جمهورية العراق
وزارة التربية
المديرية العامة للتعليم المهني

العلوم الصناعية

الصناعي/توليد الطاقة الكهربائية ونقلها

الثالث

تأليف

أ.م.د. ضاري يوسف محمود

د. حسين مجيد صالح
مهدي صالح جاسم
حسين علاوي فالح
حسين كاظم سلمان
عامرة ماجد ثابت
عبد الوهاب عبد الرزاق نجم

الطبعة الثالثة
1445 هـ - 2023 م

المقدمة

لقد تضافرت الجهود لتحقيق الهدف برفد محطات توليد ونقل الطاقة الكهربائية بكوادر فنية تمتلك المهارة والمعرفة في أروقة المحطات الغازية والحرارية ورفد سوق العمل بالفنيين ذي الخبرة المتنوعة في الكهرباء والميكانيك ولحام المعادن والانابيب ومضخات المياه والسوائل الأخرى .

لقد تم تأليف كتاب العلوم الصناعية للمرحلة الثالثة ليغني الطالب بالمعلومات الواسعة بسبعة فصول ، تناول الفصل الاول محطات التوليد الحرارية وأجزاءها الأساسية والمنظومات الملحقة بها وطريقة أشتغالها والوقود المستعمل والأعطال التي قد تحصل ونوع الصيانة التي تجرى لها .

الفصل الثاني المحطات الغازية وأجزاءها الأساسية والأجزاء الثانوية والمنظومات المكملة لأشتغالها والوقود المستعمل والمعالجة التي تجرى عليه والمحسنات المضافة له ، وكذلك الاعطال التي قد تحصل للمحطة والصيانة اللازمة وانواعها .

فيما تناولت الفصول الثالث والرابع والخامس والسادس المولدات التزامنية وهي الجزء الأساس للمحطات ، يأتي بعدها المحولات الكهربائية ثم خطوط نقل الطاقة الكهربائية ومنها الى المحطات الثانوية ، وقد أعطيت الى الطالب بشكل متسلسل من المحطة الى المستهلك مع الصور والرسومات التوضيحية والمسائل الحسابية الأساسية .

وقد خُتم الكتاب بالفصل السابع، إذ تناول حماية منظومات القدرة .

وأخيراً نتمنى أن يكون كتابنا هذا يلبي الطموح خدمتاً لبلدنا العزيز ..... ومن الله التوفيق .

المؤلفون

المحتويات

الفصل	المفردات	رقم الصفحة
الاول	تمهيد	7
	موقع المحطة	7
	مميزات المحطات البخارية	8
	عيوب المحطات البخارية	8
	مبدأ عمل المحطة البخارية	8
	أجزاء المحطة البخارية	8
	الاعطال التي تحصل في المحطة الحرارية	31
	صيانة المحطة الحرارية	32
	أسئلة الفصل الاول	34
الثاني	تمهيد	35
	مميزات المحطات الغازية	35
	عيوب المحطات الغازية	36
	التوربين الغازي ومبدأ العمل	36
	ألاجزاء الرئيسة للمحطة الغازية	37
	ألاجزاء الثانوية للمحطة الغازية (المساعدة)	45
	الوحدات الساندة للمحطة	49
	مراقبة الاداء	53
	العوارض المحتملة الحدوث في المحطة وأسبابها ومعالجاتها	54
	أسئلة الفصل الثاني	58
الثالث	تمهيد	59
	المولدات التزامنية ثلاثية ألاطوار	59
	تركيب المولدات التزامنية ثلاثية ألاطوار	60
	طرق تبريد المولدات التزامنية	65
	كيفية عمل المولدات التزامنية	65

	ردة فعل المنتج	67
	معامل تنظيم الجهد للمولد	71
	تشغيل المولدات التزامنية على التوازي	71
	كيفية توزيع ألاحمال بين المولدات الموصلة على التوازي	73
	توصيل المولدات التزامنية الى قضبان لانهائية	75
	أسئلة الفصل الثالث	79
الرابع	تمهيد	81
	المحولة الكهربائية	82
	مبدأ عمل المحولة	84
	نسبة التحويل في المحولة	84
	المحولة المثالية	87
	خسائر القدرة في المحولة	88
	القدرة والكفاءة في المحولة الكهربائية	88
	محولات ثلاثية الطور	91
	محولات خاصة تستخدم عند الحاجة اليها في بعض الأعمال المهمة وتشمل:	98
	تبريد المحولات الكهربائية	101
	أسئلة ومسائل الفصل الرابع	107
الخامس	ألاجزاء ألاساسية لخطوط النقل المعلقة	109
	المواد الداخلة في صناعة الموصلات	110
	المواد المستعملة في صناعة العوازل	118
	أنواع العوازل المستعملة في خطوط النقل المعلقة	119
	توزيع الجهد على سلسلة عوازل التعليق	122
	كفاءة السلسلة	124
	طرق تحسين كفاءة سلسلة عوازل التعليق	126
	أداء خطوط النقل	128
	ثوابت خطوط النقل	129

	تصنيف خطوط النقل حسب أطوالها	132
	كفاءة النقل (كفاءة الخط)	135
	أسئلة الفصل الخامس	138
السادس	تمهيد	141
	تصنيف المحطات الثانوية	142
	مكونات محطات التحويل	147
	نظم التوزيع	162
	أسئلة الفصل السادس	165
السابع	تمهيد	167
	الحماية وأهميتها	167
	مناطق الحماية	168
	أنواع ألاعطال في منظومة القدرة	170
	ألاضرار الناجمة عن ألاعطال	174
	مكونات منظومة الحماية	174
	المتطلبات ألاساسية لمعدات الحماية	181
	حماية المولدات الكهربائية	181
	حماية المحولات الكهربائية	184
	حماية خطوط النقل	189
	أسئلة الفصل السابع	197
	المصادر	199

الفصل الاول

محطات التوليد البخارية

1- 1 تمهيد

محطة التوليد البخارية هي أحدى المحطات الحرارية التي تعتمد في عملها على تحويل الطاقة الحرارية للوقود المستعمل الى طاقة حركية ، وذلك بتحويل الماء الى بخار محمص بضغط وحرارة عاليين ، يتم تسليطه على توربين بخاري لتدويره بسرعة ثابتة (3000 د / د) ، ثم تنتقل هذه الحركة الى المولد الكهربائي ، أذ يستعمل فيها جميع أنواع الوقود السائل والغاز وكذلك الفحم بأنواعه ومخلفات معامل تكرير النفط (أي بحسب الوقود المتوفر قرب المحطة) ، ولايحتاج الوقود الى أضافة المحسنات وأنما يضخ مباشر الى منطقة الحرق ، تصل كفاءتها الى أكثر من (40) % .

1 - 2 موقع المحطة

يراعى عند بناء المحطات الحرارية مايأتي :

1- أن تنشأ قرب الأنهار الدائمة الجريان والبحار للحصول على ماء التبريد وبشكل مستمر، أنظر الشكل (1 - 1) .

2- أن تنشأ قرب مصادر الوقود لتقليل كلفة النقل .

3- أن تنشأ قرب المدن او المصانع لتقليل الكلفة في نقل الطاقة الكهربائية المتولدة .

الشكل (1-1) يوضح محطة توليد حرارية منشأة على ضفة نهر

1- 3 مميزات المحطات البخارية

1- تستهلك كميات قليلة من الوقود مقارنة مع المحطة الغازية للحصول على المقدارنفسه من الطاقة الكهربائية .

2- رخص الوقود المستعمل فيها مقارنة بالمحطات الغازية .

3- التكاليف الاولية عند أنشاء المحطة قليلة قياساً بالأنواع الأخرى .

4- رخص تكاليف الصيانة والتوليد .

5- تشغل مساحة قليلة مقارنة بالمحطات المائية .

6- ذات قدرات عالية قياسا بالأنواع الأخرى من المحطات .

7- من الممكن تشغيلها لمدة طويلة دون توقف .

1 - 4 عيوب المحطات البخارية

1- تسبب تلوث بيئي بأرتفاع نسبة الغازات المنبعثة من أحتراق الوقود في الجو .

2- أرتفاع في درجات حرارة ماء التبريد العائد الى النهر او البحر ، مما يتسبب بالضرر المباشر على الثروة السمكية .

3- تحتاج الى كميات كبيرة من مياه التبريد .

4- لايمكن بناؤها بجوار التجمعات السكنية ، لتجنب مساوئ التلوث .

1 -5 مبدأ عمل المحطة البخارية

تعمل المحطة البخارية (الحرارية) على تحويل الطاقة الحرارية الى طاقة ميكانيكية باستعمال الوقود الثقيل (مخلفات مصافي تكرير النفط ، أو النفط الخام) وتوليد بخار بضغط وحرارة عاليين ، ويتم توجيه هذا البخار على توربين بخاري يتصل محوره مع محور المولد (أي على أستقامة واحدة) ، فيدور التوربين ويدور معه الجزء الدوار للمولد بسرعة ثابتة يسيطر عليها جهاز تحكم ، ثم يخرج البخار من التوربين الى مبادل حراري كبير (يسمى المكثف) يقع أسفل التوربين ، يعمل المكثف على تحويل هذا البخار الى ماء يتجمع في الأسفل ، ويعاد ضخه الى المرجل لتحويله الى بخار مرة اخرى ، وهكذا تستمر المحطة الحرارية بالعمل .

1 - 6 أجزاء المحطة البخارية

تتألف محطة توليد الكهرباء البخارية من:

1- **الأجزاء الرئيسة:** وهي المرجل (الفرن ،محمصات البخار، المدخنة) ، التوربين ، المكثف ، المولد الكهربائي .

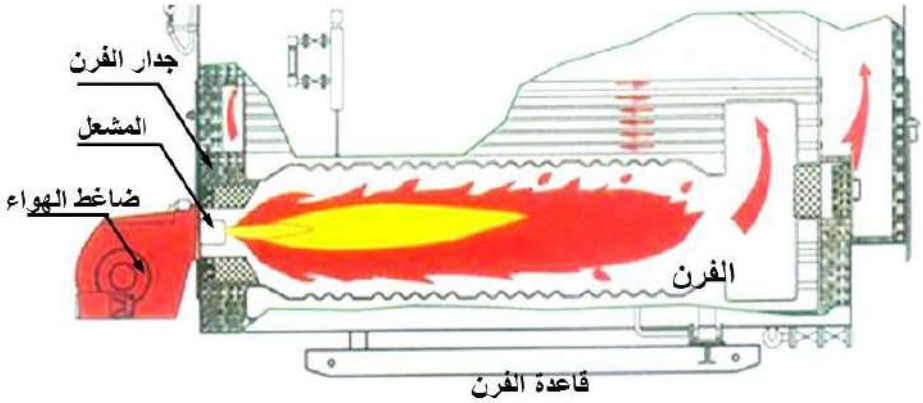
2-الأجزاء المساعدة التي تسمى (الاجزاء الثانوية): وهي المنظومات والاجهزة والمعدات التي تساعد على استمرار عمل الأجزاء الرئيسة وتتمثل بآلاتي : (منظومة التزييت،منظومة الوقود الخفيف والثقيل،وحدة تنقية وتحلية مياه التشغيل ، دورة ماء وبخار التشغيل ، دورة مياه التبريد ، دورة هواء الاشتعال ، نافخات الرماد ، صمامات الأمان ، أجهزة السيطرة الميكانيكية والكهربائية وملحقاتها) تعمل جميعها بشكل دائم مع اشتغال المحطة ولايمكن الاستغناء عن اي جزء منها مع المولد الديزل الأحتياطي الذي يعمل عند توقف المحطة.

1-6-1 الاجزاء الرئيسة للمحطة البخارية

1- المرجل Boiler - ويتكون من الأجزاء الآتية:

اولاً / الفرن Furnace:

هو عبارة عن وعاء كبير لحرق الوقود ، يختلف شكل ونوع هذا الوعاء وفقا لنوع الوقود المستعمل يلحق به وسائل تخزين ونقل وتداول الوقود وطرح مخلفات نتائج الاحتراق ، كذلك تتصل به أنابيب الهواء اللازم للاحتراق ، يصنع الفرن من الصلب بسمك معين بحسب نوع الوقود المستعمل أيضاً ويعزل حراريا عن المكان الذي يشغله ، أنظر الشكل (1 -2) .

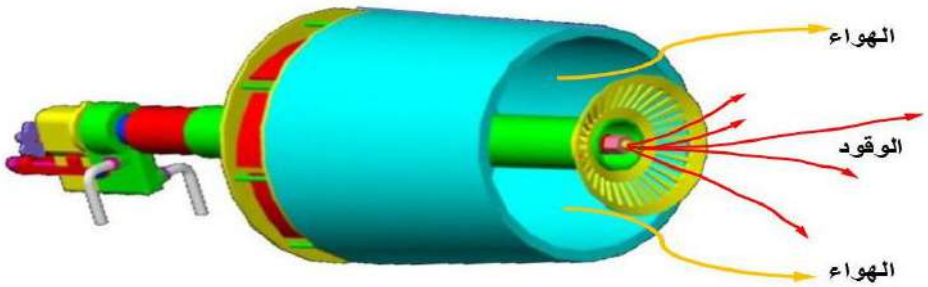


الشكل (1 - 2) يوضح الفرن

تتم عملية احتراق الوقود عن طريق المشاعل (المحارق) وهي عبارة عن أنبوبين أحدهما صغير القطر يحتوي في نهايته على ثقب صغير (Nozzle) لمرور الوقود من خلاله ، والنهاية الأخرى تتصل بأنبوب تجهيزالوقود ، وهذا الأنبوب الصغير يثبت في داخل أنبوب آخر أكبر قطراً يمر خلاله الهواء الذي يعمل على اشتعال الوقود ، أنظر الشكل (1 - 3) .

تتكون المحارق في الفرن الواحد من مجموعتين الاولى: (المحارق المساعدة) والثانية: (المحارق الرئيسة) ، أعدادها في الفرن الواحد متعددة بحسب حجم المحطة الحرارية وكمية البخار المطلوب توليده ، وفي الغالب يكون عدد المحارق من (8 الى 16) للمجموعة الواحدة .

يتم تشغيل الفرن عن طريق المحارق المساعدة بوسطاة القدح بشمعة كهربائية ، ووقود سريع الاشتعال (غاز ، نفط أبيض او زيت الغاز) وبعد الاستقرار بالاشتعال وتوليد البخار بالضغط والحرارة اللازمة وتسخين الوقود الثقيل او الخام في مبادل حراري يعمل بالبخار لتسخينه الى درجة حرارة من (75- 110) درجة مئوي ثم يضخ الى المحارق الرئيسة ، وبالتدريج يتم قطع الوقود الخفيف السريع الاشتعال عن المحارق المساعدة (لانه أغلى ثمناً) ، وبعد الانقطاع التام للوقود الخفيف عن المحارق المساعدة يتم سحبها الى خارج منطقة الاشتعال للمحافظة عليها من الحرارة العالية .



الشكل (1- 3) يوضح المشعل

ثانياً / أنابيب ومحمصات البخار:

وهي المرحلة الثانية بعد الفرن وفيه يتم تسخين الماء الى درجات حرارة عالية وتحويله الى بخار ويسمى أيضاً (Steam Generator) .

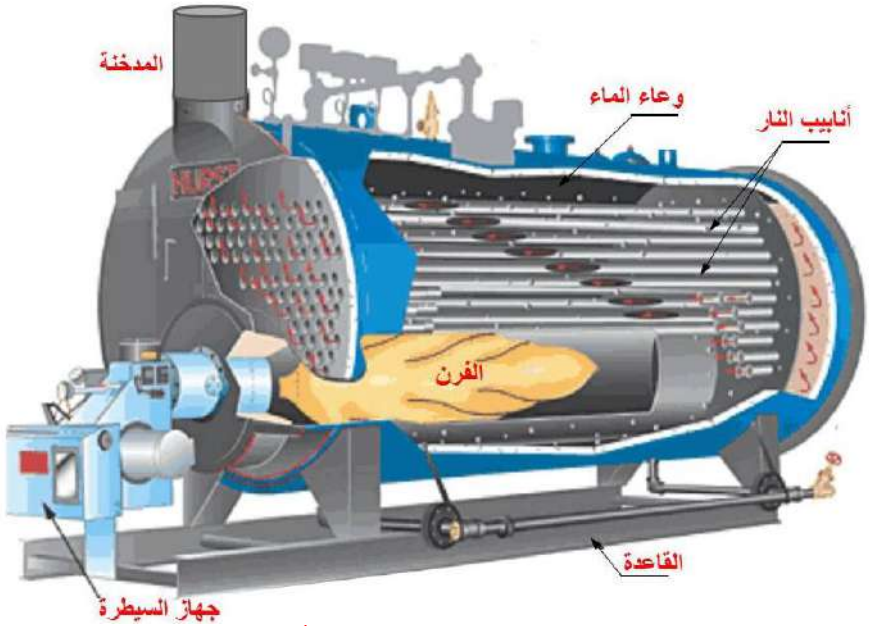
يصنع المرجل من الصلب او الصلب المصلد (الفولاذ) او من معادن أخرى (بشكل سبيكة) مقاومة للحرارة العالية والضغط ، والمراجل بأشكال وأحجام مختلفة بحسب نوع الوقود المستخدم وكمية البخار المنتج في وحدة الزمن وقدرة المحطة.

أنواع المراجل البخارية: وتقسم الى نوعين هما:

أ- مرجل أنابيب النار (Fire tube boiler):

وهو عبارة عن وعاء فولاذي أسطواني الشكل يحمل بداخله الماء النقي اللازم لتوليد البخارويمر بداخله أنابيب النار التي تنقل حرارة الاحتراق من الفرن الى المدخنة حيث يتم التبادل الحراري بين الماء والسطح الخارجي لأنابيب النار وكما في الشكل (1- 4) .

وتمتاز هذه الانواع من المراجل بقلة الضغط والحرارة للبخار المنتج ، كذلك سهولة تعرضها للأنفجار .



الشكل (1- 4) يوضح مرجل أنابيب النار

ب- مرجل أنابيب الماء (البخار) (Water Tube Boiler):

تتكون المراجل من نوع (أنابيب الماء) من وعاء (Drum) واحد او أثنين ، وانابيب تتكون من صف اوعدة صفوف (Bank) ، ترتبط بنهايتي الوعاء ويجري الماء داخل الأنابيب بينما يلامس اللهب وغازات الاحتراق الساخنة سطح الأنابيب الخارجي فيتم التبادل الحراري ويتحول الماء الى بخار داخل الأنابيب ، أنظر الشكل (1 - 5) .

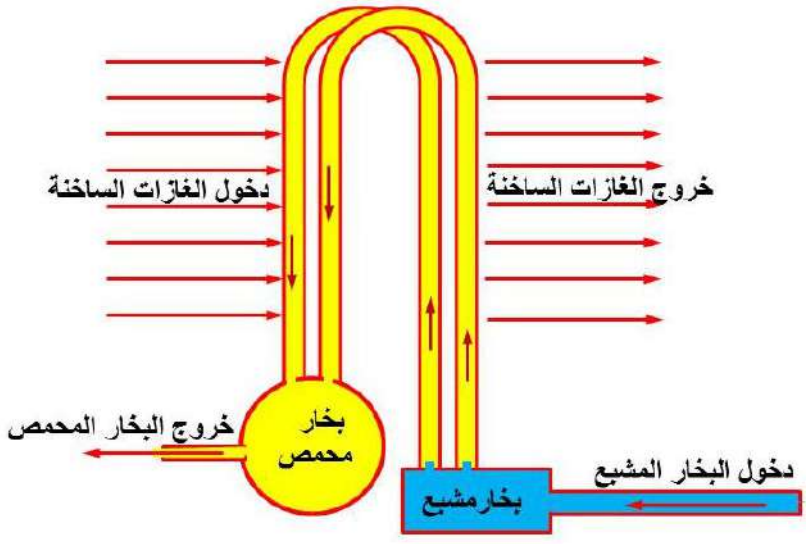
الشكل (1- 5) يوضح مرجل أنابيب الماء

ويستعمل هذا النوع من المراجل البخارية غالباً في انتاج طاقات كبيرة من بخار الماء بضغط عالٍ يصل الى أكثر من (150 بار) ودرجات حرارة عالية تصل الى أكثر من (550 °C) .

يستعمل الماء H_2O بنقاوة عالية تصل الى 99.9999 % ، لان وجود الشوائب في الماء يتسبب بوجود طبقة من التكلسات على الجدران الداخلية لأنابيب المرجل تقلل من كفاءة التبادل الحراري لتوليد البخار ، كذلك تتسبب بأضرار تقلل من العمر الزمني للمرجل والتوربين .

2- محمصات البخار:

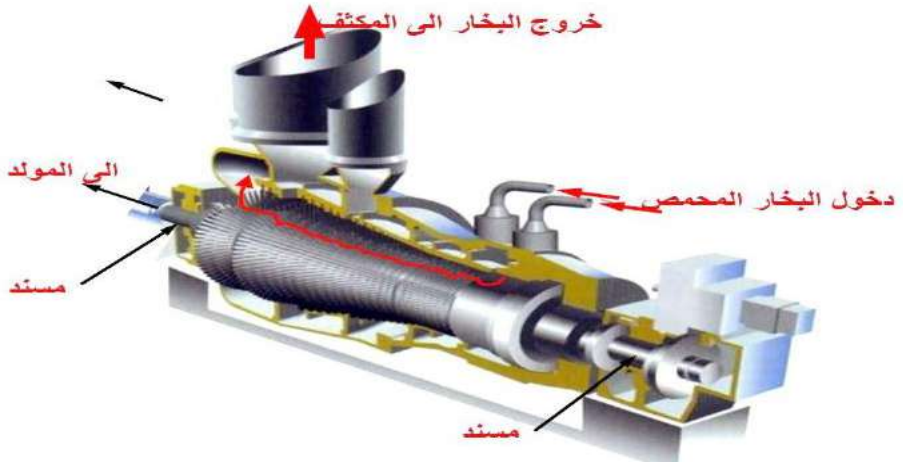
وهي عبار عن مجموعة من الأنابيب التي يتم فيها تحويل البخار المشبع الى محمص وتتكون المحمصة من مجموعتين اوثلاث حزم أنابيب عمودية وأفقية موضوعة في مسار غازات الاحتراق قبل طرحها الى المدخنة ويكون موقعها في نهاية المرجل وفي الحيز الذي يتغير به أتجاه المسار قبل الدخول الى حزم الأنابيب مما يمكن من أنتقال الحرارة من غازات الاحتراق بواسطة الأشعاع والحمل بطريقة تضمن أستقرار درجة حرارة البخار المحمص مع التغيرات الواسعة في مدى الحمل البخاري ، وتكون مكملة لعمل المرجل وفيها يتم رفع درجة حرارة بخار الماء الى (520 - 540) درجة مئوية وهي الأفضل في تشغيل التوربين البخاري ، ويرفع كفاءة المحطة (كلما زادت درجة حرارة البخار المحمص أرتفعت الكفاءة) وقد تصل الى (600) درجة مئوية ، وهذا يضمن عدم وجود قطرات ماء في البخار ووجودها يتسبب في تلف كبير للتوربين ، أنظر الشكل (1- 6) .



الشكل (1- 6) يوضح المحمصة

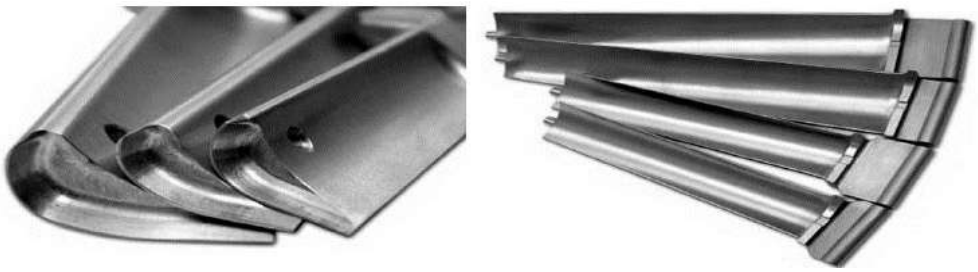
تستمر عملية تشغيل المرجل (24 ساعة) حتى يتم الحصول على الإستقرار التام والانتظام في درجات الحرارة والضغط ثم يتم تشغيل التوربين بتوجيه تيارالبخار المحمص الى داخل التوربين فيدور وتتولد الطاقة الكهربائية ، بينما يكون أشتغال المحطة الغازية خلال نصف ساعة.

3- التوربين البخاريSteam turbine:



الشكل (1- 7) يوضح التوربين البخاري

يعد التوربين الجزء الأهم في محطة التوليد الذي من خلاله يتم الحصول على الحركة الدورانية ، أنظر الشكل (1-7) والشكل (1- 21) في نهاية الفصل ، والتوربين جهاز ميكانيكي يتألف من محور إسطواني يستند طرفيه على مساند الانزلاق المصنوعة من معدن خاص وبمساعدة التدفق المستمر للزيت تبقى تعمل لفترات طويلة (مقاومة للاحتكاك) ، ومزود بزعانف مروحية مختلفة القياسات أنظر الشكل (1-8) ، موزعة على محيطه بشكل منتظم ، الجزء الدوار موضوع داخل جسم إسطواني مفلق القاعدتين يحتوي مجموعة من الريش (الزعانف) ، يدخل اليه البخار المحمص من الطرف الأمامي وبضغطه العالِ من خلال فتحة الدخول التي تحتوي على بوابة تعمل آلياً تسيطر على معدل مرور البخار الداخل للحصول على سرعة دوران ثابتة (3000 د / د) .



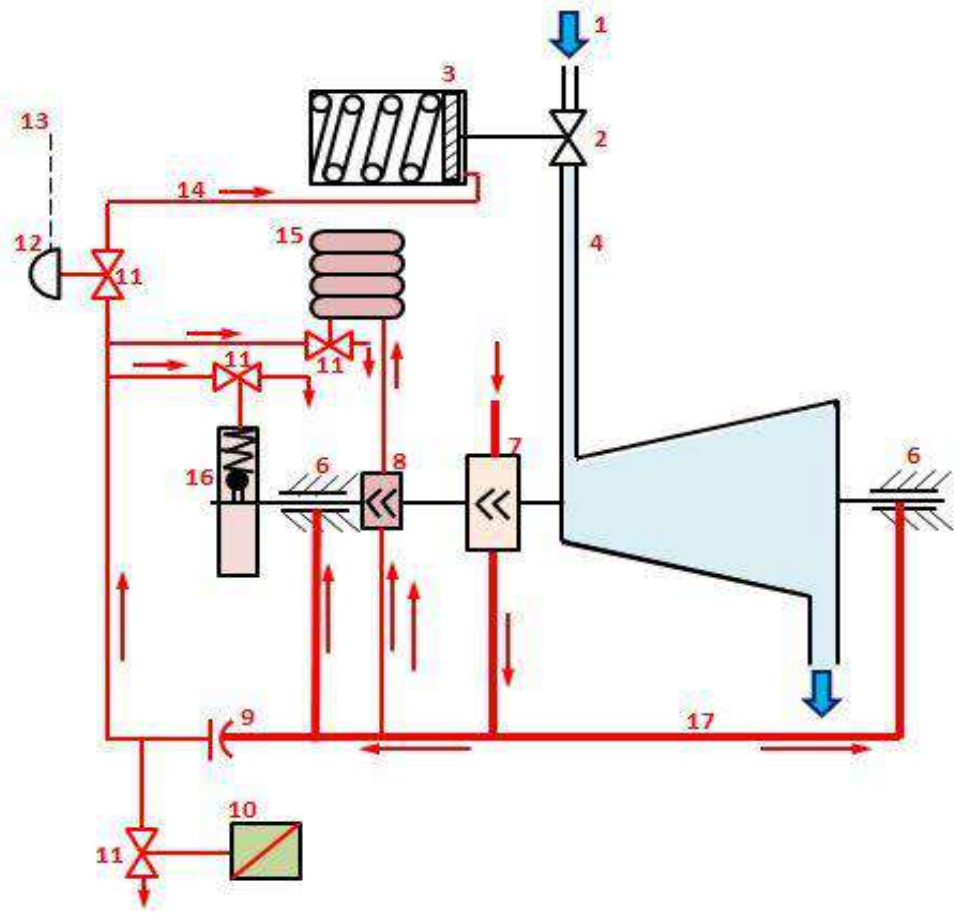
الشكل (1 - 8) يوضح ريش التوربين (الزعانف)

يدخل البخار بضغط عالٍ وبشكل مباشر على ريش التوربين (الزعانف) وهي ذات زاوية ميل بمقدار معين ، فيتم تدويرها نتيجة الضغط الكبير عليها وبذلك يستمر التدوير، ويخرج البخار من مجرى الخروج التي تكون كبيرة نسبياً بالجهة المقابلة الى جزء آخر من المحطة هو المكثف .

السيطرة على سرعة التوربين:

1- الطريقة الحديثة:

يتم السيطرة على سرعة التوربين البخاري من خلال منظومة متكاملة تضم أجهزة ميكانيكية وهيدروليكية وكهربائية وألكترونية متعددة تتحكم بكمية البخار الداخل الى التوربين كما موضح في الشكل (1 - 9) ، تعمل من خلال أنبوب ينقل الزيت بمعدل جريان ثابت من زيت التزييت يمر من خلال صمام لتخفيض الضغط من (14 الى 5 بار) ثم ينقل بشبكة أنابيب بقطر أقل لتصل الى أجهزة التحكم مروراً بصمامات خاصة .

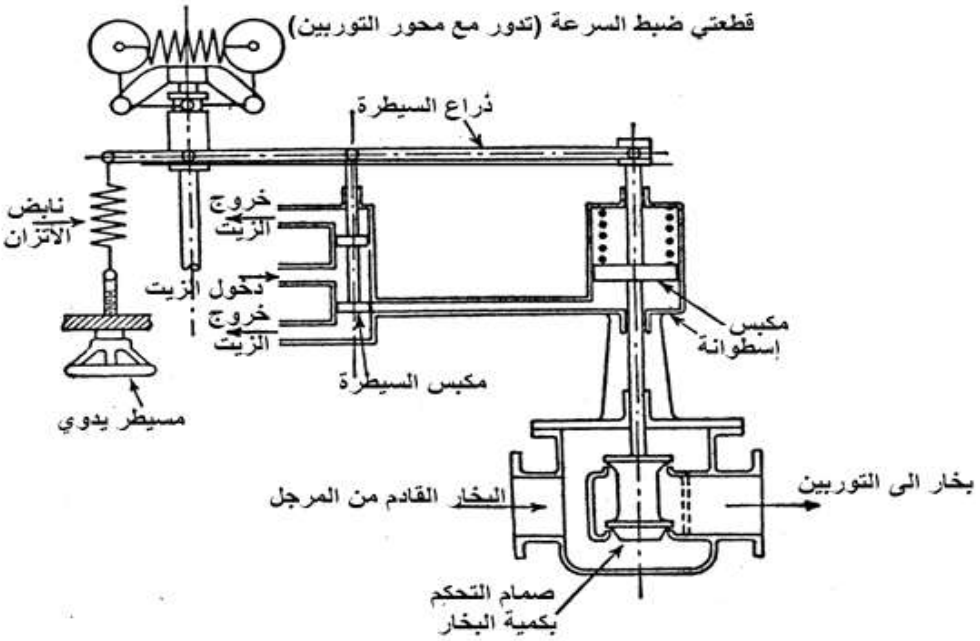


الشكل (1 - 9) يوضح منظومة السيطرة على سرعة التوربين (300 د/د) وتتكون من الأجزاء الأتية:

1- مدخل البخار ، 2- صمام التحكم بكمية البخارالداخل الى التوربن ، 3- أسطوانة تحتوي قرص ونابض ، 4- الأنبوب الناقل للبخار المحمص ، 5- التوربين ، 6- المساند ، 7- مضخة الزيت الرئيسة ، 8- مضخة التحكم بالسرعة (دالة السرعة) ، 9 - صمام تخفيض ضغط الزيت (من 9 بار الى 5 بار) ، 10- صمام حماية كهربائي يعمل بضغط الزيت ، 11- صمام ميكانيكي، 12- صمام تحكم عن بعد ، 13 - اشارة التحكم ، 14- أنابيب نقل زيت التحكم ، 15- جهاز الحماية الميكانيكي من الانخفاض المفاجئ للحمل (بشكل منفاخ معدني) ، 16- كرة فولاذية مع نابض للحماية من زيادة السرعة ، 17- أنابيب نقل زيت التزييت .

2- الطريقة الميكانيكية (governor):

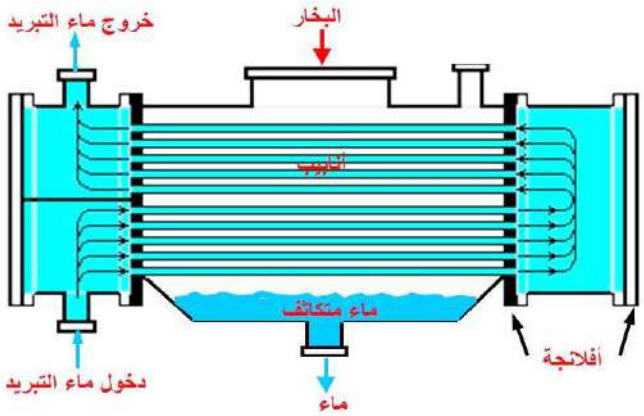
أنظر الشكل (1- 10) وتسمى الطريقة القديمة.



الشكل (1 - 10) يوضح جهاز السيطرة على سرعة التوربين البخاري

يمكن السيطرة على تثبيت سرعة دوران التوربين البخاري عن طريق جهاز ميكانيكي هيدروليكي يعمل على التحكم بكمية البخار المحمص الداخل الى التوربين إذ يتحكم ببوابة تعمل على زيادة كمية البخار الداخل الى التوربين عند تناقص سرعته بسبب زيادة الحمل (العزم) لرفعها الى السرعة المطلوبة ، وتقليل كمية البخار عند الزيادة في سرعة الدوران تقليل الحمل (العزم).

4- المكثف Condenser: أنظر الشكل (1- 11) .



الشكل (1-11) يوضح المكثف

المكثف هو عبارة عن مبادل حراري يتكون من وعاء كبير من الصلب يحتوي بداخله على عدد من من الأنابيب بشكل (صفوف) يجري بداخلها ماء التبريد (ماء النهر) بشكل مستمر ، يدخل البخار الخارج من التوربين من خلال فتحة من الأعلى (بعد أن أدى عمله بتدوير التوربين) ، وعند الدخول الى المكثف يحصل تبادل حراري بين البخار (المستنفذ) وماء النهر (البارد) عبر جدران صفوف الأنابيب ، سيتكاثف البخار ويقل حجمه الى (4000) مرة ، وهذا يتسبب بتكون فراغ (Vacuum) في المكثف يعمل على رفع كفاءة المحطة .

ويتحول البخار الى ماء في أسفل وعاء المكثف ، وعن طريق أنبوب خاص يعاد ضخه الى المرجل بواسطة مضخات خاصة ليعاد الى بخار مرة اخرى وهكذا يستمر الماء وبخاره في دورة مغلقة لاتتوقف ألا عند توقف المحطة .

يتم أعادة ماء التبريد بواسطة أنابيب او قنوات كونكريتية الى المصدر (النهر او البحر) بعيدا عن المأخذ بعد أن أدى عمله بتكثيف البخار،وهكذا يستمر عمل المكثف وجميع ملحقاته ولايتوقف إلا بتوقف المحطة عن العمل .

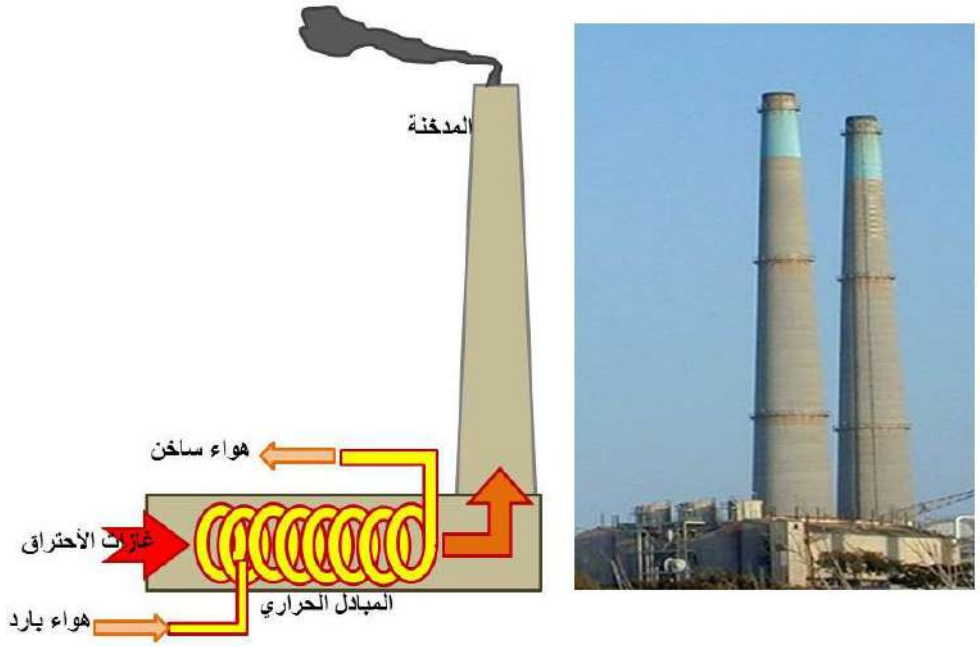
يحتوي المكثف على منظومة طاردة للغازات، للتخلص من الغازات المتولدة مع البخار نتيجة الإضافات الكيميائية ، لأن بقائها مع البخار يتسبب بالتأثير السلبي على عمل التوربين .

5- المدخنة Chimney:

هي عبارة عن أنبوب بأرتفاع معين بحسب تصميم المحطة ونوع الغازات الخارجة ، تصنع من الأجر الحراري أو الصلب ، تكون دائرية او مضلعة ، تكون من الأسفل بقطر كبير ، ويقل تدريجياً حتى النهاية العليا نجدها بقياس يقل كثيرا (بشكل هرم ناقص اومخروط ناقص) ، تعمل على طرد الغازات الناتجة من أحتراق الوقود الى الأعلى لمنع التلوث البيئي .

الجزء الاسفل من المدخنة هو (مبادل حراري) يكون بشكل وعاء كبير تتخلله أنابيب حلزونية او صفائح متعرجة يجري بداخلها الهواء الذاهب لحرق الوقود فترتفع درجة حرارته ليدخل المرجل بحرارة عالية وبذلك تزداد كفاءة المرجل ويقل صرف الوقود ويسهل حرقه .

تخرج الغازات المنبعثة من المدخنة الى الجو بدرجة حرارة قليلة ، أنظر الشكل (1 -12) .



الشكل (1- 12) يوضح المدخنة والمبادل الحراري لرفع درجة حرارة هواء الاحتراق

6- المولد الكهربائي Generator:

يتكون المولد الكهربائي من جزئين رئيسين هما (الجزء الثابت) ويحتوي على مجموعة ملفات لتوليد قوة دافعة كهربائية ، و (الجزء الدوار) ويحمل الملفات التي تتولد على أطرافها قوة مغناطيسية ، ويتم توصيله بشكل مباشر مع المحور الدوار للتوربين ليدور بالسرعة نفسها وهذه السرعة ثابتة مهما تغيرت الأحمال لوجود جهاز التحكم الذي مر ذكره ، وبذلك يتم المحافظة على ثبوت التردد الذي يتناسب طرديا مع سرعة دوران التوربين التي هي سرعة دوران الجزء الدوار في المولد ، وبذلك تحدد السرعة 3000 د/د ليكون التردد (50 Hz) وبحسب القانون الأتي :

$$N_S = \frac{120F}{2P}$$

حيث إن :

N_S = السرعة التوافقية (السرعة التزامنية)

N = سرعة دوران التوربين (سرعة دوران المولد)

F = التردد (في العراق = 50 هرتز)

2P = عدد الاقطاب لملفات العضو الدوار

120 = مقدار ثابت

فأذا كان التردد المطلوب هو (50Hz) وعدد الأقطاب (2) ، فما السرعة المطلوبة ؟

الحل:

$$N_S = \frac{120x50}{2}$$

$N_S = 3000$ دورة / دقيقة

ولذلك نجد أن جميع مولدات محطات التوليد الحرارية والغازية العاملة في العراق تعمل بسرعة دوران 3000 د/د .

تتكون ملفات العضو الثابت والدوار من أسلاك نحاسية معزولة عزل جيد ، ترتفع درجة حرارتها خلال العمل ويتم تبريدها بإستعمال غاز الهيدروجين الذي يدخل ويملىء الفراغ الموجود بالمولد ويخرج منه من الطرف الاخر ليتم تبريده في مبادل حراري صغير مستعملا جزءاً من ماء التبريد الواصل الى المحطة من النهر القريب .

ثم يعود غاز التبريد الى المولد بعد أن فقد الحرارة التي أكتسبها ، وهكذا يدور الغاز في دورة مغلقة ، وفي بعض المولدات يستعمل غاز الهيدروجين وهذا يعود الى الشركة المصنعة للمحطة في أختيارها لنوع غاز التبريد ، وفي بعض أنواع المولدات يستعمل الهواء فقط وهذا يتوقف على حجم المولد والطاقة الكهربائية التي يولدها ، انظر الشكل (1- 13) .

الشكل (1-13) يوضح الجزء الثابت لمولد في محطة كهرباء جنوب بغداد الحرارية

1- 6- 2 الأجزاء الثانوية في المحطة (المساعدة)

1- منظومة التزييت:

يستند طرفي محور التوربين البخاري وطرفي الجزء الدوار للمولد على مساند (كراسي التحميل) تكون أشبه بكراسي التحميل التي يستند عليها العمود المرفق في المحرك الديزل ، وهذه تحتاج الى تدفق مستمر للزيت الى داخلها وبضغط مناسب وكمية كافية تكون (بحسب حجم المحطة) لتقليل الاحتكاك والحرارة عليها ولاطالة عمرها ، انظر الشكل (1- 14) .

