآخر للتيار ولذلك سمي مرحل زيادة تيار اتجاهي.

الاختبار ألبعدى : Post Test

اختر الإجابة الصحيحة

1. يستخدم متابع مهو عادة لحماية:

أ – خطوط نقل طويلة ب – متوسطة حـ - قصيرة

2. يفضل استخدام متابع الممانعة الميتة (Reactance relay) بالحماية :

أ-الأخطاء الأرضية فقط ب- أخطاء الاطور جـ - لا أ ولا ب

3. عزم التشغيل في متابع الممانعة يعتمد على النسبة بين ملف الفولتية – إلى ملف التيار

أ- لان $z = \frac{v}{I}$ ب- $r = \frac{sl}{a}$ جـ - لان wl x =

4. في متابع الممانعة متعدد المراحل يتم حماية 8% من الخط في المرحلة الأولى بضمان عدم حدوث :

أ- under reach عدم الوصول ب- over reach بعد الوصول جـ - كليهما أ ب

5. الحماية البعدية له تميز جيد للأعطال لمغذيات متتالية :

أ- لأنه يتحسس تيار العطب ب- لأنه يتحسس ممانعة العطب

جـ - لأنه يتحسس مقاومة الشرارة

مفاتيح الأجوبة الاختيارات :

ت	الاختبار القبلي	اختبار ذاتي	اختبار بعدي
1	ممانعة	صح	أ
2	التيار - الفولتية	خطأ	ب
3	z	خطأ	أ
4	OHV[	صح	ب
5	الاتجاهية	صح	ب

المصادر :

1- منظومة القدرة الكهربائية تأليف د . ضياء علي – طارق محمد أمين

2- أنظمة القدرة الكهربائية تأليف د . محمد فائق العزاوي

الأسبوع (27)

الموضوع : الحماية المولدات والمحولات Protection OF Generators & Trans formers

الفئة المستهدفة : الصف ثاني/ قسم التقنيات الكهربائية .

الأفكار المركزية : تعليم الطالب وتعليمه :

1. بأهمية حماية المولدات والمحولات .
2. طرق حماية المولدات والمحولات .
3. استخدام المتابعات التفاضلية ومتابعات التسرب .
4. طرق حماية الجزء الدوار الساكن في المولدات .

الأهداف: تعريف الطالب بعد الانتهاء من المحاضرة :

1. حماية المحولات من الأعطال للأطوار وللأرضي .
2. حماية المحولات من الأعطال الداخلية .
3. حماية المولدات من فوق التيار – فوق الإثارة - فوق السرعة .
4. حماية المولدات من أعطال التسرب الأرضي للجزء الساكن والدوار .

الاختبار القبلي : Pre Test

أملأ الفراغات التالية :

1. يتم حماية المحولات من التحميل الزائد over load بواسطة متابع ـــــ .
2. يستخدم المتابع التفاضلي لحماية المحولات من الأعطال ـــــ .
3. يتم حماية المولدات من الأعطال باستخدام متابعات ـــــ و ـــــ .
4. يتم حماية المولدات من عدم الاتزان باستخدام مرشحات التتابع ـــــ .
5. يتم استخدام متابع تحت التيار لحماية المولدة من ـــــ .

الاختبار الذاتي : Self Test

أجب بـ (صح أو خطأ) للأسئلة التالية

1- زيادة سرعة المولدات يؤدي إلى زيادة في تردد الشبكة .
2- يتم حماية زيادة التحميل في المولدات باستخدام كاشفات الحرارة بين ملفات الجزء الساكن .
3- حماية المولدات من التسرب الأرضي يتم باستخدام متابعات تفاضلية.
4- يجب استخدام مرشح التوافقيات لمنع المتابع التفاضلي من العمل بسبب التيار الاندفاعي في المحولات.
5- يتم الحماية من فرط الفولتية على المولدات باستخدام مانعات صواعق.

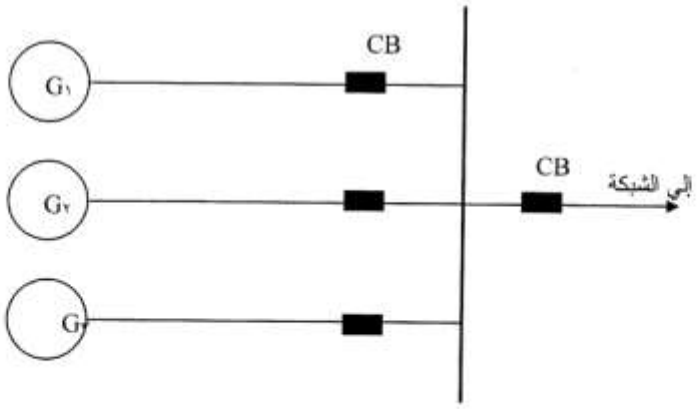
حماية المولدات الكهربائية

مقدمة

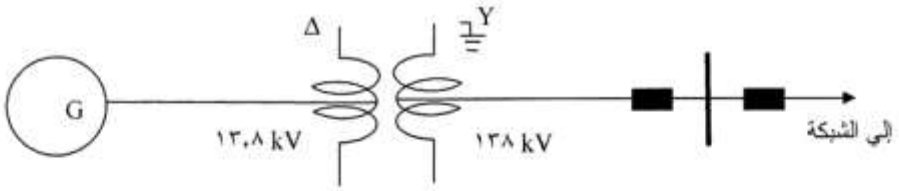
مقنن المولدات الكهربية يعتمد اعتمادا كليا على نوع المحرك الميكانيكي (prime Mover) والمقننات النموذجية للمولدات هي كما يلي :

- مولد يعمل بواسطة محرك ديزل ١٠kVA – ١,٧ MVA
- مولد يعمل بواسطة تربينة الغاز ١٠MVA – ١٥٠ MVA
- مولد يعمل بواسطة تربينة بخارية ١٠٠ MVA – ٦٠٠ MVA
- مولد يعمل بواسطة تربينة هيدروليكية ٥٠ MVA – ٣٠٠ MVA

المولدات الصغيرة يتم ربطها إلى الشبكة الكهربية مباشرة من خلال قاطع إلى كما هو موضح في شكل (٥ ـ ١) . أما بالنسبة للمولدات الكبيرة أو محطات التوليد الأساسية فإنه يتم ربطها إلى الشبكة من خلال محول لرفع الجهد والقاطع الآلي المسؤول عن حماية المولد يتم وضعه عادة بعد محول الرفع كما بالشكل (٥ ـ ٢).



شكل (٥ ـ ١) ربط المولدات الصغيرة بالشبكة الكهربية



شكل (٥ ـ ٢) ربط المولدات الكبيرة بالشبكة الكهربية

أعطال المولدات Generators Faults

الأعطال الميكانيكية Mechanical Faults

من الممكن تلخيص الأعطال الميكانيكية في المولدات كما يلي :

- أعطال ناتجة عن زيت التبريد.
- أعطال ناتجة عن الاهتزاز.
- فشل نظام تبريد الهيدروجين.
- فشل المحرك الميكانيكي نفسه أو بمعنى آخر التربينة.
- ارتفاع زائد في درجة حرارة الملفات نتيجة فشل جزئي للعزل.

وجميع هذه الأعطال يتم مراقبتها عادة بواسطة أجهزة قياس متصلة إلى أجهزة إنذار.

الأعطال الكهربية Electrical Faults

أولا : أعطال العضو الثابت Stator Faults

معظم الأعطال الداخلية التي يتعرض لها المولد تكون ناتجة عن فشل العزل في ملفات العضو الثابت. وانهيار العزل يسبب قصر كهربائي بين الوجه والوجه أو بين الوجه والأرض. وتيار القصر نفسه قد يؤدي إلى تلف ملفات العضو الثابت أو صفائح حديد العضو الثابت. وبعض المسببات الرئيسية لانهيار عزل ملفات العضو الدوار هي :

- ارتفاع زائد في جهد التوليد.
- عدم توازن في التيارات المولدة في الأوجه الثلاثة وهذا بدوره يؤدي إلى ارتفاع زائد في درجة حرارة ملفات العضو الثابت وبالتالي انهيار مادة العزل.
- مشاكل فنية في نظام تهوية وتبريد المولد الكهربائي.

ثانيا : أعطال العضو الدوار Rotor Faults

بعض الأعطال التي يتعرض لها العضو الدوار هي :

- عطل الدائرة المفتوحة Open circuit
- ارتفاع زائد في درجة حرارة ملفات العضو الدوار نتيجة عدم توازن التيارات المتولدة في أوجه العضو الثابت.
- قصر بين ملفات العضو الدوار والأرض. وهذا النوع من الأعطال لا يستدعي الفصل الفوري للمولد عن الشبكة وذلك للأسباب التالية :

١.العضو الدوار يعمل عادة عند جهد ٥٠٠ V بينما يعمل العضو الثابت عند جهد يتراوح بين ١٣.٨ – ٢٣ kV .

٢.ملفات العضو الدوار غير مؤرضة وبالتالي فإن مسار الخطأ الأرضي معدوم في هذه الحالة.

٣.٢.٥ أعطال أخرى Other generators faults

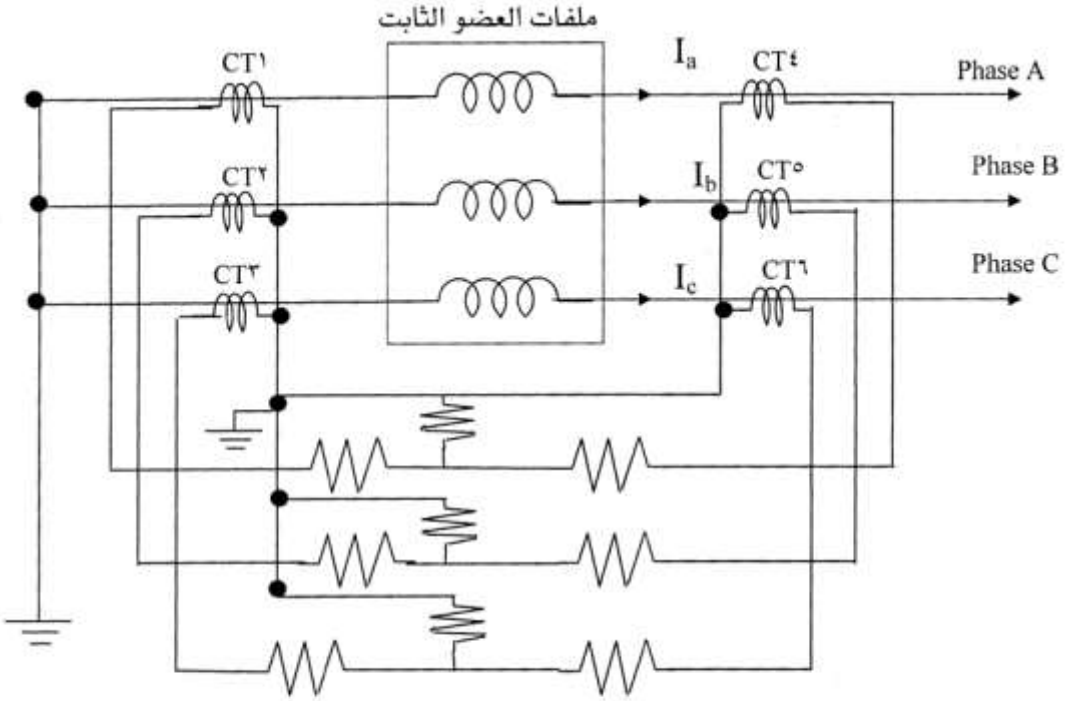
بعض الأعطال التي يتعرض لها المولد بشكل عام يمكن أن تتلخص فيما يلي :

- ارتفاع زائد في تيار العضو الثابت نتيجة زيادة التحميل Over load
- هبوط في قيمة التردد under frequency هذا قد يؤدي إلى تلف شفرات التربينة نتيجة الاهتزازات.
- عمل المولد كمحرك نتيجة توقف حركة التربينة لأي سبب من الأسباب. هذا قد يؤدي إلى تلف شفرات الضغط المنخفض للتربينة.
- توصيل المولد إلى الشبكة قبل التأكد من تواؤم تتابعية الأوجه هذا يؤدي إلى تلف ميكانيكي لملفات المولد والتربينة معا.

٣.٥ الحماية الأساسية للعضو الثابت Stator Main Protection

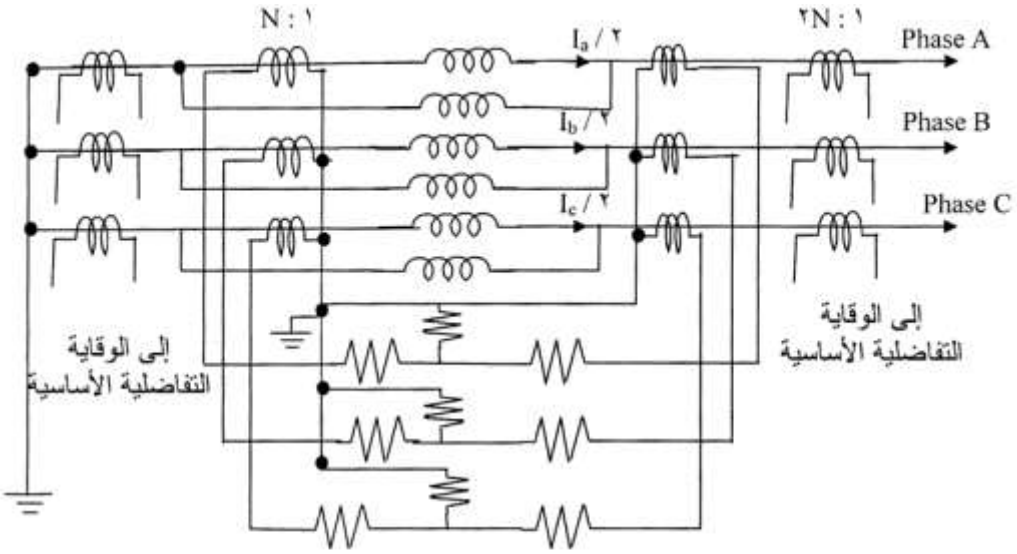
١.٣.٥ الحماية التفاضلية Differential Protection

الوقاية الأساسية لملفات العضو الثابت ضد الأخطاء الداخلية تتم عادة عن طريق استخدام الوقاية التفاضلية الانحيازية كما هو موضح في الشكل (٥ ـ ٣).