الشكل (1- 14) يوضح كراسي التحميل لمحور التوربين

وتشمل منظومة التزييت على المعدات الآتية:

1- خزان الزيت : هو خزان حديدي سعته بحسب حجم المحطة من (8000 – 12000 لتر) ، يحتوي على مؤشر لقياس مستوى الزيت ومفتاح لارسال اشارة عند ارتفاع او انخفاض مستوى الزيت يتحكم بمضخات الزيت .

2- مضخة الزيت الرئيسة: مضخة ميكانيكية مثبتة على محور التوربين تؤمن ضغط (17) كغم / سم^2 تستلم الزيت عبر أنبوب من مضخة كهربائية (معززة) ، او بوق نفاث .

3- المضخة المعززة: (Booster) هي مضخة كهربائية توربينية توجد داخل الخزان تقوم بدفع الزيت الى المضخة الرئيسة أي تساعد على تجهيز الزيت بضغط مناسب الى المضخة الرئيسية عبر انبوب السحب .

4- مضخة الزيت المساعدة: هي التي تجهز الزيت عندما تتوقف المضخة الرئيسة عن العمل ، تدار بفعل محرك كهربائي (380V) عن طريق مفتاح يعمل ذاتياً عند توقف ضغط الزيت للمضخة الرئيسة .

5-مضخة زيت العزل:هي مضخة كهربائية تعمل على تأمين الزيت لعازلات غاز تبريد المولد (الهيدروجين) لنهايتي المولد (أي يعمل الزيت على منع تسرب غاز التبريد) .

6-مضخة الطوارئ : هي مضخة كهربائية (DC) تستمد طاقتها من مجموعة بطاريات، تقوم بتأمين الزيت اللازم لمساند التوربين والمولد ولعازلات غاز التبريد في المولد عن طريق مفتاح يعمل آلياً عند انخفاض ضغط الزيت للمضخة الرئيسة وفقدان القدرة الكهربائية المغذية للمضخة المساعدة .

7-مبردات الزيت: للمنظومة مبردتان للزيت أحدهما تعمل والأخرى احتياط لهما صمام تحويل للتحكم بهما ، يتم التبريد عن طريق ماء ماء نقي يدور في دورة مغلقة يقوم بتبريد الزيت في مبادل حراري يأخذ الحرارة من الزيت ويذهب بها الى مبادل آخر بين ماء الدورة المغلقة وماء النهر .

8-ساحبة الأبخرة: هي مروحة بمحرك كهربائي تركب في أعلى خزان الزيت تعمل على سحب البخار والغازات المتولدة في الزيت نتيجة الحرارة ، ويجب أن يكون ضغط الخزان أقل من الضغط الجوي لتنقية الزيت .

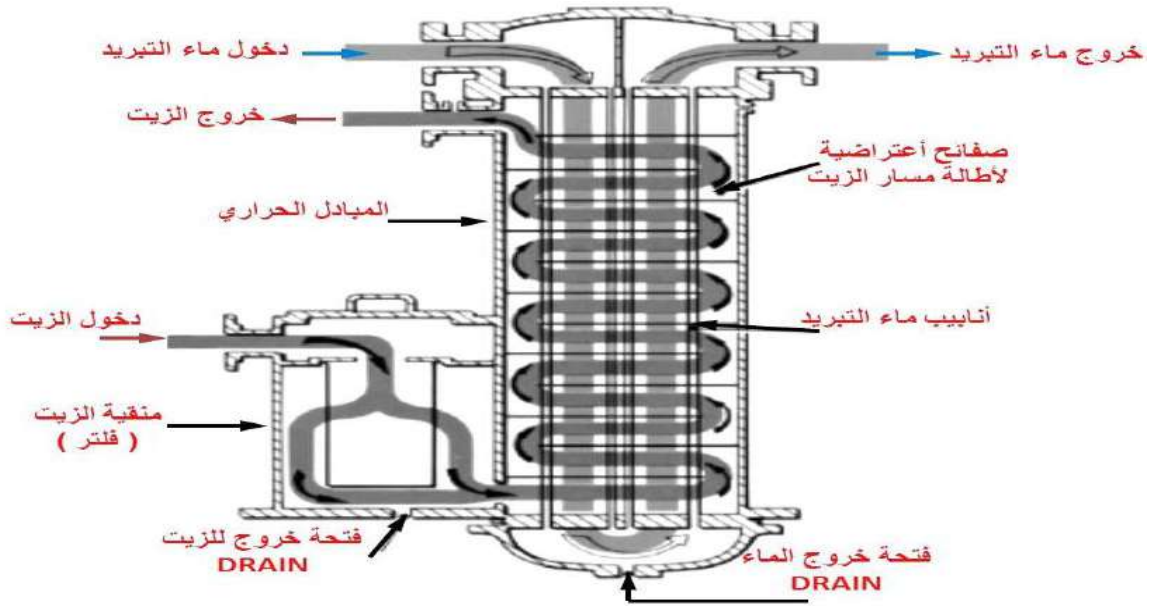
9-مصافي الزيت: لكل نوع من المضخات التي تم ذكرها يوجد مصفي للزيت يقوم بتصفية الزيت العائد من الأجزاء بعد تزييتها ، انظر الشكل (1 - 15) .

10-الزيت المستعمل يكون من نوع ذات لزوجة (32 -46) ومواصفات ممتازة ويعمل لسنوات دون أن يتأثر بالحرارة اوتتغير مواصفاته .

11-محرك التدوير البطيء (Turning Motor): عند توقف التوربين الأضطراري او الطبيعي لايجوز أن تكون سرعته صفر ، بل يتم تدويره بسرعة (3 د/د) او أكثر لضمان التبريد المتجانس لجميع الأجزاء حتى تصل درجة حرارة المرحلة الاولى لريش التوربين الى أقل من (120) درجة مئوي وقد يحتاج الى (72) ساعة للوصول الى هذه الحالة.

وحدة تنقية الزيت:

تلحق بمنظومة التزييت (وحدة تنقية الزيت) لتخليصه من قطرات الماء والشوائب العالقة وتتألف من: خزان التنقية ويحتوي مجموعة مصفيات تمر بمراحل متعددة لفصل الماء عن الزيت، كذلك مضخة المنقية لسحب الزيت من خزان التوربين ودفعه خلال أنبوب الى خزان التصفية ، ومروحة التخلص من الغازات والأبخرة كما هي في مروحة الخزان الرئيس،ومقياس زجاجي يبين مستوى الزيت وكمية الماء فيه،ومتحسسات تتصل بمنظومة سيطرة لادارة عمل المنظومة عن طريق جهاز الحاسوب .



الشكل (1- 15) يوضح منقية الزيت والمبادل الحراري لتبريده

2 - دورة الوقود الخفيف والثقيل:

معظم المحطات الحرارية (البخارية) تستعمل الوقود الثقيل (Heavy Oil) وكذلك النفط الخام ومخلفات مصافي تكرير النفط وهذه الأنواع جميعها ذات لزوجة عالية ، يأتي الوقود من المصدر في أنابيب محكمة ويودع في خزانات كبيرة تكون أما ظاهرة فوق سطح الأرض او تحت سطح الارض .

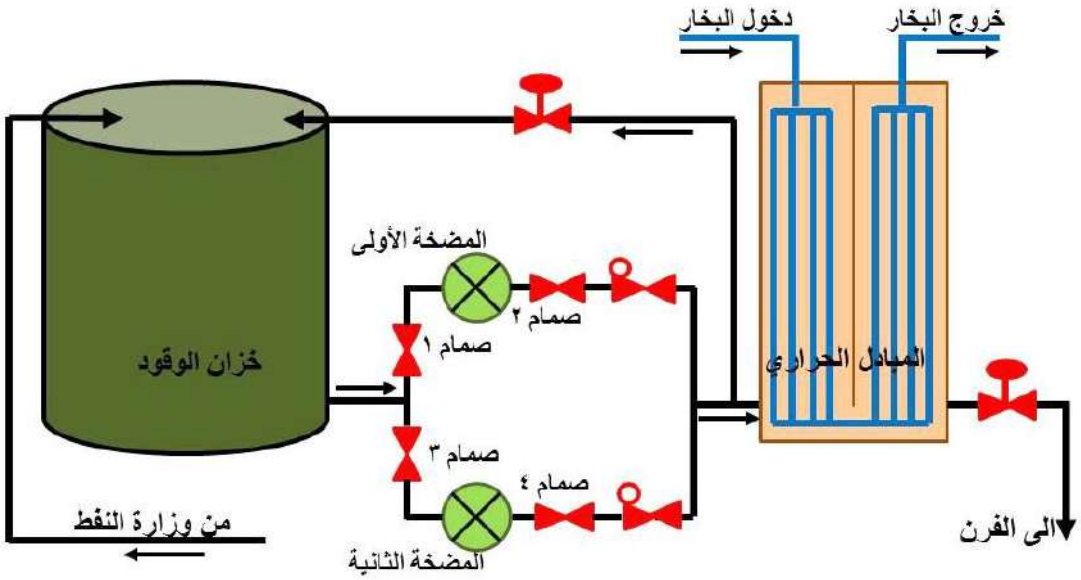
قبل وصول الوقود الثقيل الى المحارق يضخ بمضخات خاصة الى داخل مبادل حراري وتسخينه بالبخار الى (75- 110) درجة مئوية ، ويرفع ضغطه الى (25) بار بحسب نوع المحارق ، وبذلك تصبح لزوجته قليلة ، فيصل الى المحارق في المرجل الرئيس للمحطة فيكون أشتعاله بكفاءة عالية .

أما الوقود الخفيف ومنها (الغاز ، وزيت الغاز ، أو زيت الديزل الأسود) هذه الأنواع كلفتها عالية ولذلك يستعمل في القدح والتشغيل الابتدائي للمحطة أي فترة التشغيل حتى يتولد البخار ويستقر عمل المحطة بعد ذلك يتم التحويل حالاً على إستعمال النفط الثقيل ويتوقف إستعمال الوقود الخفيف ، ولاتحتاج الى تسخين لان لزوجتها واطئة وجريانها بسهولة .

مضخات الوقود دائما عددها أثنان أحدهما تعمل والأخرى متوقفة ، يتم تشغيل المضخة الاولى وعند توقفها في حال حصول العطل المفاجئ أو لأجراء الصيانة لها أو لسبب اخر يتم تشغيل المضخة الثانية، انظر الشكل (1-16) .

بعد خروج الوقود من المبادل الحراري يذهب الى الفرن بفضل ضغط المضخات داخل شبكة أنابيب محكمة ضد التسرب وتتحمل الضغوط العالية والتباين في درجات الحرارة ، ثم الى المحارق بضغط ومعدل جريان ثابتين .

الشكل (1-16) يوضح طريقة عمل وربط مضخات الوقود



3- وحدة تنقية وتحلية مياه التشغيل:

يتم سحب الماء من المصدر (النهر) وتجرى عليه مراحل التنقية:

1- يضاف (الشب) لترسيب المواد العالقة والشوائب .

2- يمرر الماء خلال فلاتر ذي مراحل متعددة (حصو ورمل) .

3- التخلص من أيونات العسرة الدائمة .

4- أضافة مواد التعقيم ومعادلة الحامضية (pH) .

5- للتخلص مـن الأملاح يضخ الماء بضغط يصل الى (35) بار خلال أنابيب التناضح العكسي (RO – REVERSE OSMOSIS) التي تحتوي على طبقات من الأغشية تسمح بمرور جزيئة الماء (H_2O) من خلالها وتمنع جزيئات الأملاح الذائبة حتى تكون درجة نقاوته عالية جداً تصل الى 99.9999 % .

ماء التشغيل هو الماء الذي يتحول في المرجل الى بخار بضغط عالٍ وحرارة قد تصل الى 600 درجة مئوية يجب أن يكون خالٍ من المواد العالقة والاملاح الذائبة التي تسبب العسرة في الماء وهي:

(أيونات ثنائية كالكالسيوم والمغنيسيوم) وأيونات متعددة التكافؤ مثل (الحديد والالمنيوم والقصدير والخارصين) وغيرها الكثير .

تكون أملاح العسرة في الماء بشكل كاربونات وبيكاربونات وكلوريدات وكبريتات ونترات الحديد والالمنيوم وغيرها ، يتم التخلص منها بحقن مواد كيمياوية تحولها من مواد ذائبة الى أملاح مترسبة يتم التخلص منها بالترشيح عبر فلاتر خاصة للتخلص منها او بتمرير الماء بضغط (8 - 10) بار عبر أنابيب بداخلها مرشحات (سليلوزية نصف نفاذية) التي ينفذ من خلالها جزيئات الماء فقط ، ولايسمح بمرور الأملاح من خلالها إلا بنسبة ضئيلة جداً نتيجة زيادة ضغط الماء على المرشحات ويتم معالجتها كيميائياً ، أنظر الشكل (1-17) .

ويتم التخلص من الاوكسجين والهواء الذائب في الماء وذلك بتسخين الماء فتنفذ الغازات ويبقى الماء فقط .

الشكل (1-17) يوضح شبكة تحلية الماء (RO - Reverse Osmosis)

4- دورة ماء وبخار التشغيل (ماء المرجل):

يعمل المرجل على تحويل الماء الى بخار بضغط وحرارة عاليين ، ثم الى بخار محمص أي لا توجد فيه قطرات ماء ، ويجب أن يكون هذا الماء بنقاوة عالية جداً ، وأن وجود المواد الذائبة في الماء لها مساوئ كثيرة منها:

أ- تكوين طبقة كلسية على الجدران الداخلية لأنابيب المرجل وهذه تقلل عملية التبادل الحراري مع البخار وتتسبب بحصول شقوق في الأنابيب تتسبب في تسريب البخار وانخفاض الضغط .

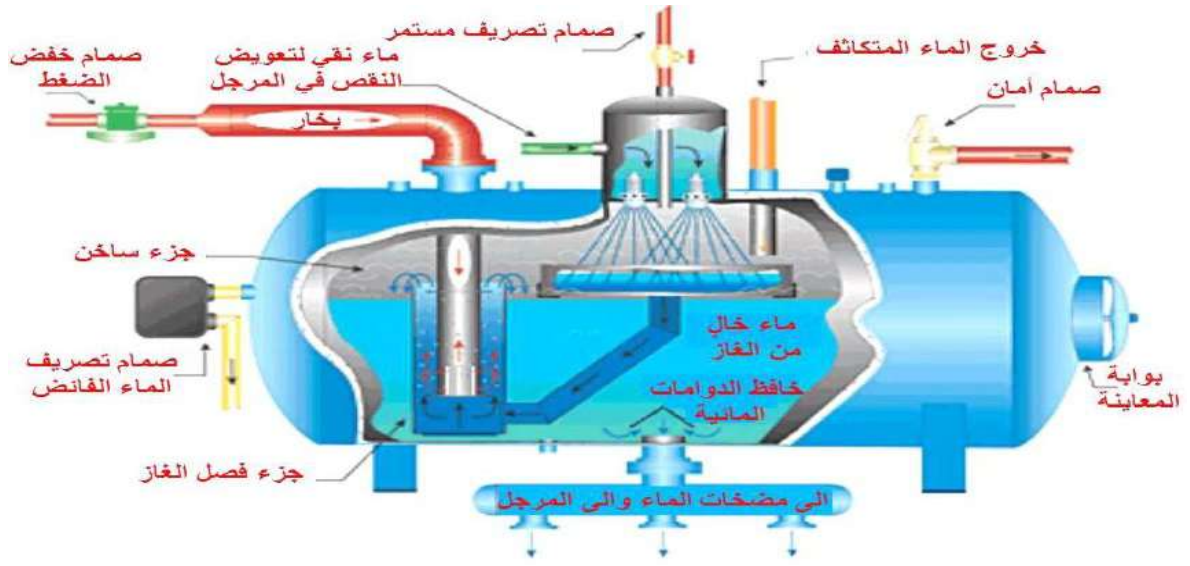
ب- تساعد في تأكل ريش التوربين مما يقل العمر التشغيلي له .

ت- تتسبب بوجود غازات مختلفة مع البخار المحمص التي لابد من التخلص منها لأن وجودها مع البخار يؤثر سلباً على عمل التوربين .

يدخل الماء العالِ النقاوة الى المرجل ويسخن بمراحل متعددة متحولاً الى بخار في كل مرحلة يكتسب درجة حرارة معينة وضغط معين ثم الى بخار محمص ويذهب بواسطة أنبوب من الصلب المقاوم للصدأ الى التوربين لتدويره ، يخرج من التوربين الى المكثف ويتكاثف ويعاد ضخه الى المرجل بمضخات متعددة المراحل (يكون عددها أثنان في كل مرحلة واحدة تعمل والأخرى أحتياط تعمل عند توقف الاولى) وخلال هذه الدورة تتولد غازات أخرى بسبب الأضافات الكيميائية على بخار الماء وهي ذات تأثير سلبي عند بقائها في البخار .

يتم التخلص من الغازات عن طريق أجهزة خاصة تسمى (جهاز طارد الغازات) ذات صمامات تنفذ من خلالها الغازات الى الهواء الخارجي ويخرج معها قليل من بخار الماء وهذا يتم تعويضه بضخ ماء نقي جديد بأستمرار لسند النقص في ماء بخار التشغيل ، ومثال على ذلك (محطة كهرباء جنوب بغداد تحتاج يومياً 2 م^3 / ساعة ماء نقي لوحدة توليد واحدة طاقتها 55 ميكاواط) ، أنظر الشكل (1- 18) الذي يبين أحد أنواع الأجهزة الطاردة للغازات .

يتم السيطرة على أنسيابية الماء في المرجل وتحقيق أنتاج الكمية اللازمة من البخار المحمص بواسطة أجهزة القياس والتحكم التي تعمل ألياً ، ومصادر الماء الداخل في المرجل هي الماء القادم من المكثف ، وآخر قادم من خزان التعويض الذي يأتيه الماء النقي من منظومة تنقية الماء ، إذ إن قسم من البخار خرج الى الجو مع الغازات المتولدة عند التخلص منها والقسم الأخر خرج بسبب تسريب يحصل من مواقع أخرى ، ويتم التعويض المستمر للماء مع السيطرة على أن تكون الكمية ثابتة داخل المرجل ، تحدد من خلال متحسسات تتصل بأجهزة سيطرة تقوم بتشغيل المضخات آلياً ، وتشاهد من خلال أجهزة الحواسيب المتصلة مع هذه المتحسسات .



الشكل (1- 18) يوضح جهاز التخلص من الغازات المتولدة مع بخار الماء

5- دورة مياه التبريد: وتقسم الى قسمين هما:

أ- منظومة ماء التبريد المغلقة: هو ماء بنقاوة عالية يعمل بدورات مغلقة في :

1- مبردات تبريد الهيدروجين المستعمل في تبريد المولد .

2- مبردات زيت التوربين وزيت الأجزاء الأخرى .

3- تبريد ضاغطات الهواء ، ومضخات الماء .

تحتوي المنظومة مضختين كهربائية لتدوير الماء بدورة مغلقة ومبادلين أثنين ، وخزان ماء الأضافة ومجموعة أنابيب ، ينتظم عمل المنظومة بواسطة صمامات ومقاييس ضغط وحرارة وجريان وتعمل آلياً.

يعمل المبادلان الحراريان على تفريغ الحرارة المكتسبة في ماء الدورة المغلقة الى ماء النهر الذي درجته لاتزيد عن (30) درجة مئوي .

ب- منظومة الماء المدور:

بعد خروج البخار المستنفذ من التوربين بضغط أقل من الضغط الجوي قد يصل الى (- 0.1) بار ودرجة حرارة تصل بمعدل (40) درجة مئوية .

يتم ضخ ماء النهر وبشكل مباشر بدون تنقية من المواد الراسبة والذائبة فيه ، فقط التخلص من الأجسام الطافية والعالقة ، يتم الضخ بواسطة مضخات عمودية تعمل بالطاقة الكهربائية ، وبطاقة ضخ عالية .

يصل الماء الى المكثف والمبادلان في دورة التبريد المغلقة ودرجة حرارته بحسب الطقس وحرارة ماء النهر والتي تصل في العراق (32 درجة مئوية) ، ثم يعود الى النهر مرة ثانية بدرجة أعلى بحدود (10) درجات ، وبأتجاه الجريان بعيدا عن منطقة مضخات السحب .

6- دورة هواء الاشتعال:

يتم سحب الهواء من الجو كما هو أي بدون تنقية ويضخ الى داخل شبكة أنابيب حلزونية أو صفائح متعرجة في موضع للتبادل الحراري لرفع حرارة الهواء بواسطة حرارة غازات الاشتعال الخارجة من المرجل وقبل دخولها الى المدخنة ، أنظـر الشكل (1 - 12) ، ثم تذهب مضغوطـة الى المحارق بمقدار

(0.7) بار .

أن عملية تسخين الهواء بواسطة الغازات الخارجة من المرجل لها فوائد كثيرة منها :

1- تقليل كمية الوقود المصروف وبذلك تزداد كفاءة المحطة .

2- تبريد درجة حرارة الغازات المنبعثة الى الجو وتقليل مساوئها على البيئة .

الهواء اللازم للاحتراق: يتوقف مقدار تيار الهواء اللازم للأحتراق على مايأتي :

1- نوع الوقود المستعمل ، حيث أن الوقود الثقيل يحتاج الى كمية هواء أكثر مما يتطلبه الوقود الخفيف.

2- حجم وتصميم المرجل والمدخنة .

7- وحدة تجميع الاتربة والرماد: أنظر الشكل (1-19) .

أن كل وقود يحرق ينتج حرارة وغازات ورماد متطاير مع الغازات ورماد يترسب في أسفل الموقد أو الفرن ، وسبق وذكرنا أن الوقود المستعمل في المحطات الحرارية هو الوقود الثقيل أو النفط الخام لكونه أرخص ثمناً ولايحتاج الى اضافة مواد محسنة او عمليات تنقية ، وهذه الأنواع تتنتج رماداً عند حرقها وكما يأتي :

1- قسم من هذا الرماد يتطاير مع الغازات الى الأعلى في الجو .

2- قسم من الرماد يترسب على الأنابيب .

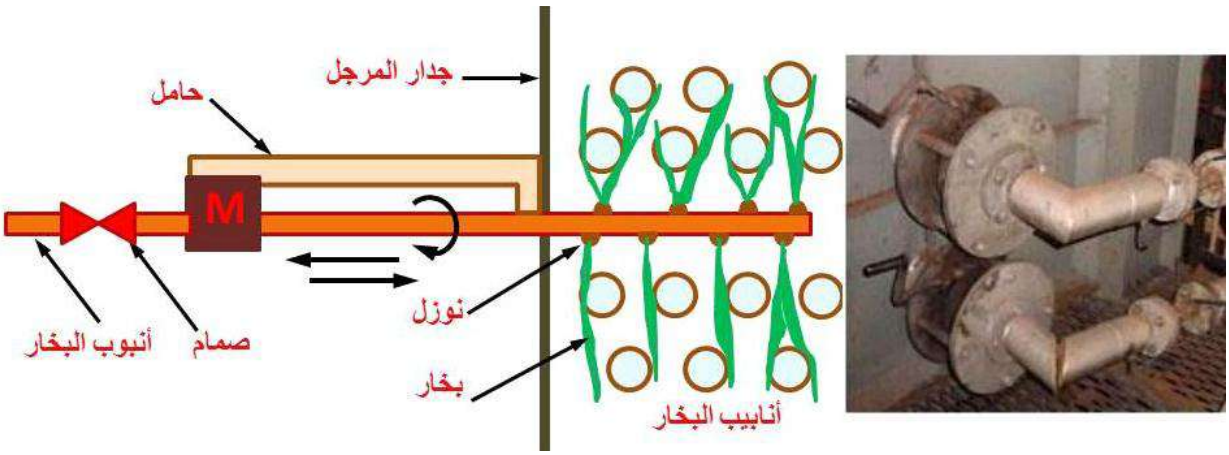
3- قسم الآخر يبقى في أسفل الفرن .

لمنع التلوث البيئي تم تصميم معدات خاصة ملحقة بالمحطة لترسيب الرماد المتطاير،وكذلك سحب الرماد الراكد في أسفل الفرن ، وهذا يستمر مع أستمرار عمل المحطة .

الشكل (1- 19) يوضح وحدة تجميع الاتربة والرماد

8- نافحات الرماد:

أنظر الشكل (1 - 20) .



الشكل (1- 20) يوضح صورة ومخطط لنافخة الرماد

ينتج عن أحتراق الوقود داخل المراجل رماد و (سخام) يكون طبقة عازلة تقلل من كفاءة التبادل الحراري ولذلك تستخدم أجهزة بسيطة في تصميمها تسمى نافخات الرماد لإزالة رواسب نواتج الاحتراق من أسطح ملفات الأنابيب ، أنظر الشكل (1- 20) ، وتتكون من أنبوب يحتوي على نوزلات او ثقوب يخرج منها بخار عالي الضغط او هواء مضغوط حيث يصطدم بالسطوح التي عليها ترسبات فيتم أزالتها ، ويكون عملها بشكل متقطع بفترات زمنية محددة.

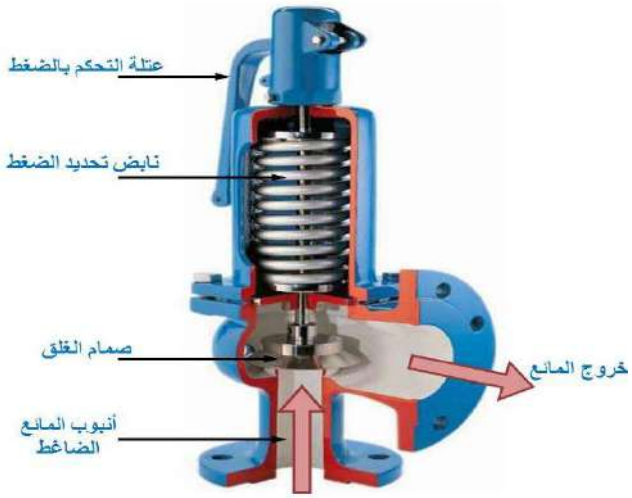
أنواع نافخات الرماد: وهي بأنواع مختلفة ومنها مايأتي:

1- نافخات الرماد الثابتة: وهي عبارة عن أنبوب بطول معين بحسب المرجل يحتوي عدد من الثقوب يخرج من خلالها البخار المضغوط في أتجاهات ثابتة داخل المرجل تثبت في الأماكن الأقل حرارة .

2- نافخات الرماد الدوارة الثابتة: وهي مشابهة للنوع الاول يربط لها محرك كهربائي يعمل على تدويرها حول محورها لينفذ منها البخار المضغوط في جميع الأتجاهات ، تركب في الأماكن الأقل حرارة على جدار المرجل .

3- نافخات الرماد المتحركة الدوارة: تستعمل في الأماكن ذات الحرارة العالية ويتم تركيبها على الجدار الخارجي للمرجل وتدخل الى المرجل وتخرج بشكل أفقي مع وجود محرك كهربائي يعمل على تدويرها حول محورها .

9- صمامات الأمان:



الشكل (1-21) يوضح أحد أنواع صمامات الأمان

يعتمد عمل المحطة الكهربائية بالدرجة الاولى على المرجل وتوليد البخار وللحفاظ على المرجل وأنابيب نقل البخار والأجهزة الملحقة التي في داخلها ضغوط عالية من الأنفجار تم وضع عدد من صمامات الأمان لتصريف كمية من البخار للتخلص من الضغط الزائد ، كذلك مضخات الزيت وأنابيب نقل الزيت وضعت لها صمامات أمان للحفاظ عليها من التلف او التوقف الذي يتسبب بتوقف المحطة الكهربائية ، انظر الشكل (1- 21) .

10- أجهزة وعدد السيطرة:

وتتكون من أجزاء ملحقة بالمحطة تساعد في أنتظام عملها ، وتتكون من مجموعة من المتحسسات الكهربائية و مقاييس الضغط و مقاييس درجات الحرارة ومقاييس معدل الجريان والأنتاج والمستوى للماء والزيت ، وأجهزة حواسيب تحتوي برامج خاصة بالمحطة يتم من خلالها معرفة عمل كل جزء بالمحطة والسيطرة عليه وخزن المعلومات لأشهر عديدة ، يتولى عدد من العاملين في المحطة متابعة أجهزة السيطرة وكل حسب أختصاصه للسيطرة على أستمرارية عمل المحطة .

11- المولد الديزل:

يلحق بالمحطة مولد كهربائي بمحرك ديزل يعمل على تشغيل الأجزاء التي تعمل بالطاقة الكهربائية عند الأنقطاع التام في المنظومة ، ويتم توقيف المولد الديزل عن العمل بعد عودة المحطة بالاشتغال وتوليد الطاقة الكهربائية .

الأجهزة التي تحتاج الى عمل المولد الديزل قبل تشغيل المحطة هي : مضخات التزييت ومضخات الأطفاء ، وأجهزة الحواسيب والأنارة وأجهزة الحماية .

12- مضختا الأطفاء:

حيث تقوم بتشغيل منظومة الأطفاء بشكل آلي او يدوي بالمضخة الاولى وفي حال عدم اشتغالها يتم تشغيل المضخة الثانية ، وهنالك مضختي أطفاء تعمل بمحرك الديزل .

تتكون منظومة أطفاء الحريق من عدد من اسطوانات غاز ثاني اوكسيد الكربون موضوعة بمكان آمن في المحطة بشكل صف متصلة ببعضها بانابيب خاصة وصمام لكل أسطوانة ومجموعة من المتحسسات الحرارية تعمل بمنظومة كهربائية محكمة العزل الحراري والكهربائي ، تتصل بالمصدر الكهربائي خلال مفاتيح توصيل (Contactor)، وهذه مخصصة لاطفاء الحرائق الكهربائية ، ويستعمل الماء والرغوة لأطفاء حرائق الوقود السائل والزيوت .

1- 7 الأعطال التي تحصل في المحطة الحرارية

أن حواس الانسان كالنظر والسمع واللمس والأحساس بالحرارة العالية عن بعد معين هي من المقاييس المهمة في تشخيص الأعطال ، أذ يجب أن يتدرب الفنيين على التعرف على عمل المعدات من خلالها وعدم الاعتماد على المقاييس فقط ، فكم من الحوادث حصلت في المحطات الحرارية والغازية والنووية بسبب عدم دقة قراءات المقاييس وأهمها متحسسات اللهب ، والحرارة والضغط وهنالك عدد من الاعطال التي قد تحصل في المحطة الحرارية خلال العمل ومنها :

1- أرتفاع درجة حرارة المساند ولأسباب عديدة منها :

أ- **انخفاض وارتفاع مستوى الزيت:** إذ إن أنخفاض الزيت يؤدي الى أرتفاع درجة الحرارة في المساند ، وكذلك أرتفاع مستوى الزيت وخاصة في المساند التي لايوجد فيها مضخات تزييت وتعتمد على التدوير الذاتي حيث تقل عملية التدوير الذاتي للزيت عند أرتفاع مستوى الزيت .

ب- **عطل مقاييس الحرارة:** يجب أن يتدرب الفني على المقارنة بين قراءة مقياس الحرارة والتحسس الذاتي (من خلال المشاهدة واللمس او التحسس عن بعد) ، ولذلك يستطيع الفني مراقبة حرارة المساند والتعرف على الفرق بين قراءة المقاييس والحرارة الحقيقية (أي لايمكن الاعتماد على قراءة المقياس فقط) .

2- أهتزازات في المساند- ومن أسبابها :

أ- تلف الساند او قواعد المساند .

ب- عدم عمل العدة بشكل متوازن (مضخة وقود ، دافعة هواء ، او توربين) .

ت- عدم انتظام تيار المحرك الكهرائي .

3-تجمع الوقود في أسفل المرجل:

وخاصة في بداية التشغيل ، فلايحترق بشكل تام على الرغم من استعمال وقود خفيف (زيت الديزل الأسود او زيت الغاز) وهذا يتطلب مراقبة الفني المستمرة وبشكل جيد .

أما أذا كان الوقود المستعمل هو الغاز فيجب استعمال محرقة مساعدة تعمل بالوقود السائل ومراقبة محرقة الغاز الاولى بالعين المجردة حتماً وعدم الأعتماد الكلي على المقاييس .

4-تسرب الزيت:

يجب ملاحظة أي تسرب للزيت ، ومهما كان قليلاً فمخاطره كبيرة منها الحرائق ، والأصابات بسبب الانزلاق وخاصة في الليل والأنارة قليلة .

5-تسرب الهيدروجين :

الهيدروجين غاز خطر شديد الأنفجار ولايمكن ملاحظته ولذلك يوصى بمايأتي:

أ- عدم التقرب من المنطقة التي تحتوي الغاز لغير الفني المختص .

ب-عدم التدخين أو أستعمال أي مصدر للشرارة أو اللهب وأجهزة الفحص مثل (جهاز فحص التيار وفرق الجهد) .

ت-عدم أستعمال العدد اليدوية (المطارق ومفاتيح اللوالب) وغيرها ، لأنها تسبب حدوث شرارة عند الاستعمال .

6-كسر أنبوب ناقل (للماء او الوقود) :

قد يحصل كسر في أنابيب الماء أو أنابيب الوقود بسبب الضغط والحرارة أو بسبب تعرضها لأحمال خارجية نتيجة أهمال ، مما يتطلب توقف المحطة وأصلاح الخلل .

1- 8 صيانة المحطة الحرارية

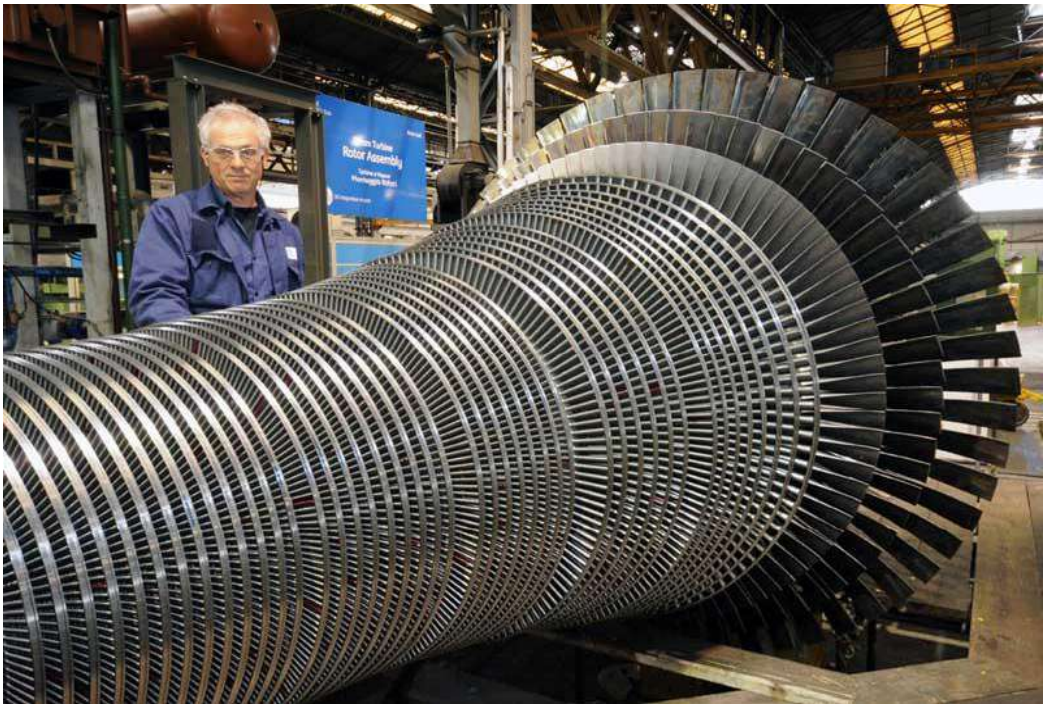
إن الأجهزة الميكانيكية والكهربائية التي تؤدي عملاً لها عمر زمني معين وبعد ذلك أما أن تتوقف بشكل نهائي او تقل كفاءتها ، والمحطات الكهربائية الحرارية تتكون من مجموعة كبيرة من المكائن والألات والأجهزة وجميعها عرضة للتلف بسبب الحرارة العالية والضغط والأحتكاك والتفاعلات الكيميائية وغيرها ، ولذلك يوجد جدول زمني للصيانة يعد من الشركة المصنعة لينفذ بشكل جيد ، أو الصيانة المفاجئة التي تحصل نتيجة توقف جزء معين في المحطة ، ولذلك تقسم الصيانة الى نوعين هما :

1- الصيانة المبرمجة (المخطط لها):

هي توقف المحطة عن العمل وتبديل الأجزاء التي من الواجب تبديلها بحسب تعليمات الشركة المصنعة ومنها (زيت التزييت ومنقيات الزيت ، المساند للتوربين والمولد ومساند محركات الضخ وأجزاؤها الأخرى وريش التوربين والمحارق ومنقيات الماء وغيرها) ، انظر الشكل (1-22) .

2- الصيانة المفاجئة:

(وتحصل نتيجة العطل المفاجئ أو عدم تنفيذ الصيانة المبرمجة بشكل صحيح) يحصل عطل مفاجئ غير مخطط له يتطلب أيقاف المحطة وأجراء الصيانة ومنها (تسريب الزيت وتسريب في غاز تبريد المولد وكسر أنبوب بخار أو ماء أو وقود وعطل كهربائي) .



الشكل (1-22) يوضح ريش التوربين البخاري

أسئلة الفصل الاول

1- ما المقصود بالمحطة الحرارية لتوليد الكهرباء ؟

2- ما الشروط الواجب توافرها عند أنشاء محطة حرارية لتوليد ؟

3- تتميز المحطة الحرارية عن المحطات الأخرى بمميزات مهمة ماهي ؟

4- يوجد نوعان من المراجل البخارية هما مرجل أنابيب الماء ومرجل أنابيب النار ، اشرحهما مفصلاً مع الرسم التوضيحي .

5- ما محمصات البخار ؟ ولماذا تحميص البخار ؟

6- المكثف من الأجزاء المهمة في المحطة الحرارية لتوليد الكهرباء . ماعمله؟ وأين يقع ؟ وممن يتكون ؟ وكيف يعمل ؟

7- ما فوائد تسخين الهواء قبل دخوله الى المحارق ؟ كيف تتم عملية التسخين ؟

8- أذا كان التردد المطلوب (60Hz) وعدد أقطاب المولد أثنان فما سرعة الدوران ؟

9- ما مكونات منظومة التزييت ؟ أشرحه بالتفصيل .

10- متى يستعمل الوقود الخفيف والوقود الثقيل في المحطات الحرارية ؟ ولماذا ؟

11- وجود الأملاح الذائبة في ماء وبخار المرجل تتسبب بمساوئ عديدة أذكرها .

12- تستعمل الصمامات في مواقع متعددة في دورة البخار وكذلك في دورة التزييت لماذا ؟

13- تجهز المحطة الحرارية بمولد ديزل بقدرة عالية لماذا ؟

14- ما الصيانة ؟ وما أنواعها ؟ أشرحها بالتفصيل .

الفصل الثاني

محطات التوليد الغازية

2-1 تمهيد

تعد محطات التوليد الغازية حديثة الظهور في تكنولوجيا صناعة الكهرباء ، وتعد المنطقة العربية من أكثر البلدان إستعمالاً لها لوجود مصادر التشغيل (النفط والغاز) ولقلة مصادر المياه.

إذ يتم تحويل طاقة الوقود الكيميائية الى طاقة حرارية يصاحبها كمية كبيرة من الغازات تحت ضغط عالٍ يتم أدخالها الى التوربينات الغازية التي تقوم بدورها بتحويل تلك الطاقة الى طاقة حركية دورانية تستعمل لتدويرالمولد الكهربائي المربوط مع محور الدوران للتوربينات الغازية مولداً الطاقة الكهربائية.

محطات التوليد الغازية لاتحتاج الى كميات كبيرة من الماء ، ويمكن أنشاؤها في الصحراء والحصول على الكمية المطلوبة من الماء من خلال بئرأرتوازي ، انظر الشكل (2-1) .

الشكل (2-1) يوضح محطة توليد كهرباء غازية

2-2 مميزات المحطات الغازية

تتميز هذه المحطات بما يأتي :

1- تكاليف أنشائها أقل من المحطات الاخرى التي تعطي الكمية نفسها من الطاقة الكهربائية .

2- فترة البدء بتشغيلها قليلة قد لاتتجاوز النصف ساعة وكذلك أيقافها .

3- تحتاج لعمالة ذات مؤهلات متوسطة وعدد قليل في التشغيل .

4- يمكن تشغيلها لتغذية أوقات الذروة أو للتشغيل المستمر أو للبداية المظلمة .

5- لاتحتاج الى كميات كبيرة من المياه ، لذلك فهي ملائمة للإستعمال في المناطق الصحراوية.

6- لاتشغل مساحة كبيرة .

7- تشغل المحطات البخارية عند الأنطفاء التام في البلد وعدم وجود محطات بديلة مثل المحطات المائية (السدود) وذلك لأن المحطات الغازية لاتحتاج الى طاقة خارجية .

3-2 عيوب المحطات الغازية

1- تعطي قدرات واطئة.

2- كفاءتها قليلة قد لاتتجاوز (32 %) قياسا بطاقة بالوقود المصروف ، بسبب قلة نسبة الوقود الى الهواء ، والحاجة لتدوير الضاغط .

3- أهدار كمية كبيرة من الطاقة الحرارية مع غازات العادم ، وقد تم مؤخراً أستغلال هذه الطاقة الحرارية في أنتاج بخار يستعمل في تشغيل وحدات بخارية ملحقة بالمحطة الغازية ويسمى هذا النظام بنظام الدورة المركبة.