شكل (٥ ـ ٣) حماية ملفات العضو الثابت بواسطة الوقاية التفاضلية.

أما بالنسبة للمولدات الكبيرة (ذات مقنن تيار عال جدا) فإنه يتم تجزئة ملفات العضو الثابت إلى ملفان لكل وجه split winding . وبالتالي فإن الوقاية التفاضلية الموضحة في شكل (٥ ـ ٣) لايمكنها كشف عطل الدائرة المفتوحة. لذلك لابد من استخدام وقاية تفاضلية إضافية في هذه الحالة كما هو موضح في شكل (٥ ـ ٤).



شكل (٥ ـ ٤) حماية ملفات العضو الثابت المجزئة بواسطة الوقاية التفاضلية الانحيازية

٢.٣. حماية ملفات العضو الثابت بواسطة مرحل الخطأ الأرضي

Stator Protection by Earth Fault Relay

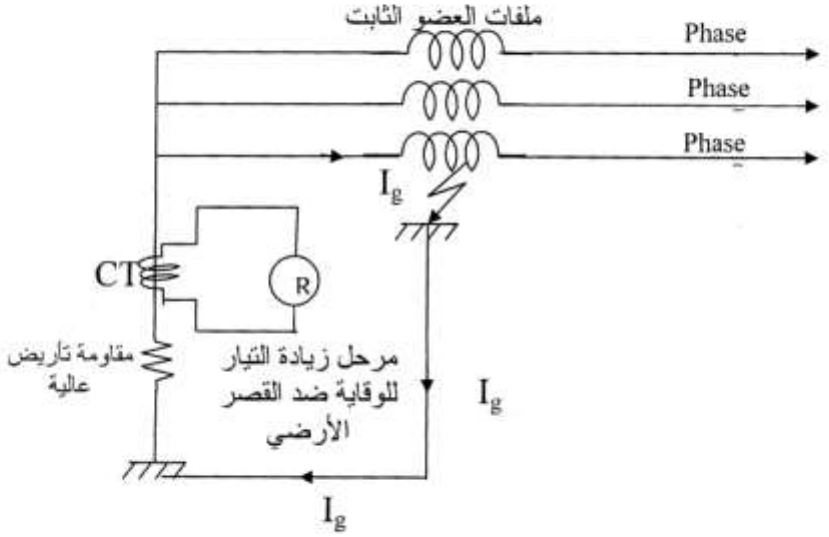
ملية تأريض حيادي لملفات العضو الثابت هي عملية مألوفة في جميع المولدات الكهربية وذلك لضمان سار تيار القصر الأرضي وتسهيل عملية كشف هذا النوع من الأعطال.

في المولدات الصغيرة أو المتوسطة الحجم تتم عملية التأريض من خلال مقاومة عاليةHigh resistance . الهدف من وجود هذه المقاومة هو خفض تيار الخطأ الأرضي إلى قيمة مساوية للتيار المقنن للمولد، يتم وصيل محول التيار CT في دائرة الأرضي لمراقبة وقياس تيار الخطأ. ملفات الثانوي لمحول التيار توصل ى مرحل زيادة التيار ذو الخصائص العكسية كما هو موضح في شكل (٥ ـ ٥).

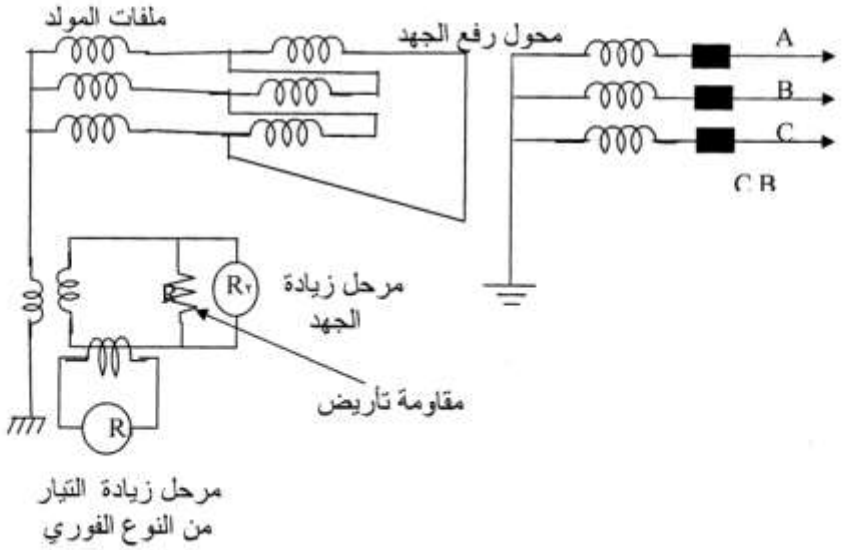
ما بالنسبة للمولدات الكبيرة التي يتم ربطها بالشبكة من خلال محول رفع جهد فإن تأريضها يتم من لال محول جهد potential transformer . مقنن محول الجهد يتراوح بين ١٠ ,٥ kVA وجهد الثانوي راوح بين ٥٠٠ ,١٠٠ V . مقاومة التأريض نفسها يتم توصيلها على أطراف ملفات الثانوي لمحول الجهد قيمتها تتراوح بين ٢٠٠ ,١٠٠ Ω . ويتم اختيار مقاومة التأريض بحيث لايزيد تيار القصر الأرضي المار في فات العضو الثابت عن ١٠ A .

أما بالنسبة لمرحل الوقاية فإنه يكون في هذه الحالة مرحل زيادة الجهد حيث يتم توصيله على التوازي مع مقاومة التأريض. ويتم ضبط هذا المرحل عادة عند جهد التقاط قيمته حوالي V ١٠ . شكل (٥ . ٦) يبين هذا النوع من الحماية.

ملاحظة : في بعض الأحيان يتم وضع مرحل زيادة التيار من النوع الفوري Instantaneous في دائرة ثانوي محول الجهد وذلك كحماية احتياطية لمرحل زيادة الجهد.



شكل (٥ . ٥) حماية المولدات الصغيرة أو متوسطة الحجم ضد التيار الأرضي



شكل (٥ . ٦) حماية المولدات الكبيرة ضد القصر الأرضي

الاختبار ألبعدى : Post Test

اختر الإجابة الصحيحة

1.الحماية التفاضلية تسمى بنظام حماية الوحدة Unit Protection لأنه:

أ - يحمي المنطقة المحصورة بين مواقع C . T ب – يحمى المنطقة خارج مواقع C . T حـ - كليهما أ . ب

2 .عند حماية محولة ثلاثية الطور Y - Δ يجب أن تربط محولات التيار:

أ - Y - Δ ب – Δ - Y حـ - Y - Y

3.عند حماية محولة بتيار ابتدائي 100A وتيار ثانوي 2000A يجب إن تكون نسبة تحويل محولات التيار على طرفي المحولة :

أ - 200/1A – 100/1A ب – 2000A/2000A حـ - – 2000/1A 100/1A

4.يستخدم المتابع التفاضلي لحماية المحولة من الأعطال:

أ – الداخلية ب – التي تقع خارج المحولة حـ - كليهما أ . ب

5.الأسلاك الدليلية التي تربط محولات التيار على طرفي المحولة إلى المتابع يؤدي الى:

أ – ظهور اختلاف في ممانعة ثانوي C . T ب – حدوث اختلاف في هبوط الجهد حـ - كليهما أ . ب

مفاتيح الأجوبة الاختيارات :

ت	اختبار قبلي	اختبار ذاتي	اختبار بعدي
1	الفرق	صح	أ
2	الكبح	خطأ	أ
3	محولات التيار C.T	صح	جـ
4	E_1 و E_2	صح	أ
5	I_1 و I_2	خطأ	جـ

المصادر :

1- منظومة القدرة الكهربائية تأليف د . ضياء علي – طارق محمد أمين

2- أنظمة القدرة الكهربائية تأليف د . محمد فائق العزاوي

الأسبوع (28)

الموضوع : الحماية الخطوط والمغذيات Protection of Trims & feeders

الفئة المستهدفة : الصف ثاني/ قسم التقنيات الكهربائية .

الأفكار المركزية : تعليم الطالب وتعريفه بـ :

1. الحماية من فوق التيار باستخدام متابعات التيار التدرج الزمني .
2. الحماية من فوق التيار باستخدام متابعات البعد متعدد المراحل .
3. الحماية التفاضلية للمغذيات – الطولية والمستعرضة .
4. حماية خطوط النقل باستخدام الأمواج المحملة .
5. الحماية من فوق التيار الاتجاهية .

الأهداف : تعريف الطالب بعد الانتهاء من المحاضرة بـ :

1. متابع فوق التيار العكسي ومتابع التدرج الزمني .
2. متابع البعد (الممانعة) متعدد المراحل وطرق حماية الخطوط باستخدام هذا المتابع .
3. حماية المغذيات الحلقية .
4. الحماية بالأمواج المحملة .

الاختبار القبلي: Pre Test

أجب صح أو خطأ :

1. يتم حماية خطوط النقل من فوق التيار باستخدام متابعات تربط إلى المنظومة مباشرة.
2. لايمكن استخدام متابعات فوق التيار ذو تختلف زمني لحماية المغذيات الحلقية .
3. تستخدم الحماية بالأمواج المحملة للسيطرة على حماية عن بعد .
4. تستخدم الحماية بالأمواج المحملة كأحد طرق الحماية التفاضلية الطولية .
5. استخدام المتابعات الاتجاهية للمغذيات المتوازية لعدم فصل الخط السليم عند حدوث عطب في احد المغذيات .

الاختبار الذاتي: Self Test

املأ الفراغات التالية :

1. متابعات فوق التيار تستخدم لحماية المغذيات الشعاعية بالتدرج ـــــــ .
2. المتابعات الاتجاهية تستخدم في حماية المغذيات ـــــــــ .
3. يجب استخدام ـــــــــ لمنع دخول الإشارات ذو التردد العالي في الحماية بالموجات المحملة .
4. متابع فوق التيار العكسي ـــــــــ مع زمن فصل المتابع .
5. من مساوئ الحماية التفاضلية المستعرضة لخطوط النقل وجود منطقة ـــــــ للحماية

حماية التركيبات الكهربائية

مقدمة

تستخدم الحمايات الاتجاهية في أنظمة القدرة والشبكات الكهربية التي تتغذى من مصدرين أو في الشبكات الحلقية (Ring Systems) أو الدوائر المتوازية(Parallel Circuits) وليس من الضروري استخدام هذه الحمايات في الدوائر الشعاعية المفردة والمغذاة من مصدر واحد (Single Source Radial Circuits). ويعتمد مبدأ عمل الحماية الاتجاهية على الاستجابة لسريان التيار باتجاه واحد محدد ولا تستجيب لسريان التيار بالاتجاه المعاكس مهما كانت قيمته.

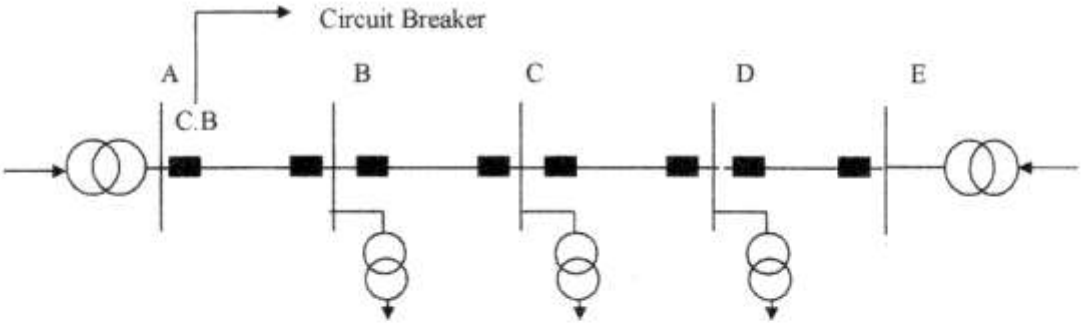
حماية المغذيات

هناك ثلاثة أنواع من الحماية على المغذيات هي كالتالي: -

١ حماية الخطوط الشعاعية المغذاة من مصدرين

Protection of Double Source Radial Networks

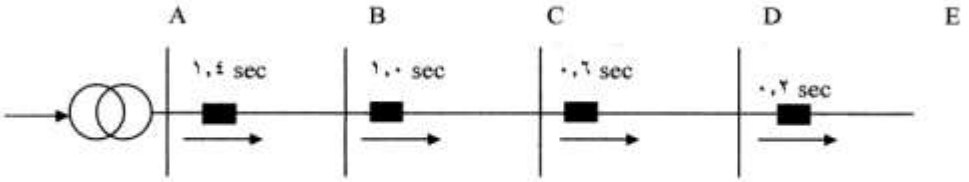
يوضح الشكل (٣ . ١) نظام قدرة نموذجياً مكوناً من عدة خطوط شعاعية موصلة على التتالي عبر قضبان ربط ومغذ من الطرفين A & E بالإضافة إلى وجود أحمال مغذاة من محولات توزيع مرتبطة مع قضبان ربط في D, C, B في هذه الحالة من الضروري وجود قواطع آلية عند نهاية كل قسم من الخط بحيث إذا حصل عطل ما تقوم القواطع الآلية بعزل العطل فقط ويبقى بقية نظام الخدمة دون حدوث أي انقطاع. وليتحقق ذلك لابد من تعيير المرحلات بشكل سليم.



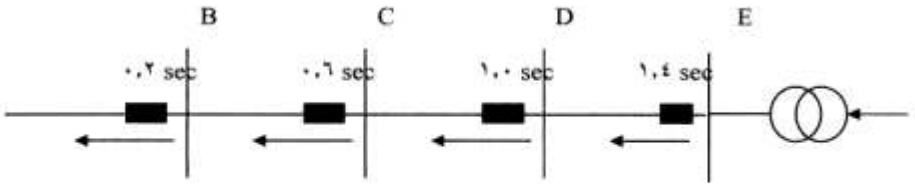
شكل (٣ . ١) رسم توضيحي على استخدام المرحلات الإتجاهية

بإتباع نفس المبدأ المستخدم في حماية الخطوط الشعاعية نجد صعوبة الحصول على العمل الانتقائي السليم وعلى استمرارية التغذية عند حدوث عطل ما في هذا النظام. لذلك لابد من اتباع أسلوب آخر للحماية وذلك بتصنيف القواطع الآلية والمرحلات إلى نظامين متعاكسين بالاتجاه في نظام تدريجهما.

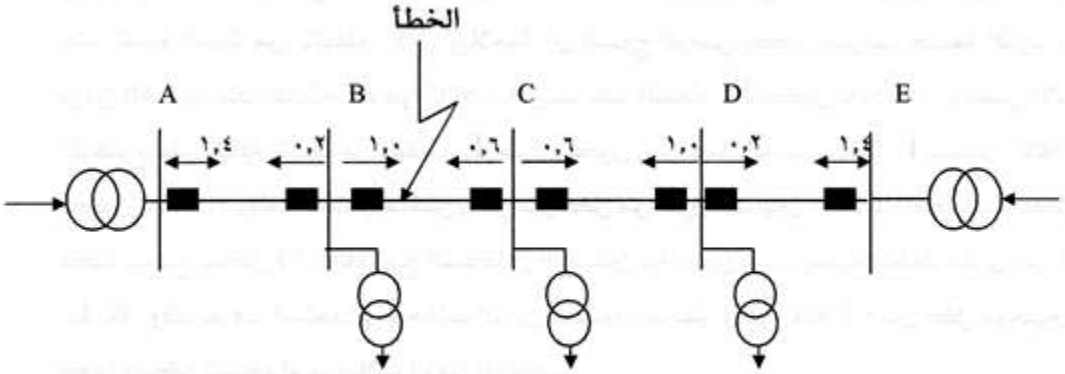
ولتسهيل معالجة الموضوع نقدم الشكل رقم (٣ـ ٢ a) حيث يوضح هذا الشكل التدرج الزمني للحمايات عند تغذية الخط من المنطقة A . ويلاحظ أن التدرج الزمني يكون متزايدا كلما اقتربا من المنبع A وزمن الحماية عند النقطة A هو ١,٤ sec بينما عند النقطة D يكون ٠,٢ sec . وبنفس الأسلوب يعالج الموضوع عند تغذية الخط من النقطة E حيث يكون زمن عمل الحماية عند E يساوي ١,٤ sec وفي B يكون ٠,٢ sec وذلك باعتبار هامش زمني بين كل مرحلتين متتاليين ٠,٤ sec كما بالشكل (٣ـ ٢ b). كما يوضح شكل (٣ـ ٢ c) دمج الشكلين السابقين مع بعض حيث يصبح الخط مغذى من الطرفين A & E . وقد تم هنا استخدام مرحلات الزمن المحدود وهامش زمني ٠,٤ sec بين كل مرحليين متتاليين ، كما يمكن استخدام مرحلات الزمن العكسي.



شكل (٣ـ ٢ a) مركبة التغذية الشعاعية من اليسار إلى اليمين



شكل (٣ـ ٢ b) مركبة التغذية الشعاعية من اليمين إلى اليسار



شكل (٣ـ ٢ c) الشكل النهائي لحماية خط مغذى من مصدرين

مثال : عند حدوث عطل كما هو موضح بالشكل (٢ ـ ٣ c) اذكر مع التوضيح بالشرح المرحلات التي يجب أن تعمل في الحالات الآتية :

١. عند استخدام مبدأ التدرج الزمني في مرحلات زيادة التيار العادية لحماية الخطوط.

٢.عند استخدام مرحلات زيادة التيار الاتجاهية بالتعيير الزمني المذكور أمام كل منها.

الحل :

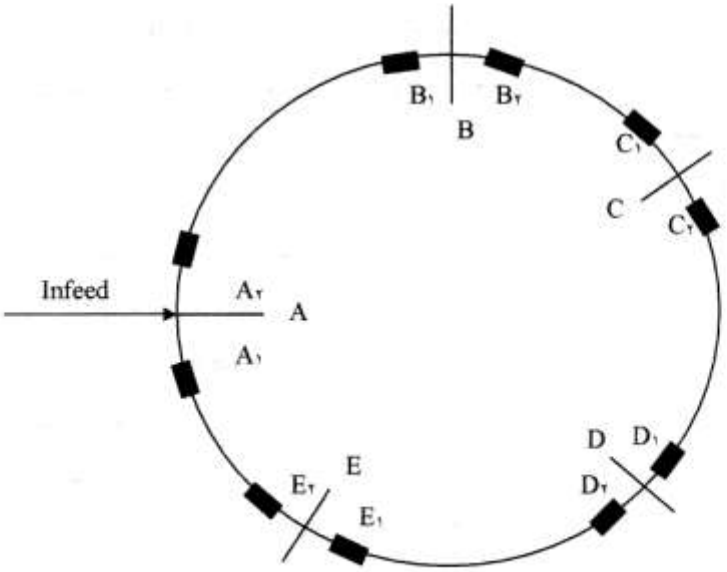
١. عند حدوث عطل ما مثل المبين في شكل (٢ ـ ٣ c) فإن المرحلات على يسار القضبان المجمعة B وعلى يمين القضبان المجمعة D تفصل قواطعها وبالتالي تعزل منطقة العمل وتصبح الأحمال المغذاة من القضبان B , C, D خارج الخدمة. ويلاحظ أن استخدام مبدأ التدرج الزمني في مرحلات زيادة التيار العادية لحماية الخطوط المغذاة من الطرفين لم يؤد الغاية المطلوبة. وتظهر ضرورة استخدام مرحلات زيادة التيار الاتجاهية والتي تأخذ بعين الاعتبار اتجاه التيار عند الفصل.

٢. يوضح الشكل (٢ ـ ٣ c) استخدام مرحلات زيادة التيار الاتجاهية مع التعيير الزمني لكل منها وتشير الأسهم جانب كل مرحلة إلى اتجاه الفصل. ويلاحظ عدم الحاجة لاستخدام المرحلات الاتجاهية عند مصادر التغذية. وعند حصول نفس العطل في المنطقة BC فإن المرحل المركب على يمين B يفصل بعد ١ sec والمرحل المركب على يسار C تفصل قاطعها بعد ٠,٦ sec . وتصبح المنطقة بين القاطعين المفصولين معزولة عن التغذية الكهربية مع الحفاظ على باقي المناطق السليمة في الخدمة.

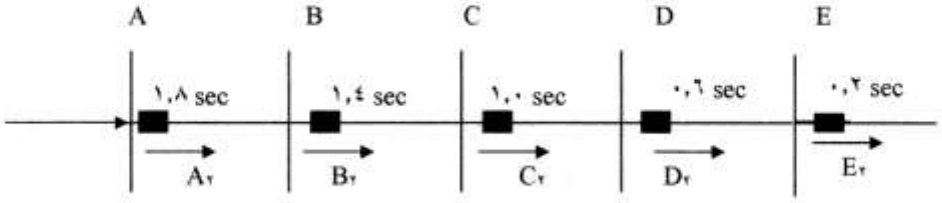
والمرحلة على يسار B والمعيرة على ٠,٢ sec لا تفصل بالرغم من صغر زمن فصلها لأن اتجاه تيار فصلها يكون باتجاه معاكس للمرحل المركب على يمين B وهذا الكلام ينطبق على باقي المرحلات.

٢. حماية الخطوط الحلقية المغذاة من مصدر واحد
Protection of Single In-feed Ring Systems

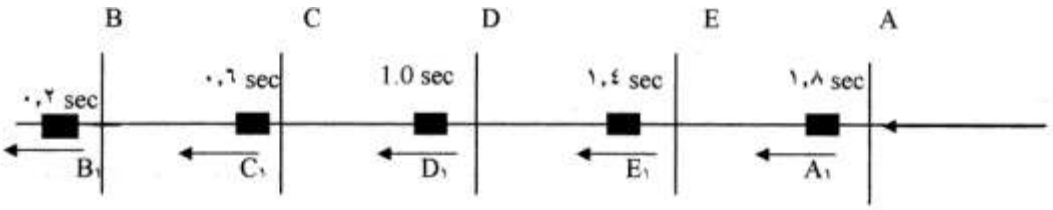
يبين شكل (٣.٣) خطة حماية متدرجة باستخدام المرحلات الاتجاهية لحماية الحلقة المبينة والمغذاة من مصدر تغذية واحد. تركب القواطع الآلية على نهايتي كل قسم من الخط، ويمكن اعتبار هذا النظام كنظام خطي تغذية شعاعين كما هو موضح في شكل (٣ ـ ٣ a) و شكل (٣ ـ ٣ b).



شكل (٣ ـ ٣) حماية منظومة تغذية حلقية

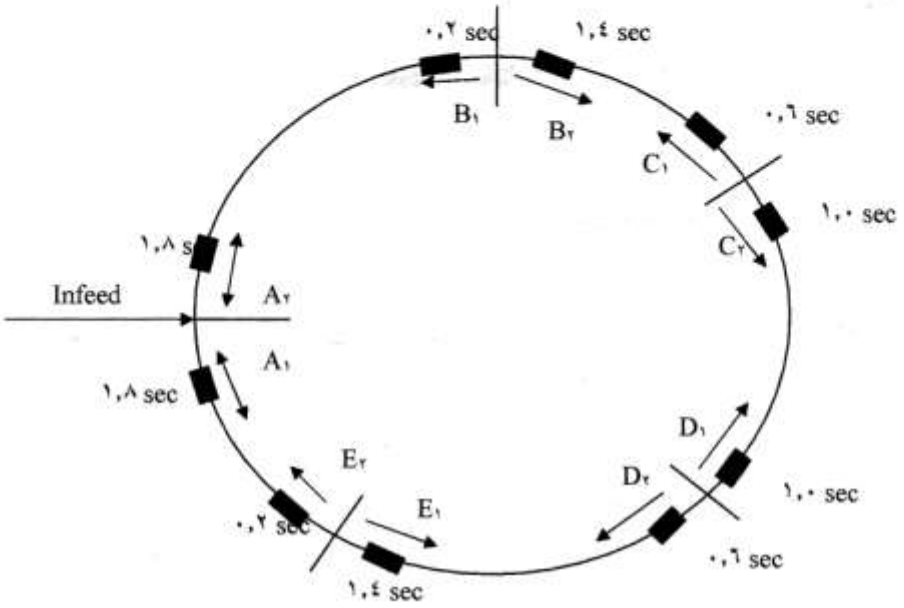


شكل (٣ ـ ٣ a) مركبة التغذية الشعاعية من اليسار إلى اليمين



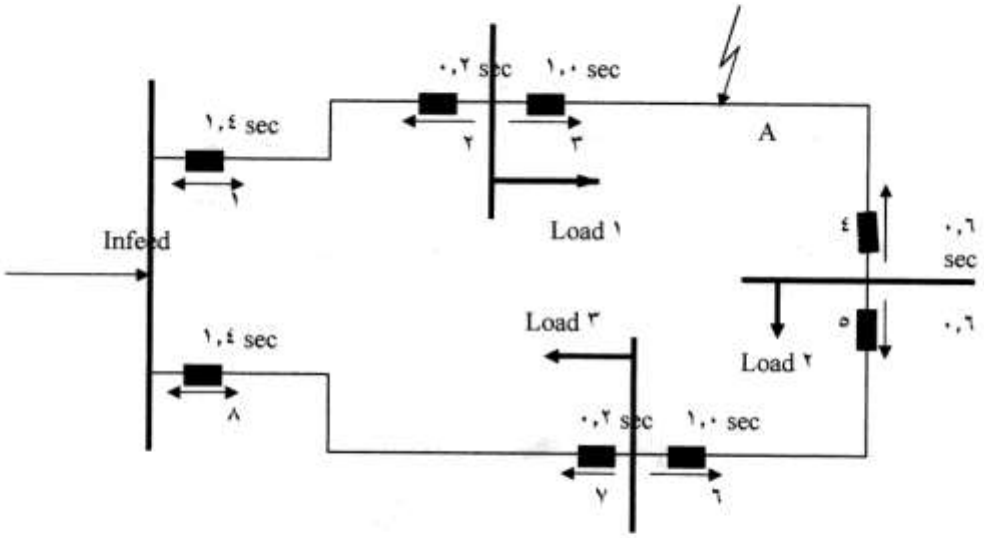
شكل (٣ـ ٣ b) مركبة التغذية الشعاعية من اليمين إلى اليسار

وباستخدام هامش زمني مقداره ٠.٤ sec بين المرحلات المستخدمة تكون قيم التدرج الزمني هي ٠.٢, ٠.٦, ١.٠, ١.٤, and ١.٨ sec وتشير الأسهم على جانب كل مرحل إلى اتجاه الفصل وذلك في شكل (٣ـ ٣ c). أما المنبع عند نقطة A فإن القدرة تسري باتجاه واحد (من المحطة) لذلك فلاحاجة لاستخدام المرحلات الاتجاهية عند A_1 & A_2 . أما في المرحلات المستخدمة في النقاط الأخري من الدائرة فيركب في كل محطة مرحلتين ذواتي اتجاه متعاكس ويمكن أن يكون لها تأخير زمني مختلف.