4- تكاليف التشغيل الدورية عالية لانها تحتاج الى كميات كبيرة من الوقود ، وتضاف له المحسنات ليكون بمواصفات جيدة .

5- التوربين الغازي يحتاج الى صيانة في فترات زمنية متقاربة (قد لاتزيد عن الثلاث سنوات إذا كان الوقود المستعمل ثقيل ، وتصل الى خمس سنوات عند استعمال الغاز) على العكس من التوربين البخاري الذي يعمل لأكثر من عشرين عام بدون صيانة.

4-2 التوربين الغازي ومبدأ العمل

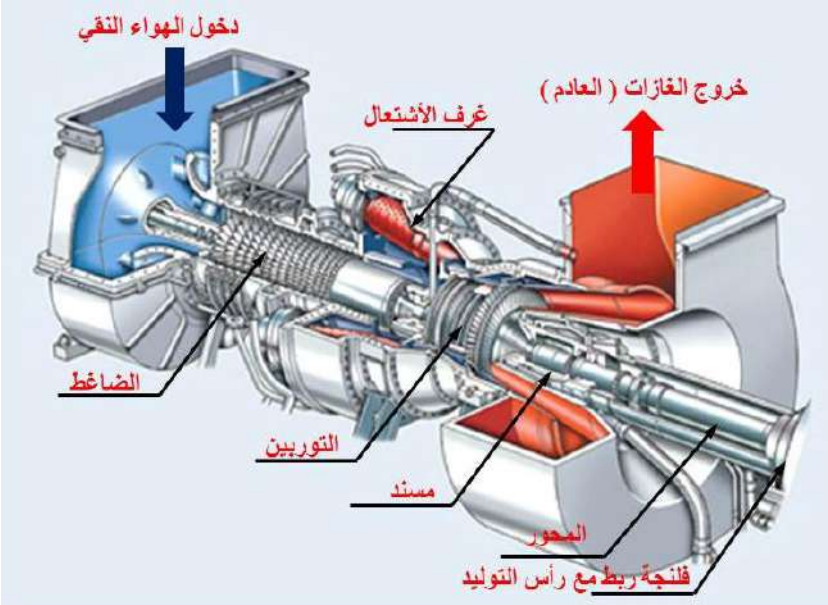
قد يسأل أحدُ ما المحرك التوربيني او (المحرك النفاث) ؟ هو محرك ميكانيكي يقوم بتحويل الطاقة الحرارية لاحتراق الوقود الى طاقة حركية (دورانية) ، يتكون من أجهزة البدء وضاغط محوري للهواء ومنظومة أحتراق الوقود وتوربين ، جميعها مربوطة على محور دوران واحد موضوع بشكل أفقي على ثلاثة مساند (بيرنك) ، يربط في الطرف الأمامي لمحور التوربين صندوق تروس تخرج منه محاور لأدارة (مضخة الوقود الميكانيكية) و (مضخة التزييت الرئيسة) و (مضخة منظومة الهيدروليك) و(ضاغط هواء التذرية) ويربط الطرف الثاني لمحور التوربين مع الجزء الدوار لمولد الكهرباء .

والسؤال الثاني هو كيف يعمل المحرك التوربيني ؟ يدور التوربين بواسطة أجهزة البدء وأهمها محرك التدوير (وهو محرك كهربائي يعمل ب 6600 فولت او 3300 فولت) فيدخل الهواء الى ضاغطة

الهواء المحورية عن طريق ممر خاص بعد أن تمت تنقيته من الأتربة في منقيات خاصة ، ينضغط الهواء بواسطة ريش الضاغط بمراحل متعددة (في بعضها 17 مرحلة) وبمساعدة ريش التوجيه الثابتة والمتغيرة ، يدخـل الهواء المضغوط الى غـرف الاحتراق المتعددة (في بعضها عددها 14 غرفة أحتراق) ويمتزج مع الوقود الداخل عن طريق نوزلات خاصة ، وبمساعدة شرارة كهربائية تخرج من شمعة قدح تبدأ عملية أحتراق الوقود ، فينتج حرارة عالية مع تيار لغازات الاشتعال بضغط عالٍ يتجه نحو ريش التوربين فتعمل على تدويرها بسرعة دوران عالية ، وتخرج هذه الغازات الى ممر خاص ثم الى المدخنة ثم الى الجو، وعند أستقرار سرعة الدوران تنفصل أجهزة بدء التدوير ويستمر توليد الحركة الدورانية ومنها الى المولد الكهربائي .

5-2 الأجزاء الرئيسة للمحطة الغازية

انظر الشكل (2- 1) .



الشكل (2-1) يوضح التوربين الغازي وملحقاته

1-5-2 ضاغط الهواء Air Inlet Compressor

هو جسم مخروطي الشكل موضوع بشكل أفقي ذو بداية أسطوانية واسعة القطر ثم يضيق تدريجياً لقطر معين ، في داخله محور أسطواني من الصلب المقسى يحتوي ريش (شفرات) هوائية موزعة بانتظام على محيطه الخارجي تسمى الريش الدوارة وتكون بمراحل متعددة بحسب حجم التوربين تصل الى أكثر من (17) مرحلة تبدأ بريش كبير الحجم لدفع أكبر كمية من الهواء والضغط الجوي ، وتصغر

الريش بالتدريج حتى تكون ريش المرحلة الأخيرة هو الأصغر والأكثرعدداً والهواء الذي تدفعه يكون بأعلى ضغط وأصغر حجماً .

في الضاغط يحصر الهواء في الفراغ الموجود بين ريش الجزء الدوار وريش الجزء الثابت إذ يضغط بسلسلة متعاقبة من الريش ذات السطوح الأنسيابية الدوارة وبمساعدة الريش الثابتة التي تقوم بتوجيه الهواء الى المرحلة التي تليه عند زاوية مناسبة ، يخرج الهواء المضغوط خلال غلاف تصريف الهواء الى غرف الأشتعال .

غلاف المدخل (Inlet Casing): يثبت غلاف المدخل عند النهاية الأمامية للتوربين الغازي ووظيفته الاولية هي التوجيه المنظم للهواء الداخل الى الضاغط ، والوظيفة الثانية هي حمل المسند الأمامي لمحور التوربين بوساطة دعامات شعاعية ذات سطوح أنسيابية توفر المتانة والتكامل الهيكلي لغلاف المدخل .

غلاف التصريف (Discharge Casing): وهو الجزء الأخير في الضاغط ، يحتوي المراحل الأخيرة للضاغط ويحتوي جدارين داخلي وخارجي يتصل بمقدمة الجزء الثابت للتوربين ويحمل المسند الثاني لمحور الضاغط ويحمل النهاية الأمامية لغلاف غرف الأحتراق والمسند الداخلي للنوزلات .

2-5-2 منظومة الاحتراق Combustion System

وتتكون من الأجزاء الآتية:

1- غرف الأشتعال: وهي بشكل أنبوب ذات مقطع دائري اومستطيل مصنوع من سبيكة معدنية تقاوم الحرارة العالية الناتجة من الأحتراق مرتبة حول المحيط الخارجي لغلاف تصريف الضاغط ، يكون عدد غرف الأحتراق بحسب حجم التوربين والقدرة الناتجة وكذلك التصميم الخاص بالشركة ، يكون عددها (14) غرفة أحتراق في توربينات محطات توليد الطاقة الكهرباء الغازية .

2- نوزلات الوقود: تثبت في مقدمة غرفة الأشتعال بواسطة اللوالب وتحتوي ثقب بقطر معين ينفث من خلاله الوقود ، لكل غرفة أشتعال نوزل يطلق كمية محددة من الوقود الى بطانة الأشتعال ويرسل الوقود الغازي بشكل مباشر الى غرفة الأشتعال أما الوقود السائل فيتم تذريته في حجرة دوامة النوزل بواسطة الهواء تحت ضغط عالٍ فيكون بشكل خليط يدخل الى منطقة الأشتعال ويشتعل بشكل جيد وأشتعاله خالٍ من الدخان .

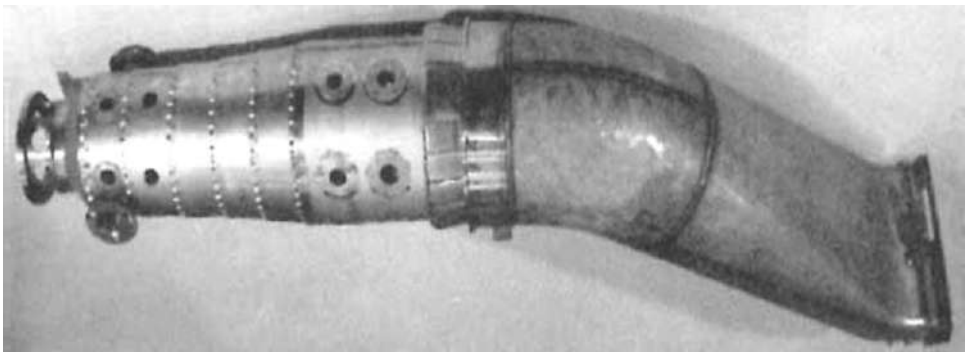
3- منظومة قدح الشرارة: هي مقاومة كهربائية تعطي شرارة مستمر لأشعال الوقود يكون عددها أثنان او ثلاث في التوربين الواحد.

4- أنابيب تقاطع النار (Crossfire Tubes): جميع غرف الأشتعال المتعددة في التوربين الغازي متصلة داخلياً فيما بينها بواسطة أنابيب تسمى (أنابيب نقل الشعلة بين المحارق) وهذه الأنابيب تسمح للهب في الغرف المشتعلة لينتشر الى الغرف الأخرى فيستمر أشتعالها .

5- كاشفات اللهب: هي منظومة مراقبة تتكون من متحسسات يتم تثبيتها على على غرف الاشتعال ، ومضخم ألكتروني يتم تركيبه في لوحة السيطرة ، تبين وجود او عدم وجود لهب .

6- الغازات المتولدة: وهي الناتج المطلوب من منظومة الأحتراق أو (الاشتعال) للوقود والهواء المتجهة الى التوربين لتدويره وتحقيق القدرة المطلوبة .

يوجه الهواء عالي الضغط القادم من الضاغط الى داخل بطانات حجرة الاشتعال ، ويضخ الوقود بمقدار محدد الى داخل كل غرفة اشتعال من خلال نوزل مصمم لنثر الوقود وخلطه مع مقدار مناسب من هواء الاشتعال ، ثم يضاف مقدار آخر من الهواء خلال ثقوب في غرفة الأشتعال يعمل على تبريد الفرفة ويحسن الأشتعال ، انظر الشكل (2- 2) .

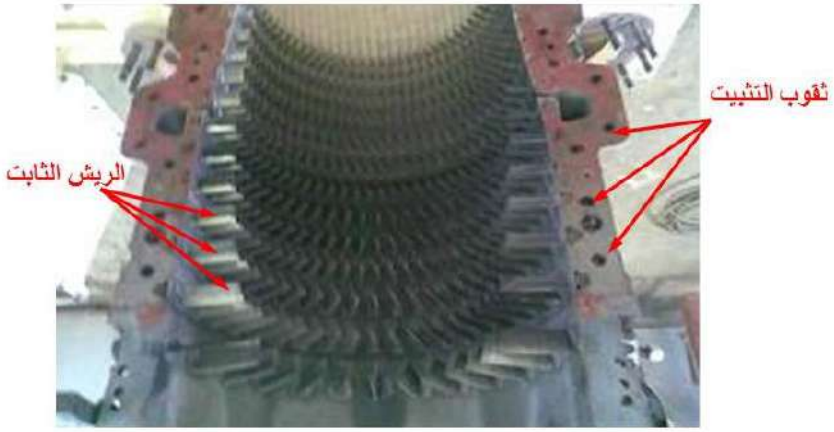


الشكل (2-2) يوضح غرفة الاحتراق

3-5-2 التوربين Turbine

هو جسم اسطواني موضوع بشكل أفقي يحتوي محوراً مصنوعاً من سبيكة مقاومة للحرارة والأحمال العالية تتوزع على محيطه مجموعة من الريش المصنوعة من سبيكة مقاومة للحرارة العالية ، ومربوط مع المحور الدوار لضاغط الهواء بشكل مباشر ومن الطرف الأخر مربوط مع محور الجزء الدوار للمولد عن طريق صندوق للتروس لخفض السرعة ، لان سرعة التوربين عالية جداً .

حيث تدخل الغازات الناتجة عن الاحتراق القادمة من غرفة الاحتراق الى التوربين فتصطدم بالريش الكثيرة العدد منتجة القدرة الدورانية وتأخذ طريقها الى المدخنة ومنها الى الجو، أنظر الشكل (2 - 3) .



الشكل (2-3) يوضح ريش الثابتة في الضاغط

أجزاء التوربين- يتألف التوربين من الأجزاء الآتية:

1- الجزء الثابت للتوربين (الهيكل):

وهو حاوية التوربين وفيها المواضع المحورية والشعاعية للأغطية والريش الموجه (تسمى أحياناً النوزلات) التي تصنع بدقة عالية جداً ، وبقطر ملائم ، وتبريد جيد لحرارة محددة ويصنع من عدة طبقات ، يتم تبريد السطح الخارجي بواسطة مروحة خارجية ، وتبريد الأجزاء الداخلية بواسطة قنوات تأخذ حصتها من الهواء المضغوط من الجزء الضاغط ،وينتهي الجزء الثابت للتوربين بالجزء الخلفي ويسمى الفلنجة الذي يحمل (المسند الخلفي) وموجه العادم .

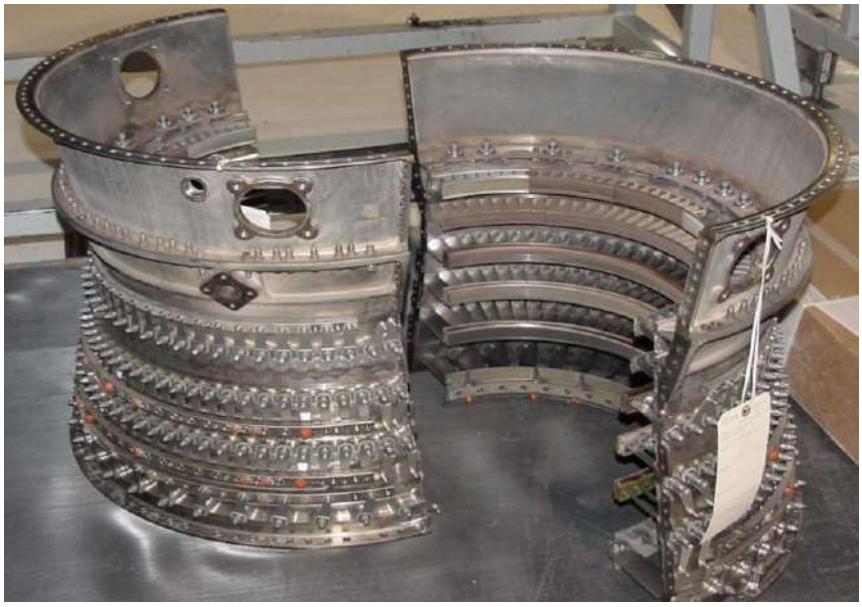
2- الريش المتحركة (ريش توليد الطاقة):

وتتكون من (3) مراحل ، وتكون قصيرة في البداية وتطول تدريجياً حتى المرحلة الأخيرة ، وذلك لمعادلة الضغط المسلط عليها من غازات الاشتعال .

3- الريش الثابتة:

وهي تشبه الريش ولكنها ثابتة وتميل بميل معين لتوجيه الغازات الناتجة من الأشتعال تحتوي على شقوق ومسالك لهواء التبريد لأنها تتعرض الى درجات حرارة عالية ، يتم ربطها في أماكنها عن طريق تعشيقها في مجرى خاص ثم تثبت بواسطة اللوالب ، انظر الشكل (2- 4) .

وتضاف الى الريش الثابتة أجزاء تسمى الرقاقات (Diaphragms) لمنع تسرب الغازات الضاغطة بين الريش الثابتة الموجهة لهذه الغازات ، وذلك للوصول الى الحد الأدنى من الخلوص بين الريش الثابتة وريش التوربين المتحركة .



الشكل (2- 4) يوضح الأغطية

4- الأغطية:

الغطاء الاول في الأسفل يحتوي ركائز التثبيت (القاعدة) والثاني في الأعلى يثبت على الاول بواسطة اللوالب،ويفتح بسهولة عند أجراء الصيانة، يصنعان من الفولاذ المقاوم للضغط والأهتزازات والحرارة ، أنظر الشكل (2- 4) .

5- المساند (حامل محور الدوران):

وتصنع من معدن مقاوم للاحتكاك والأحمال الثقيلة تصنع بنصفي دائرة تربط مع بعضهما بلوالب (كما في مساند العمود المرفق لمحرك الديزل) .

4-5-2 مجمع أطارالعادم Exhaust Frame Assembly

هو أطار يتكون من أسطوانة كبيرة وأخرى صغيرة بداخلها تثبت معها بواسطة دعامات شعاعية، يحتوي ريش لتوجيه غازات العادم الى غرفة العادم مع خفض ضغطها وسرعتها ، للحفاظ عليها من تأثير الحرارة العالية توجد مسالك لهواء التبريد يقوم بتبريدها باستمرار ، انظر الشكل (2- 5) .

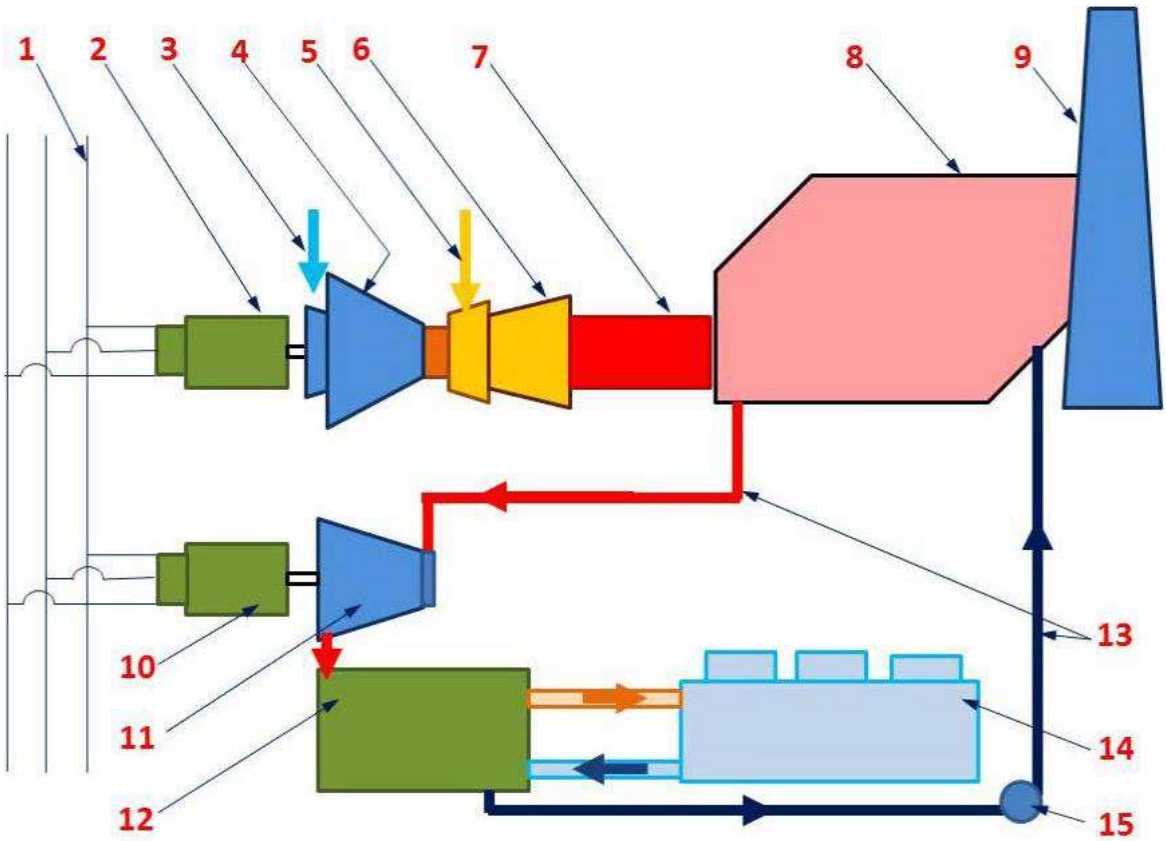
الشكل (2-5) يوضح أطار العادم

5-5-2 المدخنة

هي عبارة عن جسم إسطواني أو مضلع من الصلب بقياسات كبيرة نسبياً وبأرتفاع مناسب تسمح بخروج الغازات الخارجة من التوربين بسهولة (بضغط قليل) وتطلق في الجو بحيث تقلل من التلوث البيئي في المنطقة القريبة من المحطة .

تكون درجة الحرارة في الغازات الخارجة من التوربين الى المدخنة عالية (500°م) وكمية من السعرات الحرارية لايستهان بها ولذلك في أغلب البلدان تكون المحطة الغازية مزدوجة مع محطة حرارية للأستفادة من الحرارة الناتجة بتوليد بخار يعمل على تدوير مولد بدلاً من تسريبها الى الجو

وبذلك يتحقق مكسب أقتصادي من خلال الاستغلال الأمثل للوقود ، انظر الشكل (2- 6) يوضح محطة توليد غازية مزدوجة مع محطة توليد حرارية (لأستغلال حرارة غازات العادم) .



الشكل (2-6) يوضح محطة كهرباء غازية وحرارية مزدوجة

1 – أسلاك نقل القدرة ، 2 - 10 - المولد الكهربائي ، 3- دخول الهواء النقي ، 4- الضاغط ، 5- غرف الأحتراق، 6- التوربين ، 7- غازات العادم الساخنة ، 8- المبادل الحراري (توليد البخار) ، 9- المدخنة 11- التوربين البخاري ، 12- المكثف ، 13- أنابيب ، 14- برج التبريد ، 15- مضخة الماء المتكاثف.

6-5-2 المولد الكهربائي

ويتصل مع التوربين بشكل مباشر او عن طريق صندوق للتروس ولا يفرق بشيء عن المولد في المحطة الحرارية ، قد يكون الفرق في التصميم وطريقة التبريد والغازالمستعمل في التبريد (هيدروجين او الهواء) .

7-5-2 منقيات الهواء

هي عبارة عن برج ذات مقطع مربع او مستطيل الشكل وبأرتفاع معين (تكون بحجم يساعد على أدخال كمية الهواء المطلوبة) ، يتكون من عدد من الطوابق تحتوي على مجموعة كبيرة من المنقيات الورقية (الفلاتر ذات المرشحات الورقية) ، يدخل اليها هواء الجو نتيجة التخلخل بالضغط بفعل ريش الجزء الضاغط للهواء ، وهو محمل بدقائق الغبار فيدخل الهواء عبر المرشحات الورقية ويأخذ طريقه الى ضاغط الهواء ، وتبقى دقائق الغبار معلقة على السطح الخارجي لورق الفلاتر ، وكذلك يمنع دخول قطرات الماء في الأجواء الممطرة ، أنظر الشكل (2 - 7) .

الشكل (2-7) يوضح منقيات الهواء

في اوقات معينة تيم التخلص من الاتربة العالقة على الفلاتر بضغط الهواء النقي بطريقة عكسية فيعمل على طرد دقائق الغبار من المنقيات بعيدا ثم يعاد العمل مجداً بتنقية الهواء ، ويتم أستبدالها بحسب جدول الصيانة المعد من قبل الشركة المصنعة ، أو تقل كفاءتها نتيجة الأجواء المغبرّة لأيام كثيرة من السنة وكذلك الرطوبة ، وهذه خاضعة لفحص الفني الخاص بها .

2- 6 الأجزاء الثانوية للمحطة الغازية (المساعدة)

2- 6-1 منظومة بدء الحركة (التشغيل) Starting System

يتم تدوير التوربين بواسطة محرك كهربائي ، يستمد طاقته من مولد ديزل ، يعمل بفرق جهد (6600) فولت يتصل بالمحور الرئيس لضاغط الهواء بواسطة فاصل يعمل أليا وصندوق تروس لزيادة العزم والتعجيل للوصول الى سرعة التشغيل الذاتي (70% من السرعة الكلية للتوربين) ، منظومة التشغيل تعمل آلياً عند التعشيق والأنفصال عن المحور الرئيس للتوربين ومصممة لتعمل لوقت طويلة (ساعات) في حال تبريد التوربين بالهواء او غسله بالماء ، كذلك المنظومة مزودة بمحرك تدوير بطيء للتوربين عند تبريده بعد الاطفاء يسمى (Turning Motor) ويستمر بالدوران لعدة ساعات وبسرعة 120 د/د ،المنظومة تستمد الطاقة الكهربائية من مولد ديزل ملحق بالمحطة أو من الشبكة الوطنية أذا كانت المحطة موصلة .

2- 6-2 منظومة التزييت Lubrication System

هي منظومة تتكون من دائرة مغلقة متكاملة تقوم بضخ الزيت بالضغط المطلوب ودرجة الحرارة المناسبة لتشغيل التوربين وملحقاته المرفقة به،وتتكون من الأجزاء الآتية:

1- **الخزان:** يقع أسفل التوربين ويعد جزءاً من قاعدته ، يتسع لكمية الزيت اللازمة ، يحتوي على مضخات زيت كهربائية (AC&DC) وانظمة السيطرة والحماية ومقياس مستوى الزيت ومقياس درجة الحرارة وجهاز الأنذار الذي يعمل عند زيادة أو نقصان كمية الزيت عن الحد المقرر ومسخنات كهربائية تعمل على تسخين الزيت في الأجواء الباردة .

2- **المضخات:** توجد ثلاث مضخات لزيت التزييت هي :

أ- **المضخة الرئيسة:** هي مضخة ميكانيكية ذات مسننات (تروس) تستمد حركتها من المحور الرئيس للتوربين عند نهاية ضاغط التوربين، تحتوي على أنابيب سحب الزيت وأنابيب توزيع الزيت بضغط معين يحدده صمام خاص ، يبدأ عملها عندما تصل سرعة التوربين الى (95%) من السرعة القصوى .

ب- المضخة المساعدة: وهي مضخة كهربائية تعمل (بتيار متناوب) تعمل بقوة الطرد المركزي تعمل في حالات بدء تشغيل التوربين ويتم أطفائها آلياً عندما تصل سرعة التوربين الى (95 %) او أنخفاض سرعة التوربين وكمية الزيت المتدفقة من المضخة الرئيسة قليلة وضغطها قليل ، كذلك تعمل عند أطفاء التوربين وأعطائه فترة للتبريد ويتوقف ضخ الزيت للمضخة الرئيسة ويبقى التوربين يدور لأكثر من (72) ساعة وهو بحاجة مستمرة للزيت حتى يتوقف، تزود منظومة المضخة المساعدة بصمام يمنع رجوع الزيت الى الخزان وأفراغ أنابيبها (Check Valve) .

ت- مضخة الطوارئ: هي مضخة (DC) تقوم بضخ الزيت الى المساند الرئيسة للتوربين والأجزاء الاخرى المنزلقة أثناء التوقف المفاجئ ، وفي حال توقف المضخة المساعدة ، تحتوي على صمام مانع الأرجاع كما في المضخة المساعدة .

ث- مبرد الزيت: وعددها أثنان موصلة على التوازي أحدهما يعمل والثاني أحتياط ، ومبرد الزيت هو مبادل حراري يتكون من خزان يمر خلاله الزيت ومجموعة أنابيب حلقية يجري بداخلها ماء التبريد النقي فيأخذ الحرارة من الزيت ويذهب بها الى مبادلات حرارية يتم خلالها التخلص من الحرارة الى الجو بواسطة مراوح كهربائية .

ج-المرشحات (منقيات الزيت): ذات نفاذية (5) مايكرون تساعد على انتزاع الأشياء العالقة في الزيت وعددها أثنان موصلان على التوازي بأنابيب نقل الزيت ، أحدهما يعمل والآخر أحتياط .

ح-الصمامات واجهزة السيطرة والحماية: توجد منظومة متكاملة للسيطرة على عمل مضخات الزيت في التشغيل والأطفاء الآلي والسيطرة على كميات الزيت المتدفق والضغط والحرارة تدار عن طريق حواسيب (توضع في مكان ملائم) من خلالها يتم الحصول على سرعة في التنفيذ والمراقبة المستمرة والمحافظة على سلامة الفنيين من الحرارة والضوضاء ومخاطر العمل الأخرى .

2- 6- 3 منظومة الهيدروليك

يتم السيطرة على أنتظام عمل التوربين وجميع مشغلاته بواسطة منظومة هيدروليكية يسيطرعليها من خلال الحواسيب ، تتكون المنظومة من مضخة رئيسة ومضخة مساعدة ومرشحات الزيت وصمامات ومجموعة أنابيب .

2- 6- 4 منظومة الوقود Fuel System

يتم تشغيل التوربين أما بالغاز الطبيعي او بالوقود السائل ولكل نوع منهما مضخاتها وأنابيبها التي تصل من خزان الوقود الى النوزلات ومنها الى جميع غرف الأحتراق .

تتكون المنظومة من الاجزاء الآتية :

1- **خزانات الوقود :** هي أحواض معدنية مغلقة كبيرة الحجم توضع بالقرب من محطة التوليد أماعائمة فوق سطح الأرض او تحت سطح الأرض ، أعدادها حسب حاجة المحطة للوقود .

2- **مضخة الوقود :** وهي مضخة ميكانيكية تستمد حركتها عبر أحد محاور صندوق المسننات المتصل بالمحور الرئيس للتوربين .

3- **منقيات الوقود:** وهي أنواع الاول يقع بعد الخزان يمر خلاله الوقود بضغط واطئ يحتوي مصفي معدني لأزالة المواد العالقة ، النوع الثاني من المصافي يقع بعد المضخة وقبل وصول الوقود الى غرف الأحتراق وعددها أثنان أحدهما يعمل والأخر أحتياط .

4- **الصمامات:** تحتوي منظومة الوقود على مجموعة من الصمامات لكل منها عمل معين تساعد على أنتظام عمل المنظومة

5- **أجهزة السيطرة والقياس:** هي مجموعة من المفاتيح والحساسات وأجهزة قياس الضغط والحرارة ومعدل الجريان تتصل بمفاتيح كهربائية وأجهزة حواسيب تعمل على أستمرار عمل المحطة بأنتظام والتحكم بالأيقاف والتشغيل .

2- 5-6 منظومة الوقاية من الحريق

منظومة أطفاء الحريق للتوربين الغازي تتكون من مجموعة من الأسطوانات (تشبه أسطوانة الاوكسجين) موضوعة بصف واحد او صفين موصلة مع بعضها بوساطة أنابيب خاصة وصمامات ضغط في أعلى الأسطوانة ، انظر الشكل (2- 8) .

الشكل (2-8) يوضح أسطوانات غاز الأطفاء (CO_2) في المحطة الغازية

تعمل منظومة الأطفاء بثاني اوكسيد الكاربون (CO_2) ، إذ يتم أطفاء النار بوساطة تخفيض نسبة الاوكسجين في الهواء المحيط بمنطقة الاشتعال من النسبة الاعتيادية في الجو (21%) الى أقل من (15%) وهذا التركيز غير ملائم للأشتعال .

ولتخفيض نسبة الاوكسجين يتم ضخ كمية من ثاني اوكسيد الكربون تجعل نسبته أكثر من (34%) في منطقة الأشتعال خلال دقيقة واحدة مع ملاحظة احتمال أعادة توهج للمواد القابلة للاشتعال المعرضة لمعدن ساخن بدرجة حرارة عالية ولذلك تضخ كمية أضافية للحفاظ على أخماد تام للحريق والابتعاد عن احتمالية أعادة التوهج كذلك يستمر ضخ الغاز لتعويض التسرب الذي يحصل من خلال النوفذ المفتوحة والأبواب .

لايمكن أن ينفذ الغاز من دون السيطرة على الحريق ولو نفذ هنالك صف أخر من الأسطوانات أحتياط يتم إستعماله عند الحاجة .

المكونات الرئيسة لمنظومة الحريق:

تتكون المنظومة من الأجزاء الآتية :

1- أسطوانات ثاني اوكسيد الكربون:

يتم تجهيز المحطة الغازية بصف من الأسطوانات عالية الضغط مملوءة بغاز ثاني اوكسيد الكربون ومتصلة مع بعضها بأنابيب ووصلات ربط خاصة بالمنظومة.

2- نوزلات الضخ:

يتم توزيع عدد من النوزلات في أماكن محددة من مقصورة التوربين ، ومنظومة الوقود والمناطق المعرضة للحريق ، تتصل بشبكة من الأنابيب تؤدي لأسطوانات الغاز ، يتم التحكم بمعدل جريان الغاز من خلال التحكم بقياسات الفتحات الصغيرة في نوزلات الضخ (Orifice) .

3- صمامات التحكم:

هي صمامات ذات ملف كهربائي يعمل على فتح مجرى الغاز عند توصيل الدائرة الكهربائية ، وتعمل ألياً .

4- كاشفات الحريق:

هي متحسسات للحرارة توضع في أماكن (مخطط لها) من المحتمل حدوث الحريق فيها ، عند حدوث الحريق تغلق وتكمل الدائرة الكهربائية ويعمل الصمام الكهربائي على فتح صمام أسطوانة الغاز وأبقائه مفتوحاً حتى تفرغ تماماً .

5- مفاتيح التشغيل:

يوجد نوعان للتشغيل أولهما تشغيل يدوي عن طريق مفتاح كهربائي رئيس ، وأخر أحتياط يعمل في حال توقف المفتاح الرئيس ، والنوع الثاني هو التشغيل الآلي عن طريق مفاتيح يتم التحكم بها من خلال منظومة متحسسات الحرارة .

6- السيطرة بالحاسوب:

في المحطات الحديثة يتم التحكم بمنظومة اطفاء الحريق بواسطة اجهزة الحاسوب .

تستعمل مراوح خاصة لأفراغ ثاني اوكسيد الكربون من منطقة الاشتعال بعد أنتفاء الحاجة منه، ولسلامة الفنيين عند اجراء الصيانة .

2- 6- 6 منظومة التبريد بالماء Cooling Water

تتولد حرارة عالية في زيت التزييت وغاز تبريد المولد ومنظومة هواء التبريد في بعض أجزاء التوربين فيتم تبريدها بالماء النقي في دورة مغلقة عن طريق مبادلات حرارية الاول بين الماء النقي وغاز الهيدروجين (المستعمل في تبريد المولد) والمبادل الثاني بين الماء النقي وزيت التزييت والمبادل الثالث بين الماء النقي وهواء تبريد أجزاء التوربين .

يتجه الماء النقي الساخن الخارج من المبادلات الحرارية الى مجموعة من المشعات الحرارية (Radiators) مرتبة بشكل صفوف وبوضع أفقي ، توجد في أسفل كل مشع مروحة كهربائية تقوم بدفع الهواء من الأسفل الى الأعلى خلالها فيحصل التبادل الحراري ويبرد الماء ليعود الى المبادلات الحرارية وهكذا يستمر العمل في دورة مغلقة .

تزود منظومة التبريد بمضختان للماء أحدهما تعمل والأخرى أحتياط ، كذلك تحتوي المنظومة على مجموعة صمامات ومتحسسات ومقاييس الحرارة والضغط وخزان ماء لتعويض النقص في حال وجود نضح في المنظومة .

2- 7 الوحدات الساندة للمحطة

2-7- 1 وحدة معالجة الوقود

يأتي الوقود من مصافي التكريرالى المحطة بشكل غاز طبيعي أو وقود معالج (جاهز) وهذا مكلف أقتصادياً ، ولتقليل التكاليف يتم مد أنبوب للنفط الخام من أقرب مصدر الى المحطة (بئر نفط اومصفاة تكرير النفط) وتوجد في النفط الخام الكثير من الشوائب والمعادن الذائبة ومنها (الصوديوم والبوتاسيوم والفناديوم والنيكل والكبريت ومواد أخرى قد تكون بنسب قليلة) وهذه المواد لها تأثير سلبي على التوربين عند بقائها في الوقود ، ولذلك تجرى عليه المعالجات الآتية :

أ- الغسيل بالماء: يتم أدخال الوقود الى حوض الغسيل بالماء المقطر وهو خزان كبير من الصلب يدخل الية النفط الخام ويمزج معه الماء الساخن ، هذا الماء يقوم بترسيب الاطيان والرمال والمواد العالقة ويعمل على أذابة الصوديوم والبوتاسيوم ويستقر في أسفل الحوض ثم يسحب بمضخات خاصة وينقل بعيداً عن المحطة للتخلص منه ، وفي الوقت نفسه يتحرر منه الغاز الذي يتم جمعه في أوعية خاصة .

ب- الفصل بالطرد المركزي: يذهب الوقود من حوض الغسيل بالماء بعد أن تخلص مـن المواد العالقة (الطين والرمل) وتضاف اليه مواد كيميائية ليكون بشكل مستحلب ، ثم يدخل الى معدات الطرد المركزي وهي احواض عمودية أسطوانية بقطر متر واحد وارتفاع متر ونصف اوبقياسات أخرى أنظر الشكل (2 - 9) ، يركب في الأعلى محرك كهربائي يتصل به ذراع الخلاط فيدخل الحوض يقوم بتدوير الوقود بسرعة (6000) د/د ، وبفعل الطرد المركزي تترسب المواد الثقيلة في الوقود على الجوانب ثم الى الأسفل وتسحب من فتحات خاصة ليتم خزنها في خزانات كبيرة بعدها تنقل الى جهات أخرى للأستفادة منها (معامل الطابوق او مصافي تكرير النفط) ، أما النفط الخفيف فيكون تواجده في الوسط الى الأعلى ويسحب من هذه الأحواض وينقل الى مرحلة أخرى للمعالجة ، وفي الوسط يتجمع الماء فيسحب من فتحة خاصة به أيضاً ، وبذلك قد حقق الجهاز فصل ثلاث مكونات في المزيج لكل منهما كثافة معينة ، النفط أقل كثافة يليه الماء ثم المواد المترسبة وهـي الأكثر كثافة .

الشكل (2- 9) يوضح أجهزة الطرد المركزي لتنقية الوقود الخام

ت- تصفية الوقود : وهي أمرار الوقود بعد المعالجة السابقة الذكر خلال فلاتر للتخلص من الجسيمات التي قد تكون موجودة .

ث- حقن اوكسيد المغنيسيوم: وجود النيكل والفناديوم مواد ذائبة في الوقود تسبب تأكل ريش التوربين عند أحتراقها وتحولها الى أكاسيد ، لذلك قبل دخول الوقود الى غرف الأحتراق يحقن معه بنسب معينة اوكسيد المغنيسيوم مع بعض المذيبات بشكل (سلفونات المغنيسيوم أو

كاربوكسيلات المغنيسيوم) الذي يعمل على الغاء تأثيرها السلبي على غرف الاحتراق وريش التوربين عند احتراقها مع الوقود فتخرج مع غازات العادم ، واذا وجدت معادن أخرى في الوقود مثل الرصاص والخارصين أضافة الى الفناديوم والنيكل سيكون ضخ المادة المحسنة بمعدل أكبر بحسب نسب هذه المواد ، في الغالب نسبة المادة المحسنة المضافة تساوي ثلاثة أمثال المواد الذائبة في الوقود والتي أكثرها ضرراً هو الفناديوم .

ج- **تسخين الوقود:** يتم تسخين الوقود (90-135) درجة مئوي لتقليل اللزوجة مع السطوح الداخلية للأنابيب وسهولة تذريته في غرف الأحتراق .

ح- **التأثير السلبي للمعادن والمواد الملوثة في الوقود:** أن وجود المعادن والمواد الملوثة في الوقود تترك رماداً عند الأحتراق وهذا له مساوئ متعددة أهمها:

1- يذوب الرماد (على سطح ريش التوربين) أذا كانت درجة حرارة الغازات المشتعلة أعلى من درجة أنصهاره،والرماد الذائب يتسبب بتآكل ريش التوربين، لأن الطور السائل للرماد يعمل كالكتروليت في عملية التأكل بالكيمياء الكهربائية .

2- مزيج الرماد الذي يحتوي الصوديوم والفناديوم له درجة أنصهار واطئة (526) درجة مئوي وهذا يسبب التأكل السريع لسبيكة ريش التوربين (بمساعدة الحرارة العالية المنبعثة) .

3- أذا كان الرماد صلباً (درجة حرارته أقل من درجة أنصهاره) فأنه لايسبب التأكل .

4- اذا كانت كمية المغنيسيوم المظافة غير كافية للقضاء على التأثير السلبي للفناديوم ستتولد أنواع من المركبات في الرماد درجة أنصهارها واطئة تسبب التأكل ويصعب ازالتها بالماء عند غسل التوربين خلال عملية الصيانة .