شكل (٣ـ ٣ c) خطة التدرج النهائية لمنظومة حلقية مغذاة من مصدر واحد

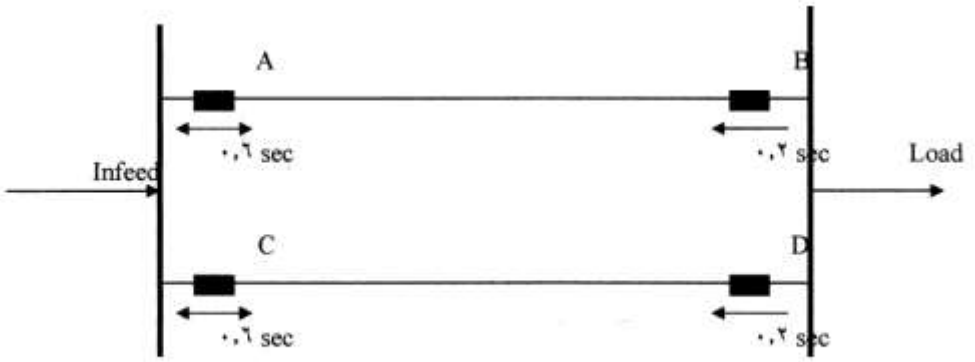
كما يبين الشكل (٣ . ٤) مثالا على حماية خط نقل حلقي مغذى من مصدر واحد. فعند حدوث عطل في المنطقة A فإن تيار العطل يسري إلى نقطة العطل عبر طريقين. الطريق الأول عبر القواطع الآلية (١ ٢ ٣) والطريق الثاني عبر القواطع الآلية (٨ ٧ ٦ ٥ ٤) وعند كل قاطع يوجد مرحل وتشير الأسهم المبينة على الشكل إلى اتجاه تشغيل المرحلات الاتجاهية. فمثلا عند حصول عطل عند A تتهيج جميع المرحلات ولكن تنفصل نقطة المرحل رقم ٤ بتأخير زمني ٠,٦ sec والمرحل ٣ بتأخير زمني ١,٠ sec وتعزل منطقة العطل دون أي انقطاع في التغذية في بقية المناطق.



شكل (٣ . ٤) حماية خط نقل حلقي مغذى من مصدر واحد

٣ حماية الخطوط المربوطة على التوازي Protection of Parallel Lines

يبين شكل (٣ . ٥) حماية خطين مربوطين على التوازي ومغذين من مصدر واحد. وهذه الحالة هي حالة خاصة للخط الحلقي. ويتم تركيب مرحلات زيادة تيار اتجاهية في نهاية الخطين عند B,D . ويشير السهم المبين على هذين المرحلين إلى اتجاه الفصل. كما تركب مرحلات زيادة تيار غير اتجاهية في بداية الخطين A, C . ويجب أن يدرج المرحل A مع المرحل B وكذلك يجب أن يدرج المرحل C مع المرحل D بالنسبة للزمن وذلك بواسطة استخدام هامش زمني ٠,٤ sec .



شكل (٣ ـ ٥) حماية الخطوط المتوازية

٣ التنسيق بين الموصلات ووسائل الحماية

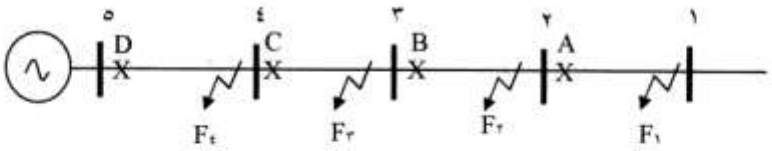
مثال ١ : اعتبر منظومة القوى المبينة في شكل (٣ ـ ٦) . والمطلوب التنسيق بين المرحلات الأربعة (A, B, C & D) باستخدام التدرج الزمني وذلك للحصول على التمييز الصحيح.

الحل :

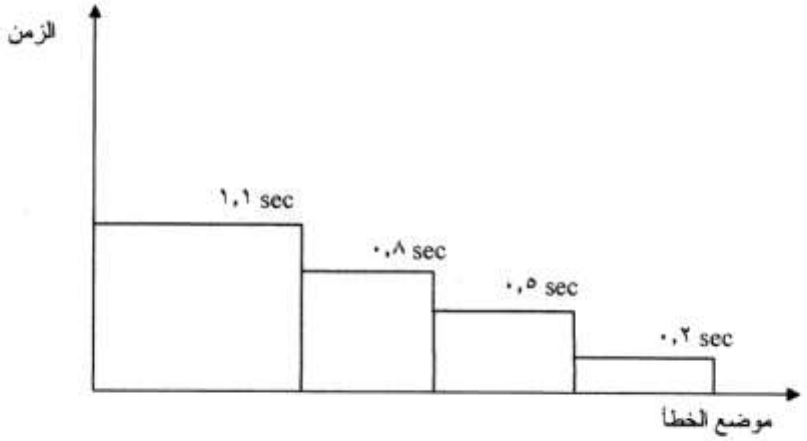
يمكن التوصل إلى التنسيق المطلوب عن طريق إعطاء كل مرحل تأخير زمني محدد بحيث يكون أسرع المرحلات في العمل هو أبعدها عن مصدر التيار (المرحل A) . ويعطي هذا التأخير الزمني التمييز المطلوب. ويسمح عادة بفترة زمنية حوالي ٠,٤ sec to ٠,٣ بين زمن تشغيل كل مرحل والذي يليه وذلك للسماح لأجهزة الحماية والقطع بالعمل.

عند حدوث خطأ عند F_1 يعمل المرحل A بعد ٠,٢ sec فيعزل الخطأ ولاتعمل باقي المرحلات. وبالمثل فعند حدوث خطأ عند F_2 يعمل المرحل B بعد ٠,٥ sec ..... وهكذا لباقي المرحلات. ويبين الشكل (٣ ـ ٧) عملية التنسيق باستخدام التدرج الزمني.

يتضح مما سبق أن لهذه الطريقة عيبا ذاتيا أساسيا وهو زيادة زمن فصل الخطأ كلما اقترب موضع الخطأ من مصدر التيار. أي كلما زادت قيمة تيار القصر. وهذه الخاصية غير مرغوبة في خطة الحماية حيث إنه من المفروض أن يقل زمن فصل الخطأ كلما اقترب من مصدر التيار.



شكل (٣ . ٦) منظومة القوى للمثال



شكل (٣ .٧) طريقة التدرج الزمني

إن عملية التنسيق عن طريق التدرج الزمني لا تستخدم إلا في الخطوط والمغذيات ذات الأطوال القصيرة نسبيا أو عندما يكون عدد المرحلات قليلا بحيث لا يؤدي إلى زيادة زمن الفصل بدرجة كبيرة قرب مصدر التيار.

الاختبار ألبعدي: Post Test

اختر الإجابة الصحيحة :

1. تستخدم متسعات الاقتران في منظومة الحماية بالأمواج المحملة

أ - لأنها تعطى ممانعة عالية الاشارت المحملة للترددات العالية ب – لأنها تعطى ممانعة واطني
حـ - لحدوث رنين

2. استخدام مصيدة الخط Line trap لمنع

أ – دخول الاشارت إلى خارج منطقة الحماية ب – يحدث دائرة رنين توازي
حـ - كليهما أ-ب

3. تستخدم المتابعات الالكترونية في متابعات البعد لأنها

أ - سريعة الاستجابة ب – لأنها لاتتأثر بمقاومة الشرارة
حـ - لأنها اقتصادية

4. عند حدوث خلل في المرحلة الأولى لمتابع البعد فيجب توفير حماية أسنا دية للمنطقة المحمية

أ - لضمان حماية المغذيات ب – لحماية قواطع الدورة
حـ - لحماية متابع البعد

5. المتابعات الاتجاهية تستخدم لحماية المغذيات المتوازية لأنها :

أ - لاتسمح بمرور التيار بالاتجاه المعاكس الاتجاهين ب – لأنها تسمح بمرور التيار في
حـ - أ . ب خطأ

مفاتيح الأجوبة الاختيارات:

ت	الاختبار القبلي	الاختبار الذاتي	الاختبار البعدي
1	خطأ	الزمني	ب
2	صح	المتوازية الحلقية	أ
3	صح	مصيدة الخط	أ
4	صح	عكسياً	أ
5	صح	قيمة Dead Zone	أ

المصادر :

1- منظومة القدرة الكهربائية تأليف د . ضياء علي – طارق محمد أمين
2- أنظمة القدرة الكهربائية تأليف د . محمد فائق العزاوي

الأسبوع (29)

الموضوع : النقل بالجهود العالية Extra High Voltage Transmission

الفئة المستهدفة : الصف ثاني/ قسم التقنيات الكهربائية .

الأفكار المركزية : تعليم الطالب وتعريفه بـ :

1. النقل بالجهود الفائقة .
2. محاسن النقل بالجهود الفائقة .
3. المفاقيد المرافقة للنقل بالفولتيات الفائقة (مفاقيد هالة) .
4. طرق تحسين خصائص خطوط الضغط الفائق EHV .

الأهداف: تعريف الطالب بعد الانتهاء من المحاضرة

1. أهمية النقل بالفولتية الفائقة .
2. طرق تقليل التداخل الراديوي .
3. طرق تحسين خصائص النقل باستخدام متسعات التوالي .
4. المشاكل المرافقة لتعديل التوالي .

الاختبار القبلي: Pre Test

أجب صح أو خطأ :

1. يجب زيادة فولتيات النقل لزيادة القدرة المنقولة .
2. زيادة فولتية النقل2% يؤدي إلى زيادة في القدرة المنقولة بنسبة 100% .
3. زيادة فولتية النقل تؤدي إلى نقصان كلفه كل Mw/Km .
4. استخدام متسعات التوالي تؤدي إلى تحسين استقرارية الشبكة .
5. يفضل النقل بالتيار المستمر DC مقارنة مع التيار المتناوب لمسافات طويلة جداً .

الاختبار الذاتي: Self Test

املأ الفراغات التالية .

1. ممانعة التمور Surge Impedance للخط هي ـــــــ = Z s
2. مفاقيد الهالة تزداد مع زيادة ـــــــ النقل .
3. يمكن تقليل التداخل الراديوي للهالة في خطوط FHV باستخدام موصلات ـــــــ .
4. من محاسن تعديل التوالي زيادة ـــــــ .
5. المشاكل المحيطة بتعديل التوالي هي ـــــــ و ـــــــ و ـــــــ .

(النقل بالجهود الماليـــــــه)

لمحة تاريخيه عن تطور الكهرباء : قديما كانت تستخدم انظمة النقل بالتيار المستمر (dc) . وذلك لسببين ـ اولا ، سهولة السيطره وثانيا ، محركات التيار المستمر هي التي كانت متوفره وكانت تعمل بكفائة . ولكن مع ايجاد المحولات سنة 1881 وانظمـــة النقل الثلاثيه عام 1888 تغيرت الحاله لصالح انظمة التيار المتناوب (ac) . حيث اصبح بالامكان تغيير مديات الفولتيه بأستخدام المحولات .

انجزت اول شبكة نقل ثلاثية الطور نظام متناوب (ac) بطول (169) كم وبفولتيه (15KV) سنة 1891 في المانيا . ثم تطورت انظمة النقل الثلاثية الطور بسرعه . وازدادت فولتيات النقل زياده مطرده . فدخل نظام 220KV العمل سنة 1923 في كالفورنيا بمسافة 320 Km وبسعة 100MW . وقد انشأ السويد بنجاح شبكه بطول 960Km و بفولتيه 380KV . ثم نفذت الاتحاد السوفييتي عدة شبكات بفولتيات مختلفه وصلت 750KV سنه 1966 وبطاقة نقل 1250MW . وهناك بحوث ودراسات جاريه للوصول الى فولتيات 1000ـ1100 KV .

النقل بالجهود الماليه والفائقه : Extra & Ultra High Voltage T. L.

قد يتبادر الى الذهن سؤال هو لماذ النقل بالجهود الماليه والفائقه (EHV) (UHV) يمكن الاجابه على هذا السؤال من خلال النقاط التاليه :ـ

١) لغرض تقليل كلفة الكيلو واط من التوليد يتم انشاء محطات توليد كبيرة الحجم مثلا توجد حاليا محطه توربينيه بسعة $\frac{1500}{MW}$ في الولايات المتحده الامريكيه وبعض البلدان الاخرى

٢) المحطات البخاريه والمائيه : نظرا لتوفر المصادر الاساسيه لمحطات التوليد البخاريه (الفحم) ومحطات التوليد المائيه (الشلالات ومساقط المياه الاخرى) في اماكن بعيده عن مراكز المدن . فأن عملية نقل الطاقه الكهربائيه يتم عبر مسافات شاسعه . لذا تصبح النقل بالجهود الماليه من الضروريات .

٣) حمل ممانعة التمرر : Surge Impedance Loading

حمل ممانعة التمور (SIL) هو الحمل الذى يمكن للخط تحمله عند ربط نهاية كل طور بممانعه مكافئه لممانعة تمور الخط (Surge Impedance) ممانعة التمور للخط هي (Z_c) = $\sqrt{\frac{L}{C}}$ اذ (L) هي محاثة التوالي / وحدة طول و (C) هي متسعة التوازى / وحدة طول . اذا كانت فولتية خط محايد هي V فأن ($SIL = 3V^2 / Z_c$) ان القدره المتفاعله المستهلكه في محاثة الخط ، عند هذا التحميل (اى wlI^2) تساوى تقريبا القدره المتفاعله المتولده من متسعة

الخط (اى wCV^2)

يمكن ايجاد ممانعة التمور (Z_c) من تشكيلة الموصلات • القيمه التقريبيه لممانعات التمور هي 400 ، 300 ، 280 ، 260 اوم لخطوط بموصلات احاديه ، ثنائيه ، ثلاثيه ، رباعيه على الترتيب • يجب ابقاء الحمل في الشبكات الطويله اقل من (SIL) لاسباب تعود الى استقرارية الشبكه في حالة عدم وجود تحسين توالي series compensation لذا فعند زيادة الحمل ، فـــان انشاء شبكات بفولتيات اعلى للابقاء على قيمة (SIL) اقل من الحمل ضروريه •

٤) النقل : Transmission

يقل عدد الشبكات وكذلك المسافه اللازمه للتنفيذ مع زيادة فولتية النقل • يتم استخدام خط مفرد 400KV ذى موصلين /طور لنقل 600MW لمسافة 250Km ويحتاج 40 م حـــق المرور حيث $\frac{600}{40}$ يساوى 15MW اى ان كل 15MW يحتاج الى متر طول حق المرور • بأستخدام خطوط ذات فولتيات 1050KV تعطي نسبه 70MW لكل متر طول (حق مرور) • لذا فان من محاسن خطوط النقل الفائق التقليل من متطلبات حق المرور •

٥) كلفة الخطوط : Cost of T. L.

تقل كلفة تنفيذ (MW/Km) مع زيادة مستوى الفولتيه • كمـــــا ان كلفة الخط الكليه (بما في ذلك كلفة المفاقيد) لكـــل (MW/Km) تقل كثيرا مع زيادة فولتية الخط •

استخدام الموصلات الحزميه : Use of Bundled Conductors

تستخدم الموصلات الحزميه في شبكات الضغط الفائق للسيطره على تدرج الفولتيه (Voltage gradient) على سطح الموصل لغرض تقليل مفاقيد الهاله والتداخل الراديوى • اذا استخدم موصل واحد / طور واختير حجم الموصل على اساس القيمه القصوى لتحمل التيار (current carring capacity) فان تدرج الفولتيه على سطح الموصل يكون اكثر من المتوقع (بين 20-30KV) • ان الحل المطروح هو استخدام موصلات موسعه (Expended conductor) • وتحتوى اما على حشوات داخليه او على الهواء • ولكن ترافق هذه الموصلات مشاكل كثيره اثناء التصنيع والتحميل والتنفيذ لسهولة التوائها • لذا فالحل الوحيد هو استخدام موصلات حزميه • اذ يستخدم 2 ، 3 ، 4 أو 8 موصلات لكل طور • فلخطوط 400 KV يستخدم موصلان فقط • استخدمت 8 موصلات/طور لخطـــوط 765 KV في الولايات المتحده وبعض البلدان الاخرى •

تستخدم ماسكات على مسافة 100-80 م لابقاء الفضاءات بين الموصلات في الطور الواحد ثابته على طول الخط • وذلك لمقاومة القوى الناتجه من الرياح او الحث الكهرومغناطيسي الناتج من التيارات العاليه • ومن فوائد الموصلات الحزميه ايضا تقليل المحاثه المكافئه

دائره وبذا يقل هبوط الفولتيه وتزداد سعة الشبكه التشغيليه .

مفاقيد الهاله : Corona Loss

توجد عدة صيغ مقترحه لحساب مفاقيد الهاله منها (صيغة بيك صيغة بترسون) . ان قيمة مفاقيد الهاله للضروف الجويه الحسنه هي قليله جدا لمعظم تصاميم (EHV) . اما في الظروف الجويه السيئه فقد تصل مفاقيد الهاله (100) ضعف مفاقيد الهاله للظروف الجويه الحسنه . لتخمين مفاقيد الهاله اثناء الضروف الجويه لسيئه (موسم الامطار) لخطوط الضغط الفائق (EHV) يمكن استخدام الصيغ التاليه :

$$\sum P = P_{FW} + \left[\frac{V}{1.6} J\, r^2 \ln(1+10R) \right] \sum_{1}^{n} (E^5) \qquad (9.1)$$

ذ $\sum P$ = مفاقيد الهاله لثلاثة اطوار ، كيلو واط/طور ـ كم

P_{FW} = مفاقيد الهاله في الظروف الحسنه ، كيلو واط . ثلاثة اطوار . كم

V = فولتية خط ـ محايد ، KV

J = $7.04*10^{-10}$ لخطوط 400 KV

= $5.35*10^{-10}$ لخطوط 765 KV ، 500 KV

r = نصف قطر الموصل الثانوى ، سم

n = العدد الكلي للموصلات الثانويه (اى ان عدد الموصلات الثانويه في الحزمه * 3)

E = تدرج الفولتيه في اسفل كل موصل ثانوى ، كيلو فولت/سم

R = معدل هطول الامطار بالملمتر كل ساعه .

يمكن حساب التدرج في الفولتيه (gradient) ثم نرفع (E) للاس(5) لكل موصل ونوجد التدرج النهائي لكل الموصلات . يمكن استخدام المعدلات التاليه لهطول الامطار تحت الظروف التاليه

R = 2.54 ملم / ساعه لتساقط الثلج الشديد

R = 0.636 ملم / ساعه لتساقط الثلج المتوسط

R = 0.0127 ملم / ساعه لتساقط الثلج الخفيف

لنفرض حساب مفاقيد الهاله لخط على مدى سنه ، لا يكفي حسابات مفاقيد الهاله تحت الظروف الجويه الحسنه والسيئه ، حيث يمكن ادخال الضروف الجويه في اوقات مختلفه من السنه وذلك بحساب مفاقيد الهاله ساعه/ ساعه ثم ايجاد المفاقيد الكليه بطرق اخرى . خارجه عن موضوع هذا الكتاب .

الضوضاء الراديوى من خطوط (EHV). Radio Noise from (EHV) Lines

يعد الضوضاء الراديوى من الاعتبارات المهمه في تصاميم خطوط (EHV) . (UHV) بما ان الضوضاء الراديوى مرتبط بالهاله فأنه يعتمد الى حد بعيد على تدريج الفولتيه على

سطح الموصل .

كما انه يتأثر بالعوامل الاخرى التي تتأثر بها الهاله ، ككثافة الهواء والرطوبة . اجريت دراسات مكلفه لقياس الضوضاء الراديوى في الولايات المتحده الامريكيه وبعض البلدان الاخرى وقد اثبتت هذه الدراسات في خطوط 750 KV ان الضوضاء الراديوى للظروف الطبيعيه وعلى بعد (15) م من الخط هي بحدود $40-45\ dB_r$ اما الضوضاء الراديوى للظروف السيئه اكثر من الضوضاء الراديوى في الظروف الحسنه بحدود $10-25\ dB$. ان اجراء حسابات لايجاد الضوضاء الراديوى من الخطوط عمليه معقده ، اذ تجرى هذه الحسابات بالحاسبه الالكترونيه بوساطة برامج خاصه اعدت لهذا الغرض .

تتأثر موجات (AM) في الاشاره المستلمه بالراديو ، وتعتمد درجة الضوضاء على شدة المجال لاشارة الراديو في موقع الاستلام . فأذا كان التداخل الراديوى لترددات قليله ولبعض المواقع ، يمكن استخدام مرشحات معينه لالغاء تأثير الضوضاء .

تستخدم في الولايات المتحده الامريكيه مصائد ربع موجيه وهي عباره عن مقاطع ذات نهايات مفتوحه بطول موجي = $\frac{1}{4}$ طول موجة الخط ، تربط على التوازى مع خط النقل ، عملها توفير دائره قصيره على التذبذبات المطلوب ترشيحها .

لاتعدّ مفاقيد الهاله في خطوط (EHV) مؤثره على موجات (FM) وكذلك على اجهزة الاستلام التلفزيونيه (TV) ولكن تتأثر فقط في الظروف الجويه السيئه .

تعديل (تعويض) التوالى : Serien Compensation

يعد تعديل التوالي اسلوبا آخر مؤثرا لتحسين خصائص خطوط النضغط الفائق (EHV) ويتألف من متسعات تربط على التوالي مع الخط وفي مواقع مناسبه .

محاسن تعديل (تعويض) التوالي : Advantagen of series compensation

لمعدل التوالي عده محاسن يمكن اختصارها بالنقاط التاليه :

a) زيادة سعة النقل : من الفصل السادس نعلم ان القدره المنقوله (P_1) على خط تعطى بالمعادله التاليه :ـ

$$P_1 = \frac{|E_r||E_s|}{X} \sin\delta \qquad (9.2)$$

اذ E_r = تمثل فولتية الاستلام

E_s = فولتية الارسال

X = الممانعه الحثيه للخط

δ = زاوية الطور بين فولتيتي الارسال والاستلام

اذا اضيفت متسعه ذات ممانعه سعويه (X_c) على التوالي مع الخط ، فأن الممانعه النهائيه تساوى ($X_L - X_c$) وان القدره المرسله عبر خط تعطى بالمعادله :ـ

$$P_2 = \frac{|E_r||E_s|}{X_L - X_c} \sin\delta \qquad (9.3)$$

بمقارنة المعادلتين (9.2) و (9.3) يتضح ان القدره المرسله في المعادله (9.3) اكثر من القدره (P_1) بالرغم من E_s ، E_r بقيت ثابته تعطى الزياده في القدره المرسله كما يلي :

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{X_L}{X_L - X_c} = \frac{X_L}{X_L(1 - \frac{X_c}{X_L})} = \frac{1}{1 - K} \qquad (9.4)$$

العامل $K = X_c/X_L$ يسمـــى درجة التعديل

اجريت دراسات على خطوط النقل وتبين ان التعديل يكون اقتصاديا من حيث الكلفه وكذلك الحمايه اذا كانت درجة التعديل degree of compensation تتراوح بين 40 % الى 70%

b) تحسين استقرارية الشبكه : Improvement of system stability

لوحظ من المعادلتين (9.2) و (9.3) انه في حالة تساوى قيمتي القدره المرسله P_1 ، P_2 وكذلك الفولتيتين E_r، E_s فأن زاوية الطور (δ) في حالة تعديل التوالي اقل منها بدون تعديل . من المعلوم انه كلما كانت قيم (δ) اقل يعني استقراريه افضل للمنظومه . هناك بعض الطرق الاخرى المستخدمه لتحسين استقرارية الشبكه . تشمل تقليل ممانعة المولدات والمحولات ، استخدام الموصلات الحزميه وزيادة عدد الشبكات على التوازى، يتبين ان تعديل التوالي افضل حل من الناحيه الاقتصاديه ولاستقرارية الشبكه في الحالات العابره والمستقره .

c) تقسيم الحمل بين الدوائر المتوازيه : Load Division between parallel circuits

تقليل ممانعة التوالي بأستخدام متسعات على التوالي مع الخطوط يؤثر على توازن الحمل بين الخطوط المتوازيه . حينما نريد تقوية خط نقل بأضافة خط آخر او بتوسيع الخط الموجود لغرض نقل اعظم قدره مرسله وتقليل المفاقيد ، فأن تعديل التوالي يبدو ذا فائده كبيره . فقد اثبتت التقارير في السويد انه تم موازنة كلفة تنفيذ اول معدل توالي (series compensation) لخط 420KV بتقليل المفاقيد التي كانت تحدث في خط 220 KV والتي كانت تسير على التوازى مع الخط 420 KV .