2- 7- 2 وحدة معالجة المياه

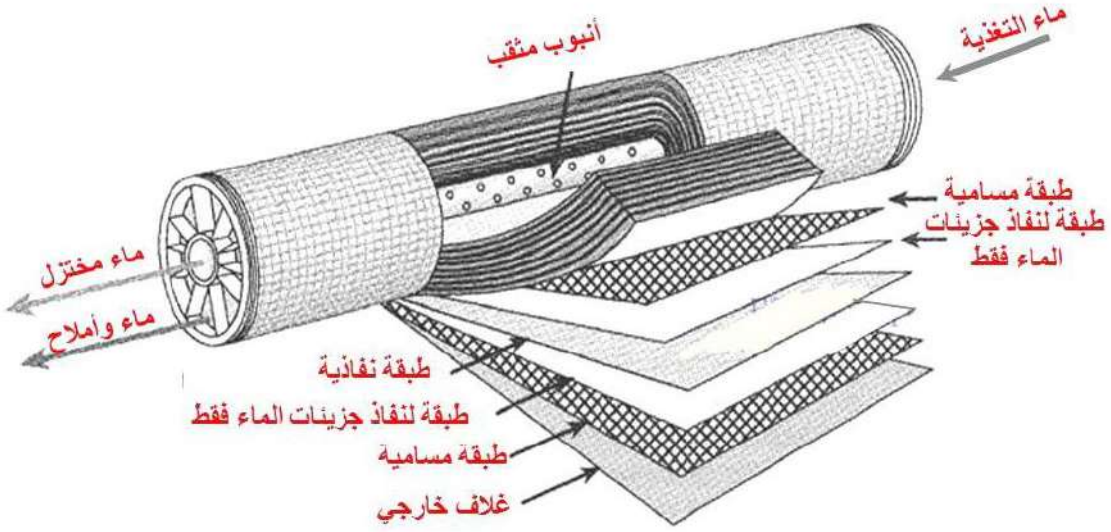
سبق وأن ذكرنا أن المحطات الغازية يمكن بناؤها في المناطق الصحراوية وذلك لأنها تحتاج الى كميات قليلة من الماء ، وأن معدل أستعمال (7 متر مكعب) من الماء النقي في اليوم لمحطة كهرباء غازية تنتج (125 ميكاواط) هي كمية قليلة جداً قياساً بما تحتاج اليه المحطة الحرارية التي تنتج الكمية نفسها من الكهرباء ، وبالرغم من صغر الكمية المطلوبة يتم بناء وحدة متكاملة لمعالجة المياه لرفد المحطة بالكمية المطلوبة .

يتم سحب الماء من أي مصدر متوفر (بئر، نهر، او ماء البحر) بواسطة المضخات ويرسل الى أحواض الترسيب للتخلص من المواد العالقة به ثم يضخ الى خزان التعقيم للتخلص من البكتريا والمكروبات ، ثم الأنتقال بالماء الى المرحلة اللاحقة هي مرحلة التخلص من المواد المعدنية والاملاح الذائبة بواسطة أجهزة الـ (RO – REVERSE OSMOSIS) وبذلك يصبح جاهزاً للشرب وجاهزاً للاستعمال في أستعمالات المحطة في التبريد ، وكذلك في غسل الوقود الخام ، وفي تسخين

الوقود الخام بوساطة مرجل صغير، وفي أعمال صيانة التوربين (غسل التوربين بالماء الحار لازالة الرماد المتكلس على الريش) .

وحدة المعالجة التناضح العكسي (RO):

هي عملية فصل جزيئات الماء عن الأملاح الذائبة فيه بواسطة تمرير كمية من الماء بضغط (8 - 25) بار في أنابيب بداخلها أغشية قليلة النفاذية ، فينفذ قسم من جزيئات الماء النقي (100%) والقسم الأكبر من كمية الماء والأملاح الذائبة فيها تذهب الى التصريف (المجاري) ، كلما يكون الضغط قليلاً نضمن نقاوة تامة للماء ، وكلما كان الضغط كبيراً يتسبب بعبور جزيئات قليلة من الأملاح الذائبة ، انظر الشكل (2- 10) .



الشكل (2- 10) يوضح طبقات الأغشية المنقية للماء

2-7- 3 منظومة السيطرة الألكترونية والحواسيب

المحطات الحديثة مزودة بمتحسسات للضغط والحرارة وعدد الدورات ومعدلات مرورالموائع (الجريان) ، والمفاتيح بأنواعها المختلفة (الميكانيكية والكهربائية) ، تنتشر في جميع أجزاء المحطة ، تتصل عبر أسلاك توصيل لها حماية وعزل خاص الى جهاز حاسوب ذات مواصفات عالية ، يحصل على المعلومات ويظهرها على شاشات المراقبة لمتابعتها من المختصين، كذلك خزن المعلومات كافة لشهورعديدة للأستفادة منها عند الرجوع اليها وفي حالة حصول عطل ما يعطي الحاسوب أنذار بذلك أويوقف المحطة أذا كان العطل يتسبب بضرر كبير ، مثل توقف تدفق الزيت أو أنسداد في أحد أنابيب الوقود أو أرتفاع في درجات الحرارة للتوربين أو المولد الكهربائي أو عدم وجود غاز أطفاء الحريق وغيرها.

2-7-4 مولد كهربائي ديزل

يتم تجهيز محطات التوليد الغازية بمولد كهرباء ديزل تكون القدرة المنتجة منه تكفي لادارة التوربين والمحركات الكهربائية المشغلة للمنظومات الملحقة بالتوربين والأنارة وأعمال الصيانة ، يتم تشغيل المولد الديزل والأعتماد على القوة الكهربائية منه حتى وأن كانت المحطة موصلة مع الشبكة الوطنية ومتوفرفيها القوة الكهربائية ، وذلك لضمان وجود قوة كهربائية غير معرضة القطع المفاجئ .

2-7-5 منظومة توليد الكهرباء بالطاقة الشمسية

تجهز المحطات الكهربائية الغازية والحرارية الحديثة بمنظومة توليد الطاقة الكهربائية بوساطة خلايا الطاقة الشمسية التي تغذي أجهزة شحن منظومة بطاريات قابلة للشحن ، تستطيع المنظومة أدارة محرك مضخة زيت الطوارئ بتيار مستمر (DC) لمدة (45) دقيقية اوأكثر .

2- 8 مراقبة الأداء

أن أغلب المحطات الغازية الحديثة مزودة باجهزة ومعدات الكترونية متمثلة بمعالجات الأشارة واجهزة حاسوب التي تقوم باعطاء أشارات او تنبيهات مرئية أو مسموعة لأي طارئ ممكن أن يحدث خلال عمل المحطة ، ويوجد في المحطة عدد من الفنيين والمهندسين كل منهم له واجب محدد يؤديه ليستمر عمل المحطة في التوليد والمحافظة عليها من خلال الأتي :

❖ **مراقبة الأداء:** عند أشتغال المحطة وأستقرار الحمل ، يتم تسجيل بيانات الأداء وهي :

أ- الكهرباء المتولدة وتشمل فرق الجهد والتيار والتردد .

ب- معدل ضخ الوقود .

ت- درجات الحرارة : للوقود والهواء والعادم والزيوت وماء التبريد وغاز التريد .

ث- الضغط: ويشمل الضغط الجوي وضغط الهواء الى التوربين وضغط غازات الأشتعال وضغط زيت التزييت وزيت الهيدروليك .

يتم تحليل هذه البيانات بوساطة الحواسيب ومقارنتها بالأرقام المثالية للتشغيل ، ومعالجة الخلل بدون توقف المحطة (لان توقفها ليس سهلاً) ، أما اذا سجلت تحليلات الأداء انحدار في أداء التوربين هذا يعني توقف المحطة عن العمل والقيام بأعمال الصيانة.

2 - 9 العوارض المحتملة الحدوث في المحطة وأسبابها ومعالجاتها

أن أغلب التحذيرات او الأنذارات ليس بالضرورة أن تؤدي الى أيقاف المحطة ما عدا بعض العوارض التي تمثل خطراً على وحدات المنظومات العاملة التي يرافق حدوثها أطفاء آلي (اوتوماتيكي) للوحدة لتفادي وقوع أضرار في المحطة ، وفيما يأتي بعض العوارض التي تصيب المحطة واسبابها المحتملة والمعالجة:

1- انخفاض في ضغط الغازات الخارجة من الضاغطة .

الأسباب:

أ- اتساخ مصافي الهواء الداخل للضاغطة .

ب- وجود ترسبات على ريش الضاغطة .

ت- وجود ضرر في ريش الضاغطة .

ث- وجود ضرر في حشوات الختم للضاغطة.

المعالجة:

أ- القيام بالضخ العكسي للهواء فيعمل على طرد دقائق الغبار الى الخارج ، أو تبديل منقيات الهواء بأخرى جديدة أن كانت مشبعة بالرطوبة والأتربة .

ب- وجود الترسبات على المكونات الداخلية للضاغط تحصل نتيجة دخول دقائق الغبار والمواد العالقة مع الهواء ، وبذلك يجب التحقق بعد الأطفاء والفحص البصري .

الفحص البصري:

ويعني الفحص بالنظر ويتم بأطفاء المحطة والأنتظار حتى يبرد التوربين ويصبح بدرجة حرارة يمكن العمل خلالها مع أستعمال مصباح الأنارة لزيادة الوضوح وفحص (مدخل الضاغط والفتحة القمعية وريش الضاغط) وأذا كان العطل حاصل بسبب ترسبات ملوثة جافة يتم غسل الريش والمداخل بالماء النقي الساخن ، واذا كانت الملوثات زيتية يتم الغسل بمنظفات خاصة ثم الشطف بالماء .

منظومة الغسل:

يتم غسل التوربين بواسطة محلول خاص يخلط مع الماء النقي بنسب معينة ، ويرش بضغط ومعدل جريان ودرجة حرارة مثبتة في جداول خاصة معدة من قبل الشركة المصنعة ، يجري محلول الغسل خلال صمام يعمل بمحرك الى أنبوب متعدد الممرات يحتوي نوزلات الرش (مخصص لغسل الضاغط) .

قبل البدء بعملية غسل الضاغط يجب أن تكون درجة حرارة التوربين لاتزيد عن (50) درجة مئوي ، ودرجة حرارة ماء الغسل لاتقل عن (80) درجة مئوي على أن يتم الغسل أثناء التوقف الاعتيادي للتوربين ، وذلك لأتاحة الوقت الكافي للغسل (أي لايتوقف التوربين لغرض أجراء عملية الغسل) .

في بعض الاحيان يغسل الضاغط خلال أشتغال التوربين وعندها يجب أن يكون التوربين مشتغلاً بسرعتهُ الأعتيادية وعند أي حمل ولكن يجب أن لاتقل درجة حرارة الجو عن (10) درجة مئوي والرطوبة قليلة .

ت- في حال وجود ضرر في ريش الضاغط او حشوات الختم ، فيتم أستبدالها بجديد .

2- خروج غازات سوداء ودخان كثيف من المدخنة.

الأسباب:

أ- وجود أوساخ في نافثات الوقود، إذ إن ظهور الغازات السوداء دليل على وجود طبقة من الكاربون في فتحات نافثات الوقود ومن الممكن أن تنفصل وتذهب الى ريش التوربين لتؤدي الى أستهلاك الريش .

ب- توزيع غير متساو للوقود على غرف الاحتراق .

ت- وجود ضرر في غرف الاحتراق .

ث- يتم أيقاف التوربين عن العمل واجراء الفحص الدقيق والمعالجة تكون بأستبدال الأجزاء التألفة وتنظيف وأزالة الاوساخ المتراكمة إن وجدت .

3- تباين في درجة حرارة الغازات الخارجة من التوربين .

الأسباب:

أ- رداءة متحسس درجة الحرارة (المزدوج الحراري) .

ب- توزيع غير متساو للوقود على غرف الاحتراق .

ت- وجود ضرر في غرف الاحتراق .

ث- وجود ضرر في نافثات الوقود .

يتم ايقاف المحطة وأجراء تبديل غرف الأحتراق بجديد وكذلك تبديل نافثات الوقود والتأكد من عمل المتحسسات والأسلاك الكهربائية المؤدية الى لوحات السيطرة .

4- أرتفاع في درجة حرارة الغازات الخارجة من التوربين .

الأسباب:

أ- وجود ضرر أو أستهلاك في ريش التوربين أو الريش الموجهة .

ب- رداءة متحسس درجة الحرارة (المزدوج الحراري) .

ت- عدم ضبط وتنظيم مسيطرات درجة الحرارة .

ث- عدم نظافة ضاغطة الهواء .

تتم متابعة المتحسسات والمنظمات بتنظيمها أو أستبدالها بجديد ، أما الريش فتستبدل .

5- أرتفاع في ضغط الغازات الخارجة من التوربين .

الأسباب:

أ- وجود ضرر في ريش تدوير الغازات في الأنبوب الناقل للغازات الخارجة من التوربين .

ب- وجود ضرر في المسكتة .

6- حدوث أهتزازات .

الأسباب:

أ- المتحسسات تحتاج الة ضبط .

ب- أرتخاء في وصلات ربط محور التوربين ومحور المولد الكهربائي (الكوبلن) .

ت- تقوس او انحناء في محور التوربين .

ث- كسر في ريش التوربين .

ج- أستهلاك كراسي التحميل .

في جميعها يتم أيقاف المحطة واجراء الفحص الدقيق بالنظر وبأجهزة القياس وتبديل ما هو لايصلح للعمل بجديد .

7- ضياع ضغط الوقود .

الأسباب:

أ- صمام السيطرة على الوقود بحاجة الى ضبط .

ب- أتساخ مصافي الوقود .

ت- وجود ضرر في ضاغطة الهواء او مضخة الوقود .

تتم المعالجة خلال عمل المحطة وذلك بتشغيل مضخة الوقود المساعدة وايقاف المضخة الرئيسة وأجراء الفحص الدقيق للمصافي والمضخة وصمام السيطرة وتبديل الأجزاء التي لاتعمل ، أما في حال وجود ضرر في ضاغط الهواء فيتم ايقاف المحطة وفحص الضاغط واجراء الصيانة بالغسل او تبديل الريش بجديد .

8- ضوء تنبيه لوجود خلل ما في منظومة الأحتراق .

الأسباب:

أ- عطل في شمعات الاشتعال .

ب- أنابيب اللهب المستعرضة داخل غرف الاحتراق ليست في مكانها الصحيح .

ت- السيطرة الالكترونية للوحدات تحتاج الى أعادة تنظيم .

ث- نسبة الوقود تحتاج الى أعادة ضبط .

ج- مرذذات الوقود والهواء تحتاج الى أعادة ضبط .

ح- وجود أوساخ في نافث اللهب أو انسداد النافث .

خ- وجود ضرر في غرف الاحتراق .

9- التوربين يدور بصورة مستطردة (زيادة أو نقصان) (Hunting) .

الأسباب:

أ- عدم اشتغال منظومة السيطرة على السرعة (Governor) أوعدم كفاءة عمل أجزاءها.

ب- تذبذب في مسيطرات الوقود .

ت- تذبذب في مسيطرات درجة حرارة غازات العادم .

ث- تسريب في صمامات السيطرة الهيدروليكية .

ج- عدم نظافة مصافي المنظومة الهيدروليكية .

ح- يتم أيقاف المحطة ومعالجة الأسباب.

10- ضياع ضغط الزيت .

الأسباب:

أ- وجود خلل في المصافي .

ب- فشل المضخة .

ت- تسريب في المضخة .

ث- خلل في أنابيب الزيت .

ج- يتم أيقاف المحطة ومعالجة الأسباب .

أسئلة الفصل الثاني

1- قارن بين محطة توليد الكهرباء الحرارية ومحطة التوليد الغازية .

2- ما مميزات المحطة الغازية ؟

3- ما عيوب المحطة الغازية ؟

4- من الاجزاء المهمة في المحطة الغازية منظومة الاحتراق ، ما مكوناتها ؟ أشرحها بالتفصيل .

5- أشرح بالتفصيل : التوربين وعمله واجزاءهُ .

6- تكون المدخة بأرتفاع عالٍ لماذا ؟

7- تتكون منظومة التزييت من أجزاء عديدة أشرحها مفصلاً .

8- ما المعالجة التي تجرى على وقود المحطة الغازية ولماذا ؟

9- ما الأضرار التي تنتج من وجود المعادن الذائبة في وقود المحطة الغازية ؟

10-توجد وحدة تنقية ماء في المحطة الغازية ، لماذا ؟

11-لاتعمل المحطة الغازية من دون أن تكون منظومة أطفاء الحريق فيها، لماذا ؟

12-لدينا محطة توليد كهرباء غازية تنتج الطاقة الكهربائية ، لماذا يلحق بها مولد ديزل ؟

13-ماذا نعني بمراقبة الأداء ، وماذا نراقب في المحطة ؟

14-عند تراكم الدهون والأتربة على ريش الضاغط تجرى له عملية الغسل ، أشرحها مفصلاً.

15-من المعتاد أن تكون غازات العادم عديمة اللون في المحطة الغازية وفي أحيان أخرى

16-تخرج الغازات سوداء ، ما أسبابها ؟

17-حدوث الأهتزازات يشكل خطر على المحطة ، علل ذلك مبيناً كيفية معالجتها ؟

18-ما سرعة المحرك (د/د) أذا كان عدد الاقطاب (4) والتردد المطلوب (50 Hz)؟

المولدات التزامنية ثلاثية الأطوار
3 Phase synchronous generators

1-3 تمهيد

يهدف هذا الفصل الى تعريف الطالب على المولدات التزامنية ثلاثية الاطوار المستعملة في محطات التوليد ومعرفة انواعها وخواصها في كل نوع من انواع المحطات الكهربائية وتركيبها وكيفية عملها ، كذلك يتعرف الطالب على كيفية ربط المولدات الى شبكات التوزيع الوطنية ومنظومة التزامن الخاصة بها .

2-3 المولدات التزامنية ثلاثية الأطوار 3 Phase synchronous generators

تعد المولدات التزامنية ثلاثية الأطوار الأكثر انتشاراً في مجال إنتاج الطاقة الكهربائية ، إذ إن أكثر من 98% من الطاقة الكهربائية المنتجة في العالم يتم توليدها باستعمال المولدات التزامنية ، فهي الأكثر استعمالا لغرض تحويل الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربائية . وقد سميت بهذا الاسم لان الجزء الدوار يدور بالسرعة نفسها دوران المجال المغناطيسي المتولد في الجزء الثابت ، أي إن هنالك توافقاً تاماً بين سرعة دوران المجال المغناطيسي والجزء الدوار ولذلك تسمى بالمكائن التزامنية او التوافقية، تستعمل المولدات التزامنية كمصدر رئيس للطاقة الكهربائية ذات التيار المتناوب اذ تركب في محطات التوليد الحرارية والمائية والنووية ذات القدرات الكبيرة ، وفي المحطات الكهربائية المتنقلة ، ووسائط النقل (القطارات والسيارات والطائرات) اذ تحدد بنية المولد التزامني

(Synchronous Generator) بشكل أساس بنوع الآلة المحركة له Prime- Mover وبناءاً على ذلك يمكن تقسيم المولدات التزامنية إلى المولدات التوربينية والمولدات الهيدروليكية ومولدات الديزل ، تدار المولدات التوربينية Turbo-Alternators بوساطة توربينات بخارية او غازية . وتدار المولدات الهيدروليكية بالتوربينات المائية Hydraulic Turbine أما مولدات الديزل فتدار بمحركات الاحتراق الداخلي .

استطاع العالم الروسي يابلو تشكوف في العام 1876 من وضع تصميم لعدد من المولدات التزامنية متعددة الاطوار Multi – Phases ذات الاثارة الكهرومغناطيسية والاطوار غير متصلة كهربائياً ، وقد تم اختراع اول مولد تزامني ثلاثي الاطوار من العالم الروسي دوليغو دوبروفولسكي وقد بلغت قدرة هذا المولد 230 كيلوفولت أمبير ، وتم تشغيله بواسطة توربينة مائية .

لقد بقيت الفكرة الاساسية للمولدة التزامنية منذ ذلك الحين ثابتة ولم يطرا عليها تغير يذكر . لكن بنيتها التصميمية لاقت تطوراً كبيراً كما ازدادت الحمولات الكهرومغناطيسية Electro-Magnetic Loading لهذه المولدات ، مما مكن من تحسين مواصفاتها من حيث الابعاد وجودة الاداء ودرجة التحميل ، وقد تحقق تطور كبير في هذا المجال مع البدء باستعمال التبريد بالهيدروجين والماء في المولدات التزامنية الضخمة .

3-3 تركيب المولدات التزامنية ثلاثية الاطوار

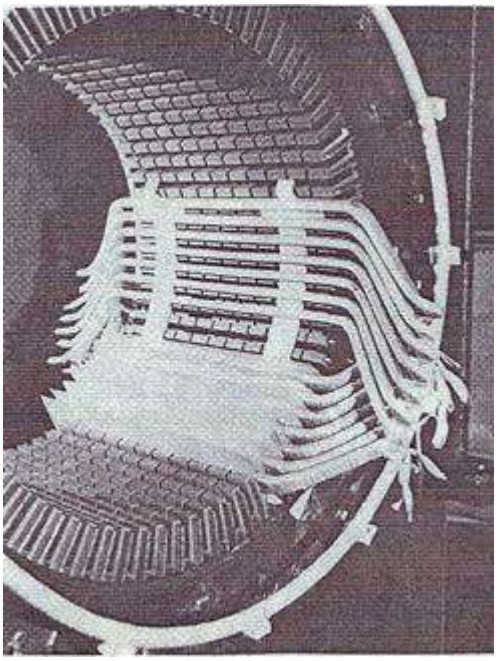
تتركب المولدة التزامنية Synchronous Generator من جزأيين هما : الجزء الثابت والجزء الدوار، احدهما يحمل ملفات إنتاج الطاقة الكهربائية ويسمى المنتج (Armature) والآخر يحمل ملفات المجال المغناطيسي ، ويفضل أن تكون ملفات إنتاج الطاقة الكهربائية مثبتة في الجزء الثابت بينما تكون ملفات المجال المغناطيسي مثبتة في الجزء الدوار وذلك لاسباب عديدة أهمها ما يأتي:

1- الجزء الثابت قطره اكبر مما يتيح استعمال عدد اكبر من اللفات ومساحة مقطع اكبر مما يؤدي الى توليد جهد وقدرة اكبر .
2- التيار المسحوب من المولدة كبير لذا يفضل أن يؤخذ من الجزء الثابت وليس عن طريق حلقات انزلاقية من الجزء الدوار .
3- حماية ملفات أنتاج الطاقة الكهربائية من قوة الطرد المركزي بسبب وزنها الكبير .
4- التخلص من أو تقليل حلقات الانزلاق إلى 2 بدلاً من 6 حلقات لان التيار المار هو تيار المجال المغناطيسي فقط.
5- سهولة تبريد ملفات إنتاج الطاقة الكهربائية عندما تكون ثابتة أي في الجزء الثابت .
6- الاعطال المحتملة في المولدة اكثر ما يحصل في ملفات الارميجر armature فأن عملية تصليح الجزء الثابت اسهل من تصليح الجزء الدوار، ويمكن ملاحظة الاعطال الطفيفة خلال الصيانة الدورية بشكل اسهل . مع العلم أن الجزء الدوار محمي بشكل ميكانيكي مغلق .

لهذهِ الأسباب فان الجزء الثابت يحمل ملفات إنتاج الطاقة الكهربائية (ملفات المنتج) بينما الجزء الدوار يحمل ملفات أقطاب المجال المغناطيسي .

3-3-1 الجزء الثابت Stator

يكون الجزء الثابت مشابه تماماً للجزء الثابت في المحركات الحثية ثلاثية الاطوار من حيث التركيب وطريقة اللف ، فيتكون من شرائح متراصة من الحديد السيليكوني (Silicon Steel) وعلى شكل اسطوانة مجوفة محفور بداخله عدد من المجاري وذلك لتركيب الملفات فيه الشكل (3-1) والهدف من تصنيع الجزء الثابت بهذه الطريقة هو التقليل من مفاقيد الحديد .



الشكل (3-1) الجزء الثابت لمولدة أثناء إدخال الملفات داخل المجاري

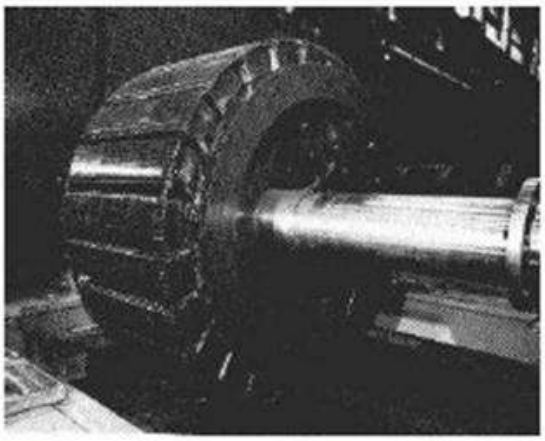
ويتم تقسيمه إلى العدد المطلوب من الأقطاب وتقسم المجاري في كل قطب على الأطوار الثلاثة ويتم تركيب ملفات كل طور في المجاري الخاصة به تحت كل قطب ويفصل بين كل طور وآخر زاوية مقدارها 120 درجة كهربائية ، ويخرج من كل ملف طرفان بداية ونهاية ، إذ إن الملف الاول يمثل بالرمز (U-X) او (U_1-U_2) والملف الثاني (V-Y) او (V_1-V_2) والملف الثالث (W-Z) او (W_1-W_2) وتوصل أطراف الملفات الستة إلى لوحة التوصيل الخاصة بالمولد وفي المولدات الإنتاجية تربط نهايات الأطوار إلى bushing يتحمل الجهد الخارج من المولدة ويمكن توصيلها أما على شكل نجمة Y او على شكل دلتا Δ ، وتفضل توصيلة النجمة للمولدات الكهربائية للحصول على جهد اكبر بنسبة ($\sqrt{3}$) عند الاطراف وايضاً لامكانية تأريض نقطة التعادل من خلال مقاومات او محولة .

3-3-2 الجزء الدوار Rotor

الجزء الدوار يحمل ملفات أقطاب المجال المغناطيسي ويغذى بتيار مستمر عن طريق حلقتي انزلاق وحيث إن التيار المار في ملفات الجزء الدوار تيار مستمر، لذا لايصنع الجزء الدوار على شكل شرائح حديدية بل يصنع من قطعة حديد مصمت، وذلك لعدم وجود تيارات دوامية كما هو الحال في تركيب الجزء الدوار في مكائن التيار المستمر ، أما طريقة اللف فهي مشابهة لطريقة لف أقطاب الجزء الدوار في مكائن التيار المستمر أيضا ، بحيث يحمل كل قطب ملفاً واحداً ثم توصل ملفات الأقطاب على التوالي بشكل يراعي تحقيق القطبية الشمالي والجنوبي وفي النهاية يخرج طرفان يوصلان الى حلقتي الانزلاق لتغذية الملفات بالتيار المستمر ، وهناك نوعان من الجزء الدوار هما:

أ- الجزء الدوار ذو الأقطاب البارزةSalient pole rotor:

يستعمل هذا النوع في المولدات ذات السرعات المنخفضة مثل المولدات التي تدار بوساطة التوربينات المائية ، وعادة ما يكون قطر الماكنة في هذهِ الحالة كبير لاستيعاب العدد الكبير من الأقطاب ويكون طولها صغير نسبياً ، وهي تركب مع التوربين المائي بحيث يكون محورهما رأسياً الشكل (2-3) و(3-3) يوضحان ذلك .

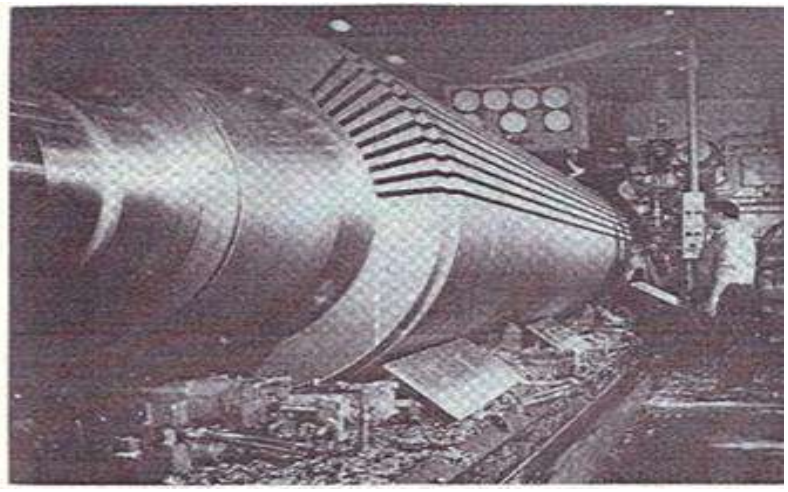


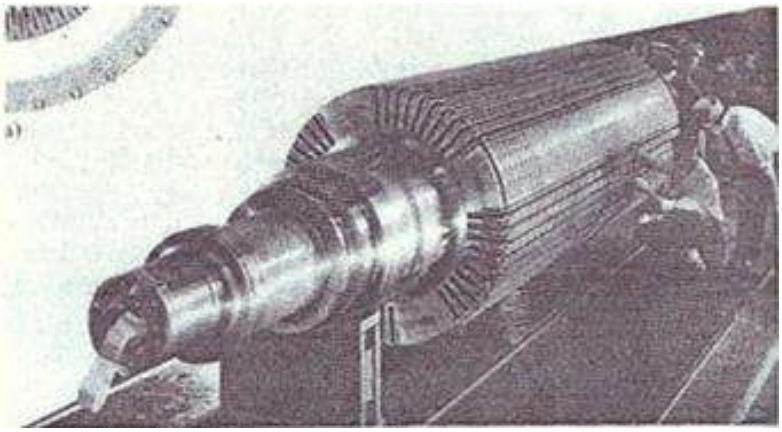
الشكل (2-3) جزء دوار ذو الأقطاب البارزة

الشكل (3-3) مولدة ذات جزء دوار ذي أقطاب بارزة خلال التجميع ويبلغ قطرها 925 سم وطولها 235 سم وعدد المجاري 378 مجرى

ب- الجزء الدوار الاسطواني Cylindrical Rotor:

هذا النوع يستعمل في المولدات ذات السرعات العالية التي تدار بوساطة توربينات غازية أو بخارية حيث تكون السرعة عالية ، ويكون عدد الأقطاب أثنين أو أربعة أقطاب ، وعادة ما يكون قطر المولدة في هذه الحالة صغيراً للحد من قوة الطرد المركزية ، ويكون طولها كبير نسبياً ، وهي تركب مع التوربينات الغازية أو البخارية بحيث يكون محورهما افقياً . كما يجب أن يكون عدد أقطاب الجزء الدوار مساوياً لعدد الأقطاب في الجزء الثابت [الأشكال (3-4) و(3-5) يوضحان ذلك] .





الشكل (3-4) جزء دوار اسطواني اثناء التصنيع ذي اربعة اقطـاب طولـه 375سم وقطره 180 س م

الشكل (3-5)

تتميز المولدات التزامنية ذات الجزء الدوار الاسطواني بعدة مزايا:

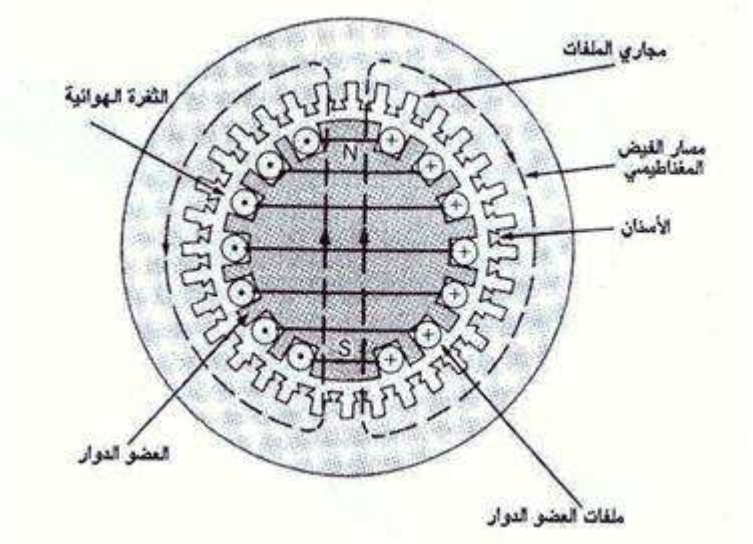
1- تثبيت ملفات الأقطاب المغناطيسية (ملفات الإثارة) داخل مجاري الجزء الدوار يجعلها قوية ومتينة لتتحمل قوة الطرد المركزية .

2- انتظام الفجوة الهوائية حول محيط الجزء الدوار .

3- توزيع الحرارة بانتظام على سطح الجزء الدوار وذلك بسبب توزيع الملفات على عدد من المجاري مما يجعل تبريده منتظماً .

4- انخفاض مستوى الضوضاء وسهولة ضمان توازن الماكنة خلال دورانها .

كما في الشكل (6-3A) .



الشكل (6-3A) مولدة تزامنية ذات جزء دوار أسطواني ذي قطبين

3-4 طرق تبريد المولدات التزامنية

يتم تبريد المولدات التزامنية ذات الجزء الدوار الاسطواني بقدرات حتى 25 ميكاوات باستعمال منظومة التبريد المعلقة التي تستعمل الهواء كوسط للتبريد ، يقصد بالمنظومة المعلقة أن الهواء البارد الذي يلامس السطوح الحارة سوف يسخن ويمرر خلال جهاز خاص لتبريده وتسليطه ثانية على السطوح الحارة .

في المولدات التوربينية التي تزيد قدرتها عن 25 ميكاوات يستبدل الهواء بغاز الهيدروجين كوسط تبريد وله عدة مزايا مقارنه بالهواء وهي :

1- كثافة الهيدروجين تبلغ حوالي 10% من كثافة الهواء ولهذا فان مفاقيد التهوية تقل بحوالي 90% عند استعمال الهيدروجين كبديل عن الهواء لزيادة كفاءة المولدة .

2- التوصيلة الحرارية للهيدروجين تزيد عن تلك التي للهواء مما يحسن من تبريد المولدة وخفض درجة الحرارة ، مما يتيح إمكانية زيادة المقادير المقننة بمقدار يصل إلى 30% .

3- انعدام الاوكسجين والرطوبة المصاحبة للهواء ، يزيل خطر الحريق فيزداد عمر العوازل .

بشكل عام يتحسن تبريد المولدات التزامنية عند استعمال الهيدروجين كوسط تبريد . في المولدات التي تزيد قدرتها على 300 ميكاوات تستعمل طريقة التبريد المباشر اذ يمكن نقل الحرارة المتولدة إلى خارج المولدة مباشرة ، في التبريد المباشر يتم توصيل موصلات ملفات المنتج بحيث تكون مجوفة ، بحيث يمكن إمرار وسيط التبريد من خلالها ليمس السطوح الحارة مباشرة ، كما إن وسيط التبريد قد يكون من الغازات او الهواء او الهيدروجين او من السوائل كالماء وفي حالة استعمال الماء يجب ان يكون الماء المتعمل هو ماء مقطر وخالٍ من الفقاعات ويمر بفلتر للتخلص من المواد القابلة للتمغنط ، إن طريقة التبريد المباشر تحسن من تبريد المولدات التزامنية وتسمح بزيادة كثافة التيار في موصلاتها .

3-5 كيفية عمل المولدات التزامنية

يعتمد عمل المولدات التزامنية اساسا عملها على ظاهرة الحث الكهرومغناطيسي التي وضعها العالم فراداي وسميت بأسمه وتنص على ما يأتي :

(اذا حركنا سلكا موصلا داخل مجال مغناطيسي وقاطعاً لهذا المجال أو بالعكس سوف تنشأ في هذا الموصل قوة دافعة كهربائية يعتمد مقدارها على سرعة قطع المجال المغناطيسي وطول سلك الموصل وكثافة الفيض المغناطيسي) . وحسب المعادلة الاتية:

$$E = B \cdot L \cdot V \qquad \text{Volt} \text{ ---------- (1-3)}$$

عندما تكون زاوية قطع المجال مع الملف (90°) .

أذ أن :

E: القوة الدافعة الكهربائية المتولدة

B: كثافة الفيض المغناطيسي

L: طول سلك الموصل

V: سرعة قطع المجال المغناطيسي

وعلى هذا الاساس يدار الجزء الدوار للمولدة التزامنية بوساطة وسيلة تدوير مناسبة (محرك ديزل أو توربين غازي أو بخاري او مائي) وعندما تصل سرعة الجزء الدوار الى السرعة التزامنية يتم تغذية

ملفات الجزء الدوار بالتيار المستمر بوساطة مولد خاص مركب على محور الدوران نفسه يسمى المثير او المغذي (Exciter) وعن طريق حلقتي انزلاق ان كانت التغذية من مولد خارجي ، لذا ينتج في الثغرة الهوائية مجال مغناطيسي دوار يدور بسرعة الجزء الدوار (السرعة التزامنية) ولذلك سميت هذه المولدات بالمولدات التزامنية .

هذا المجال المغناطيسي الدوار لملفات الجزء الثابت الثلاثية ويولد في كل ملف قوة دافعة كهربائية متناوبة طبقاً لمبدأ الحث الكهرومغناطيسي،هذه القوة الدافعة الكهربائية المتولدة في المنتج (الجزء الثابت) ستكون قوة دافعة كهربائية ثلاثية الاطوار بين كل طور واخر 120 درجة وذلك لان الجزء الثابت يحمل ثلاث ملفات بين كل ملف واخر زاوية فراغية قدرها 120 درجة ، وتعتمد قيمة القوة الدافعة الكهربائية على شدة المجال المغناطيسي وسرعة الجزء الدوار وحيث ان سرعة الجزء الدوار يجب أن تكون ثابتة للحصول على تردد ثابت ، لذا فان الخيار الوحيد للتحكم بقيمة القوة الدافعة الكهربائية هو التحكم بشدة المجال المغناطيسي وذلك بتغير قيمة التيار المستمر الداخل إلى ملفات الجزء الدوار ، تردد القوة الدافعة الكهربائية المتولدة في المنتج يعتمد على سرعة الجزء الدوار وعدد الأقطاب وبحسب من المعادلة الاتية :

$$F = \frac{n.p}{120} \quad Hz$$ ---------- المعادلة (2- 3)

القيمة الفعالة للقوة الدافعة الكهربائية المتولدة في ملفات المنتج بالفولت لكل طور فتعطى بالمعادلة الاتية :

$$E_{ph} = \sqrt{2}.\ \pi\ .\ f\ .\Phi.\ T_{ph}\ .\ Kw \quad Volt$$ ---------- (3-3)

$$E_{ph} = 4.44\ .\ f\ .\Phi.\ T_{ph}\ .\ Kw \quad Volt$$ ---------- (4-3)

أذ أن :

P: عدد الاقطاب

f: التردد بالهيرتز

Φ : شدة المجال المغناطيسي بالويبر

T_{ph}: عدد اللفات في كل طور

Kw: معامل اللف (أقل من 1)

الدائرة المكافئة للمولدات التزامنية :

إن الثغرة الهوائية غير المنتظمة في المولدات التزامنية ذات الأقطاب البارزة ستضفي بعض التعقيد على الدائرة المكافئة للمولدة التزامنية لذا فإننا هنا سنفترض أن الثغرة الهوائية منتظمة أي أننا سنفترض أن الموادة التزامنية ذات عضو دائر اسطواني ، كما أن هذا الافتراض يعطي نتائج مقبولة في حالات المولدات التزامنية ذات الأقطاب البارزة عندما تعمل في حالة الاستقرار . إن الجهد المتولد في ملفات المنتج E_{ph} والمعطى بالمعادلة (3-4) يعتبر الجهد الداخلي للمولد ولا يظهر على أطراف المنتج إلا في حالة عدم التحميل ، أما في حالة تحميل المولد فإنه سيظهر جهد آخر مختلف على أطراف المنتج يسمى الجهد الخارجي V_{ph} ، سبب الاختلاف بين الجهدين يعود لعدة عوامل منها :

رد فعل المنتج (Armature Reaction) ، ويمكن التعبير عنه بفرق جهد عالي ممانعة حثية (X_a).

مقاومات ملفات المنتج ويمكن التعبير عنها بفرق جهد على مقاومة (R_a).

وممانعة التسرب لملفات المنتج يمكن التعبير عنها بفرق جهد على ممانعة حثية (X_L).

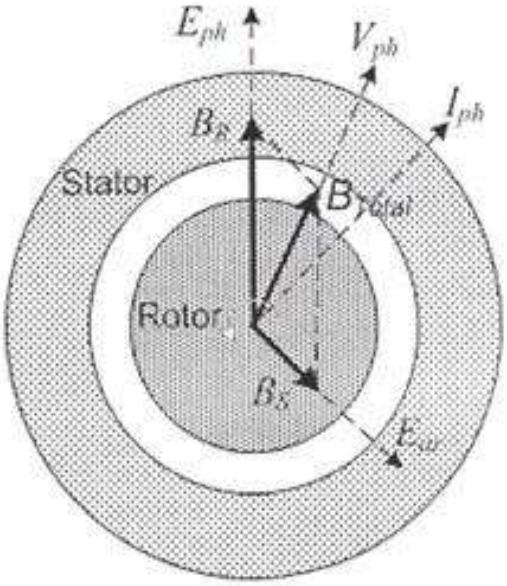
3 -6 رد فعل المنتج Armature Reaction

عند تحميل المولد التزامني سوف ينشأ في كل طور من اطوار الجزء الثابت الثلاثة تيار كهربائي ، واذ إن ملفات الجزء الثابت رتبت بحيث يفصل بين كل طور واخر زاوية مقدارها 120 درجة كهربائية ، فأن التيارات المارة في هذه الاطوار سيكون بين كل تيار واخر زاوية طور مقدارها 120 درجة كهربائية ونتيجة لمرور هذه التيارات مجتمعة بهذه الصفة سيتولد مجال مغناطيسي دوار في الجزء الثابت يدور بالسرعة بنفسها واتجاه دوران المجال المغناطيسي الدوار الناتج من ملفات الجزء الدوار ، هذا المجال المغناطيسي الجديد هو ما يسمى برد فعل المنتج كنتيجة لمرور تيارات كهربائية في ملفات المنتج خلال التحميل .