مواقع متسعات التوالي : Location of series capacitors

يعتمد اختيار مواقع المتسعات على عدة عوامل فنيه واقتصاديه . لذا يجب دراسة عدة امور قبل تثبيت الموقع منها الاستقراريه والفولتيات العابره ومتطلبات الحمايه ومستويات الفولتيه ... الخ . هناك ثلاثة مواقع تثبت فيها متسعات التوالي هي :

a) عبر الخطوط : في هذه الطريقه يتم تثبيت خزانات المتسمات في منتصف خط النقل
ا كانت هناك مجموعه واحده من المتسمات وعلى ثلث المسافه اذا كان هناك مجموعتين من
تسمات • ان حسن اختيار موقع المتسمات له عدة فوائد منها تيارات قصر اقل عبر المتسمه
ناء الاعطاب• ولم تجرى محاولات لانشاء محطات للمتسمات في خطوط النقل • ولكن هذا
نوع من المحطات شائع في السويد وكندا ودول اخرى •

b) على نهايات الخطوط في محطات الاقلده :

Location on the line sides in the switching station

ن اهم محاسن هذا الموقع للمتسمات هو قربها من الحطه الرئيسيه مما يسهل عمليات
حمايه ولكن درجة الحمايه المطلوبه للمحطه الرئيسيه يجب ان تكون متطوره اكثر • ويحتاج
ذا النوع الى سمه (M-Var) اكثر من النوع الموضوع على الخطوط ويستخدم بكثره في
ولايات المتحده الامريكيه • (USA) •

c) بين القضبان في محطات الاقلده

Location between bus bars within switching station

ن محاسن هذا النوع من المواقع هو ان المتسمات توضع في مواقع قليله بين قضبان محطة
لاقلده • يتطلب هذا النوع تشكيلات اقلده باهضة الثمن ومعقدة التركيب ضمن المحطه
لثانويه • يستخدم هذا النوع في الاتحاد السوفييتي والارجنتين •

لمشاكل المحيطه بتعديل التوالي :

Problems associated with series compensation

نتج عن تعديل النوالي عدة مشاكل اهمها :-

(a) رنين دون التزامن : Sub-Synchronous Resonance

تولد متسمات التوالي ترددات تزامن ثانويه (يتناسب مع الجذر
لتربيعي للتعديل) في النظام وقد يؤثر هذا التردد في بعض الحالات (interact)
ع عمود الاداره لمولدات توربين بخاريه ويؤدى الى زيادة اجهادات اللّي • اما في مولدات
التوربين المائيه تكون ترددات التزامن قليله لان تردد الالتوائي هو بحدود 10 هيرتز او
اقل •

(b) رنين مغناطيسي : Ferroresonance

عندما تشحن محوله غير محمّله او محمّله بحمل خفيف مربوط مع خط
ذى تعديل توالي يحدث ما يسمى بالرنين المغناطيسي • ويبلغ تردد التأرجح مضاعفات
تردد النظام • يمكن تقليل هذا التردد بأستخدام مقاومات عبر المتسمه او عمل دوائر قصر
على المتسمات من خلال فواصل •

الامتحان ألبعدى: Post Test

اختر الإجابة الصحيحة :

1- من محاسن تعديل التوالي :

أ - زيادة سعة النقل ب – تحسين استقرارية الشبكة حـ - كليهما أ . ب

2- توضع متسعات التوالي عبر الخطوط وعلى :

أ - نهاية الخطوط ب – بين القضبان حـ - كليهما أ – ب

3- زيادة فولتية النقل يؤدي إلى :

أ - زيادة البون ب – نقصان التدلي حـ - استخدام أبراج اقل

4- يستخدم الموصلات الحزمية للتقليل من :

أ - مفاقيد الهالة ب – التداخل الراديوي حـ - كليهما أ . ب

5- يجب أن يكون ممانعة الحمل اقل من ممانعة التمور :

أ - لنقل أعلى قدرة ب – لزيادة الكفاءة حـ - لاستقرارية الشبكة

مفاتيح الأجوبة الاختيارات:

ت	امتحان قبلي	امتحان ذاتي	امتحان بعدي
1	صح	$zc = v\frac{l}{c}$	جـ
2	خطأ	سعة	جـ
3	صح	حزمية	أ. جـ
4	صح	استقرارية الشبكة	جـ
5	صح	رنين دون التزامن-حماية الخط-فولتية عالية	جـ

المصادر :

1- منظومة القدرة الكهربائية تأليف د . ضياء علي – طارق محمد أمين

2- أنظمة القدرة الكهربائية تأليف د . محمد فائق العزاوي

الأسبوع (30)

الموضوع : النقل بالفولتية المباشرة HVDC Transmission

الفئة المستهدفة : الصف الثاني/ قسم التقنيات الكهربائية .

الأفكار المركزية : تعليم الطالب وتعريفه بـ :

1. لماذا النقل بالفولتيات المباشرة العالية .
2. أنواع التوصيلات DCللضغط الفائق .
3. محاسن النقل بالتيار المستمر .
4. دمج خطوط HVDC مع خطوط AC .

الأهداف: تعريف الطالب بعد الانتهاء من المحاضرة :

1. أهمية النقل بالفولتيات المباشرة العالية .
2. توصيلة DC أحادية القطب – ثنائية القطب – متجانسة الأقطاب .
3. المحاسن الفنية معوليه أعلى ومفاقيد هالة اقل وسهوله تغيير مسار الطاقة .
4. المحاسن الاقتصادية كلفة اقل وعدد أبراج أقل مقارنة مع .AC .

الاختبار القبلي: Pre Test

أجب صح أو خطأ :

1. من مساوئ النقل بالتيار المستمر عدم وجود قواطع دورة DC .
2. تستخدم المغيرات والمعدلات في أنظمة النقل DC .
3. لايمكن ربط منظومتي AC بتردد مختلف من خلال توصيله DC .
4. لايمكن استخدام قابلوات أرضية في نقل الطاقة لمنظومة DC .
5. مفاقيد الهاله والتداخل الراديوي في أنظمة DC اقل مقارنة مع أنظمة AC .

الاختبار الذاتي : Self Test

املأ الفراغات التالية :

1. خطوط النقل بالتيار المستمر ـــــــ مكلفة من التيار المتناوب .
2. المتغيرات تقوم بتحويل القدرة الكهربائية من شكل تيار ـــــــ إلى شكل تيار ـــــــ وبالعكس .
3. لايمكن استخدام كيبلات طويلة في خطوط AC بسبب ارتفاع تيار ـــــــ للمتسعات .
4. لايوجد مشاكل القدرة المتفاعلة المتولدة الممتصة في أنظمة التشغيل .
5. توصيلية DCبين خطي AC يحدد تيار القصر إلى تيار ـــــــ لخطوط الـ DC تلقائياً .

النقل بالفولتيه المباشره الماليه HVDC Transmission

١٠ـ١ مقدمه :

بدأت استخدام الطاقه الكهربائيه بالتيار المستمر وانشأت اول محطه قدره في العالم سنة 1382 في مدينة نيويورك (USA) . حيث كانت تعمل بالتيار المستمر بفولتيه 110 فولت وتغذى منطقه نصف قطرها ميل واحد .

ثم استخدمت انظمة التيار المتناوب كما اشير الى ذلك في الفصل التاسع بعد ايجاد المحولات والمحركات الحثيه والانظمه الثلاثية الطور . نتيجة للتطور الكبير في انظمة القدره في جميع انحاء العالم خلال السنوات السابقه . فاليوم يتم نقل كميات كبيره من القدره من محطات توليد تبعد عن مراكز المدن بمسافات شاسعه . من اهم المشاكل الفنيه لانظمة النقل بالتيار المتناوب ولمسافات طويله هي تنظيم الفولتيه (Voltage Regulation) التي تصاحب موازنة القدره المتفاعله في الحالات المستقره والمابره وكذلك الاستقراريه الحركيه للنظام تحت ظروف حمليه مختلفه . لتقليل هذه المشاكل عادت خطوط النقل بالتيار المستمر للعمل مرة اخرى ولكن بفولتيات عاليه جدا .

تم تنفيذ اول شبكه (DC) سنة 1954 بين جزيرتي السويد و كوتلاند بسعة 20MW وبفولتيه 100KV بأستخدام كابل وجعل البحر خط رجوع . نفذت شبكه اخرى بين انكلترا وفرنسا سنة 1961 وكانت تحت الماء ايضا يوضح الشكل (10.1) الزيادة المطرده في سعة انظمة النقل بالتيار المستمر في العالم والمتوقعه كذلك لحد سنة (2000)

شكل (10.1)

نمو خطوط النقل بالفولتيه المباشره الماليه (HVDC) في العالم

يتطلب استخدام توصيلات (HVDC) في انظمة التيار المتناوب (ac) محطات تحويل

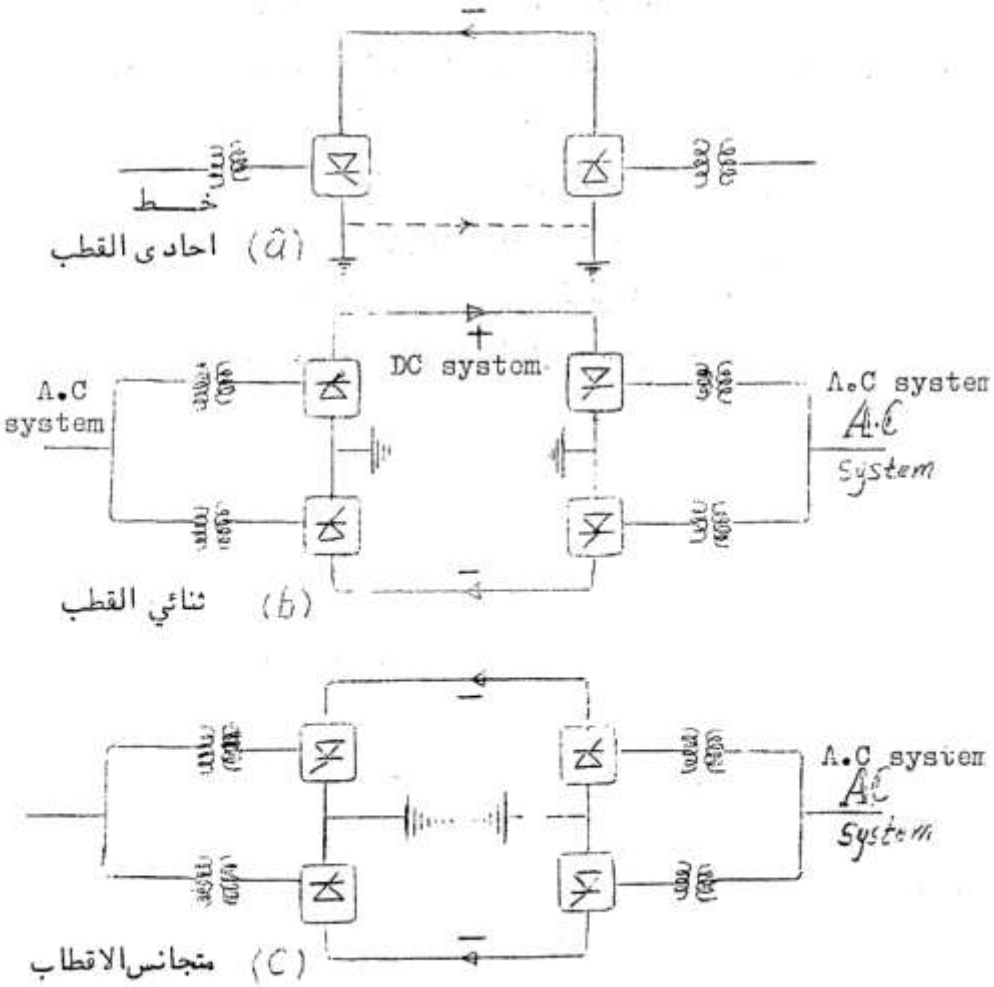
على نهايتي الخط. ان اهم اجهزة محطات التحويل هي المحولات الثايروستورات. في جهة الارسال تعمل الثايروستورات كمعدلات لتعديل التيار المتناوب الى تيار مستمر بينما تعمل الثايروستورات في جهة الاستلام كمغيرات Inverter لتغيير التيار المستمر الى متناوب. كما ان للثايروستورات في طرفي الارسال والاستلام القابليه على العمل كمعدلات او مغيرات لتغيير اتجاه نقل القدره حسب الطلب .

١٠-٢ انواع توصيلات (DC) : Types of DC Links

يمكن تقسيم توصيلات (DC) الى الانواع التاليه :

(a) توصيله احادية القطب : Monopolar Link

يستخدم هذا النوع توصيل واحد فقط يكون ذا قطبيه سالبه عادة يستخدم الارض او ماء البحر كموصل للرجوع . يفضل تنفيذ الخطوط ذو القطبيه السالبه بالخطوط الهوائيه للتقليل من التداخل الراديوى يوضح الشكل (10.2a) هذا النوع .



شكل (10.2) انظمة النقل بالفولتيه المباشره العاليه (HVDC)

(b) توصيله ثنائية القطب : Bipolar Link

يوضح الشكل (10.2b) هذا النوع من التوصيلات اذ يستخدم موصّلا ن احد هما ذا قطبيه موجبه والاخر ذو قطبيه سالبه وتوضع على طرفي الخط محطة تحويل. اذ يتم تأريض المحايد وبذلك يمكن لكل خط العمل باستقلاليه عن الخط الاخر (الموصل الاخر) وفي حالة حدوث عطب في احد هما فأن الاخر يجهز نصف الحمل المقنن . ان الفولتيه المقننه لتوصيلات ثنائية القطب هي بحدود $\pm$ 500KV .