أذن المجال المغناطيسي المؤثر في الثغرة الهوائية هو محصلة المجالين المتولدين من الجزء الدوار والجزء الثابت ، وكما أن المجال المغناطيسي المتولد من الجزء الدوار سينتج جهداً في ملفات الجزء الثابت E_{ph} ، كذلك المجال المغناطيسي الناتج بسبب رد فعل المنتج سينتج جهداً في الملفات الجزء الثابت هو E_{ar} ولذا فان الجهد الذي سيظهر على اطراف المولد V_{ph} هو محصلة هذين الجهدين أو لنقل الجهد المتولد بسبب محصلة المجال المغناطيسي في الثغرة الهوائية B total، الشكل (6-3B) .

$$B_{total} = B_R + B_S \quad \text{---------- (5-3)}$$

$$V_{ph} = E_{ph} + E_{ar} \quad \text{---------- (6-3)}$$



الشكل (6-3B) المجالات المغناطيسية في المولدات التزامنية أثناء التحميل

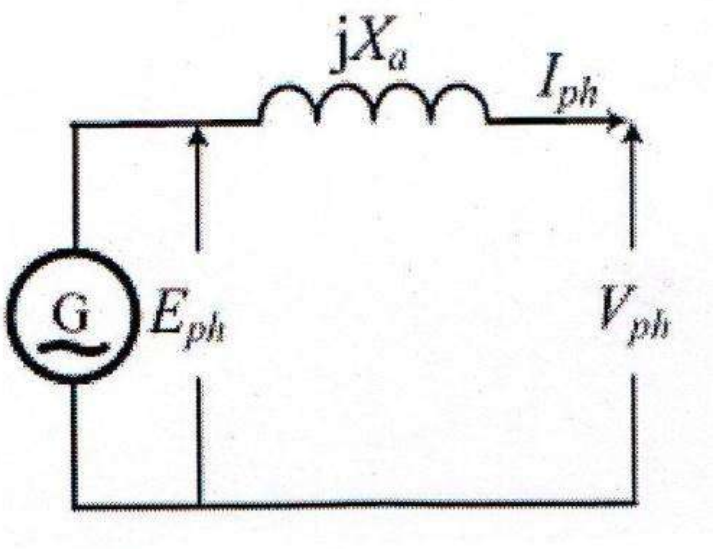
في الشكل (6-3B) نجد ان التيار I_{ph} نتج بسبب تحميل المولدة بحمل حثي، وذلك لانه متأخر عن الجهد E_{ph} بزاوية ما، هذا التيار بدوره أوجد المجال المغناطيسي Bs الذي بدوره أنتج جهداً في ملفات المنتج هو E_{ar}، هذا الجهد E_{ar} الناتج بسبب رد فعل المنتج يتناسب طردياً مع التيار المسبب له كما أنه متأخر عنه بزاوية قدرها 90 درجة وبناءً عليه نستطيع ان نعبر عن هذا الجهد المتولد بسبب رد فعل المنتج بما يأتي :

$$E_{ar} = - jx_a \cdot I_{ph}$$ ---------- المعادلة (7-3)

نعوض المعادلة (7-3) في المعادلة (6-3) فينتج عنها المعادلة آلاتية:

$$V_{ph} = E_{ph} - jx_a \cdot I_{ph}$$ ---------- (8-3)

المعادلة (8-3) يمكن ان نمثلها بالدائرة المبينة في الشكل (7-3) .



الشكل (3-7) دائرة تمثيل رد فعل المنتج

اذن: الجهد المتولد بسبب رد فعل المنتج يمكن التعبير عنه بالجهد المتولد على ممانعة حثية موصلة على التوالي مع مصدر الجهد الداخلي وتسمى (Armature Reaction Reactance) وفضلا عن تأثير رد فعل المنتج هنالك أيضاً تاثير لمقاومة المنتج ولمفاعلة التسرب الحثية لملفات المنتج (Armature Leakage Reactance) فاذا حسبنا مقاومة ملفات المنتج هي R_a ومفاعله التسرب الحثية لملفات المنتج هي X_1 . فأن جهد أطراف المولد يصبح كما يأتي :

$$V_{ph} = E_{ph} - R_a.I_{ph} - j\,X_1 \,.\, I_{ph}$$ ---------- المعادلة (3-9)

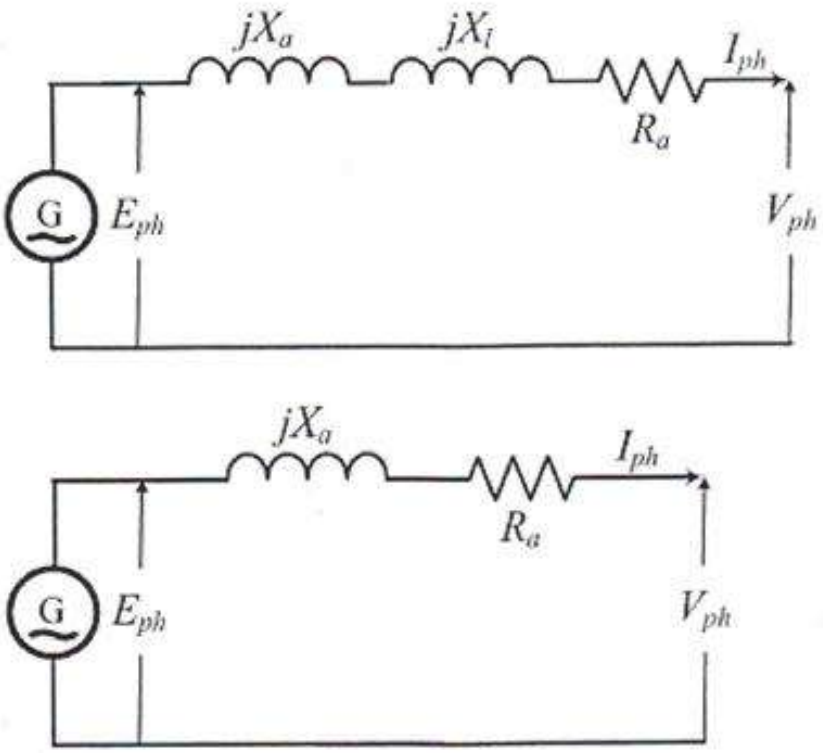
من اجل تبسيط المعادلة (3-9) يمكننا جمع Armature Leakage Reactance ممانعة التسرب الحثية لملفات المنتج X_1 مع Armature Reaction Reactance الممانعة الحثية التي تمثل رد فعل المنتج X_a لتصبح ممانعة حثية واحدة تسمى الممانعة التزامنية (Synchronous Reactance) X_s .

$$X_s = X_a + X_1$$ ---------- المعادلة (3-10)

وبالتالي يحسب جهد اطراف المولد كما يأتي :

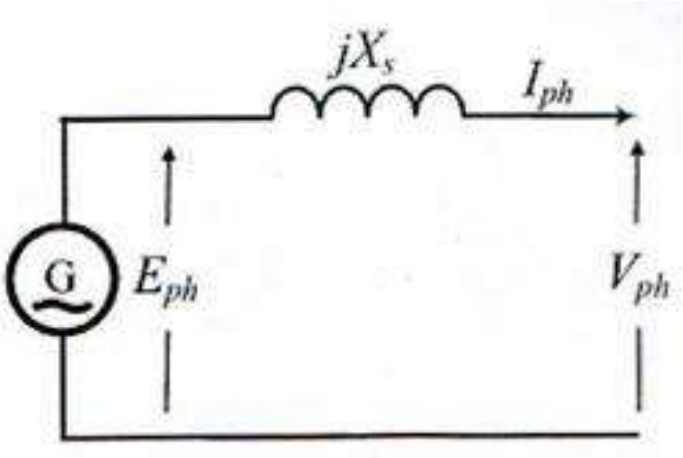
$$V_{ph} = E_{ph} - R_a \,.\, I_{ph} - j\,X_s \,.\, I_{ph}$$ ---------- المعادلة (3-11)

هذه المعادلة النهائية التي يحسب منها جهد اطراف المولد لكل طور ، من هذه المعادلة يمكننا ان نرسم الدائرة المكافئة للمولدة التزامنية كما هو موضح في الشكل (3- 8) مع ملاحظة انها تمثل طوراً واحداً فقط من اطوار المنتج .



الشكل (3-8) الدائرة المكافئة للمولدات التزامنية

الشكل (3-8) يمثل الدائرة المكافئة للمولدات التزامنية ذات العضو الدائر الاسطواني في صورتها النهائية ، وهي تعطي نتائج مقبولة في حالة المولدات التزامنية ذات الاقطاب البارزة عندما تعمل في حالة الاستقرار، كما انه يمكن تبسيط هذه الدائرة وذلك باهمال مقاومة ملفات المنتج نظراً لصغرها مقارنة بالممانعة التزامنية خصوصاً في المولدات الكبيرة فتصبح الدائرة المكافئة التقريبية كما هو موضح في الشكل (3-9).



الشكل (3-9) الدائرة المكافئة التقريبية للمولدات التزامنية

وفي هذه الحالة يحسب جهد الأطراف لكل طور كما يأتي:

$V_{ph} = E_{ph} - jX_s \cdot I_{ph}$ ---------- المعادلة (3-12)

3-7 معامل تنظيم الجهد للمولد Voltage Regulation

يعرف معامل تنظيم الجهد بأنه التغيرُ الحاصل في جهد الاطراف من حالة اللا حمل الى حالة الحمل الكامل منسوباً الى الجهد عند الحمل الكامل ، وهو من المعاملات الهامة في المولدات التزامنية وذلك لانه يعطي فكرة عن مدى التغير الذي يحدث في قيمة الجهد على اطراف المولد بين اللاحمل والحمل الكامل عند معامل قدرة محدد ، كما انه مؤشر للدلالة على جودة المولد عند المقارنة بين المولدات ويكتب رياضياً كما يأتي :

$$\text{Per unit voltage Regulation} = V.R = \frac{Eph - Vph}{Vph} \quad \text{---------- (3-13)}$$

إن معامل القدرة له تأثير كبير على جهد الأطراف للمولد، فعندما يحمل المولد بحمل ذي معامل القدرة متأخر نجد أن جهد الأطراف ينخفض مع زيادة الحمل، بينما عند تحميله بحمل ذي معامل قدرة متقدم نجد أن جهد الأطراف يرتفع مع زيادة الحمل .

3-8 تشغيل المولدات التزامنية على التوازي

من النادر جداً ان يوجد مولد تزامني وحيد يغذي حملاً مستقلاً ماعدا حالات خاصة كالمولدات المعدة لحالات الطوارىء ، عادةً توصل المولدات التزامنية على التوازي مع بعضها البعض لامداد الاحمال

بالقدرة المطلوبة ، خصوصاً اذا كانت قدرة المولد الواحد غير كافية لتغذية ألاحمال في منطقة ما ، وذلك مانجده في جميع محطات توليد الطاقة الكهربائية.

ان منظومات القدرة الكهربائية الحديثة تعتمد في الاساس على عمل عدد من محطات التوليد الكهربائية المربوطة على التوازي للعمل مع بعضها البعض لهدف ضمان أستمرارية تجهيز الطاقة الكهربائية وتحقيق أعلى مؤشر اقتصادي في جانب توليد ونقل وتوزيع الطاقة الكهربائية ، ولما كانت محطة التوليد الواحدة تتكون من عدد من المولدات التزامنية المربوطة مع بعضها على التوازي ، فان منظومة القدرة الكهربائية تتكون في الواقع من عشرات المولدات التزامنية المربوطة مع بعضها على التوازي لتجهيز قدرة كهربائية فائقة . أن قدرة أي مولد عند النظر اليه بصورة منفردة ، تعد ضئيلة مقارنة مع قدرة المنظومة ولهذا عند اختلال عمل هذا المولد المنفرد فأن جهد المنظومة وترددها يبقيان ثابتين دون تغيير، فتسمى منظومة القدرة في هذه الحالة بمنظومة القضبان اللانهائية (Infinite Bus Bar) .

3-8-1 مميزات تشغيل المولدات التزامنية على التوازي

المولدات المربوطة على التوازي تستطيع أن تغذي أحمالا اكبر من الحمل الذي يغذيه مولد واحد .

وجود عدة مولدات مربوطة على التوازي يزيد من اعتمادية النظام ، لأنه في حالة تعطل أي مولد فان المولدات الأخرى تتقاسم حصة ذلك المولد.

وجود عدة مولدات مربوطة على التوازي يسمح بإجراء أعمال الصيانة لمولد او أكثر دون قطع الطاقة الكهربائية عن الأحمال .

كفاءة عدة مولدات مربوطة على التوازي اكبر من كفاءة مولد واحد مكافئ لها خصوصاً عندما تكون الأحمال صغيرة .

3-8-2 شروط توصيل المولدات التزامنية على التوازي

لربط المولد التزامني على التوازي مع منظومة القدرة يجب تحقيق بعض الشروط المعينة قبل غلق مفتاح الربط تسمى عملية ربط المولدات التزامنية على التوازي بعملية التزامن (Synchronization) بحسب الشروط الاتية :

1- القيمة الفعالة (r.m.s value) لجهد الأطراف في كلا المولدين يجب أن تتساوى .

2- التردد يجب أن يكون متساوياً في كلا المولدين .

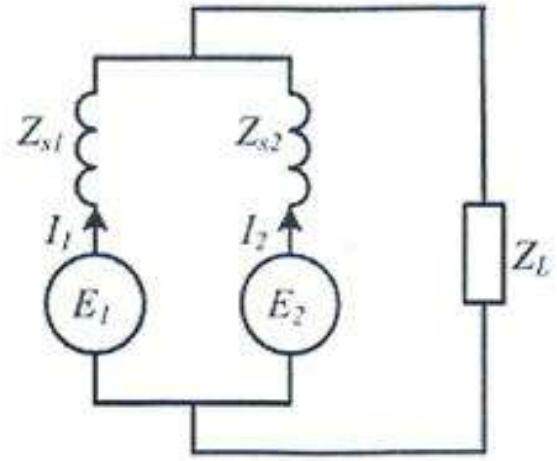
3- تتابع الأطوار لكل من المولدين يجب أن يكون هو نفسه أما ABC او ACB .

4- يجب أن تكون الجهود في الطور نفسه (زاوية الطور للوجه a متساوية في كلا المولدين) .

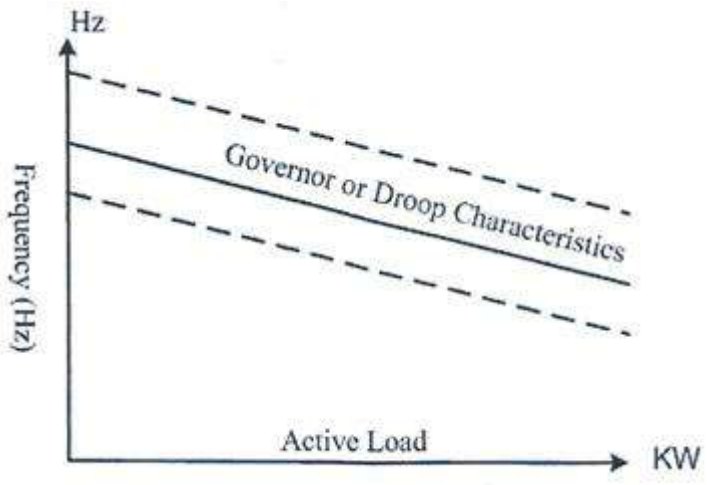
وعند تحقيق هذه الشروط يمكن توصيل المولدين على التوازي بأمان ، اما عند توصيل المولدين في حالة عدم تحقق واحد او اكثر من هذه الشروط فان ذلك يؤدي الى حدوث اضرار كبيرة قد تؤدي الى تلف ملفات المولد بسبب مرور تيار كبير فيها .

3-9 كيفية توزيع الأحمال بين المولدات التزامنية الموصلة على التوازي

بعد أن تعرفنا على شروط توصيل المولدات على التوازي نأتي الآن إلى كيفية توزيع الحمل بين مولدين متزامنين موصلين على التوازي الشكل (3-10) ولشرح ذلك نبدأ بتعريف منحنى خواص المنظم للمولد (Governor or Droop Characteristics).



الشكل (3-10) مولدان متزامنان موصلان على التوازي



الشكل (3-11) منحنى خواص المنظم للمولد

هو عبارة عن خط مستقيم يمثل العلاقة بين تردد أو (سرعة) المولد والحمل بالكيلووات ، وهو ينخفض خطياً ابتداء من التردد عند اللاحمل الى التردد عند الحمل الكامل ، هذا الانخفاض في التردد عادة ما يضبط بحيث يكون من 4 الى 6 % عند الحمل الكامل ، ويمكن تحريك الخط المستقيم إلى أعلى والى أسفل بتغيير خواص المنظم كما هو موضح بالخطوط المتقطعة الشكل (3-11).

لتوضيح كيفية حساب توزيع الأحمال بين مولدين موصلين على التوازي باستعمال منحنى خواص المنظم للمولد نأخذ المثال (1) .

مثال (1)

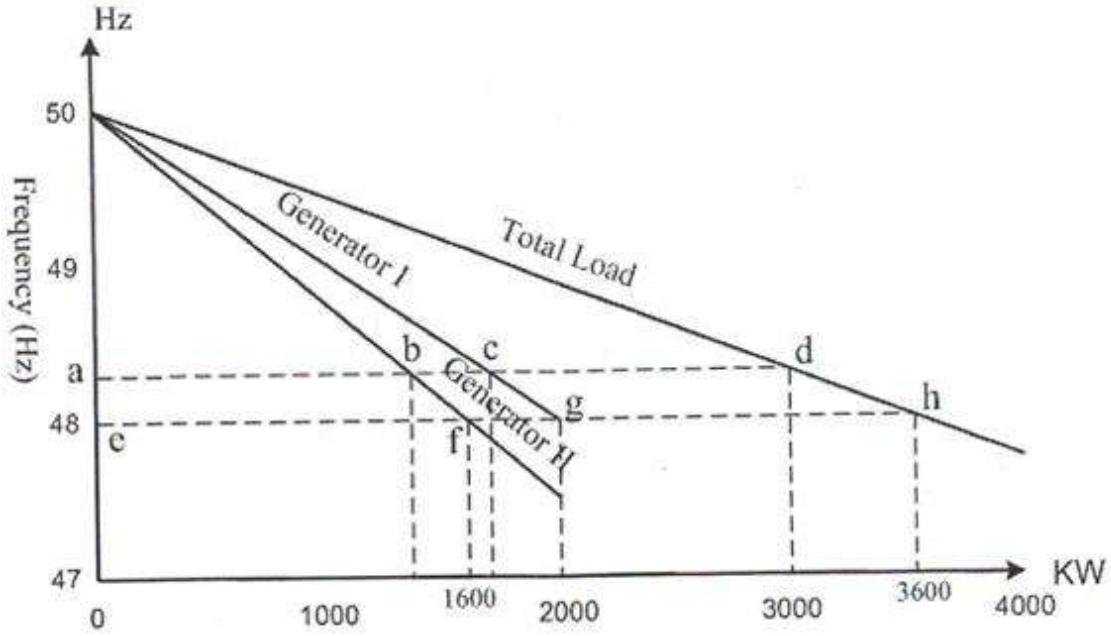
مولدان متزامنان موصلان على التوازي قدرة كل منهما 2000 كيلوفولت أمبير، منحنى خواص المنظم للمولد الاول ينخفض خطياً من 50 هيرتز عند اللاحمل حتى 48 هيرتز عند الحمل الكامل ، منحني خواص المنظم للمولد الثاني ينخفض خطياً من 50 هيرتز عند اللاحمل حتى 47.5 هيرتز عند الحمل الكامل :

كيف يقتسم المولدان قدرة فعالة مقدارها 3000 كيلووات ؟

ما اقصى حمل يتحمله المولدان معاً دون زيادة التحميل على اي منهما ، وكيفية توزيع ذلك الحمل بين المولدين ؟

الحل:

1- نرسم منحنى خواص المنظم لكل مولدة ، الذي هو عبارة عن خط مستقيم ، يتحدد الخط الاول للمولدة الاولي بالنقطتين (50.0) و (48.2000) كما يتحدد الخط الثاني للمولـدة الثانية بالنقطتين (0-50) و (2000-47.5) . ثم نقوم بجمع الاحداثيين الافقيين لهذين المنحنيين عند تردد معين ، للحصـول على نقطة على المنحنى (الخط) المحصل للمولدتين معا عند التردد نفسه (الخط abcd) ، ثم نرسم المنحني المحصل الذي يمثل الحل الكلي للمولدتين معاً الخط (dh) وامتداده كما هو مبين في الشكل (3-12) لمعرفة توزيع الحمل الكلي البالغ 3000 كيلووات بين المولدين ، نحدد النقطة المناظرة لهذا الحمل على المنحنى المحصل ، ثم نرسم خطاً افقياً (abcd) ، تقاطع هذا الخط مع منحنيات خواص المنظم لكل مولدة يعطي الحمل على كل مولدة ، كما هـو مبين في الشكل (3-12) ، من هذا المنحني نجد ان الحمل على المولدة الاولي هو 1666 كيلووات وعلى المولدة الثانية هو 1334 كيلووات ، يلاحظ ان المولدة الاولى تأخذ حملاً اكبر من المولدة الثانية دائماً ، لان معدل هبوط التردد مع الحمل فيها أقل من الثانية .



الشكل (3-12) حل المثال (1)

2-لكي نوجد أقصى حمل يتحمله المولدان معاً دون زيادة التحميل على احداهما عن الحمل الكامل ، يراعى ان تأخذ المولدة الاولى 2000 كيلووات فقط كحد أقصى للحمل عليها ، ثم يحدد الحمل على المولدة الثانية بالطريقة السابقة نفسها خط (efgh) ، نجد انه يبلغ 1600 كيلووات فقط في هذه الحالة.

3-10 توصيل المولدات التزامنية الى قضبان لانهائية

تعد عملية توصيل المولد التزامني الى قضبان لانهائية Infinite Bus Bars عملية مشابهة لتوصيل المولد التزامني على التوازي مع مولد اخر كبير جداً لان القضبان اللانهائية اشبه بمولد ذي قدرة غير محدودة ، ولاتمام هذه العملية يجب ان تتحق الشروط السابقة قبل عملية التوصيل ، وللتاكد من تحقق تلك الشروط تجري عملية التزامن وعملية التزامن هذه تجري بعدة طرق نذكر منها طريقتين:

1- طريقة المصابيح المضيئة:

في هذه الطريقة توصل ثلاثة مصابيح بين المولد والقضبان اللانهائية حيث يوصل المصباح الاول بين الخطين a، a' والثاني بين الخطين b، b' والثالث بين الخطين c ، c' كما يوصل ثلاثة اجهزة فولتميتر ، V s بين الوجهين a،a' وVm لقياس جهد المولد و Vb لقياس جهد القضبان اللانهائي

، كذلك يتم توصيل جهازين لقياس تردد المولد والقضبان اللانهائية ، كما موضح في الشكل (3-13)

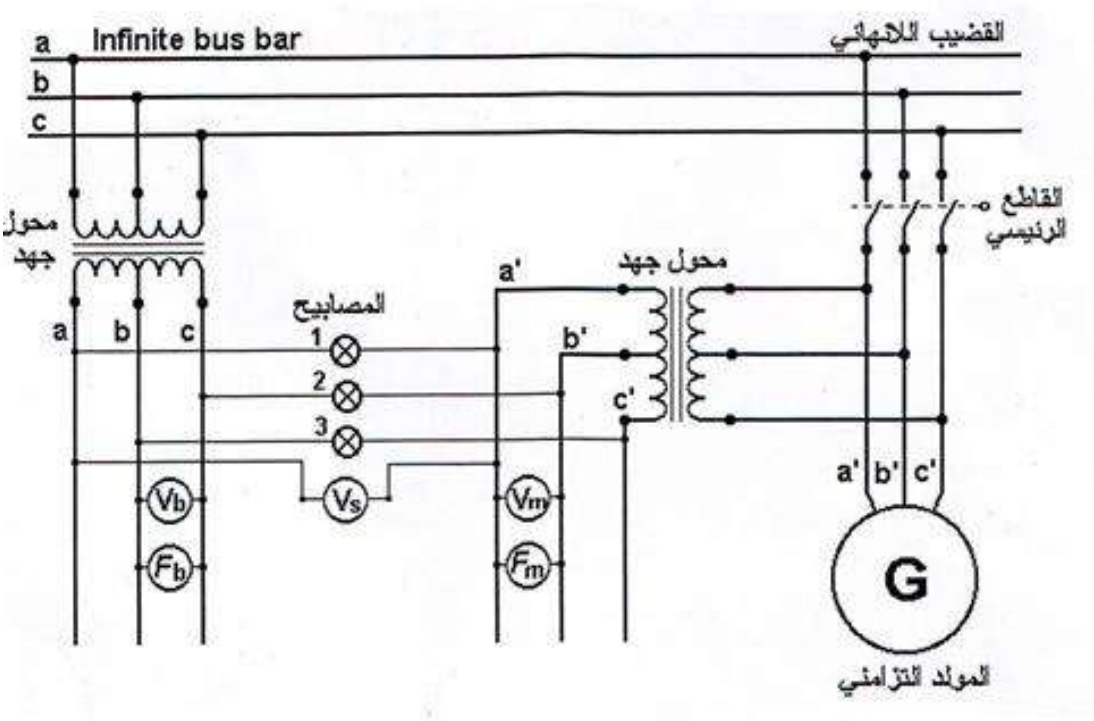
وبهذه الطريقة يمكن التأكد من تحقق شروط التزامن الأربعة كما يأتي:

لكي يتحقق الشرط الاول ، يجب أن تتساوى قراءة اجهزة قياس الجهد ($V_m=V_b$) .

لكي يتحقق الشرط الثاني ، يجب أن تتساوى قراءة اجهزة قياس التردد ($F_m = F_b$) .

الشرط الثالث يتحقق عندما يكون انطفاء واشتعال المصابيح بشكل منتظم .

الشرط الرابع يتحقق عندما يكون فرق الجهد بين طورين متماثلين في المولد والقضبان (الشبكة) مساو للصفر ($Vs = 0$).



الشكل (3- 13) توصيلة عملية التزامن بطريقة المصابيح المضيئة

اما عملية التزامن فيتم أجراؤها كما يأتي :

يرفع جهد أطراف المولد حتى يكون مساوياً لجهد القضبان (الشبكة) ($V_m = V_b$) وذلك بزيادة تيار المجال تدريجياً .

يضبط تردد المولد بحيث يكون قريباً من تردد الشبكة أو القضبان وذلك بزيادة سرعة الدوران عند محاولة ضبط سرعة الدوران تحدث أحدى حالتين بالنسبة للمصابيح:

الحالة الاولى: جميع المصابيح تضيء وتنطفيء بشكل عشوائي وهذا يعني ان شرط تتابع الاطوار للمولد والقضبان مختلف وعندها يجب المبادلة بين أي طرفين من اطراف المولد من اجل عكس تتابع اطوار المولد وبعدها نلاحظ ان اضاءة المصابيح اصبحت بشكل منتظم ومتتابع .

الحالة الثانية: جميع المصابيح تضاء وتنطفيء بشكل منتظم ومتتابع وهذا يعني ان تتابع الاطوار للمولد والقضيب اللانهائي متماثل .

اذا تحققت الحالة الثانية يبقى ضبط التردد وذلك عن طريق التحكم بالسرعة التزامنية للمولدة ، ويتضح ذلك في سرعة تتابع الاضاءة فاذا زادت سرعة تتابع اضاءة المصابيح يلزم زيادة او تقليل سرعة المولد بحيث يكون تتابع اضاءة المصابيح بطيئاً قدر الامكان وفي اللحظة التي يكون فيها ($V_s = 0$) او المصباح الاول منطفئاً بينما الثاني والثالث مضاءان يكون الشرط الرابع قد تحقق ، في هذه اللحظة تكون المولدة في لحظة تزامن مع القضيب اللانهائي وعندها يمكن أغلاق القاطع الرئيس بأمان.

2- باستعمال جهاز التزامن (السينكروسكوب) (Synchroscope):

أستعمال جهاز التزامن اسهل واكثر اعتمادية من طريقة المصابيح المضيئة وهو يستعمل للتاكد من ان جهد المولد في نفس الطور مع جهد القضبان اللانهائية وان لهما نفس التردد . ويتكون جهاز التزامن الشكل (3-14) من محرك حثي يتعرض لمجالين مغناطيسيين الاول من القضبان اللانهائية والاخر من المولد التزامني ، العضو الدائر مركب عليه مؤشر يدور اتجاه او عكس اتجاه عقارب الساعة ، ويعتمد ذلك على تردد المولد التزامني،اذا كان تردد المولد اعلى من تردد القضبان اللانهائية ، يدور المؤشرمع عقارب الساعة أي في الاتجاه (Fast) واذا كان تردد المولد اقل من القضبان اللانهائية يدور المؤشر عكس عقارب الساعة أي في الاتجاه (Slow) ، وعندما يقف المؤشر بشكل عمودي (في مكان الساعة 12) فهذا يعني ان ترد المولد مساو لتردد القضبان اللانهائية وأن جهد المولد في نفس الطور مع جهد القضبان اللانهائية عند هذه الحالة يمكن توصيل المولد التزامني بالقضبان اللانهائية بامان عن طريق القاطع الرئيس. اما اذا توقف المؤشر في أي مكان عدا مكان (الساعة 12) فهذا يعني ان تردد المولد مساو لتردد القضبان اللانهائية ولكن جهد

المولد ليس في نفس الطور مع جهد القضبان اللانهائية وأن الزاوية بين الطورين تحدد بمكان وقوف المؤشر .

يستعمل جهاز التزامن (Synchroscope) كجزء من لوحة التزامن الشكل (3-14) التي تضم ايضاً جهازين لقياس الجهد وجهازين لقياس التردد (Frequency Meters) ، في المحطات الحديثة لتوليد الطاقة الكهربائية تتم عملية التزامن الياً دون تدخل أي من العاملين في المحطة سوى مراقبة أجهزة القياس من غرفة التحكم .

جهاز التزامن

لوحة التزامن

الشكل (3-14)

أسئلة الفصل الثالث

1- لماذا سميت المولدات التزامنية بهذا الاسم ؟

2- ما أساس عمل المولد التزامني ؟

3- اجب بصح أو خطأ عن العبارات الاتية :

4- يفضل أن يكون الجزء الثابت للمولد ملفات انتاج الطاقة الكهربائية .

5- يتكون القلب الحديدي في الجزء الثابت من قطعة حديدية واحدة .

6- الجزء الدوار يحمل ملفات الاقطاب للحصول على المجال المغناطيسي حيث يتم تغذيته بتيار مستمر عن طريق حلقتي الانزلاق .

7- يتم تشغيل المولدات مع بعضها بالتوالي للحصول على قدرة اكبر .

8- عند تحميل المولد التزامني سوف ينشأ في كل طور من الاطوار الثلاثة للجزء الثابت تيار كهربائي.

9- أذكر أنواع الجزء الدوار في المولد التزامني واين يستعمل كل نوع ؟

10- ما مزايا وضع ملفات المنتج للمولدات التزامنية في الجزء الثابت ؟

11- كيف يمكن التحكم بمقدار القوة الدافعة الكهربائية المتولدة في ملفات المنتج ؟

12- هل من المناسب زيادة القوة الدافعة الكهربائية المتولدة في ملفات المنتج عن طريق زيادة سرعة الدوران ؟

13- كيف يمكن التحكم في تردد المولد التزامني ؟

14- ما الفروق الاساسية بين المولدات التزامنية التي تدار بتوربين مائي وتلك التي تدار بتوربين بخاري أو غازي ؟

15- ما المقصود برد فعل المنتج؟

16- ما الممانعة التزامنية ؟

17-ما المقصود بمعامل تنظم الجهد ؟

18-ما أهمية معرفة معامل تنظيم الجهد للمولد؟

19-أي المولدات افضل ان يكون معامل تنظيم الجهد لها كبير أم صغير ؟

20-لماذا يفضل ربط المولدات التزامنية على التوازي ؟

21-ما الشروط الواجب توافرها قبل توصيل مولدتين على التوازي ؟

22-ما جهاز التزامن ؟

23-ما المقصود بالقضبان اللانهائية ؟

24-بعد توصيل المولد التزامني بالقضبان اللانهائية ، هل يمكن التحكم بسرعته ؟

25-متى يفقد المولد التزامني تزامنه مع الشبكة الكهربائية؟

الفصل الرابع

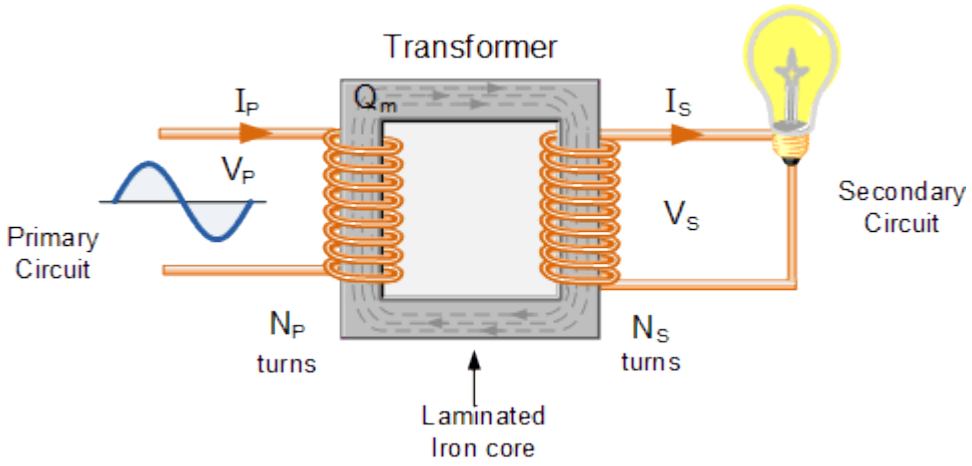
المحولات الكهربائية
Electric Transformers

1-4 تمهيد

في هذا الفصل يتعلم الطالب تركيب المحولات الكهربائية أحادية الطور وثلاثية الطور ومبدأ تشغيلها وأستخداماتها في المجالات الحياتية وأهميتها في الصناعة ونظرية اشتغالها وطرق توصيلها وخاصة محولات ثلاثية الطور وحساب كفائتها والفقدان الحاصل في ملفاتها وفي قلبها الحديدي (المفاقيد المتغيرةوالثابتة) وطـرق تبريدها وحساب كفاءتها رياضيا بأستعمال القوانين الرياضية المطلوبـة والاستعانة بالرسومات التوضيحية للمحولات عند الشرح .

2-4 المحولة الكهربائية Transformer

وهو جهاز كهربائي من أجهزة التيار المتناوب الساكنة تستعمل لرفع او خفض الجهد (الفولتية) وبذلك ينقص أو يزداد التيار وتتجلى أهمية أستعمال التيار المتناوب كمصدر للطاقة الكهربائية بدلا من التيار المستمر وتتركب المحولة بأبسط اشكالها من ملفين معزولين كهربائيا بعضهما عن بعض ملفوفين على قلب من الحديد المطاوع بشكل صفائح رقيقة (Laminated Iron Core) معزولة عزلا كهربائيا بعضهما عن بعض ويتصل احد الملفين بمصدر التيار المتناوب لادخال الجهد (الفولتية) (V_1) يسمى الملف الابتدائي ويرمز لعدد لفاته (N_1) بينما الملف الاخر يخرج منه الجهد (الفولتية) (V_2) والتي تجهز الى الحمل ويسمى بالملف الثانوي ويرمز بعدد لفاته (N_2) كما في الشكل (4-1) .



الشكل (4-1) التركيب الاساس للمحول

حيث أن:

$V_1 = V_P$ الجهد الابتدائي (الفولتية الابتدائية) الداخلة في الملف الابتدائي (فولت)

$V_2 = V_S$ الجهد الثانوي (الفولتية الثانوية) المجهزة للحمل (فولت)

$I_1 = I_P$ التيار الابتدائي (امبير)

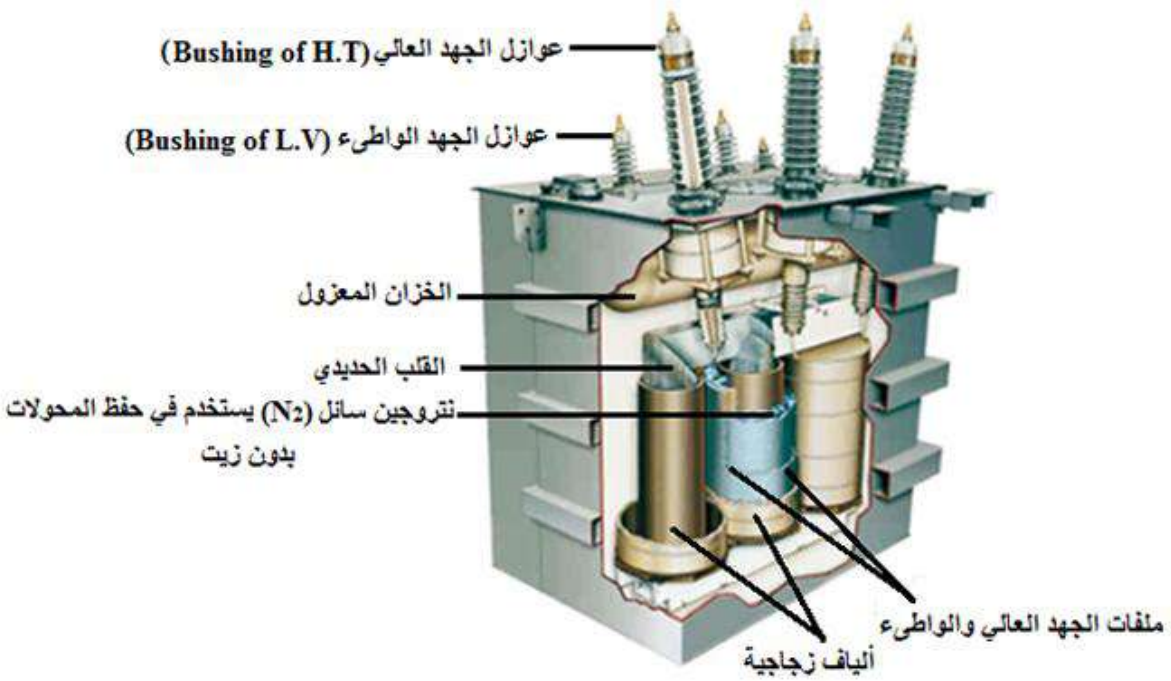
$I_2 = I_S$ التيار الثانوي المار في الحمل (امبير)

$N_1 = N_P$ عدد لفات الملف الابتدائي

$N_2 = N_S$ عدد لفات الملف الثانوي

Q_m: تمثل القيمة العظمى للفيض المغناطيسي (ويبر) الحاصل نتيجة سريان التيار الابتدائي خلال الملف الابتدائي والتي ستقطع الملف الثانوي (N_2) .

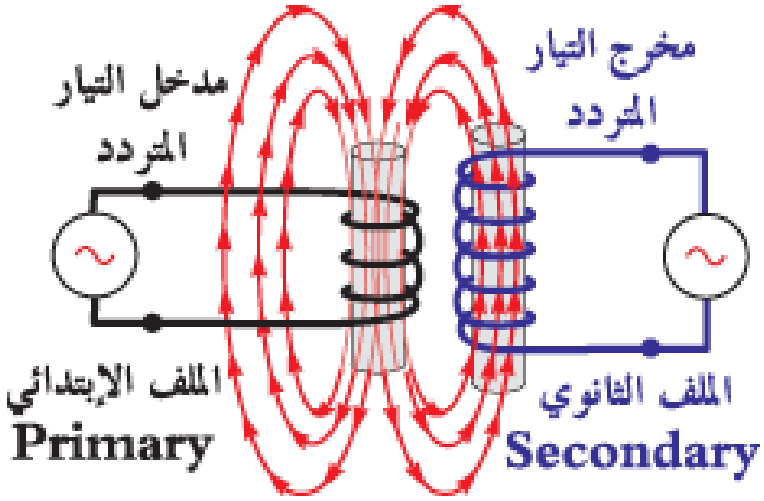
وفي كثير من الاحيان وخاصة المحولات ذات القدرات العالية توضع العناصر الاساسية للمحولة داخل خزان أو وعاء (Tank) بحيث يكون هذا الخزان معزول عن باقي المكونات الاساسية بوسط مناسب كالهواء أو الزيت أوسائل النتروجين كما تعزل أطراف الملفات عن الخزان بوساطة عوازل خاصة تسمى (Bushings) كما في الشكل (4 -2) .



الشكل (4 -2) يبين الشكل لمحولة كهربائية يتضح فيها الملفات داخل وعاء (Tank)

3-4 مبدأ عمل المحولة

يعتمد عمل المحولة الكهربائية على مبدأ الحث المتبادل بين ملفين متجاورين بينهما تواشج مغناطيسي تام يوفره القلب الحديدي المغلق والذي يولده التيار المتناوب في دائرة الملف الابتدائي، كما في الشكل (4 -3) فعند انسياب تيار متناوب في الملف الابتدائي للمحولة يولد مجالامغناطيسيا متغيرا داخل القلب الحديدي فيشج (يتشابك) هذا المجال الملف الثانوي كما يشج الملف الابتدائي.



الشكل (4-3) يبين الشكل مبدأ عمل المحولة الكهربائية (الحث المتبادل) ويتضح تشابك خطوط المجال المغناطيسي

4-4 نسبة التحويل في المحولة Transformation Ratio (T.R)

وهي النسبة بين عدد لفات الملف الثانوي (N_2) الى عدد لفات الملف الابتدائي (N_1)

$$T.R = N_2 / N_1 \quad \text{---------- (1-4)}$$

وبما أن القوة الدافعة الكهربائية المتولدة (الفولتية) في أي ملف تتناسب طرديا مع عدد لفات ذلك الملف

عند ئذ يمكن كتابة نسبة التحويل للمحولة بدلالة الفولتية للملفين الابتدائي والثانوي، وكما في المعادلة آلاتية:

$$N_2 / N_1 = V_2 / V_1 \quad \text{---------- (2-4)}$$

حيث أن:

N_1 عدد لفات الملف الابتدائي

N_2 عدد لفات الملف الثانوي

V_1 الجهد على طرفي الملف الابتدائي

V_2 الجهد على طرفي الملف الثانوي

وأعتمادا على نسبة التحويل يمكن تصنيف المحولات الى نوعين:

النوع الاول - محولة خافضة للجهد (Step - Down Transformer):

وهـي المحولـة التي عـدد لفات الملف الثانوي اقل مـن عـدد لفات الملف الابتدائي وبذلك تكون نسبة التحويل كألاتي:

$$N2 / N1 < 1$$

وبذلك يكون الجهد الخارج منها اقل من الجهد الداخل اليها ويستخدم هذا النوع من المحولات في مناطق أستلام القدرة المجهزة الى المدن وفي أجهزة اللحام الكهربائي وبعض المحولات الصغيرة في الأجهزة الكهربائية ،كما في الشكل (4-4) .

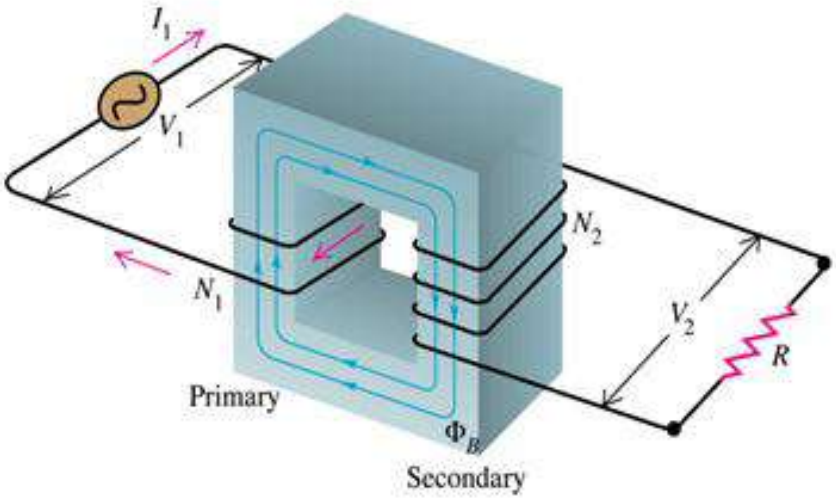
الشكل (4-4) يبين محولتين خافظتين الاولى تستعمل في تغذية الدور في المدن والاخرى في الأجهزة الكهربائية

النوع الثاني - محولة رافعة للجهد (Step – up Transformer):

وهي المحولة التي يكون فيها عدد لفات الملف الثانوي اكبر من عدد لفات ملفها الابتدائي وبذلك تكون فيها نسبة التحويل كآلاتي:

$$1 < N_2 / N_1$$

وبذلك يكون الجهد الخارج من ملفها الثانوي اكبر من الجهد الداخل لملفها الابتدائي وهذا النوع من المحولات يستعمل في محطات توليد الطاقة الكهربائية عند أرسالها الى المدن كما في الشكل (4 -5).



محولة رافعة تكون عدد لفات الملف الثانوي اكبرمن لفات الابتدائي

محولة ذات قدرة عالية ورافعة

الشكل (4-5) يبين محولتين رافعة

ملاحظة:

- ✓ ان المحولة الرافعة للجهد (Step - Up Transformer) تكون خافضة للتيار في نفس الوقت وبالعكس فان المحولة الخافضة للجهد (Step - Down Transformer) تكون رافعة للتيار في الوقت نفسه .

- ✓ عند نقل الطاقة الكهربائية من محطات التوليد الى مسافات بعيدة خلال اسلاك توصيل طويلة (خطوط النقل) نستخدم محولات رافعة للجهد وذلك لنقل الطاقة بجهد عالي وتيار واطىء لتقليل الخسائر في خطوط النقل .

5-4 المحولة المثالية IDEAL TRANSFORMER

وهي المحولة التي تهمل فيها خسائر القدرة والتي تكون فيها القدرة (الظاهرة) الداخلة للمحولة ويرمز لها (S_1) تساوي القدرة (الظاهرة) الخارجة (S_2) .

أي أن:

$$S_1 = S_2 \quad \text{---------- (3-4)}$$

$$V_1 I_1 = V_2 I_2 \quad \text{---------- (4-4)}$$

$$V_2 / V_1 = I_1 / I_2 \quad \text{---------- (5-4)}$$

في هذه الحالة تسمى بالقدرة الظاهرة للمحولة ويرمز لها (S) التي لاتدخل فيها الخسائرولايجاد العلاقة بين التيارات الكهربائية في المحولة وعدد اللفات (نسبة التحويل) في المحولة المثالية تكون كلاتي:

$$N_2 / N_1 = I_1 / I_2 \quad \text{---------- (6-4)}$$

$$N_2 / N_1 = V_2 / V_1 \quad \text{---------- (7-4)}$$

وتكون كفاءة المحولة المثالية (100%) لعدم وجود خسائر في المحولة في الواقع لا توجد هناك محولة مثالية ولكن هذا الافتراض فقط للدراسة والتحليل لتسهيل الحسابات احيانا.

6-4 خسائر القدرة في المحولة LOSSES IN TRANSFORMER

تتعرض المحولات الكهربائية اثناء عملها الى ثلاثة أنواع من الخسائر وهي :

1- الخسائر الناتجة عن مقاومة اسلاك الملفين:

وتظهر هذه الخسائر على شكل طاقة حرارية في اسلاك الملفين الابتدائي والثاني اثناء اشتغال المحولة نتيجة لمرورالتيار الكهربائي في الملفات وهي ناتجة عن المقاومة الاومية للأسلاك ويسمى احيانا هذا النوع من الخسائر بالخسائر النحاسية ويمكن حسابها كآلاتي:

P_{cu} = الخسائر الكلية في الملفين

(I_1^2 R_1) = الخسائر النحاسية في الملف الابتدائي

(I_2^2 R_2) = الخسائر النحاسية في الملف الثانوي

ويمكن تقليل هذا النوع من الخسائر بأستعمال اسلاك ذات مقاومة نوعية صغيرة المقدار (من النحاس).

2- خسائر الهسترة المغناطيسية في القلب الحديدي:

وهذه الخسائر ناتجة عن التغير في مقدار الفيض المغناطيسي وانعكاس اتجاهه ولتقليل هذا النوع من الخسائر يصنع القلب من مواد فيرومغناطيسية مثل الحديد المطاوع .

3- خسائر التيارات الدوامة:

هذه الخسائرسببها الفيض المغناطيسي المتغير الذي يشيج قلب المحولة والذي يولد تيارات محتثة في القلب الحديدي تظهر على شكل مسارات مغلقة تسمى التيارات الدوامة وتظهر هذه الخسائرعلى شكل طاقة حرارية في القلب الحديدي ولغرض تقليل هذه الخسائر يصنع القلب الحديدي على شكل صفائح من الحديد المطاوع رقيقة معزولة بعضها عن بعض كهربائيا وتكون مكبوسة.

7-4 القدرة والكفاءة في المحولات الكهربائية power and efficiency of transformer

تجهز المحولة بقدرة كهربائية تسمى بالقدرة الداخلة (P_{in}) بربط طرفي الملف الابتدائي بمصدر تيار متغير ويوصل الحمل الى طرفي الملف الثانوي للحصول على قدرة خارجة (p_{out}) وبسبب المفاقيد الحاصلة نتيجة الفيض المغناطيسي القاطع للقلب الحديدي للمحول والتي تسمى بالمفاقيد الثابتة (مفاقيد الهسترة) وايضا المفاقيد المتغيرة (المفاقيد النحاسية) الحاصلة نتيجة سريان التيار

الكهربائي خلال الملفات الابتدائية والثانوية للمحول ومجموع المفاقيد الثابتة والمتغيرة تسمى بالمفاقيد الكلية يرمز لهما (ΔP) .

حيث أن:

$p_{out} = p_o$

حيث ان :

P_{in} : القدرة الداخلة للمحولة وهي القدرة في الملف الابتدائي (p_1) تقاس بالواط .

$$P_{in} = p_o + \Delta p \quad watt \quad \text{---------- (8-4)}$$

Δp : الخسائر في المحولة (watt)

ومن المعادلة (4-9) يمكن حساب الخسائر:

$$\Delta p = p_{in} - p_o \quad watt \quad \text{---------- (9-4)}$$

الكفاءة (η) Efficincy:

هي النسبة بين القدرة الخارجة (out put power) والقدرة الداخلة (in put power) وتكتب على شكل نسبة مئوية (%) وهي عدد مجرد من الوحدات وتكون قيمتها اقل من واحد دائما وأذا فرض أن المحولة مثالية يعنى ذلك أن كفائتها (100%) أي ان مفاقيدها صفر ولاتوجد محولة مثالية في الواقع العملي بسبب مقاومة الملفات والفقدان الحاصل في القلب الحديدي ، وتحسب الكفاءة كآلاتي:

$$\eta\ \% = p_0 / p_{in} \times 100\ \% \quad \text{---------- (10-4)}$$

أمثلة محلولة:

مثال 4-1

محولة كهربائية (احادية الطور) ربط ملفها الابتدائي مع مصدرجهد متناوب (240) والجهاز الكهربائي (الحمل) المربوط مع ملفها الثانوي يعمل على جهد متناوب (12) فاذا كان عدد لفات ملفها الابتدائي (500 Turn) لفة فأحسب عدد لفات الملف الثانوي وما نوع المحولة ؟

المعطيات : $N_2 = ?$ $N_1 = 500\ T$ $v_2 = 12$ $v_1 = 240$

الحل :

1- نطبق العلاقة الاتية :

$V_2 / V_1 = N_2 / N_1$

$12 / 240 = N_2 / 500$

$N_2 = 500 \times 12 / 240 = 25\ Turn$

2- المحولة خافضة لان جهد ملفها الثانوي (12) فولت اصغر من جهد ملفها الابتدائي (240) فولت.

مثال 4-2

اذا كانت القدرة الداخلة في الملف الابتدائي لمحولة كهربائية أحادية الطور(220) واط وخسائر القدرة فيها (11w) ، جد كفاءة المحولة .

المعطيات : $P_I = 220\ W$ القدرة الداخلة $\Delta P = 11\ W$ الخسائر $\eta =$ الكفاءة ؟

الحل:

$\Delta P = P_{In} - p_o$

$11 = 220 - p_o$

$P_o = 220 - 11 \quad 209\ W$

$\eta = p_o / p_{in}\ 100\%$

$\eta = 209 / 220 \quad 100\%$

$\eta = 0.95 = 95\ \%$

مثال 4- 3

محولة كهربائية تخفض الجهد من (2400 V) الى (120 V) وتجهز حملا بقدرة (9 KW) فأذا كان عدد لفات الملف الابتدائي (4000 Turn) وكفا ءة المحولة (92%) وعامل القدرة (P F) للحمل يساوي (1) أحسب مقدار :

1- عدد لفات الملف الثانوي

2- القدرة الداخلة في الملف الابتدائي

3- التيار المنساب في كل من الملفين الابتدائي والثانوي

المعطيات:

$V_1 = 2400\ V$ $V_2 = 120$ $P_O = 9\ KW$ $N_1 = 4000\ T$ $\eta = 92\%$

المطلوب: $I_1 = ?$, $I_2 = ?$ $N_2 = ?$ $P_{In} = ?$

الحل:

(1) حساب عدد لفات الملف الثانوي:

$$N_2 / N_1 = V_2 / V_1$$

$$N_2 / 4000 = 120 / 2400$$

$$N_2 = 120 \times 4000 / 2400 = 200\ Turn$$

(2) حساب القدرة الداخلة :

$$\eta = p_o / p_{in} \times 100\%$$

$$92 = 9 \times 100 / p_{in}$$

$$P_{in} = 9 \times 100 / 92 = 9.78\ kw$$

(3) حساب التيار الابتدائي والثانوي:

$$P_o = I_2\ V_2\ COS\text{Ø}$$

$$9000 = I_2\ 120 \times 1$$

$$I_2 = 9000 / 120 = 75\ Amp$$

$$V_2 / V_1 = I_1 / I_2$$

$$120 / 2400 = I_1 / 75$$

$$I_1 = 120 \times 75 / 2400 = 3.75\ Amp$$

8-4 محولات ثلاثية الطور Three phase transformer

المحولات ثلاثية الطور يتم تركيبها على اساس ثلاث محولات طور واحـد مشتركـــة بقلب حديدي واحد توضع الملفات ذات الجهد المنخفض قريبة من القلب الحديدي وحولها الملفات ذات الجهد العالي وجميعها تكون داخل خزان مملوء بالزيت وبمواصفات خاصة للقيام بعدة وظائف مهمة منها جودة العزل بين الملفات والقلب الحديدي وتبريد الملفات عند أرتفاع درجة الحرارة الحاصلة نتيجة زيادة الحمل ويتم توصيل ملفاتها الابتدائية والثانوية بعدة طرق .

1-8-4 تركيب المحولة ثلاثية الطور

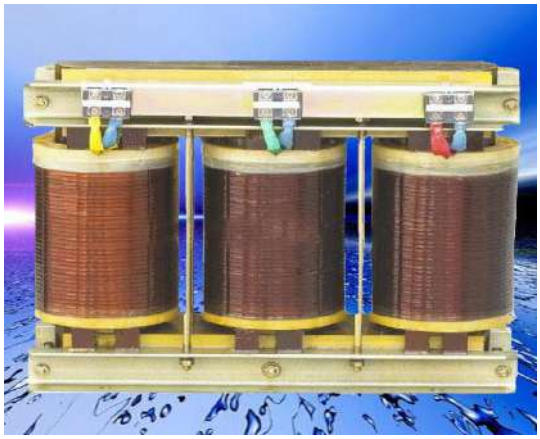
تتكون المحولة الكهربائية (ثلاثية الطور) من الاجزاء الرئيسة الاتية:

1- **الملف الابتدائي:** يتكون من ثلاث ملفات وتربط اما على شكل (نجمة Star او مثلث Delta) حسب نوع أستخدام المحول ويوصل الملف الابتدائي الى المصدر وعلى أن يكون مصدر تيار كهربائي متغير ثلاثي الطور.

2- **الملف الثانوي:** يتكون من ثلاث ملفات ايضا يربط امـا (نجمة أو مثلث) واطرافه توصل الى الحمل .

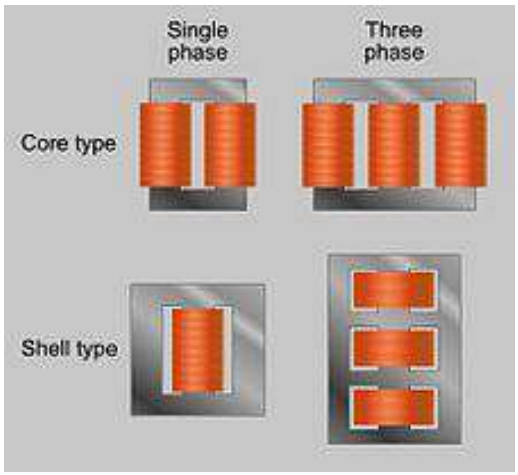
3- **القلب الحديدي:** ويصنع من صفائح رقيقة من الحديد المطاوع ومعزولة كهربائيا بعضها عن بعض.

تتصف الملفات الابتدائية والثانوية بأنها ذات متانة ميكانيكية عالية تكفي لحمايتها عن تيارات القصر والتيارات الزائدة وايضا تكون ذات متانة حرارية كافية بحيث لايؤدي أرتفاع درجة الحرارة الى انهيار المادة العازلة حراريا بحيث تكون المواد العازلة ومسافات العزل كافية لمنع حدوث انهيار كهربائي كما في الشكل (4-6).



الشكل (4-6) يمثل محول ثلاثي الطور وتظهر الملفات الثلاثة (الابتدائية والثانوية)

ويصنع القلب الحديدي من شرائح رقيقة من الحديد المطاوع معزولة فيما بينهما (للتقليل من التيارات الدوامة) وتختلف درجة العزل بين محول واخر حسب تصميم وقدرة المحول وفي المحولات ذات القدرات العالية والمستخدمة في الجهد العالي والجهد الفائق يكون اختيار العزل مهم جدا للمحافظة على عمل المحول بصورة سليمة حيث توضع بين صفائح المحول طبقات من العزل تتحمل الجهد العالي او الفائق الذي يتم تحويله بوساطة المحول ويكون القلب الحديدي على نوعين قلب حديدي ذو الاطار (Shell Type) وقلب حديدي ذو القلب (Core Type) وكما في الشكل (4-7) .



الشكل (4 -7) يمثل أنواع القلب الحديدي للمحول

4-8-2 مبدأ عمل المحول ثلاثية الطور

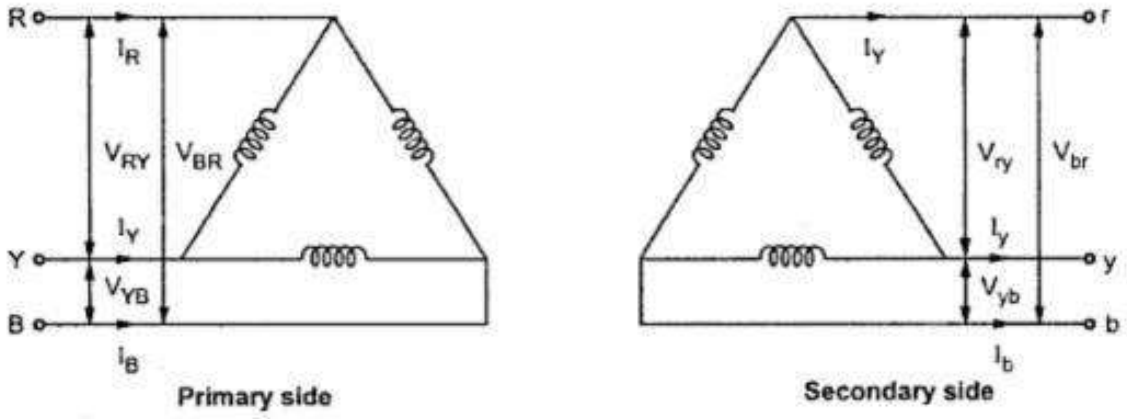
عند توصيل الملف الابتدائي الى مصدر تياركهربائي (متغير) سينشأ فيض مغناطيسي ابتدائي (Primary Flux) في ذلك الملف وسيسري خلال القلب الحديدي للمحول قاطعا الملف الثانوي مكونا فيه في بداية الامر فيض مغناطيسي ثانوي (Secondary Flux) وسيؤدي هذا الفيض الى نشوء ق.د.ك يعتمد مقدارها على قيمة المصدر وعدد اللفات ويبقى التردد ثابتا في كلا الملفين (الابتدائي والثانوي) كما تم ايضاحه في محولات الطور الواحد في بداية الفصل.

4-8-3 أنواع الربط

ويتم توصيل ملفاتها الابتدائية والثانوية بعدة طرق وكآلاتي :

1- توصيلة مثلث- مثلث (Δ-Δ) (delta- delta) :

توصل الملفات الابتدائية على شكل مثلث (Delta) والثانوية كذلك حيث تجعل جهد الخط (V_L) مساويا الى جهد الطور (V_{ph}) و يجب مراعاة ذلك عند التصميم وهذا النوع من الربط يستعمل في المجالات الصناعية كما في الشكل (8-4A) .



الشكل (8-4A) يمثل توصيلة (مثلث - مثلث)

في الشكل (8-4A) أعلاه يتضح أن العلاقة بين جهد الخط وجهد الطورفي حالة توصيلة (مثلث) متساوية أي أن:

$$V_{ph} = V_L$$

بينما العلاقة بين تيارالخط وتيارالطور كآلاتي:

$$I_L = \sqrt{3}\ I_{ph}$$

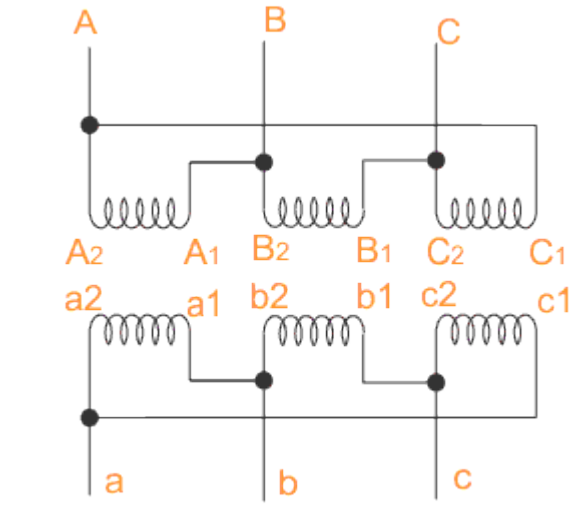
أي أن:

$V_L = V_{BR}$ جهد الخط (فولتية الخط) فولت

$V_{ph} = V_{RY}$ جهد الطور (فولتية الطور) فولت

$I_L = I_Y = I_B = I_R$ تيار الخط (امبير)

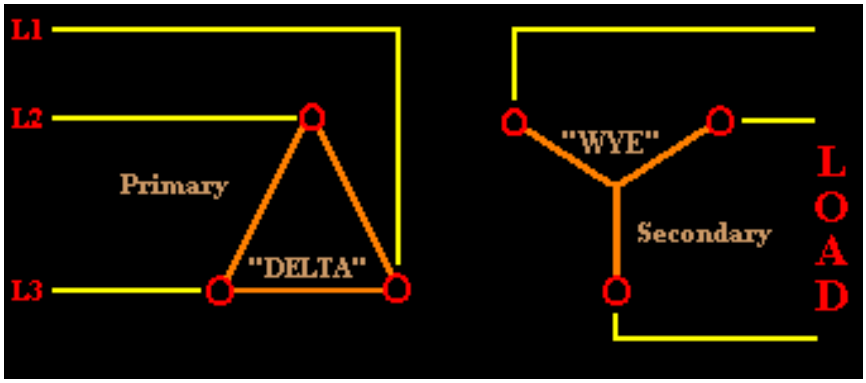
I_{ph} = تيار الطور (امبير) (التيار المار في الملف)



الشكل (8-4B) التوصيلة الكهربائية العملية لمحول (Δ /Δ)

2- توصيلة مثلث - نجمة (Δ/Y) (Delta / Star):

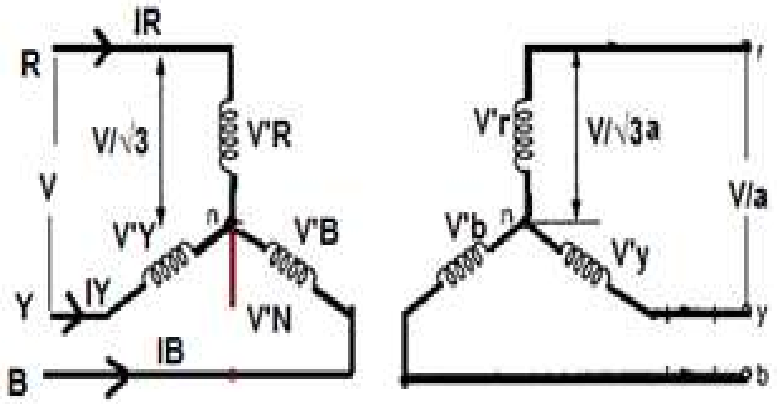
توصل الملفات الابتدائية على شكل (مثلث) (دلتا) والملفات الثانوية على شكل نجمة (Star) فسيكون جهد الخط في الملف الثانوي اكبر من جهد الطور بمقدار ($\sqrt{3}$) ولهذا تصمم ملفات الابتدائي لتحمل جهد الخط وهو شائع الا ستعمال في المجالات التجارية والصناعية كما في الشكل (9-4) وخاصة في محولات القدرة الرافعة للجهد التي تربط الى المولدات في محطات التوليد.



الشكل (9-4) التوصيل الرمزي لمحول (ΔY/)

3-توصيلة نجمة - نجمة (Y/Y) (Star / Star):

توصل الملفات الابتدائية على شكل نجمة (Star) والملفات الثانوية ايضا تربط على شكل نجمة في هذا النوع من التوصيل تنشأ تشوهات في شكل الموجة الجيبية للتيار الكهربائي ويكون تاثيرها سلبيا على أداء العوازل وكذلك ينتج عنه ضجيج (Noise) يؤثرعلى خطوط الاتصالات ولهذا يستخدم في حالات خاصة ، كما في الشكل (4A -10) .



الشكل (4A -10) توصيلة محول (نجمة / نجمة)

V و v/a تمثل جهد الخط للملف الابتدائي والملف الثانوي على التوالي ويرمز له V_L و I_L a/ V

V_L $I\sqrt{3}$ و V_L $I\sqrt{3}$ a تمثل جهد الطور للملف الابتدائي والثانوي على التوالي ، العلاقة بين جهد الخط وجهد الطور في حالة نجمة (Star) كآلاتي:

$$V_L = \sqrt{3}\ V_{ph}$$

بينما تيار الطـور (I_{ph}) يكون مساويـا لتيار الخط (I_L) التيار المسحوب مـن المصدر والى الحمل

أي أن :

$I_L = IB = IY = IR$ تيار الخط وهو نفس التيار المار في الملف

أي أن : $I_{ph} = I_L$ تيار الطور

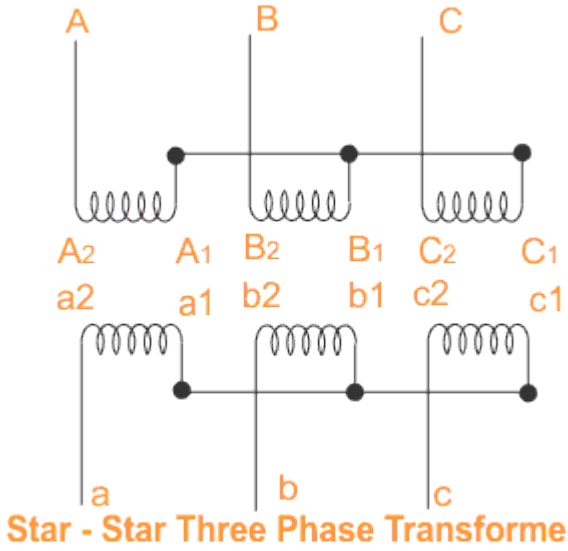
α = نسبة التحويل

$S = \sqrt{3}\ I\ V$ القدرة الظاهرة للمحول (VA) او KVA ثلاث اطوار

S_1 = القدرة الظاهرة للملف الابتدائي (VA)

S_2 = القدرة الظاهرة للملف الثانوي(VA)

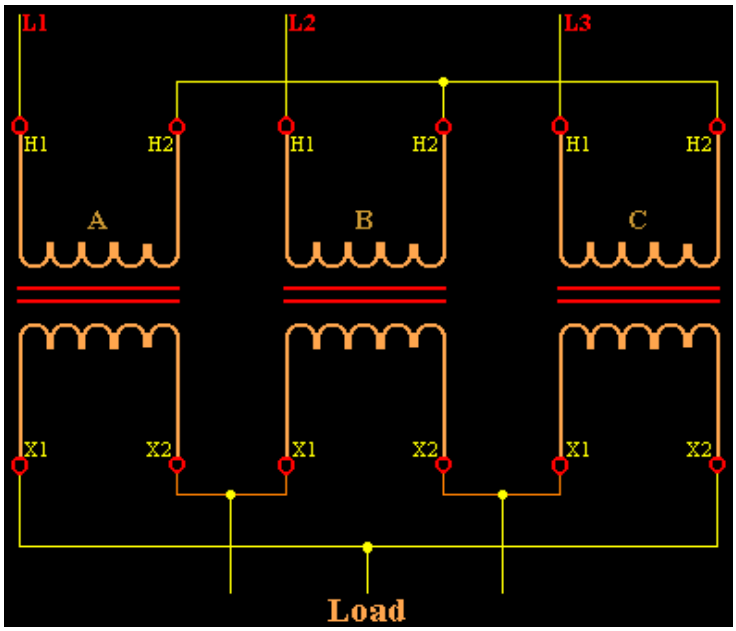
في المحول المثالي $S_1 = S_2 = S$



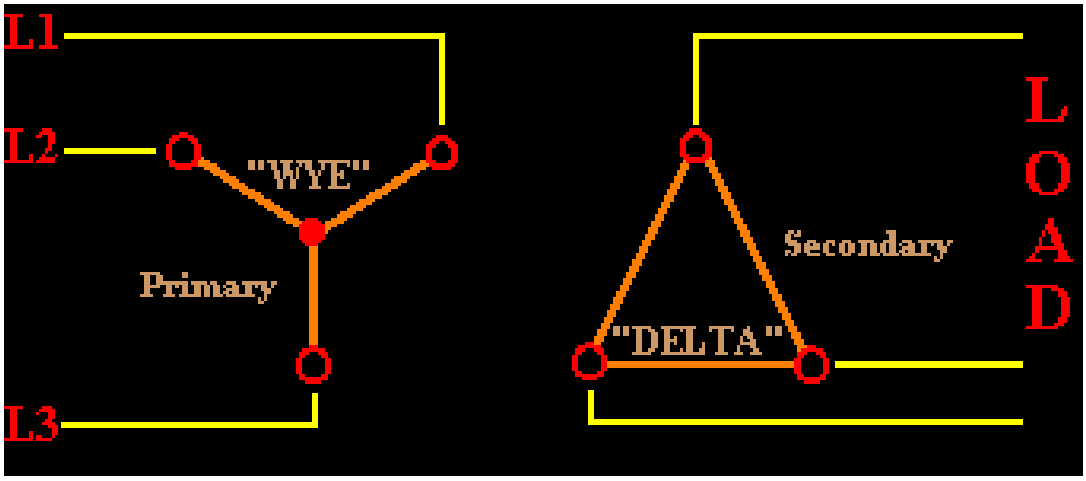
الشكل (10-4B) يمثل التوصيلة الكهربائية العملية للمحول (نجمة / نجمة)

4-توصيلة نجمة - مثلث (Y∆/) (Star/Delta):

توصل الملفات الابتدائية على شكل نجمة (Star) والملفات الثانوية على شكل مثلث (Delta) تعتبر هذه التوصيلة مهمة وشائعة الاستعمال يستخدم عند تخفيض الجهد في نهاية خط نقل القدرة الكهربائية أي أن عند نقل الجهد العالي كما في الشكل (4A -11) .



الشكل (4A -11) يمثل التوصيل الكهربائي للملفات الابتدائية على شكل نجمة (ستار) والملفات الثانوية على شكل مثلث (دلتا)

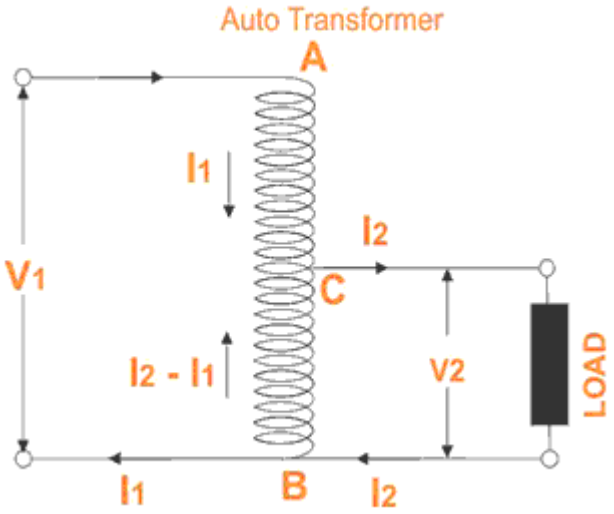


الشكل (4B -11) يمثل التمثيل الرمزي الكهربائي للملفات الابتدائية والثانوية Star/Delta للمحول أعلاه

9-4 محولات خاصة تستخدم عند الحاجة اليها في بعض ألاعمال المهمة وتشمل:

1-9-4 المحول الذاتي Auto Transformer

وتختلف عن المحولات الاعتيادية بانها تحتوي على ملف واحد يشترك بين المصدر والحمل وتخرج عدة نهايات من الملف الثانوي بجهود مختلفة القيمة وهي شائعة الاستعمال ورخيصة الثمن وتستخدم في مجالات كثيرة منها المختبرات التعليمية والاجهزة الالكترونية وكما في الشكل (4-12).



الشكل (4-12) يبين محول ذاتي واتجاه التيارات

2-9-4 محولات القياس Measurement Transformers

وهي على نوعين:

1- محولات جهد Voltage Transformers:

تقوم بتخفيض الجهد من قيمة اعلى الى قيمة قليلة حسب الحاجة (محولات خفض) لتغذية أجهزة القياس مثل قياس القدرة (KW) والطاقة (KWR)ومعامل القدرة (COS Ø) وأجهزة قياس التردد (H_Z) وغيرها ، كما في الشكل (13-4A).

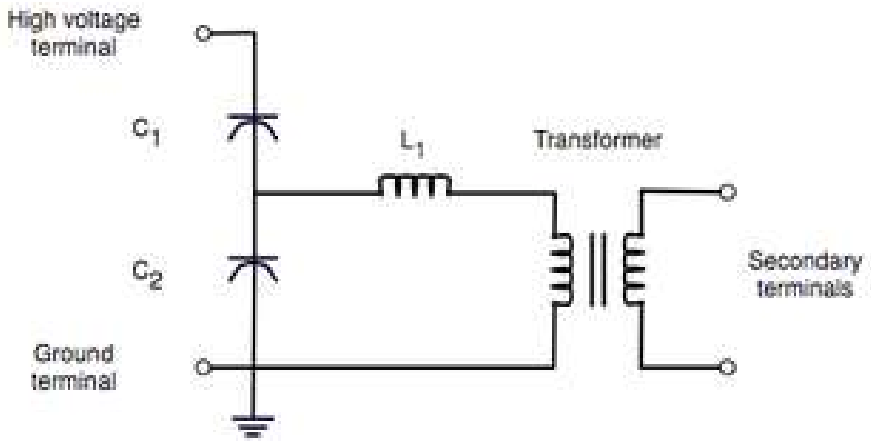
الشكل (13-4A) محول جهد

وفي بعض الاحيان تضاف مكثفات الى محول الجهد يسمى (محول ذو المكثف) كما في الشكل (13-4B) فعند العمل على جهود اعلى من (66KV) يصبح استخدام المحولات المغناطيسية (محولات الجهد) مكلف جدا وهذه الجهود تحتاج الى عزل مناسب فعليه تستخدم محولات الجهد ذات المكثفات والتي يمكن من خلالها تخفيض قيمة الجهد الابتدائي.

الشكل (13-4B) يمثل محول جهد مع مكثفات (CVT)

(CAPACITANCE VOLTAGE TRANSFORMER) CVT

الشكل (4-14) أدناه يمثل الدائرة الكهربائية لمحول جهد ذو المكثف .



الشكل (4-14) الدائرة الكهربائية لجهاز محول الخفض ذوالمكثف (CVT)

2-محولات التيار Current transformers :

الفائدة من محولات التيار تخفيض قيمة التيار المار في دائرة الملف الابتدائي الى قيمة تيار صغيرة تستخدم في أجهزة الوقاية واجهزة القياس والدوائر الخاصة في انظمة التحكم كما في الشكل (4-15).

الشكل (4-15) يمثل محول تيار (CT)

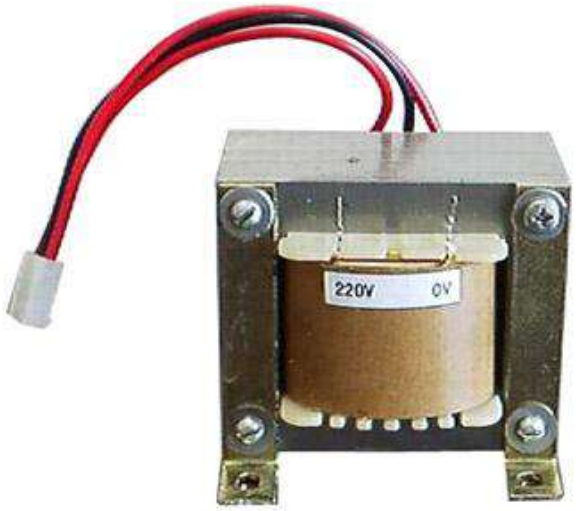
ملاحظة : (محول التيار ومحول الجهد) سيتم شرحه بصورة اوسع في الفصل السادس لاحقا.

10-4 تبريد المحولات الكهربائية

طرق تبريد المحولات:

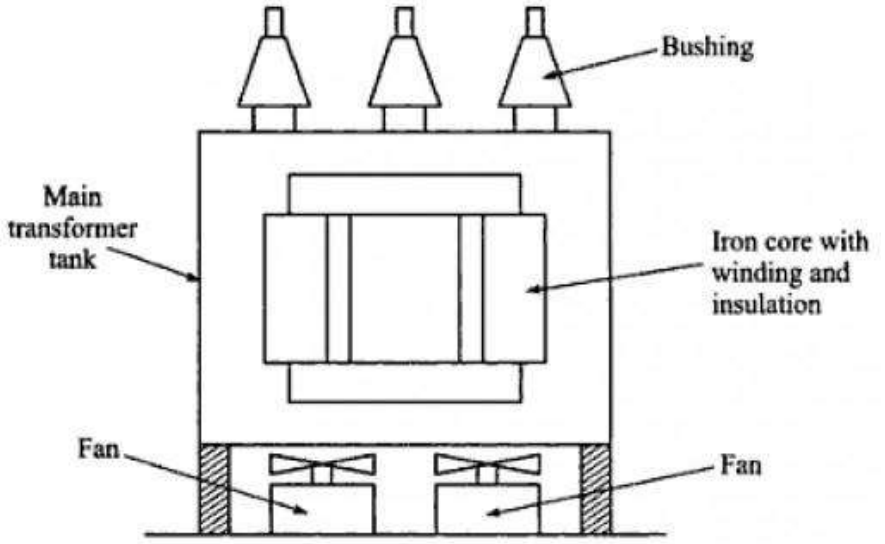
التبريد في المحولات ضروري جدا بسبب الحرارة المتولدة نتيجة ألاحمال الموصلة على الملفات الثانوية للمحول لذا توجد عدة طرق مستخدمة في تبريد المحول وكلما زادت قدرة المحولة تعقدت طريقة التبريد وتقاس قدرة المحولة (بالفولت امبير) (VA) للمحولات الصغيرة جدا ذات الطور الواحد وللمحولات الكبيرة ثلاثية الاطوار تقاس (بالكيلو فولت امبير) (KVA) وحتى تصل الى (ميكا فولت امبير) (MVA) للمحولات الكبيرة جدا والمستعملة في محطات التوزيع الرئيسية او الثانوية) بما ان المحول لايحتوي على أجزاء دوارة تعمل على تدوير الهواء كما هو الحال في المحركات والمولدات لذا سيكون تبريد المحولات أصعب مما عليه فيها ومن الطرق المستعملة:

1- يكون الهواء الطبيعي الملامس لسطح المحول هو وسيلة تبريد للمحولات ذات القدرات الصغيرة (ذو الطور الواحد) والتي أقل من (2.5 KVA) كما في الشكل (4-16) .



الشكل (4- 16) محول طور واحد تعتمد تبريده الهواء الطبيعي

2- تبريد المحول بتدوير الهواء بأستعمال المراوح والتي تعمل عند أرتفاع درجة حرارة الملفات كما في الشكل (4-17) .



الشكل (4-17) رسم تخطيطي لمحول يتضح فيه طريقة تبريده بالمراوح (الساحبة للحرارة)

3- التبريد بواسطة الزيت والهواء الطبيعي تغمر الملفات جميعها في خزان مملوء بالزيت (وهو ذات مواصفات خاصة) يتصل الخزان من الاعلى بأنبوب مع اسطوانة (علبة) تحتوي الزيت عند أرتفاع درجة حرارته وتمدد حجمه تسمى بعلبة التمدد ، كما موضح في الشكل (4-18) .

الشكل (4-18) يمثل محول ثلاثي الطور وتظهر في الاعلى علبة التمدد

4- التبريد بوساطة تدوير الزيت : يتم تبريد الزيت بأستخدام مبادلات حرارية وبالطرق الاتية:

أ- تيار الحمل : يتحرك الزيت اعتمادا على حرارة الزيت في المبادل الحراري ويتم تبريده بوساطة الهواء الخارجي الملامس للمبادل الحراري وتكون حجمها كبير.

ب- بوساطة مضخات تدوير الزيت من جسم المحولة الى المبادل الحراري والى جسم المحولة بوساطة عدد من المضخات .

ت- دافعات هواء لتبريد المبادل الحراري وتبريد الزيت حيث يتم تشغيلها تلقائيا حسب حرارة المحولة بوساطة متحسسات حرارة .

ث- هناك محولات يستخدم فيها مبادل حراري يعتمد على الماء المبرد ويكون المبادل الحراري خارج المحولة ويمكن ملاحظة ذلك لعدم وجود مبادل حراري ملصق بجسم المحولة .

مثال 4-5

محول ثلاثي الطور موصل على شكل مثلث/ نجمة والجهد الابتدائي 33000 فولت والجهد الثانوي 11000 فولت . اوجد نسبة التحويل للمحول ثم اوجد التيار الابتدائي اذا علمت ان التيار الثانوي 100 امبير .