(c) توصيله ذات قطبيه متجانسه : Homopolar Link

يوضح الشكل (10.2c) هذا النوع من التوصيلات . حيث تحتوى التوصيله (Link) على موصلين او اكثر وبقطبيه واحده (سالبه عادة) وتعمل عادة بخط ارضي رجوعي . يمكن اعادة ربط اجهزة محطه التحويل في حالة حدوث عطب على احد الموصلات بحيث يستطيع الموصل السليم (له سمه اكثر من المقنن) ان يجهز قدره اكثر من نصف القدره المقننه . ان هذا النوع من اعادة التوصيل بالغ التعقيد في توصيلات ثنائية القطب لذلك تفضل انظمة الاقطاب المتجانسه على انظمة الاقطاب الثنائيه .

محاسن النقل بالتيار المستمر : Advantages of DC Transmission

المحاسن الفنيه : Technical Advantages

تمتاز خطوط النقل بالتيار المستمر بعدة محاسن فنيه ، نذكر قسما منها :

(a) متطلبات القدره المتفاعله : Reactive power requirement

تعد مسألة توليد وامتصاص القدره المتفاعله من المشاكل المهمه في انظمة النقل بالتيار المتناوب . اذ تتساوى القدره المتفاعله الممتصه من خلال محاثه الخط مع القدره المتفاعله المتولده من متسعة الخط فقط عند ما تتساوى ممانعة الحمل مع ممانعة التمور (Surge Impedance) . وبما ان الحمل يتغير بأستمرار فأن القدره المتفاعله للخط تتغير مما يؤدى الى تغيير كبير في فولتيتا الاستلام . تكون هذه الفولتيه اعلى من الارسال في الاحمال القليله نتيجة تيارات الشحن . بينما تقل فولتية الاستلام عن فولتيه الارسال بكثير في حالة الاحمال الثقيله نتيجة القدره المتفاعله الماليه الممتصه من قبل محاثة الخط . اما في خطوط النقل بالتيار المستمر من جهة اخرى لاتوجد قدره متفاعله مرسله عبر الخط وهبوط الفولتيه هو بسبب الهبوط عبر المقاومه فقط . هناك بعض القدره المتفاعله المسحوبه بوساطة محطات التحويل. الا انها لاتعتمد على المسافه . وقد لوحظ ان خطوط ال (dc) تحتاج قدره متفاعله اقل من خطوط ال (ac) لخطوط اطول من (400Km) . تختلف الحاله في انظمة النقل بالكابلات الارضيه ، اذ تعمل الكابلات دائما بممانعة

حل اقل من ممانعة التمور للخط لتجنب ارتفاع درجة حرارة الكابل • وكنتيجة لذلك فأن قدره المتفاعله المتولده بوساطة متسعة التوازى اكثر دائما من القدره المتفاعله المتصـــــه ساطة محاثة التوالي • يتساوى تيار الشحن مع تيار الحمل ، لكابل بطول (50) كـــــم ربيا • لذا فأن الاطوال العمليه للكابلات في انظمة التيار المتناوب (ac) هي (40) سم فقط بينما لاتوجد هذه المحددات في انظمة النقل بالتيار المستمر (DC) •

b) استقرارية المنظومه : System Stability

يجب ان تبقى انظمة التيار المتناوب (ac) في حالة تزامـــن ائما • لابقاء الاستقراريه يجب ان لايزيد طول نظام متناوب بتردد (50 Hz) غير معـــدل uncompensated) عن 500 Km في الحالات العابره • اما اذا استخدم تعديل توالي ، يمكن زيادة الطول عن هذه القيمه • اما انظمـــة التيار المستمر من جهـــــة خرى فليس لها هذه المحددات ولا مشاكل الاستقراريه • لذا يمكن تشغيل نظامين متناوبين ير متزامنين وربطهما بتوصيلة (DC) حتى في حالة اختلاف تردد المنظومتين •

c) تيار دائرة القصر : Short Circuit Current

في حالة ربط منظومتين (ac) بوساطة خط (ac) فأن تيار ائرة القصر للمنظومه يزداد • وفي بعض الاحيان يتطلب تبديل قواطع الدوره الموجوده أخرى ذات مقننات اعلى • اما استخدام توصيلات (DC) من جهة اخرى فيحدد تيارات لقصر الى التيار المقنن لخطوط الـ (DC) •

d) استقلالية السيطره في انظمة (ac) المترابطه : Independent control of ac system

يمكن السيطره على انظمة التيار المتناوب (ac) التي تترابط بتوصيلات (dc) بأستقلاليه كامله • اى يمكن السيطره على التردد ومقننات دوائر القصر والتوسعات المستقبليه في كـــل منظومه بأستقلاليه كامله عن المنظومات الاخرى •

e) سرعة تغير مسار الطاقه : Fast change of energy flow

يتم تغيير اتجاه سريان القدره في نظامين متناوبين يتـــم توصيلهما بتوصيله (DC) بسهوله • وهذا يعطي مرونه اكثر للسيطره في النهايتين ، مما يقلل عدد وحدات التوليد الاحتياطيه ويؤدى الى انشاء محطات توليد بكلف اقل •

f) مفاقيد الهاله وتداخل راديوى اقل : Lesser corona loss & radio interference

مفاقيد الهاله والتداخل الراديوى لخطوط النقل بالتيار المستمر اقل مقارنة مع نظام تيـــار متناوب لنفس حجم الموصل والفولتيه وخاصة في الظروف الجويه السيئه •

(g) معوليه اعلى : Greater Reliability

نظام تيار مستمر ذو موصلين اكثر معوليه من نظام (ac) بثلاث موصلات لانه في حالة حدوث عطب في احد موصلات الـ (DC) يستمر سريان القدره • من خلال الموصل الاخر والخط الارضي الرجوعي •

١٠ــ٣ــ٢ المحاسن الاقتصاديه : Economic Advantages

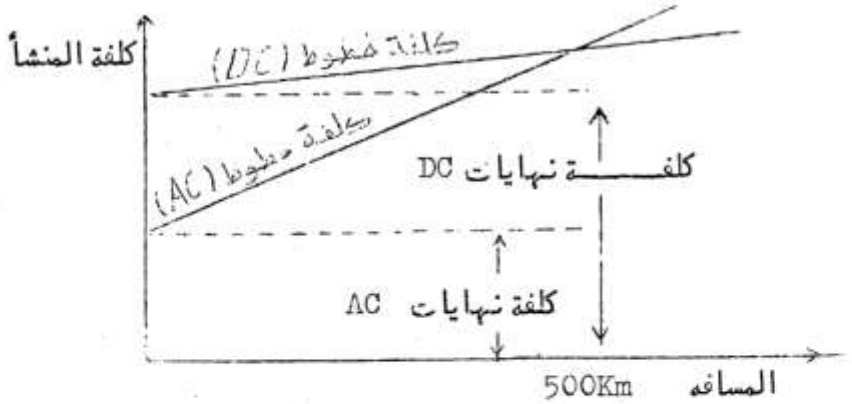
لخطوط النقل بالتيار المستمر (DC) عدة محاسن اقتصاديه مقارنة مع خطوط النقل بالتيار المتناوب نذكر قسما منها •

(1) خطوط النقل بالتيار المستمر اقل كلفه من التيار المتناوب • يوضح الشكل (10.3) هذا الفرق وخاصة للمسافات التي تنحصر بين (600ـ900 كم) للخطوط الهوائيه •

(2) خطوط الـ (dc) ابسط وارخص مقارنة مع خطوط الـ (ac) • ابراج (dc) كذلك ابسط وارخص مقارنة مع ابراج الـ (ac) • متطلبات حق المرور لخطوط الـ (dc) بحدود 20% الى 40% اقل من متطلبات خطوط الـ (ac) ولنفس سعة النقل •

(3) يمكن تنفيذ خطوط (HVDC) على مراحل • اولا يتم انشاء خط احادي مع خط ارضي رجوعي • ويمكن مستقبلا تحويل الخط الاحادي الى خط ثنائي القطب •

(4) مفاقيد الخط في خطوط الـ (dc) اقل من مفاقيد خطوط الـ (ac) ولنفس سعة الخط •



شكل (10.3)
مقارنه بين كلفة خطوط (ac) و (dc)

١٠ــ٤ دمج خطوط HVDC مع خطوط AC : Incorporating HVDC into AC Systems

يمكن دمج خطوط (HVDC) مع خطوط (ac) بعدة طرق وكل طريقه لها خصوصيه معينه وتؤدي غرضا معينا والذي يختلف عن الطريقه او الاسلوب الاخر •

توصيلة (dc) ذات نهايتين لخط نقل نقطه الى نقطه :

Two Terminal dc Link for Point to Point Transmission

تستخدم توصيلة (DC) ذات نهايتين في الخطوط الهوائيه لنقل كميات كبيره من القدره الرخيصه نسبيا من مصادر التوليد البعيده الى مراكز الاحمال . يؤدى هذا النوع الى توسع في محطات التوليد البعيده . ان المحطه المائيه على نهر نيلسن بالولايات المتحده الامريكيه كمثال نموذجي على ذلك وهي تستخدم توصيلة (dc) بمسافة 890 كم وبفولتيه ثنائيـــة القطب ±450KV وبسعة 1620 + 1000 ميكا واط . (مرحلة 1 و 2)

تستخدم الكابلات الارضيه لعمل توصيلات (dc link) بين انظمة التيار المتناوب في بعض الاحيان . اذ لا يمكن استخدام كابلات ارضيه في انظمة التيار المتناوب بمسافـــه تزيد على 40 Km . بينما تستخدم الان توصيلة كابل (dc) في القنال الانكليزى الـــذى يربط انكلترا وفرنسا ومنذ عام 1961 بفولتيه ±100KV وبسعه 160 MW .

هناك انظمة نقل (HVDC) تجمع بين استخدام الخطوط الهوائيه والكابلات البحريه فمثلا توجد في ايطاليا شبكه 200 KV ، 200 MW بتوصيله dc (dc link) تتألف من خط هوائي بطول 292 كم وكابل بحرى بطول 121كم .

توصيلات dc على التعاكس : Back to Back dc Link

تتألف التوصيله في هذا النوع من محطتي ارسال واستلام متقاربتين ، اى ان خطوط الـ (dc) تقريبا صفر او مهملة الطول .

ويستخدم هذا النوع من توصيلات (dc) للربط بين منظومتين (ac) ذواتي تردد مختلف مثلا ربط منظومة (50Hz) بمنظومة اخرى (60 Hz) . التوصيله الموجوده بين البرازيل والباركواى مثال على ذلك .

توصيلة (dc) على التوازى مع توصيل (ac) :

DC link Parallel with ac Link

قد يكون من الضرورى في بعض الاحيان وضع توصيله (dc) على التوازى مع توصيلات(ac) منفذه . ويستخدم هذا النوع لتقوية منظومة الـ (ac) ولزيادة استقراريتها . اذ ان لانظمة (dc) سرعة استجابه عاليه (بحدود 50 msec.) . هذه الخاصيه يجعلها ملائمـــه تحسين استقرارية انظمة (ac) الموجوده فعلا .

قد تحدد استقرارية الشبكه للحالات العابره وكذلك المستقره قابلية نقل اعظم قدره خلال الشبكه . وقد اوضحت دراسات اجريت على شبكات تم فيها ربط توصيله (dc) على التوازى مع منظومة (ac) ، بأن هذا الاجراء يؤدى الى زيادة استقرارية الشبكه للحالات العابره والمستقره .

وكمثال نموذجي على ذلك شبكة بسفاك (USA 1362Km, 1440MW) اذ

ربطت توصيلة (dc) على التوازي مع منظومة (ac) الموجوده وقد ادى هذا الى تحسين استقرارية منظومة الـ(ac) والى زيادة سعة النقل من 2100 MW الى 2500 MW .

١٠ـ٤ـ توصيلات dc متعددة النهايات : Multi Terminal dc Links

ان معظم شبكات القدره المتناوبه (ac) الضخمه متعددة النهايات . بينما تنفذ توصيلات الـ(dc) على الاغلب بنهايتين .

ان الشبكات (dc) متعددة النهايات التي تحتوى على عدد من المعدلات rectifier والمغيّرات (inverters) ممكنه نظريا . واجريت دراسات عديده بالحاسبات التناظريه والرقميه . وقد وجد ان احد متطلبات انظمة (dc) متعددة الاطراف الضروريه هو استخدام قواطع دوره (dc) كبيرة الحجم .

اما استخدام توصيلات ذات نهايتين لاتحتاج الى قواطع دورة (dc) لان وجود عطب على الخط يتم ازالته بواسطة محطات التحويل . لذا فأن انشاء خطوط (dc) ذات اطراف متعدده يحتاج الى قواطع دوره (dc) . ولا توجد قواطع دوره (dc) لحد الان بمقننات فصل عاليه ما عدا بعض قواطع الدوره البدائيه .

١٠ـ٥ اجهزة محطة التحويل : Converter Station Equipment

تستخدم معظم انظمة النقل بالفولتيه المباشره العاليه الحديثه الثايروستورات (بدلا من صمامات التفريغ الزئبقي المستعمله سابقا) وذلك منذ سنة 1970 . اما بقية اجهزة التحويل الرئيسيه هي : محولات التحويل مفاعلات (DC) ، مرشحات التوافقيات واجهزة السيطره .