المعطيات : V1 = 33000 فولت V2 = 11000 فولت I2 = 200 امبير

نسبة التحويل ? = α = ؟ I_1

الحل:

$$\alpha = 1/ 3\sqrt{3}$$

$$I_1/I_2 = \alpha$$

$$I_1/200 = 1/3\sqrt{3}$$

$$I_1 = 200/3\times1.732 = 38.49\ A$$

يمكن أيجاد الكفاءة العظمى (Maximum Efficiency) عندما تكون المفاقيد النحاسية (p_{cu}) مساوية للمفاقيد الحديدية (p_{iron}) يمكن ايجاد الكفاءة اليومية بقسمة القدرةالكهربائية الخارجة من االملفات الثانوية للمحـول خلال يـوم واحـد (24) ساعـة على القدرة الكهربائية المعطاة الى المحول

والصادرة من محطة التوليد خلال نفس اليوم ويمكن الاستفادة منها في توزيع المحولات وتحسب كآلاتي:

الكفاءة اليومية (η) = القدرة الخارجة من المحول (خلال يوم) / القدرة المعطاة الى المحول خلال (نفس اليوم)

η = (في يوم واحد) P_{out} / (P_{out} + ΔP)

مثال 4-6

محول ثلاثي الطور (1200) KVA نسبة التحويل فيه 6.6 KV/ 1.1 KV الملف الابتدائي موصل الى شكل مثلث (DELTA) والثانوي الى شكل نجم (STAR) المقاومة للطور الواحد وللملف الابتدائي (20) اوم وللملف الثانوي (0,1) اوم والفقدان الحديدي (20) KW ؟ احسب الكفاءة في حالة الحمل الكامل والكفاءة العظمى ؟

المعطيات a= 6.6KV /1.1 KV DELTA/STAR S= 1200 KVA

R_1= 2 Ohm R_2= 0. 1 Ohm P F= 0.9 Piron = 20kw

η = ؟

الكفاءة في الحمل الكامل:

I_1= S/ V_1 = 1200000/ 6600 = 181.8 A

I_2 = S /$\sqrt{3}$ V_2 = 1200000 /1.732 × 1100 = 629 A

P_{cu} = $P_{cu\,1}$ + p_{cu2}

p_{cu1} = (I_1)^2 R_1 = (181.8)^2 × 2= 66102 watt

p_{cu2} = (I_2)^2 R_2 = (629)^2 × 0.1 = 3956 4 watt

P_{CU} = 66102+ 39564 = 105666 watt

Δp = p_{cu} + p_{iron} = 105666 + 20000= 125666 watt

P_2 = P_{out} = 1.732 ×S cosØ

=1.732 × 1200000× 0.9 =1870560 watt

P_1 = P_2 + ΔP = 1870560 +125666 =1996226 wt

η = P_{OUT} / P_{In} = (1870560 / 1996226) × 100%

η = 0.94 = 94 %

الكفاءة في حالة نصف الحمل:

أ- نقسم المفاقيد النحاسية على (4) :

P_{cu} / 4 = 105666/4 = 26416 .5 watt

ب- نقسم القدرة الخارجة (P_{out}) على (2) :

P_{out} /2 = 1870560 /2 =935280 wat

ج - تبقى المفاقيد الثابتة (الحديدية) كما هي بدون تغيير:

P_{iron} = 20000 wat

$P_{in} = p_{out} + \Delta p$

$\Delta p = p_{cu} + p_{iron}$ = 26416.5 + 20000 =46416.5 wat

P_{in} = 935280 + 46416.5 = 981696.5 wat

η =(935280/981696.5) × 100% = 0.95 =95%

الكفاءة العظمى:

تكون الكفاءة في قيمتها العظمى عندما تتساوى قيمة الفقدان الحديدي مع الفقدان النحاسي (الفقدان المتغير).

$\eta = p_{out} / p_{in}$

$\Delta p = 2 \times p_{iron} = 2 \times 20000 = 40000$ wat

$p_{in} = P_{out} + \Delta p$

P_{in} = 1870560 + 40000 = 1910560 wat

η = (1870560 /1910560) ×100% = 0.98 = 98%

توصيل المحولات على التوازي Parallel Transformer Connection:

نحتاج في بعض الاحيان الى استخدام أكثر من محول واحد لتغذية احمال كبيرة لايمكن أن يقوم بها محول واحد لذلك نلجأ الى توصيل محولين على التوازي، كما في الشكل (5-15) حيث يوصل اطراف

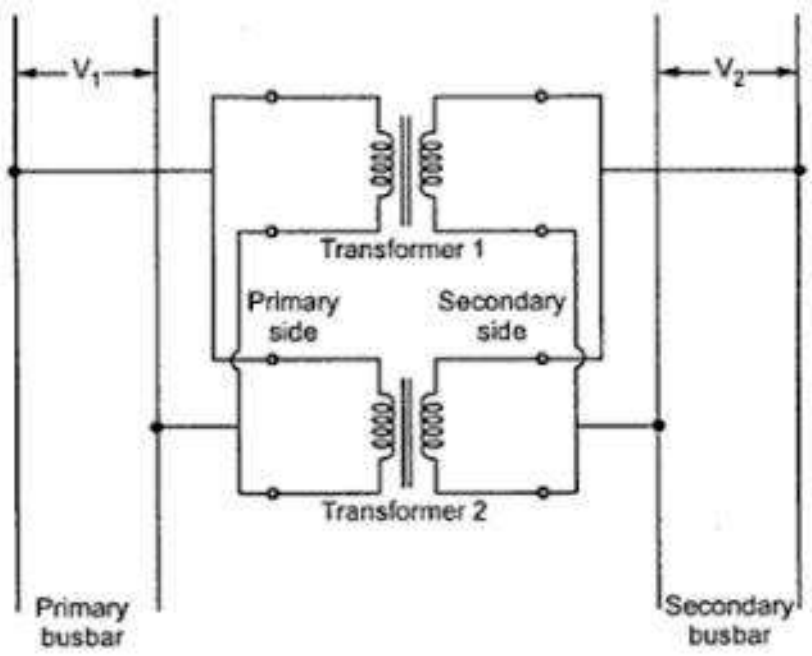
ملفي الجهد العالي مع بعضهما وكذلك اطراف الجهد الواطىء أيضا يجب أن تؤخذ في نظر الاعتبار شروط التوصيل على التوازي ومنها:

1- يجب ان تكون نسبة التحويل واحدة (متساوية) لكلا المحولين .

2- ان يكون هبوط الجهد النسبي متساويا في كل منهما .

3- ان تكون متماثلة الاطوار لكلا المحولين عند توصيلهما على التوازي.

4- تعاقب الاطوار تكون متماثلة في كليهما (Phase Sequence) كما في الشكل (4-19) محولتين على التوازي ذو طور واحد .



الشكل (4-19) يمثل محولتين (طور واحد) موصلتين على التوازي

لاينصح باستخدام ربط التوازي للمحولات وانما يتم تقسيم الاحمال على القضبان النحاسية في حالة توزيع الاحمال في الجهد (33KV,11KV) لمنع حدوث تيار الدوار بين المحولات ولفرق الجهد بينهما أما محولات انتاج الطاقة الكهربائية فتربط بالتوازي لوحدة شبكة الانتاج ويكون جهد المنظومة نفسه وكذلك التردد .

أسئلة ومسائل الفصل الرابع

1- ماهو مبدأ عمل المحولة الكهربائية ؟

2- كيف تصنف المحولات بطبيعة تركيبها للقلب الحديدي، بين ذلك ؟

3- لماذا توضع ملفات الجهد الواطىء قريبة من القلب الحديدي وملفات الجهد العالي بعدها ؟

4- اشرح باختصار تنظيم الجهد في المحولات ؟

5- عند توصيل الملف الابتدائي لمحول خافض بتيار مستمر ماذا يحدث عن ذلك .

6- ما الفائدة عند ربط مولدتين على التوازي ؟

7- متى تكون الكفاءة في قيمتها العظمى ؟

8- ماهي طرق تبريد المحولات اشرح باختصار.

9- لماذا كفاءة المحول اعلى من كفاءة المحرك الكهربائي.

10- أي من المفاقيد في المحول يعتمد على الحمل.

11- محول ثلاثي الطور عدد الملفات الابتدائية للطورالواحد (1506) وللثانوي (158) لفة وصل الملف الابتدائي الى مصدر ثلاثي الطور (6600) فولت احسب:

قيمة الجهد على طرفي الملف الثانوي عندما يعمل المحول بدون حمل في حالة توصيل المحول على شكل:

أ- نجمة / مثلث ب- مثلث / نجمة

الجواب :

أ- (400) فولت ب- (1200) فولت

12- محول ثلاثي الطور وصل حمل على طرفي الملف الثانوي معامل قدرته . (0.8) فكان التيار الذي يسحبه الحمل (600) امبير بجهد (400) فولت فاذا كانت كفاءة المحول (95%). أوجد المفاقيد الكلية للمحول ؟

الجواب : (10105.3) واط = 10. 1053 كيلو واط

13-محول ثلاثي الطور موصل الملف الابتدائي على شكل (مثلث) والى مصدر(22000) فولت والملف الثانوي على شكل (نجمة) بجهد (400) فولت وموصل الى حمل متوازن معامل قدرته (0.8) فكان التيار الابتدائي (5) امبير اوجد قدرة الحمل الموصل على طرفي الملف الثانوي.

الجواب: (264.038) كيلو واط

14-محول ثلاثي الطور (500 KVA) موصل مثلث /نجمة وصل حمل مقداره (1200 امبير) بمعامل قدرة (0.9) اوجد كفاءة المحول عندما تكون المفاقيد الكلية (12) كيلو واط .

الجواب: (0.974)

15-اذا وصل مصدر تيار مستمر (220) فولت الى الملف الابتدائي للمحول ماذا يحدث ؟ هل تتولد قوة دافعة كهربائية ؟ في الملف الثانوي؟

16-اختر العبارة الصحيحة من العبارات الاتية:

أ- يحتوي المحول الكهربائي البسيط على اجزاء متحركة .

ب- يعمل المحول الكهربائي بتيار مستمر.

ت- يعمل المحول الكهربائي بتيار متغير.

ث- يستخدم المحول الكهربائي لتحويل التيار المتغير الى تيار مستمر.

17-املاء الفراغات الاتية :

أ- المحول الكهربائي الخافض يعمل على تحويل الجهد من قيمة ------- الى قيمة -------- .

ب-مبدأ عمل المحول الكهربائي يعتمد على نظرية -------- ،---------- .

ت- تتناسب عدد لفات الملف الابتدائي للمحول الكهربائي مع قيمة التيارالابتدائي تناسبا ------ .

ث- يمكن حساب الفقدان الحديدي في المحولات الكهربائية بجعل طرفي الملف الثانوي في حالة دائرة ---------- .

18-اجب بصح او خطأ مع تصحيح الخطأ :

أ- تستخدم محولات التيار لتغذية ألاحمال الكهربائية .

ب- توضع ملفات الجهد العالي قريبة من القلب الحديدي وحولها ملفات الجهد المنخفض .

ت- يتكون المحول الكهربائي الذاتي (احادي الطور) من ملفين منعزلين احدهما يوصل الى المصدر والاخر الى الحمل .

ث- عند توصيل محولتين على التوازي يجب ان تكون نسبة التحويل متساوية لكل منهما .

الفصل الخامس

خطوط نقل الطاقة الكهربائية المعلقة
Overhead Transmission Lines

1-5 ألاجزاءالاساسية لخطوط النقل المعلقة

يستعمل خط نقل الطاقة الكهربائية المعلق في منظومات النقل وفي منظومات التوزيع ويعتمد نجاحه بدرجة كبيرة على التصميم الميكانيكي والمواصفات الميكانيكية لهذا الخط ، فخطوط النقل يجب أن تكون ذا قوة ومتانة ميكانيكية عالية ليتمكن من الصمود بوجه التقلبات الجوية غير المتوقعة .

وبشكل عام يتكون خط النقل من ألاجزاء الرئيسة الآتية:

1- الموصلات Conductors .

2- المساند Supports .

3- العوازل Insulators .

وسيتم شرح هذه الاجزاء بالتفصيل في هذا الفصل.

اولا/ الموصلات Conductors:

وهي أحدى الاجزاء الرئيسة في خط النقل المعلق وتقوم بنقل الطاقة الكهربائية من جهة الارسال الى جهة الاستقبال وتكون موصلات خطوط النقل المعلقة موصلات مجدولة Stranded في اغلب الاحيان وذلك لان الموصلات المجدولة اكثر مرونة عند النصب والاستعمال من الموصلات ذات السلك الواحد كما في الشكل (1-5) من الخواص المهمة التي يجب مراعاتها عند اختيار مادة موصلات خطوط النقل المعلقة هي :

أ- الموصلية Conductivity:

يجب ان تكون المادة المستعملة في صناعة الموصل ذات موصلية عالية وذلك لتقليل القدرة الضائعة نتيجة لسريان التيار في الموصل وكذلك لتقليل مقدار هبوط الجهد في الموصل .

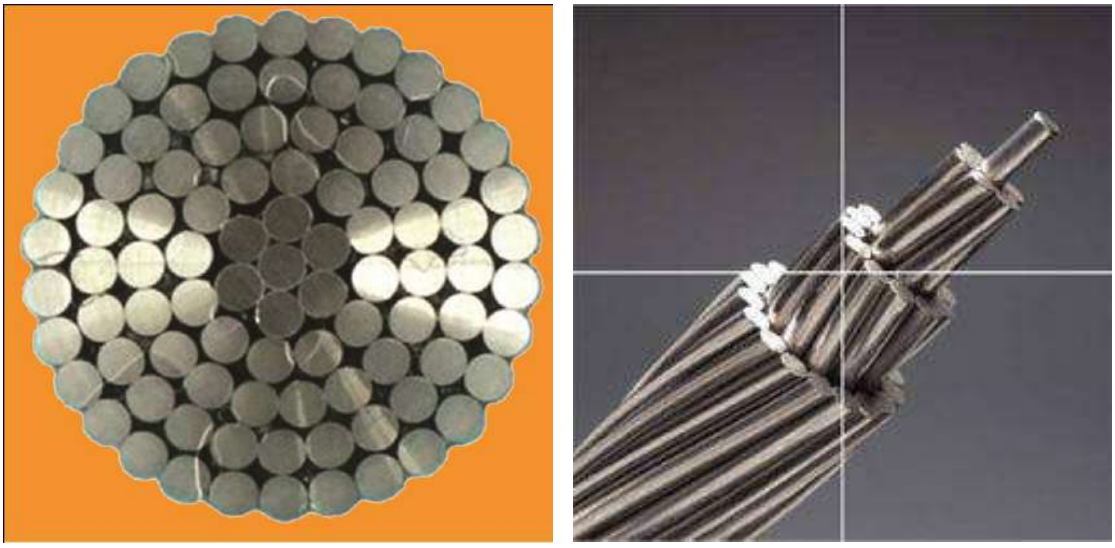
ب- قوة الشد الميكانيكية Mechanical Tensile Strength:

ان قوه الشد الميكانيكية هي من الخواص المهمة جدا التي يجب ان تتوافر في مادة الموصل المستعمل في خطوط النقل المعلقة . فكلما كان الموصل ذا قوة شد عالية فان الارتخاء (sag) الذي سيحصل فيه يكون قليلا مما يمكننا من زيادة طول الباع (span) (أي المسافة التي تفصل بين

مسندين متتالين من مساند الخط) وهذا يؤدي الى تقليل عدد المساند أو الاعمدة وبذلك يمكن تقليل تكاليف المساند والعوازل المستعملة .

ت- الكلفة الاقتصادية :

من الامور الاخرى التي يجب مراعاتها قدر المستطاع بالنسبة لخط النقل هي ان تكون تكاليف الموصلات منخفضة نسبياً وذلك لغرض أستعمالها لمسافات طويلة. وبشكل عام يجب ان تكون التكاليف الاولية وتكاليف النصب والادامة منخفضة وان يكون العمر المتوقع للخط طويلا .



الشكل (5-1) الموصلات المجدولة

2-5 المواد الداخلة في صناعة الموصلات Conductor Materials

من المواد الشائعة الاستعمال في صنع خطوط النقل المعلقة هي النحاس وسبائكه والالمنيوم وسبائكه وذلك لكون النحاس والالمنيوم من المواد ذات الموصلية الجيدة . كما يستعمل الفولاذ على هيئة تركيبات مختلفة مع النحاس والالمنيوم وذلك لزيادة قوة الشد في الموصلات وسنعطي بعض التفصيلات فيما يلي عن هذه المواد:

1- النحاسCopper:

يحتل النحاس المرتبة الاولى في الاهمية كمادة لصنع خطوط النقل المعلقة لانه يمتاز بموصليته الكهربائية العالية وبقوة شد ميكانيكية عالية. أن موصلية النحاس تعتمد الى حد كبير على نقاوته وخلوه من الشوائب، ان بعض الشوائب الموجودة في النحاس كالفسفور والزرنيخ تقلل من موصليته. وللحصول على نحاس ذي درجة عالية من النقاوة فانه غالبا ما يكون مكررا الكترولتيكيا .

ومن المزايا الاخرى للنحاس انه بطيء التأكسد في الهواء ولايتأكل بسرعة في الظروف الجوية الاعتيادية والصناعية وهو يتحمل الهواء الرطب وان درجة انصهاره عالية . كما يمكن سحبه الى اسلاك رفيعة وسهولة لحامه.

ومن مواصفات النحاس اللدن العالي الموصلية في درجة حرارة 20 مئوية:

أ- المقاومة النوعية واطئه جدا وهي 1.724×10^{-8} ohm-m .

ب- الموصلية عالية جدا وهي 58×10^{6} Siemens/m .

ت- قوة الشد الميكانيكي هي $33kg/mm^2 = 324\ N/mm^2$.

2- سبيكة النحاس والكاديوم Cadmium - Copper :

تحتوي سبيكة النحاس والكاديوم المستعملة لصناعة موصلات خطوط النقل المعلقة على 1% من الكاديوم ولها موصلية حوالي 80% من موصلية النحاس ولكن قوة الشد لهذه السبيكة هي ضعف قوة الشد لاسلاك النحاس المكافئة لها.

ان ثمن هذه السبيكة اعلى من ثمن النحاس النقي ولذلك فان هذه السبيكة تستعمل بصورة رئيسة عندما يكون الباع طويلا ويكون قطر الموصل صغيرا بحيث لاتشكل كلفة الموصلات جزءاً كبيرا من الكلفة الكلية لخط النقل.

3- موصلات النحاس والفولاذ :

يتكون موصل النحاس والفولاذ من سلك فولاذي صغير المقطع مغطى بطبقة من النحاس اذ يساعد وجود الفولاذ في الحصول على قوة شد أعلى كثيرا من شد النحاس مما يمكننا من استعمال هذه الموصلات في حالة خطوط النقل التي يكون طول الباع فيها كبيرا جدا كالخطوط التي تمر موصلاتها عبر الانهار . اما وجود النحاس فيساعد على زيادة الموصلية . غير ان موصلية هذا النوع من الموصلات هي 35 % من موصلية النحاس النقي.

4- الالمنيوم Aluminum:

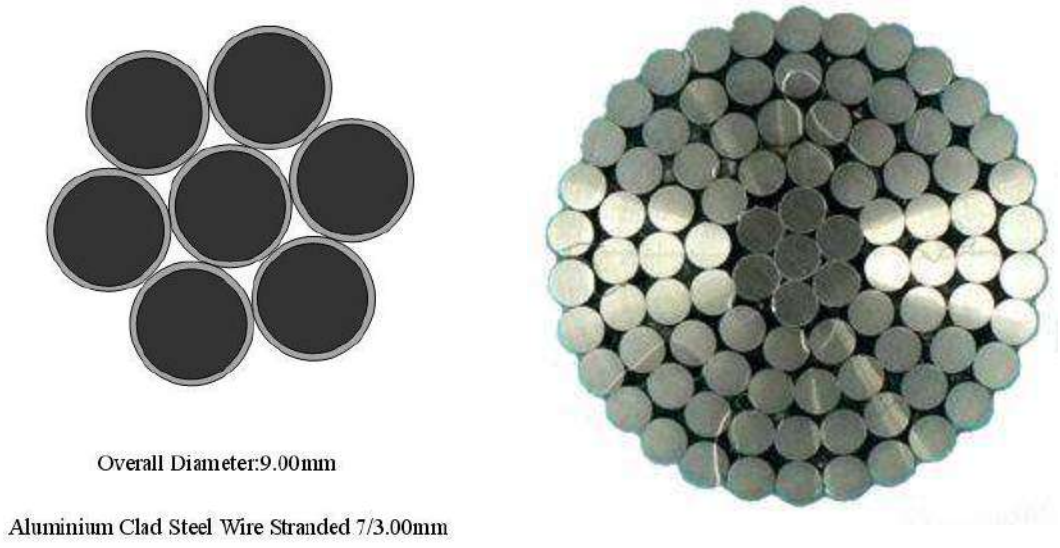
يمتاز الالمنيوم بأنه خفيف الوزن حيث تبلغ كثافته 1/3 كثافة النحاس،والالمنيوم من أكثر المواد استعمالا في الخطوط لانخفاض سعره نسبيا ولان موصليته الكهربائية عالية نسبيا لتصل الى حوالي60% من موصلية النحاس النقي . وقوة الشد في الالمنيوم أقل منها في النحاس أذ أن قوة الشد لموصل الالمنيوم هي 67% من قوة الشد لموصل مناظر له مصنوع من النحاس النقي وذلك اذا أخذنا بنظر الاعتبار ان قطر موصل الالمنيوم اكبر من قطر موصل النحاس المناظر له، ولذا فان موصلات الالمنيوم تكون صالحة للاستعمال في خطوط التوزيع ذات الجهد الواطىء والتي يكون فيها طول الباع قليلا نسبياً.

وفيما يلي بعض خواص الالمنيوم الصلد المسحوبHard-Drawn Aluminum عند درجة حرارة 20^{o}:

- ✓ المقاومة النوعية هي 2.862×10^{-8} ohm-m
- ✓ الموصلية هي 35×10^{6} Siemens /m
- ✓ قوة الشد الميكانيكي هي $16\text{-}20\ kg/mm^2 = 157\text{-}196\ N/mm^2$

5- الالمنيوم الفولاذي القلب (الالمنيوم المسلح بالفولاذ):

Steel -Cored Aluminum (SCA) ويرمز له بالرمز SCA او ACSR ويتكون موصل الالمنيوم الفولاذي القلب من طبقة مركزية من الفولاذ المغلون مكونة من سلك واحد أو من عدة أسلاك مجدولة ويحيط بهذه الطبقة المركزية طبقة واحدة او اكثر من اسلاك الالمنيوم المجدولة كما في الشكل (2-5).



الشكل (2-5) الموصلات المجدولة نوع الالمنيوم الفولاذي القلب

تعطي طبقة الفولاذ القوة الميكانيكية اللازمة بينما تعطي اسلاك الالمنيوم الموصلية اللازمة ويتكون أبسط أنواع موصلات الالمنيوم الفولاذية القلب من سلك فولاذي واحد ومحاط بستة اسلاك مجدولة من الالمنيوم كما في الشكل (3-5) . ومن اكثر انواع هذه الموصلات استعمالا الموصل المؤلف من 37 سلكاً حيث تكون سبعة من هذه الاسلاك الطبقة المركزية من الفولاذ ويحيط بهذه الطبقة المركزية طبقتان من اسلاك الالمنيوم المجدولة وتتكون الطبقة المحيطة بالطبقة المركزية من 12 سلكا من

الالمنيوم بينما تتكون الطبقة الثانية من 18 سلكا من الالمنيوم .اذا قارنا بين موصلين متساوين في الطول والمقاومة الاول مصنوع من النحاس بينما الثاني مصنوع من الالمنيوم الفولاذي القلب لوجدنا أن الالمنيوم الفولاذي القلب ارخص ثمنا من النحاس واخف وزنا بمقدار 20% وأقوى بمقدار 50% وان ارتخاءه اقل كثيرا من النحاس وبذلك يمكننا استعمال مساند اقصر طولا من تلك المستعملة مع موصلات النحاس او استعمال اطوال باع اكبر من تلك المستعملة مع النحاس اذا كان اطول المساند المستعملة في كلتا الحالتين متساوية وان التقليل من المساند يؤدي الى تحسين اداء خط النقل لان اكثر انواع الاعطال التي تصيب خط النقل تحصل في المساند نتيجة لتلف العوازل أو الشرارات الكهربائية بالاضافة الى تقليل الكلفة الاجمالية لنصب الخط ويستعمل هذا النوع من الموصلات لخطوط نقل القدرة ذات الجهود المختلفة وخاصة الجهد العالي من 132 كيلوفولت فاكثر .كما انها تستعمل أيضا في الجهود الواطئة 6.6 كيلوفولت ، وهناك انواع اخرى من الموصلات منها موصلات الفولاذ المغلون وموصلات مصنوعة من سبائك الالمنيوم .

ثانيا/مساند او (مرتكزات) خطوط النقل المعلقة Overhead Line Supports:

تحمل خطوط النقل المعلقة على مساند أو (مرتكزات) تختلف من حيث التركيب ومن حيث المواد التي تصنع منها . وتشمل المواد التي تصنع منها المساند الخشب والخرسانة والفولاذ. أن اختيار نوع المساند وتصميمه الميكانيكي يعتمد أساسا على طول الباع وجهد الخط ونوع الموصلات المستعملة وسنحاول فيما يلي اعطاء فكرة عن بعض انواع المساند المستعملة في خطوط النقل المعلقة تبعا لنوع المادة التي تصنع منها.

1- الاعمدة الخشبية Wooden Poles:

تكون الاعمدة الخشبية صالحة للاستعمال في خطوط الجهد الواطىء وعندما يكون طول الباع لحد50 مترويمكن استعمالها بصورة خاصة في المناطق الريفية.

ان الكلفة الاولية للاعمدة الخشبية أقل كثيرا من الكلفة الاولية للاعمدة الفولاذية واعمدة الخرسانة المسلحة كما أن عمرها أقل من الانواع الاخرى بسبب تعرضها للتلف والتعفن عند مستوى الارض ولاطالة عمرها يجب معالجتها معالجة خاصة بوساطة اشباعها بماده الكريوزوت ومن الصعب التنبؤ مقدما بعمر هذه الاعمدة (أي المدة الذي ستستمر فيها هذه الاعمدة صالحة للاستعمال) لان ذلك يعتمد على الموقع الذي تستعمل فيه وعلى طريقه معالجتها قبل نصبها. ولكن يمكن القول أن متوسط عمر الاعمدة الخشبية هو حوالي عشر سنوات. أن ابسط انواع الاعمدة الخشبية يتكون من قطعة واحدة ولكن هذا النوع نادر الاستعمال ومن الافضل أستعمال اعمدة على شكل تركيبات مختلفة ومكونة من اكثر من قطعة واحدة وكما مبين في الشكل (3-5) لان ذلك يكسبها متانة ميكانيكية عالية. وفي جميع أنواع الاعمدة الخشبية يجب وقاية قمة العمود من تأثيرات الشمس والامطار والتأثيرات الجوية

الاخرى وذلك بوساطة غطاء من الحديد المغلون ويجب ربط هذا الغطاء بسلك تأريض لتوفير الحماية اللازمة .

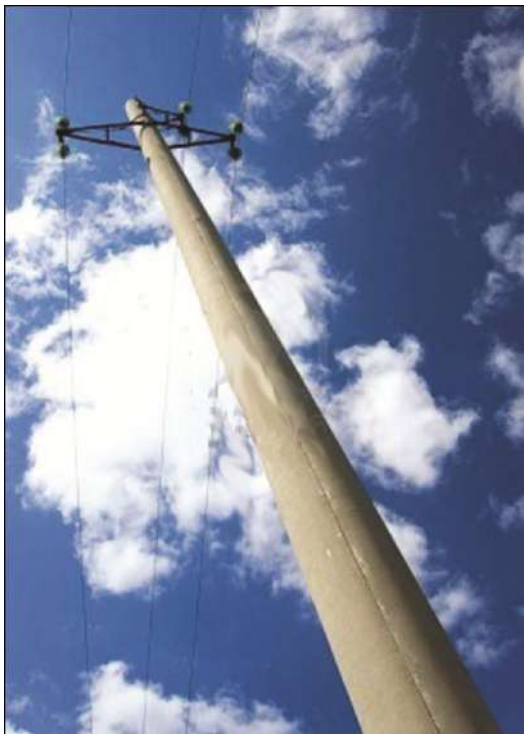
الشكل (5- 3) ألاعمدة الخشبية

2- أعمدة الخرسانه المسلحة Reinforced - Concrete Poles (RCC):

تعد اعمدة الخرسانـة المسلحة بديلا ممتازا للاعمدة الخشبية أو الاعمدة الفولاذيـة وبالرغم مـن انها لايمكن ان تنافس الاعمدة الخشبية من حيث الكلفة الاولية الا أنها تمتاز بأن عمرها اطول كثيرا مـن عمرالاعمدة الخشبية .

ان من اهم ميزات اعمدة الخرسانة المسلحة هي عمرها الطويل وقلة تكاليف صيانتها فضلا عن امكانية تصميمها بالشكل الذي يفي بالغرض الذي صممت من اجله كوضع قضبان التسليح بالعدد الكافي بالنسبه للحمل المسلط على هذه الاعمدة .

اما اهم سلبيات هذا النوع من الاعمدة هي الكلفة العالية لنقل هــذه الاعمدة مــن اماكن صناعتها الى موقع العمل بسبب وزنها الثقيل ولتجاوز هذه السلبية يفضل أن يتم صب هذه الاعمدة في موقع العمل والشكل (5-4) يوضح اعمدة الـ RCC .

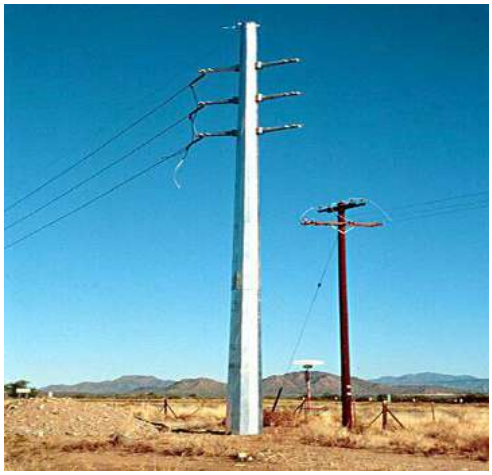


الشكل (5- 4) ألاعمدة الخرسانية المسلحة

3- الاعمدة الفولاذية Steel Poles:

تستعمل الاعمدة الفولاذية كبديل عن الاعمدة الخشبية في منظومات التوزيع للجهود الواطئة والمتوسطة وبالمقارنة مع الاعمدة الخشبية يمتلك هذا النوع من الاعمدة متانة ميكانيكية اعلى وعمرها اطول وتسمح بطول باع اطول ويجب ان تكون هذه الاعمدة من الفولاذ المغلون ويجب تثبيتها بأساس من الخرسانة على ان يكون جزء من هذا الاساس فوق سطح الارض على ارتفاع لايقل عن 15 سم .اذا كان العمود الفولاذي مغلونا بطريقة متقنة وجيدة فقد يصل عمره الى 30 سنة

ويمكن اطالة امد عمره اذا تم صبغه على مدد منتظمة في حالة فشل الغلونة بعد مرور زمن طويل عليها ويتم الصبغ عادة بعد تنظيف سطح العمود جيدا ، كما في الشكل (5-5) .



الشكل (5- 5) الاعمدة الفولاذية

4- الابراج المعدنية Supporting Towers:

من الناحية العملية فأن الانواع التي تم ذكرها (الخشبية،الفولاذية،الخرسانية) تستعمل عادة في منظومات التوزيع ذات الجهد الواطىء والمتوسط اما في حالة الجهد العالي والجهد الفائق التي تكون فيها خطوط النقل ثقيلة الوزن وتحتاج الى ارتفاعات عالية تستعمل في هذه الحالة الابراج المعدنية ذات القاعدة العريضة كمسند لحمل الخط .كما في الشكل (5-6) . يتكون كل برج عادة من تركيب شبكي ذي أربعة سيقان وتربط اتصالاته بوساطة مسامير بأساسات منفصلة لكل ساق وتصنع هذه الابراج عادة من الفولاذ او الالمنيوم .

تمتاز هذه الابراج وخاصة الفولاذية منها بعمرها الطويل الذي قد تمتد الى أجل غير محدود في حالة وجود الادامة . وأن التركيب المتين لهذه الابراج يمكنها من تحمل اقسى الظروف المناخية ويجعلها غير قابلة للتحطم بسهولة.

ونظرا لطول الباع بين الابراج فأن خطر انقطاع الطاقة الكهربائية بسبب فشل العوازل سيكون قليلا كما أن اضرار الصواعق ستقل ايضا لان البرج سيكون بمثابة مانعة صواعق .

الشكل (5-6) يمثل اشكال مختلفة من الابراج المعدنية

ويمكن تسمية هذه الابراج تبعا لوظيفتها وهي :

أ- ابراج التعليق التي تستعمل لحمل موصلات خط النقل في مسار مستقيم.

ب- ابراج التعليق الزاوية التي تستعمل لحمل موصلات خط النقل عندما ينحرف مسار الخط عن المسار المستقيم بزاوية حوالي 20 درجة .

ت- ابراج الزاوية التي تصمم بصورة تمكنها من تحمل مجموع الشد الكلي للموصلات.

ث- ابراج النهاية التي تصمم بصورة تمكنها من تحمل المجموع الكلي لشد الموصلات بأتجاه واحد.

ج- ابراج التوزيع.

ح- ابراج العبور والتي تستعمل عند عبور الخط للأنهار أو السكك الحديد .

أن حوالي 80% من مجموع ابراج الخط هي ابراج تعليق ونظراً لكون ابراج النهاية والزاوية اثقل وزناً واغلى ثمناً فأن عددها يجب ان يكون قليلاً بقدر المستطاع.

ثالثا/العوازل Insulators:

من المعلوم ان موصلات خطوط النقل عارية وليست معزولة ولذلك فان الوظيفة الرئيسة الاولى للعوازل هي عزل الموصلات عن بعضها البعض وعن جسم البرج تحت اقصى الجهود وفي اسوأ الظروف الجوية المعقدة .

اما الوظيفة الثانية للعوازل فهي اسناد أو حمل الموصلات تحت اقصى الجهود الميكانيكية المتوقعة .

3-5 المواد المستعملة في صناعة العوازل

تستعمل في صنع عوازل خطوط النقل المعلقة أحدى المادتين الرئيستين وهما الخزف Porcelain والزجاج المقوى او الزجاج المقسى Toughened Glass .

يتكون الخزف المستعمل في صناعة العوازل من مزيج متجانس يحتوي على 50% من الكاؤلين (Kaolin) أو (الطين الصيني) او 25% من الفلسبار (Felspar) و25 % من الكوارتز (Quartz) وبعد ترطيب هذا المزيج واعطائه الشكل المطلوب يجري تجفيفه ويغطى بعد ذلك بسائل ملمع اما بوساطة تغطيسه في السائل وبوساطة الرش وبعدئذ يحمص بأفران خاصة لينتج عن ذلك السطح الاملس اللماع ذي اللون البني وللطبقة البنية اللماعة التي تغطي العازل فائدتان هما:

أ- حماية العازل من الاوساخ والغبار والرطوبة وتسهيل تنظيفه عند الادامة.

ب- يساعد في زياده المتانة الميكانيكية للعازل .

ويجب ان يكون الخزف المستخدم خاليا من الفقاعات ومن الشوائب لان هذه المواد تؤدي الى تقليل شدة العزل .

من الممكن صناعة العوازل من الزجاج المقسى اذ ان الزجاج في حالة الانضغاط يكون ذو متانة اعلى من متانة الخزف .

ويمكن الحصول على الزجاج المقسى بتسخين طبقة من الزجاج المسبق الاجهاد حتى يصل لدرجة الليونة ومن ثم يعطى الزجاج الشكل المطلوب للعازل وبعدئذ يتم تبريد سطح العازل بسرعة ويسمح لاجزائه الداخلية لان تبرد ببطىء.

وتمتاز العوازل الزجاجية عن العوازل الخزفية بما يأتي:

1- في حالة العوازل الزجاجية يمكن رؤية عدم التجانس الناتج من الفقاعات أو الشوائب الاخرى .

2- أن معامل التمدد الحراري للزجاج أقل من معامل التمدد الحراري للخزف وهذا يجعل الاجهاد الذي يسببه تغيير درجة حرارة المحيط اقل في حالة العوازل الزجاجية بالمقارنة مع العوازل الخزفية .

3- يمكن تمييز العازل الزجاجي المتضرر بسهولة عند تعرضه لاي ضرر بسبب الجهود العالية أو الأسباب الميكانيكية فأن ذلك سيؤدي الى تكسره الى شظايا صغيرة ويمكن مشاهدتها على الارض بينما في حالة العوازل الخزفية فأنه من الصعب تمييز العازل المتضرر كون الخزف يتشقق أو (يتفطر) عند تعرضه للانهيار الكهربائي.

4- أن تسخين العازل نتيجة تعرضه لاشعة الشمس يكون أقل في حالة العازل الزجاجي لان معظم الاشعة الحرارية تخترق الزجاج بدلا من امتصاصها .

أن كل من عوازل الخزف أو الزجاج سريع التحطم اذا ما تعرض لاضرار خارجية كالرمي بالحجارة أو الطلقات النارية وتعرضها للصواعق والثقب بوساطة القوى الكهربائي وكذلك تعرضها للتلوث وتساقط الجليد عليها.

4-5 أنواع العوازل المستعملة في خطوط النقل المعلقة

من الممكن تصنيف العوازل المستعملة في خطوط النقل المعلقة الى ألانواع التالية:

1- عوازل المسمار Pin-type Insulator:

يتكون عازل المسمار من قطعة واحدة أو اكثر من الخزف أوالزجاج المقسى وتسمى كل قطعة بالمظلة (Shed) وتشكل هذه المظلات مسارا مناسبا للتسرب بين الموصل والارض تصمم بطريقة بحيث تكون جميع عوازل السطوح للعازل متساوية الجهد مما يؤدي الى منع تسرب تيار التسرب عبر هذه السطوح في الظروف الاعتيادية .

تستعمل عوازل المسمار ذات المظلة الواحدة والمبينة في الشكل (5-7) للجهود الواطئة .

الشكل (5-7) عازل مسمار للجهود الواطئة

اما في حالة خطوط النقل ذات الجهود المتوسطة يتم أستعمال عوازل المسمار متعددة المظلات ومثبتة مع بعضها البعض بألاسمنت كما في الشكل (5-8) .

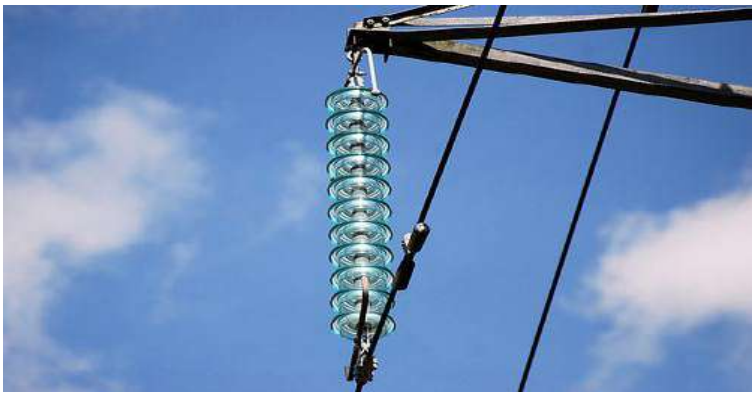
الشكل (5-8) عوازل المسمار للجهود المتوسطة والعالية

يتم تثبيت عازل المسمار الى الذراع الافقي (Cross-Arm) للعمود بواسطه مسمار محوري (برغي) فولاذي يتصل من الناحية الثانية بحلقه معدنية مسننة من الداخل ومثبتة بواسطة الاسمنت في تجويف داخل العازل .

أن ربط موصل خط النقل الى العازل يتم عن طريق تثبيت الموصل الى قمة العازل بواسطة سلك مرن لين من النحاس او الالمنيوم وحسب نوعية مادة الموصل .

2- عوازل التعليق Suspension Type Insulators:

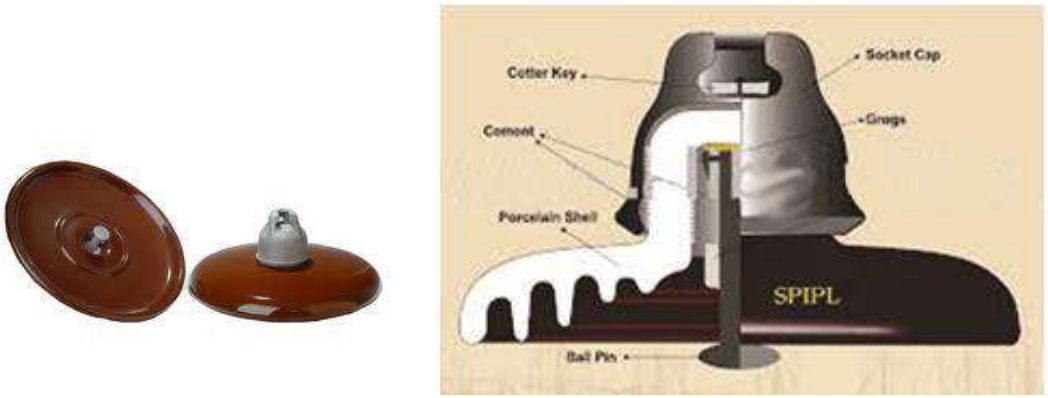
تعتبر عوازل المسمار غير اقتصادية للجهود العالية وذلك لان كلفتها الاولية تزداد ازدياداً كبيراً كلما ازداد الجهد وفي حالة عطبها تكون كلفة تبديلها عالية لهذه الاسباب يستعمل نوع اخر من العوازل في حالة خطوط الجهد العالي يسمى عوازل التعليق ، وهي تكون من مجموعة من العوازل المربوطه مع بعضها البعض لتشكيل سلسلة تسمى سلسلة عوازل التعليق كما في الشكل (5-9) .



الشكل (5-9) سلسلة عوازل التعليق

حيث يثبت الطرف العلوي تثبيتا مرنا بالمسند الحامل لخط النقل بينما يحمل طرفها الاسفل موصلاً واحداً او اكثر من موصلات خط النقل .

يتكون كل عازل من عوازل السلسلة من قرص من الخزف الصيني ويوجد في اعلاه غطاء فولاذي ويوجد في الغطاء ثقب او شق (Slot) كما يوجد في الطرف الاسفل للعازل مسمار من الفولاذ كما مبين في الشكل (5-10) .