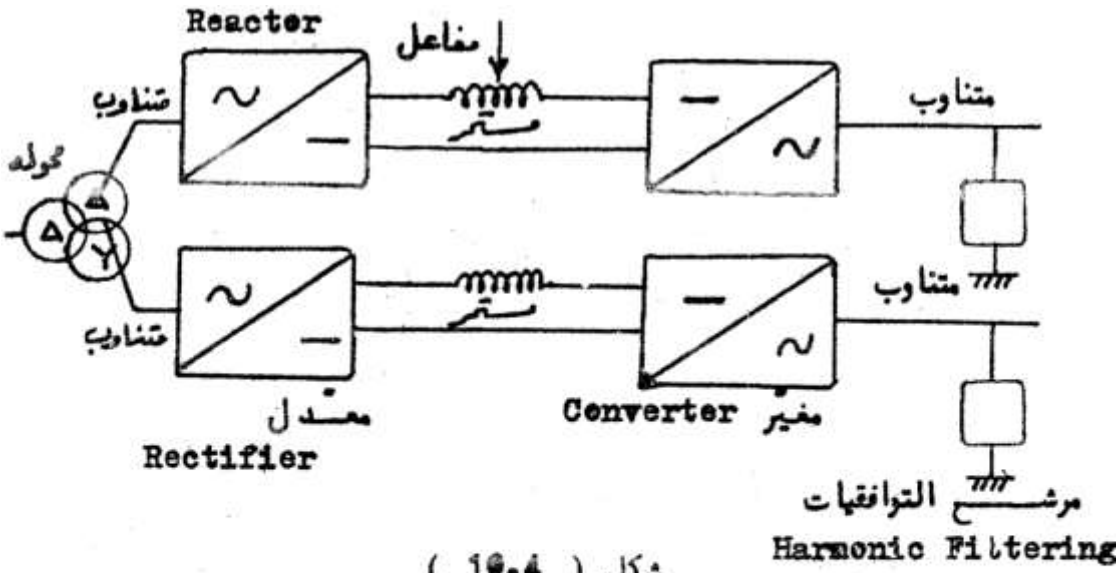
١٠ـ٥ـ١ الثايروستورات : Thyristors

تمتاز الثايروستورات بعدة خصائص هي : المعوليه ، سهولة السيطره صغر الحجم ، تحتاج الى قدره قليله للتشغيل ، فولتية هبوط واطئه اثناء التوصيل . كل هذه المحاسن جعلت الثايروستر تستخدم في محطات التحويل (التغيير) وحلت محل صمامات التفريغ الزئبقيه . استخدمت اول منظومه (HVDC) بالثايروستور سنة 1972 في كندا ، وكانت الثايروستورات المستخدمه تقنن 70KW ، قدره (dc) لكل ثايروستر ومع تطور تقنية صناعة الثايروستورات ، يتوفر الان ثايروستورات بتقنن تيار يساوى تيار الخط. لكن فولتية التحمل للثايروستور الواحد هي قليله جدا مقارنة مع فولتيات خطوط النقل . لذا يستخدم عدد من الثايروستورات على التوالي (عادة من 50 الى 200) لتصل الى الفولتيه المقننه . وتكون عادة داخليه (indoor) ، ذات عزل هوائي وتبريد مائي او هوائي ايضا. بما ان الثايروستورات تتعرض لانهيارات داخليه فأنه يضاف عدد اضافي من الثايروستورات لابقاء المنظومه حتى في حالة حدوث عطب في بعض الثايروستورات .

تستخدم معظم انظمة HVDC الحديثه مغيرات ذات 12 نبضه 12 pulse converter يوضح الشكل (10.4) مغيرا ذا 12 نبضه لمقننات القدره الماليه بينما يوضح الشكل (10.5a) شكل التيار على اطراف الثانوى للمحوله لمغير ذى 6 نبضات والشكل (10.5 b) على اطراف الابتدائي للمحوله لمغير ذى 12 نبضه . ويحتوى الشكل (10.4) على محولات (3 phase) لربط مغيرات 12 نبضه الى قضبان انظمة التيار المتناوب (ac). وعلى معدل Rectifier ومفاعل Reactor ومغير Inverter. تصميم محولات التحويل Converter Transformer على اساس وحده ثلاثية الطور او وحدات احادية الطور . يستخدم عدة وحدات ثلاثية الطور لمغير ذى 12 نبضه . تختلف محولات التحويل عن محولات القدره من حيث نظام العزل اذ ان عوازل محولات التحويل يجب ان تقاوم اجهادات الفولتيات المستمره . علاوة على ذلك فأن النسبه الماليه لتيار التوافقيات يؤدى الى زيادة مفاقيد التيارات الدواميه . توجد محولات تحويل بقدرة 300MVA او ربما اكثر . وتستخدم مع قنطرة الثايروسترات وعادة بين المعدل Rectifier والمغير Inverter مفاعلات dc link reactor . وتقع قيم هذه المفاعلات بين 0.4 H الى 1 H ولها اهميه كبيره لتحديد تيارات العطب اثناء فشل الاخماد فى المغير ، كما انها تقلل التوافقيات في تيارات وفولتيات dc link . وتحدد ايضا تيار القصر في حالة حدوثه في دائرة (قنطره) المعدل Rectifier .

٢. اجهزة ترشيح التوافقيات Harmonics Filtering Equipment

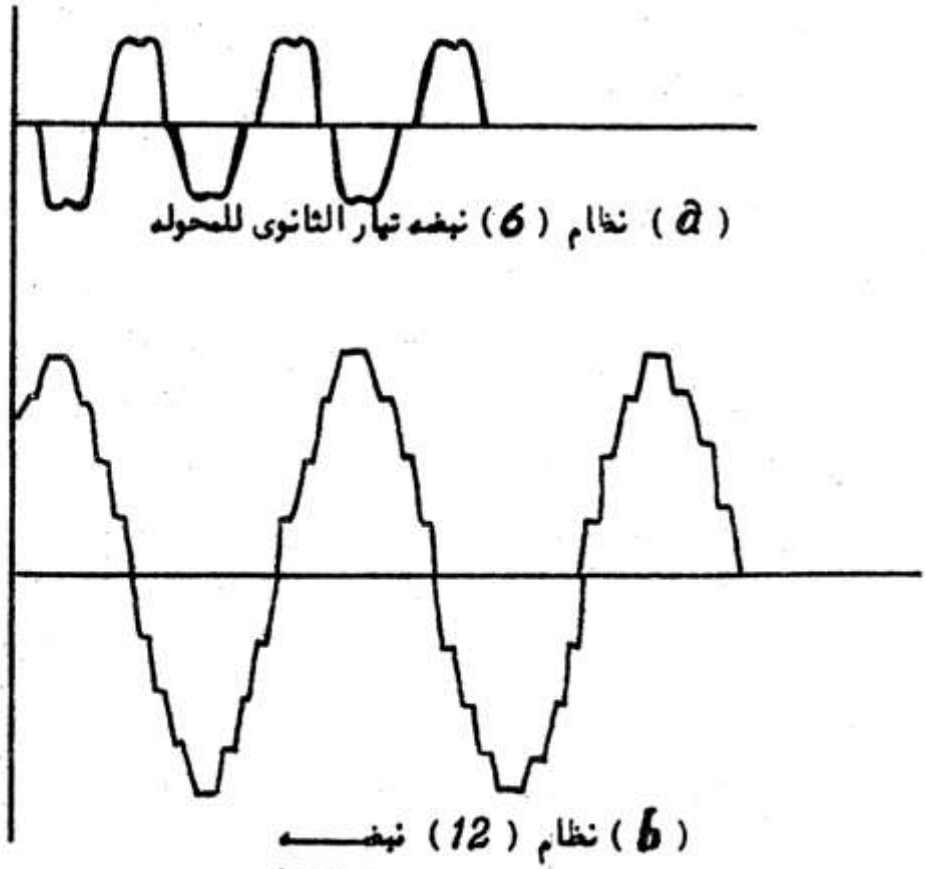
ان تحليل موجة تيارات محولات التحويل يوضح ان الموجه الاساسيه تحتوى على عدد من التوافقيات ، وتعتمد قيم هذه التوافقيات على قيمة التيار في التوصيله I_{dc} وزاويه القدح للثايروسترات وكذلك زاوية الاخماد . ان عدم استخدام اجهزه لترشيح هذه التوافقيات يؤدى الى زيادة تسخين المتسعات والمولدات ، والتداخل مع خطوط المواصلات اضافة الى عدم استقرارية السيطره على محطات التحويل . وقد لايقف هذا التأثير عند محطات التحويل بل انها تنتشر على مسافات بعيده . ان التوافقيات الموجوده في انظمة 12 نبضه هي من المرتبه الثانيه عشره والرابعه والعشرين 12th و 24th في جهة (dc) والحاديه عشر 11th والثالثه عشر 13th والثالثه والعشرين 23rd والخامسه والعشرين 25th في جهة الـ ac . كلما يزداد عدد النبضات تقل مرتبة التوافقيات كما ان قيمة تيارات التوافق تتناسب عكسيا مع مرتبته فكلما تزداد المرتبه تقل القيمه ولذا تبدو التوافقيات من مرتبة 24 او 25 غير مؤثره . ان استخدام مرشحات في جهة الـ ac لمعادلة التوافقيات الموجوده اكثر شيوعا وتحتاج الى 4 مرشحات موالفه Tuned filter في انظمة 6 نبضات ومرشح اخماد (Dumped filter).



شكل (10.4)

معدّات تحويل (12) نبضه

12 Pulse Converter Equipments



شكل (10.5)

٣ اجهزة السيطره : Control Equipment

ان السيطره على زاوية القدح (firing angle) في انظمة HVDC) مهمه جدا للقدح ويجب ان ترسل النبضات الكهربائيه الى جميع الثايروسترات مربوطه على التوالي آنيا • بما ان جهد الثايروسترات بالنسبه الى الارض مختلف فأن نبضات القدح يجب ان ترسل الى الثايروسترات خلال وسط عازل • ان الانظمه المستخدمه هذا الغرض في معظم شبكات (HVDC)الحديثه هو استخدام نبضات ضوئيه توصل خلال ياف ضوئيه • تتحول الاشاره الضوئيه في مستوى كل ثايروستور بوساطة دائره الكترونيه الى نبضه كهربائيه ترسل الى بوابة الثايروستور •

يوجد فرق كبير بين عمل انظمة النقل بالتيار المتناوب (ac) والتيار المستمر (dc) وان القدره المرسله عبر توصيلة (dc) يمكن السيطره عليها دائما • اذ يسيطر على نولتيه في محطة التحويل (عـادة المغير) ويسيطر على التيار في المحطه الاخرى (يعني معدّل) ان هذه السيطره تجعل الخط قابلا على الابقاء على ارسال قدره ثابته •

٦ الرجوع الارضي : Ground Return

الرجوع الارضي يعني خط رجوع خلال الارض او البحر او يهما • تستخدم معظم انظمة التيار المستمر خط الرجوع الارضي لاسباب اقتصاديه ولزيادة معوليه • تستخدم توصيلات احادية القطب والمتجانسه خط الرجوع الارضي دائما لحمل يار الرجوع • بينما تستخدم الخطوط ثنائية القطب الارض احيانا عند اجراء الصيانه اوالتصليح لى احد الخطين • ان المسار الارضي له مقاومه واطئه ، لذا فأن المفاقيد تكون قليله ذلك مقارنة مع انظمة (ac) • ان سبب كون مقاومة الارض قليله في نظام (dc) هـو ن التيار ينتشر على مقاطع كبيره في الاتجاه العرضي والعمق • لاتعتمد مقاومة خط الرجوع لارضي على طول الخط ولكن بالاساس هي عباره عن مجموع مقاومة الكترودات التأريض في طرفي الخط •

كلفة خطوط احادية القطب اومتجانسه الاقطاب مع خط رجوع ارضي اقل بكثير من نفس لتوصيل مع خط رجوع معدني •

الامتحان ألبعدى: Post Test

اختر الإجابة الصحيحة

1- لإبقاء أنظمة في حالة تزامن دائمي يجب أن لايزيد طول الخط عن :

أ - 100km ب – 500km حـ - 200km

2- مفاقيد الهالة والتداخل الراديوي في أنظمة AC مقارنة مع DC :

أ - أعلى ب – اقل حـ - متساوية

3- تغير مسار الطاقة في نظامين متناوبين عند ربطهما بوصله DC يكون :

أ - أسهل ب – أصعب حـ - لايؤثر

4- توصيلية DC ذات قطبيه متجانسة تنقل طاقة أعلى من AC :

أ - لنفس الفولتية ب – لنفس القدرة حـ - أ . ب خطأ

5- الكابلات الأرضية تعمل بممانعة أقل من ممانعات التمور لمنع :

أ - هبوط الفولتية ب – ارتفاع درجة حرارة الكيبل حـ - زيادة التيار

مفاتيح الأجوبة الاختيارات:

ت	الاختبار القبلي	الاختبار الذاتي	الاختبار البعدي
1	صح	اقل	ب
2	صح	مستمر متناوب	أ
3	خطأ	الشحن	أ
4	خطأ	HVDC	جـ
5	صح	المقنن	ب

المصادر :

1- منظومة القدرة الكهربائية تأليف د . ضياء علي – طارق محمد أمين

أنظمة القدرة الكهربائية تأليف د . محمد فائق العزاوي