الشكل (5-10) تركيب عازل التعليق

ولتكوين سلسلة من العوازل يتم تثبيت مسمار كل عازل في ثقب العازل الذي يليه بوساطة تركيب خاص ويعتمد عدد عوازل السلسلة على مقدار جهد الخط لان كل عازل يصمم ليتحمل جهد معين (11 كيلو فولت مثلاً) .

يمكن تركيب سلسلة عوازل التعليق على المسند اما بوضع عمودي او مائلاً او بوضع افقي تبعاً لنوع الاستعمال وموقع المسند كما في الشكل (5-11) .

الشكل (5-11) ترتيبات مختلفة لسلسلة عوازل التعليق

مزايا عوازل التعليق Advantages of Suspension Insulators:

1- تكون الكلفة الاولية لسلسلة عوازل التعليق اقل من الكلفة الاولية لعازل المسمار المكافئ من حيث مقدار الجهد .

2- أن مرونة سلسلة عوازل التعليق تؤدي الى تقليل الاجهادات الميكانيكية والى تعادل التوتر بين الموصلات على جهتي المسند .

3- من الممكن استعمال سلسلة عوازل التعليق نفسها مع خطوط نقل ذات جهود مختلفة وذلك بتغيير عدد العوازل في السلسلة حسب متطلبات جهد خط النقل .

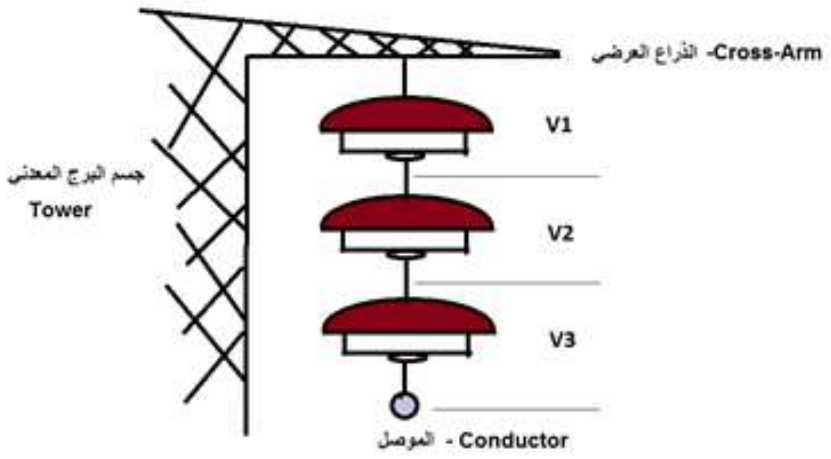
4- في حالة حصول عطب في احد عوازل السلسلة يستبدل ذلك العازل التالف دون الحاجة الى استبدال السلسلة بكاملها .

5- عندما يكون الحمل الميكانيكي على خط النقل عالياً يمكن أستعمال سلسلتين أو اكثر على التوازي .

5-5 توزيع الجهد على سلسلة عوازل التعليق
Potential Distribution Over Suspension Insulator String

تتكون سلسلة عوازل التعليق كما ذكرنا سابقاً من مجموعة من العوازل (الاقراص الخزفية) المربوطة مع بعضها على التوالي . واذا افترضنا ان عوازل هذه السلسلة نظيفة وجافة وفي فراغ تام فان اي جهد متناوب (A.C voltage) تسلط على هذه السلسلة سيتوزع بالتساوي على كافة العوازل الموجودة في هذه السلسلة .ولكن هذا لايمكن ان يحصل من الناحية العلمية وذلك لوجود الهياكل الفولاذية المؤرضة التي تتكون منها مساند الخط، وبناء على ذلك فأن توزيع الجهد على عوازل السلسلة سوف لايتم بالتساوي اذ يكون اعلى جهد على طرفي العازل المجاور للموصل وسيقل الجهد على العوازل كلما اتجهنا للاعلى بأتجاه ذراع المسند اذ سيكون الجهد على العازل العلوي المربوط بالمسند اقل الجهود . فلو اخذنا سلسلة عوازل تعليق مكونة من ثلاثة عوازل كما في الشكل (5-12) ولو سلطنا عليها جهد (V) فان الجهود المتوزعة ستكون كما يأتي:

V3>V2>V1



الشكل (5-12) توزيع الجهد على سلسلة عوازل التعليق

والسبب في ذلك أن السلوك الكهربائي لكل عازل يكون مشابها لسلوك المكثف (متسعة) اذ يكون غطاء العازل احد قطبي هذا المكثف ويكون المسمار القطب الاخر ويرمز لهذه المتسعة بالرمز(C) وهناك ايضاً متسعة اخرى بين مسند خط النقل ونقطة اتصال كل عازل بالعازل الذي يليه ويرمز لهذه المتسعة بالرمز(Ce) وتعد هذه المتسعات الفرعية هي السبب في التوزيع غير المتساوي للجهد بين عوازل السلسلة ويمكن عد هذه المتسعات متساوية في القيمة وقيمتها تعطى بالعلاقة آلاتية:

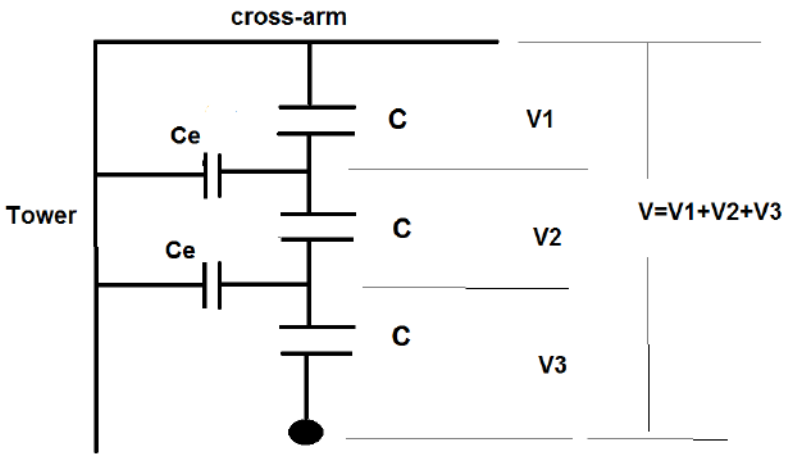
$$Ce = K \quad \text{---------- (1-5)}$$

حيث:

k: ثابت تتراوح قيمته بين 0.1, 0.2 .

C: هي السعة الرئيسة للعازل .

والشكل (5-13) يوضح السلوك الكهربائي لسلسلة عوازل تعليق مكونة من ثلاثة عوازل .



الشكل (5-13) التمثيل الكهربائي لسلسلة عوازل التعليق

أن الجهد الكلي المسلط عبر السلسلة (V) سيكون حاصل مجموع الجهود:

$$V = V1 + V2 + V3 \text{---------- (2-5)}$$

واذا كانت السلسلة مكونة من n من العوازل فعند ئذ سيكون الجهد الكلي المسلط عبر السلسلة هو:

$$V = V1 + V2 + V3 + \text{---------- } + Vn \text{ ---------- (3-5)}$$

حيث V تمثل جهد الطور و $V = V_L / \sqrt{3}$: و V_L تمثل جهد الخط (خط – الى - خط) .

6-5 كفاءة السلسلة String Efficiency

كما ذكرنا فأن الجهد عبر سلسلة عوازل التعليق سيتوزع بشكل غير متساو عبر العوازل حيث سيكون اعلى جهد عبر العازل القريب مـن الموصل بينما يكون اقل جهد عبر العازل القريب مـن ذراع المسند.

هذا التوزيع غير المتساوي للجهد هو حالة غير مرغوب فيها لان هذه الحالة قد تؤدي حدوث ما يسمى بقفز الوميض (Flash Over) والتي تحدث عندما يكون الجهد عبر العازل المجاور للموصلات اعلى من جهد قفز الوميض لاحد عوازل السلسلة. ويطلق الاصطلاح كفاءة السلسلة (String Efficiency) على النسبة.

$$\text{كفاءة السلسلة \%} = \frac{\text{جهد قفز الوميض لسلسلة مكونة من n من العوازل}}{\text{(جهد قفز الوميض لاحد العوازل) x (عدد العوازل n)}} \times 100$$

ويمكن تعريف كفاءة السلسلة:

هي النسبة بين الجهد عبر كل السلسلة الى حاصل ضرب عدد العوازل للسلسة في الجهد عبر العازل القريب من الموصل .

$$\text{كفاءة السلسلة\%} = \frac{\text{الجهد المسلط عبر السلسلة}}{\text{(الجهد المسلط عبر العازل القريب من الموصل) (عدد العوازل)}} \times 100$$

او يمكن كما يلي:

$$\dot{\eta} = V \times 100 / n \times V_n \quad \text{---------- (4-5)}$$

ملاحظة: كفاءة السلسلة كلما أزداد عدد الوحدات (العوازل) في السلسلة .

مثال 5-1

سلسلة عوازل تعليق ذات ثلاث وحدات تسند موصل خط نقل ذا جهد 33 كيلو فولت . اذا كان الجهد عبر العازل القريب من الموصل (7.4KV) والجهدعبرالعازل القريب من المسند5.5KV .أحسب (1) الجهد عبر العازل الوسطي (2) كفاءة السلسلة .

الحل :

$V_1 = 5.52kv$

$V_3 = 7.4kv$

$V_L = 33KV$

المطلوب : حساب V_2، الكفاءة .

(1) V= 33 / √3 =19.05KV

V = V1 + V2 + V3

19.05 = 5.52 + V2 + 7.4

V2 = 19.05 -7.4 -5.52

V2 = 6.13 KV

(2) ή = V ×100/ n × V3

ή = 19.05 × 100 / 3 × 7.4 = 86%

مثال 5-2

سلسلة عوازل تعليق مكونة من خمس وحدات تسند خط نقل ثلاثي الطور : اذا كانت كفاءة السلسلة 67.58% وكان الجهد المسلط عبر العازل القريب من الموصل 56 كيلو فولت فأحسب:

1- الجهد المسلط عبر السلسلة (جهد الطور).

2- جهد الخط .

الحل:

المعطيات :

الكفاءة (ή= 67.58% : n=5 V5= 56KV

المطلوب = V, VL .

(1) ή= V×100 / n×V_5

67.58=V × 100/ 5 × 56

V=190 KV

(2) VL=√3 × 190 = 330 KV

7-5 طرق تحسين كفاءة سلسلة عوازل التعليق

يكون توزيع الجهد الكهربائي على سلسلة عوازل التعليق كما ذكرنا سابقا غير منتظم اذ يكون اعلى جهد عند العازل القريب من الموصل واقل جهد عند العازل القريب من ذراع البرج أي اعلى عازل في

السلسلة ولاحظنا ايضا أن كفاءة السلسلة تقل كلما ازداد عدد العوازل فيها نتيجة للتوزيع غير المتساوي للجهود عبر هذا العازل .

ولتحسين كفاءة السلسلة يجب التفكير في امكانية جعل الجهود متساوية عبر جميع عوازل السلسلة وهذا يمكننا من استعمال سلاسل اقصر وأقل ثمناً . ومن الطرق المستعملة لتحسين كفاءة السلسلة هي ما يأتي:

1- زيادة طول الذراع العرضي (cross - arm) للمسند:

لاحظنا ان السبب الرئيس في عدم تساوي الجهود عبر عوازل السلسلة هو وجـود المتسعة الفرعيــة (Ce) الذي يؤدي بدوره الى تقليل الكفاءة وكلما كانت قيمة (Ce) صغيرة كلما قل تأثيرها ويتحسن اداء العـوازل . وبما ان قيمة (K= Ce/C) فـأن تقليل قيمة K يعني تقليل قيمة المتسعة (Ce) بالنسبة لمتسعة العازل (C) ويمكن تحقيق ذلك بزيادة طول الذراع العرضي للمسند حيث تزداد المسافة بين قطبي المتسعة (Ce) وهما المسار الرابط بين العوازل والمسند، ولكن هذه العملية تقلل المتانة الميكانيكية للذراع وتؤدي الى زيادة تكاليف المسند .

2- تدريج العوازل Grading of Insulators:

تعتمد هذه الطريقة على تغيير المتسعات الذاتية (C) لعوازل السلسلة بنسب التيارات المارة فيها. وبعبارة أخرى ستكون المتسعة الذاتية للعازل المجاور للخط اكبر قيمة من غيرها وتتناقص قيم المتسعات الذاتية للعوازل الاخرى باطراد بحيث تكون المتسعة الذاتية للعازل المجاور للمسند اقل قيمة من غيرها .

ان هذه العملية صعبة التحقيق عملياً لان ذلك يتطلب أن تكون جميع عوازل السلسلة مختلفة بألابعاد لان زيادة المتسعة الذاتية تتم بأستعمال عوازل كبيرة القطر وذات غطاء معدني كبير وهذا يتطلب وجود احتياطي لانواع مختلفة العوازل .

3- أستعمال الحلقة الحارسة Guard Ring:

من الممكن تنظيم توزيع الجهد عبر وحدات سلسلة التعليق بوساطة ما يسمى بالحلقة الحارسة (Guard Ring) التي تتكون من حلقة كبيرة مصنوعة من مادة موصلة تحيط على الاقل بالعازل المجاور لموصل الخط وتوصل كهربائياً بالموصل وعلى هذا الاساس يكون جهد الحلقة الحارسة مساويا لجهد خط النقل .

ان الحلقة الحارسة تسبب اضافة عدد من المتسعات الهوائية بين موصل الخط والاغطية المعدنية للعوازل . وهذه المتسعات ستقوم بالغاء تأثير المتسعات النوعية والمسببة لانخفاض الكفاءة .

تستعمل الحلقة الحارســة بالاقتران مــع مــا يسمى بقرن التقوس (Arcing Horn) كما فــي الشكل

(14-5) الذي يتكون من أجزاء معدنية بارزة على شكل قرن ويوضع في النهاية العليا للسلسلة ويكون مؤرضا ويثبت بمسند الخط وفائدته هو تقليل تأثير القوس الكهربائي المسبب لتلف العوازل .

الشكل (5-14) الحلقة الحارسة وقرون التقوس

4- عوازل الشد Strain Insulators:

يستعمل هذا النوع من العوازل عند الابراج التي تكون في نهاية خط النقل أو عند الانحرافات الحادة في مسار الخط اذ يتعرض الخط الى اجهادات ميكانيكية عالية. ويستعمل في هذه الحالات اما عازل بمسمار شكالي (يقرن من طرفيه) (Shackle Insulator) وهذا يستعمل للجهود الواطئة اما بالنسبة للجهود العالية فمن الممكن استعمال سلسلة من عوازل التعليق توضح بشكل افقي أو مائل ،كما في الشكل (5-15).

الشكل (5-15) عوازل الشد

8-5 اداء خطوط النقل Performa of Transmission Lines

تقوم خطوط النقل بنقل القدرة الكهربائية من جهة الارسال (Sending End) الى جهة الاستقبال (Receiving End) حيث يتم تجهيز الخط بالطاقة الكهربائية في جهة الارسال بينما يتم تغذية الاحمال في جهة الاستقبال ومن النقاط المهمة مراعاتها الاعتبار خلال تصميم خطوط النقل أو عملها هي حسابات هبوط الجهد في الخط والخسائر التي تحصل في الخط فضلا عن حساب كفاءة الخط .

ولفهم اداء خطوط النقل سنقوم اولا بدراسة ثوابت الخط وهي المقاومة (R) والمحاثة (L) والمتسعة (C)والمسارية (G) .

9-5 ثوابت خطوط النقل Constants of Transmission Lines

أن لكل خط نقل كهربائي اربعة ثوابت موزعة تؤثر على عملة كجزء من نظام القدرة الكهربائية . وهذه الثوابت هي المقاومة والمحاثة والمتسعة والموصلة والتسربية أو (المسارية) .

تكون المقاومة والمحاثة على التوالي وتشكلان الممانعة التسلسلية للخط وتكون المتسعة والموصلة والتسربية على التوازي وتشكلان المساحة الفرعية للخط وللاختصار تسمى الممانعة التسلسلية (بالممانعة) والمسامحة الفرعية (بالمسامحة).

1-المقاومة Resistance:

وهي الاعاقة التي تبديها موصلات الخط لمرور التيار الكهربائي من خلالها وتعد المقاومة في خطوط النقل هي السبب الرئيس في خسائر القدرة كما تشكل مع الرادة الحثية للخط سبباً في هبوط الجهد وان مقاومة أي موصل منتظم طوله (L) ومساحة مقطعة (A) والمقاومة النوعية للمادة المصنوع منها (ρ) يمكن حسابها من المعادلة:

$$R = \rho L / A \quad \text{---------- (5-5)}$$

كما تعتمد المقاومة ايضا على درجة الحرارة وذلك لان المقاومة النوعية لاية مادة تعتمد على درجة الحرارة ويمكن حساب تأثير الحرارة على المقاومة خلال المعادلة الآتية:

$$R_t = R_o(1+\alpha_o t) \quad \text{---------- (6-5)}$$

حيث:

Ro: قيمة المقاومة عند درجة الصفر السيليزي(المئوي)

Rt: قيمة المقاومة عند اية درجة حرارة t

t:درجة الحرارة المراد قياس قيمة المقاومة عندها

α_o:المعامل الحراري عند الصفر السيليزي(المئوي)

واذا علمت مقاومة الموصل عند درجة حرارة معينة(t_1) وكانتR_1 فيمكن عندئذ حساب قيمة المقاومة عند درجة حرارة ثانية (t_2) من العلاقة التالية:

$$R_2 = R_1[1+\alpha_1(t_2-t_1)] \quad \text{---------- (7-5)}$$

حيث:

R_1:المقاومة عند درجة حرارة t_1

R_2: المقاومة عند درجة حرارة t_2

α_1:المعامل الحراري عند درجة حرارة t_1

ملاحظات مهمة :

1-تكون مقاومة الخط موزعة بأنتظام على طول الخط حيث تمثل (r) المقاومة لكل وحدة طول من الخط .

2- في حالة الخط الاحادي الطور تكون المقاومة الكلية للخط ضعف المقاومة الكلية لكل موصل .

3- في حالة الخط الثلاثي الطور فأن المقاومة لكل طور هي مقاومة الموصل الواحد.

4- مقاومة المواد الموصلة تناسب طردياً مع درجة الحرارة .

مثال (5-3)

اذا كانت مقاومة موصل من النحاس بدرجة الصفر المئوية هي 108 Ω فأحسب مقاومته عند درجة حرارة 25 مئوي اذا علمت بأن معامل درجة الحرارة للنحاس في الصفر المئوي .

$$\alpha_o=0.00427/C$$

الحل:

المعطيات: $\alpha_o=0.00427/C$ $R_0=108\Omega$

المطلوب: المقاومة عند درجة حرارة 25 مئوي.

$$R_t=R_o(1+\alpha_o.\ t)$$

$$R_t=108(1+0.00427 \times 25)$$

$$R_t=120\Omega$$

مثال (5-4)

اذا كانت مقاومة موصل من النحاس بدرجه 25مئوي هي120 اوم وكان معامل درجة الحرارة لموصل النحاس بدرجة 25 مئوي هو 0.00386 ، فأحسب مقاومة الموصل بدرجة حرارة 50 مئوي.

الحل:

المعطيات : $t_1=25C^o$ $t_2=50C^o$ $R_1=120\Omega$

المطلوب : R_2 **عند درجة 50 مئوي.**

$$R_2=R_1[1+\alpha_1(t_2-t_1)]$$

$$R_2=120[1+0.00386(50-25)]$$

$$R_2=132\Omega$$

2- المحاثة Inductance:

عندما يمر تيار متناوب (A.C) في موصلات خط النقل سيتولد مجال مغناطيسي يتواشج مع الموصلات وبسبب هذا الفيض المغناطيسي المتواشج (Flux linkage) ستتولد ما يسمى بالمحاثة ويمكن حساب قيمتها رياضياً من المعادله التالية:

$$L=\Psi/I \text{ ---------- (8-5)}$$

Ψ:الفيض المغناطيسي المتواشج مقاسا بالويبر - لفة (Wb-turn)

I:التيار الكهربائي المار بالموصل مقاسا بالامبير(Amp)

والمحاثة متوزعة بأنتظام على خط النقل وتعتمد قيمة المحاثة على حجم الموصلات والابعاد فيما بينها وعلى طول الخط وان ما يحتاج اليه عند اجراء حسابات خطوط النقل هو المفاعلة او الرادة الحثية (Inductive Reactant) ويمكن حسابها كما يأتي:

$$X_L=2\pi f L \quad (0hm) \text{ ---------- (9-5)}$$

f: التردد مقاسا بالهيرتز(Hz)

L:المحاثة مقاسة بالهنري(Henry)

3-المتسعة (المكثف) Capacitor:

تتكون خطوط النقل المعلقة من موصلات يفصل الهواء فيما بينها وبما ان الهواء مادة عازلة ، فأن كل موصلين من موصلات خط النقل يشكلان مع الهواء العازل بينهما متسعة ولهذا فأن فرق الجهد بين الموصلين يسبب سريان تيار شاحن فيهما حتى في الحالات التي يكون فيها الخط غير محمل ويكون

تأثيرالمتسعة على الخط مشابهاً لتأثير حمل بعامل قدرة متقدم وتعتمد قيمة المتسعة على حجم الموصلات والابعاد فيما بينها وعلى طول خط النقل . ويمكن تعريف السعة بين أي موصلين على انها الشحنة المقابلة لوحدة فرق الجهد بين الموصلين ويمكن حسابها بالمعادلة التالية:

$$C = Q/V \quad \text{(Farad)} \qquad \text{(10-5)}$$

Q:الشحنة مقاسة بالكولوم

V:فرق الجهد مقاسا بالفولت

4- المواصلة التسربية Leakage Conductance:

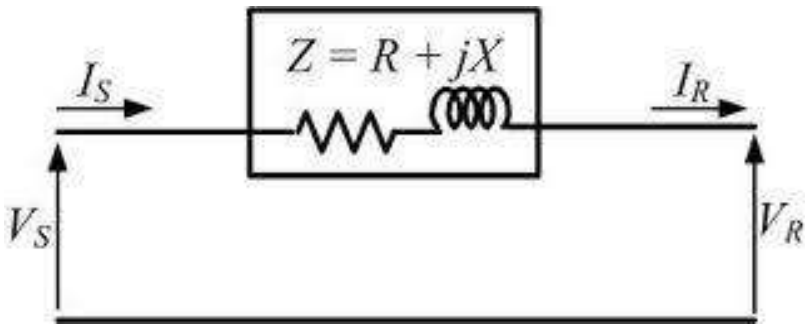
تسمى المواصلة التسربية أحياناً بالمساربة . من الممكن في اغلب الحسابات أهمال قيمتها لانه من الصعب تقدير قيمتها بصورة مضبوطة ودقيقة وذلك لاعتمادها على الحالة الجوية وهي تمثل الضياع الناتج بسبب التيارات المتسربة عبر العوازل وتكون قيمة هذا الضياع ضئيلة جداً.

5- 10 تصنيف خطوط النقل حسب أطوالها

من الممكن تصنيف خطوط النقل حسب أطوالها الى ما يلي:

1-خطوط النقل القصيرة :

وهي الخطوط التي لايزيد طولها عن 50 كيلو متر وفي هذا النوع من الخطوط تكون قيمة التيار الشاحن قليلة وبذلك يمكن اهمال متسعة الخط واحتساب الدائرة المكونة للخط متكونة من الممانعة فقط واحتساب المقاومة والمحاثة مجتمعين كما في الشكل (5-16) الذي يمثل خط نقل قصير احادي الطور أو يمثل طوراً واحداً من الاطوار الثلاثه لخط نقل قصير ثلاثي الطور .



الشكل (5-16) دائرة خط النقل القصير

حيث:

V_s , I_s التيار والجهد في جهة الارسال (جهة المصدر)

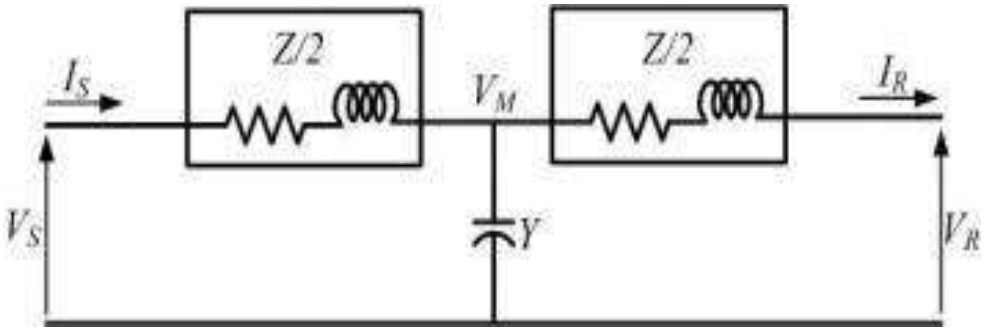
و V_R , I_R تمثل التيار والجهد في جهة الاستقبال (جهة الحمل)

2- خطوط النقل المتوسطة الطول:

وهي الخطوط التي يتراوح طولها من 50 كيلومتر الى 150 كيلومتر . وفي هذه الحالة لايمكن اهمال متسعة الخط او التيار الشاحن لان اهمالها يؤثر على الحسابات ولا يعطي نتائج صحيحة ودقيقة . وفي هذا النوع من الخطوط يمكن تمثيل دائره الخط بالطرق الاتية:

أ - طريقة T الاسمية:

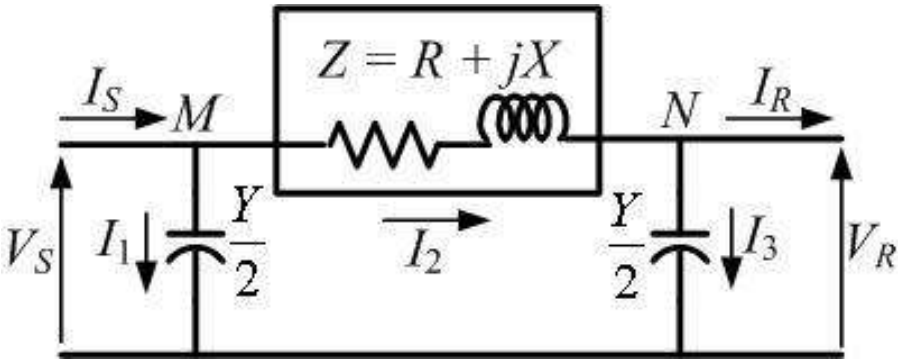
في هذه الطريقة تعد الممانعة متركزة ومنقسمة على جزئين متساويين، احدهما متمركز بأكملهما في وسط الخط وبذلك يكون شكل الدائرة مشابه للحرف (T)، وكما في الشكل (5-17) .



الشكل (5-17) دائرة طريقة T الاسمية

ب- طريقة π الاسمية:

في هذه الحالة تعد متسعة الخط منقسمة على جزئين متساويين،احدهما في جهة الاستقبال، والاخرى في جهة الارسال بينما الممانعة تكون كاملة في الخط وتكون دائرة الخط مشابهة للرمز π ،كما في الشكل (5-18) .



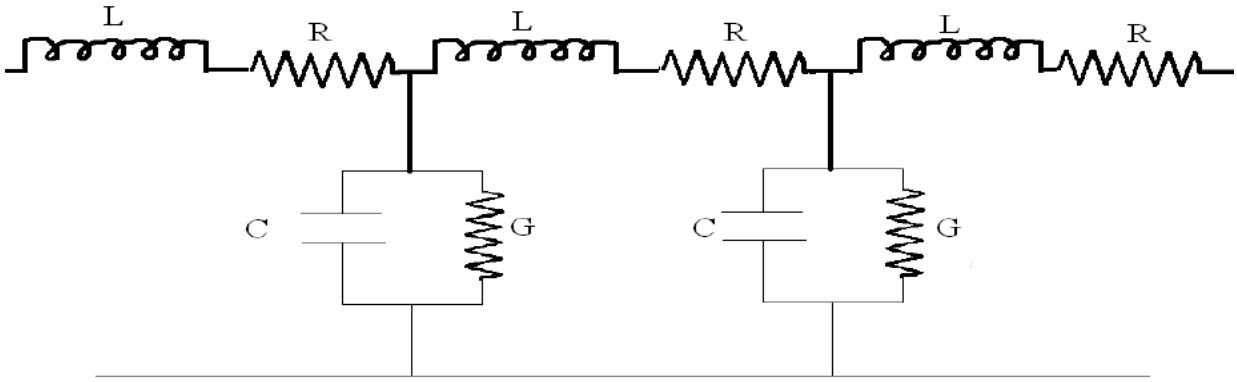
الشكل (5-18) دائرة طريقة π الاسمية

وهناك طرق اخرى لتمثيل الخط المتوسط ولكن الطرق التي ذكرناها هي (T, π) الاكثر شيوعاً .

3- خطوط النقل الطويلة:

وهي الخطوط التي يزيد طولها عن 150 كيلو متر وقد افترضنا في حالة خطوط النقل القصيرة والمتوسطة بأن ثوابت الخط مجمعة وافترضنا انه في حالة الخط القصير بالامكان اهمال متسعة الخط اما في حالة خط النقل الطويل لايمكننا استعمال هذه الفرضيات والطرق التي استعملناها في حالتي الخط المتوسط والقصير لان ذلك يؤدي في حالة الخطوط الطويلة الى حصول خطا كبير في النتائج .

بناءً على ما تقدم يجب استعمال طرق لتمثيل الخط الطويل اكثر دقة من الطرق المستعملة في حالتي الخط القصير والمتوسط . وسنفترض في حالة الخط الطويل ان ثوابت الخط موزعة توزيعاً منتظماً على طول الخط، كما في الشكل (5-19).



الشكل (5-19) الدائرة المكافئة لخط النقل الطويل

11-5 كفاءة النقل (كفاءة الخط) Transmission Efficiency

ان القدرة المستلمة في جهة الاستقبال لخط النقل تكون اقل من القدرة المرسلة من الارسال وذلك بسبب ضياع القدرة في الخط والذي يحصل بسبب وجود مقاومة الخط .

ولذلك يمكن تعريف كفاءة النقل او كفاءة الخط بأنها نسبة قدرة الاستقبال الى قدرة الارسال لخط النقل وهي كما يأتي:

$$\% \text{ كفاءة النقل (الخط)} = \frac{\text{القدرة في جهة الاستقبال}}{\text{القدرة في جهة الارسال}} \times 100$$

يرمز للكفاءة بالرمز η

ولقدرة الاستقبال بالرمز P_r

ولقدرة الارسال بالرمز P_s

ولذا يمكن كتابة المعادلة اعلاه كما يلي:

$$\eta = \frac{P_r}{P_s} \times 100 \quad \text{---------- (11-5)}$$

$$P_s = P_r + \text{Losses} \quad \text{---------- (12-5)}$$

مثال 5-5

خط نقل قصير ثلاثي الطور يجهز حملاً تاماً مقداره 20 ميكا واط في جهة الاستقبال أوجد كفاءة الخط اذا علمت بأن القدرة في جهة الارسال هي 23 ميكا واط .

الحل :

المعطيات $Pr=20MW$; $Ps=23MW$

المطلوب : حساب الكفاءة.

$\eta=20 \times 100/23 =87\%$

مثال 5-6

خط نقل ثلاثي الطور يجهز قدرة في جهه الارسال 5322 كيلو واط فاذا كانت خسائر الخط للطور الواحد 107.33كيلو واط فاحسب القدرة في جهة الاستقبال واحسب كفاءة النقل .

الحل :

المعطيات: Ps=5322KW ; Losses =107.33KW/phase

المطلوب: Pr ; ή

الخسائر الكلية للاطوار الثلاثة =3 x 107.33

322 KW=

Ps=Pr + Losses

5322= Pr + 322

Pr= 5322-322=5000KW

ή= 5000 x 100 / 5322 =94%

مثال 5-7

خط نقل قصير احادي الطور يمر فيه تيار قيمته 60 امبير يجهز قدرة للحمل قدرها 200 كيلو واط .

احسب كفاءة الخط اذا علمت بأن مقاومة الموصل الواحد من الخط هي 3 اوم.

الحل:

المعطيات:مقاومة الموصل الواحد R=3Ω I=60A; Pr=200KW

المطلوب: حساب الكفاءة .

بما أن الخط احادي الطور، اذن فالخط يتكون من موصلين ولحساب الخسائر الكلية في الخط نستعمل العلاقة الاتية:

$Losses = 2\ I^2\ R$

$Losses = 2 \times (60)^2 \times 3 = 21600Watt = 21.6KW$

Ps= Pr + Losses

Ps = 200 + 21.6 =221.6KW

ή= 200 x 100 /221.6 = 90%

أسئلة الفصل الخامس

س1: أختر العبارة الصحيحة لكل من العبارات الاتية:

أ- خطوط النقل العاملة بجهد 132 كيلو فولت تستعمل عوازل من نوع:

1- عوازل المسمار. 3- عوازل الاجهاد.

2- عوازل التعليق . 4- لاتحتاج الى عوازل .

ب- يتم استعمال الحلقة الحارسة مع سلسلة عوازل التعليق لغرض:

1- زيادة الجهد عبر كل عازل في السلسلة.

2- تقليل الجهد عبر كل عازل في السلسلة.

3- تساوي الجهد عبر كل عازل في السلسلة.

4- حماية السلسلة من المؤثرات الميكانيكية.

ت-عند زيادة طول سلسلة عوازل التعليق فأن كفاءتها:

1- تنقص.

2- تزداد.

3- لا تتأثر .

ث- تستعمل في خطوط الجهد العالي مساند من نوع :

1- الابراج المعدنية.

2- الاعمدة الخشبية.

3- اعمدة الخرسانة المسلحة.

4- الاعمدة الفولاذية.

ج-يمكن أهمال متسعة خط النقل في حالة:

1- خطوط النقل المتوسطة الطول.

2- الخطوط الطويلة.

3-الخطوط القصيرة.

4-في كل أنواع الخطوط.

س2:أجب بصح أو خطأ مع تصحيح الخطأ دون تغيير ماتحته خط:

1- أن نجاح عمل خط النقل لايعتمد على التصميم الميكانيكي للخط .

2- أن الموصلات المجدولة أكثر مرونة من الموصلات ذات السلك الواحد .

3- يجب ان تكون المادة المستعملة في صناعة الموصلات ذات موصلية قليلة .

4- أن الباع هو المسافة التي تفصل بين كل مسندين متتالين من مساند الخط .

5- أن بعض الشوائب الموجودة في النحاس تزيد من قابليته التوصيلية للكهرباء .

6- أن اختيار نوع المسند لايعتمد على جهد الخط .

7- يجب ان يكون الخزف المستعمل في صناعة العوازل محتويا على الفقاعات والشوائب .

8- تعد عوازل المسمار غير اقتصادية للجهود العالية .

9- في سلسلة عوازل التعليق يكون الجهد اقل مايمكن عبر العازل القريب من الموصل .

10- أن القدرة المستلمة في جهة الاستقبال لخط النقل تكون اقل القدرة المرسلة من جهة الارسال .

س3 : أملا الفراغات الاتية:

1- ان خطوط النقل يجب ان تكون ذو----------عالية ليتمكن من الصمود بوجه التأثيرات الجوية غير المتوقعة.

2- يجب ان تكون المادة المستعملة في صناعة الموصلات ذات موصلية---------- لتقليل القدرة الضائعة في الخط ولتقليل هبوط الجهد .

3- كلما كان الموصل ذا قوة شد عالية فان الارتخاء فيه سيكون---------- مما يمكننا من زيادة ---------- بين المساند.

4- ان اختيار نوع المساند وتصميمه الميكانيكي يعتمد على--------- و ---------- و---------- .

5- ان وظيفة العوازل في خطوط النقل المعلقة هي ---------- و---------- .

6- يتم تثبيت عازل المسمار على ---------- للعمود بواسطة---------- .

7- ان مرونة سلسلة عوازل التعليق تؤدي الى ---------- الاجهادات الميكانيكية

8- ان كفاءة سلسلة عوازل التعليق---------- بأزدياد عدد العوازل في السلسلة .

9- ان طرق تحليل الخطوط المتوسطة الطول يتم اما باستعمال طريقة---------- او طريقة---------- .

10- كفاءة خط النقل هي النسبة بين ---------- الى ---------- لخط النقل .

س4:سلسلة عوازل تعليق ذات اربعة وحدات تسند موصل خط نقل ثلاثي الطور يعمل بجهد 33 كيلوفولت واذا كان جهد الطور عبر العوازل الثلاثة المتتالية من الاعلى للاسفل هي:

V1=3.05kV, V2=3.66KV , V3=5.01KV.

فأحسب الجهد عبر العازل الرابع القريب من الموصل وأحسب كفاءة السلسلة :

الجواب:

7.33 كيلوفولت ، 86.63%

س5:سلسلة عوازل تعليق مكونة مـن ثلاث وحدات تسند موصل خط ثلاثي الطور فاذا كانت قيمة أكبر جهد عبر عازل واحد لاتتجاوز 35 كيلو فولت وكانت كفاءة السلسلة هي 80.5% ، فأحسب اكبر قيمة لجهد خط النقل للطور الواحد.

الجواب:

84.525 كيلوفولت

س6:خط نقل ثلاثي الطور يغذي حملا بقدرة 5000 كيلو واط. اذا كانت مقاومة الخط للموصل الواحد 4 اوم وكان تيار الخط (تيار الموصل) هو 164 امبير فاحسب :

أ-خسائر الخط للطور الواحد ب- خسائر الخط للاطوار الثلاثة

ج- قدرة الخط في جهة الارسال د- كفاءة الخط.

الجواب:

أ- 107.584كيلوواط ب- 322.752 كيلوواط ج- 5322.752 كيلوواط د- 93.94%

س7: خط نقل احادي الطور ينقل قدرة الى الحمل مقدارها 1100 كيلو واط وبكفاءة 98.44% فأذا كانت مقاومة الخط هي 10 اوم فأحسب:

أ- الخسائر في الخط.

ب- تيار الخط.

الجواب:

أ- 17.43 كيلوواط

ب-41.75 امبير

الفصل السادس

المحطات الثانوية Substations

1-6 تمهيد

يتعرف الطالب في هذا الفصل على:

1- يعرف أهمية المحطات الثانوية في نقل الطاقة الكهربائية من محطة التوليد وكيفية وصولها الى المستهلك.

2- يفهم أنواعها من حيث التحويل والتوزيع.

3- يتعرف على المراحل التي تتحول فيها الطاقة الكهربائية والسبب في التحويل .

4- يفهم أنواع توزيع القضبان الهوائية وكيفية تصنيفها والهدف من التصنيف.

عند توليد الطاقة الكهربائية في محطات التوليد المختلفة الانواع (الحرارية،الغازية، المائية....وغيرها) التي تكون اماكنها بعيدة عن مراكز استهلاك الطاقة الكهربائية، لذا كان من الضروري عند نقل هذه الطاقة المتولد وتوصيلها الى المستهلك بقيمة معينة وثابتة ان تمر بمراحل وعبر محطات تحويل التي تنقسم الى محطات نقل ومحطات توزيع من حيث القدرة التحويلية والى محطات داخلية ومحطات خارجية من حيث مكان الانشاء، تسمى هذه بالمحطات الثانوية او الفرعية (Substation) ويتم اختيار موقع المحطات الفرعية وفقا لدراسة متطلبات عمل المنظومة .

تعتبر محطات التحويل الكهربائية من احدى المكونات الاساسية للنظام الكهربائي وهي عبارة عن مجموعة من الاجهزة الكهربائية على راسها محولات رئيسة تقوم بتحويل الجهد من مستوى الى اخر سواء بالرفع أو الخفض .

6- 2 تصنيف المحطات الثانوية

تصنف المحطات حسب طبيعة عملها الى:

أولا/ محطات التحويل الثانوية Transformer Substation:

وهي المحطات التي تقوم بتحويل جهد النظام الكهربائي من جهد منخفض الى جهد عالي او جهد متوسط وتنقسم على :

أ- محطات فرعية للرفع Substation Step – Up Power:

هذه المحطات تكون مجاورة او قريبة من محطات التوليد الرئيسة التي يكون فيها الجهد المتولد منخفض (11- 25) كيلو فولت ولابد من وجود هذه المحطات لرفعه الى حدود عالية قد تتجاوز(132) كيلو فولت وذلك لغرض نقل هذه الطاقة عن طريق خطوط النقل اذ يتم نقله الى مسافات طويلة ويمكن تشبيه هذه العملية بمضخة مياه مركبة على بداية مجموعة من المواسير اذ انها ترفع من ضغط الماء ليمكن ارساله بسرعة عبر مسافات طويلة.

أن عملية نقل التيار الكهربائي العالي عبر مسافات طويلة يتطلب استعمال كيبلات ذات قياسات واحجام كبيرة يؤثر من الناحية الفنية والاقتصادية وكذلك يؤثر سلبا في نقل الطاقة اذ انه يزيد في مقدارهبوط الجهد الذي يتناسب مع مربع التيار الذي تحمله هذه الخطوط يساوي:

$$V_{drop} = I^2 R \longrightarrow (1 - 6)$$

ويمكن تقليل هذا الفقد عند تقليل المقاومة الذي يترتب عليه زيادة المقطع العرضي للموصل والذي يتناسب عكسيا مع المقاومة وحسب قانون :

$$R = \frac{\rho L}{A} \qquad (2\text{-}6)$$

لذا فأن هذه الطريقة غير مجدية من الناحية الاقتصادية والفنية والتي تتطلب ابراج تتحمل ثقل الموصلات الضخمة عند النقل لذلك كان من الاجدر التفكير في كيفية تقليل الفقد في الطاقة الكهربائية وذلك برفع الجهد الى قيم معينة وتقليل قيمة التيار مع الحفاظ على ثبات القدرة والتردد ويعتمد اختيار قيمة جهد النقل على المسافة بين محطة التوليد واماكن التوزيع وكمية الطاقة المنقولة فكلما زادت المسافة وزادت كمية الطاقة كلما تطلب الامر زيادة الجهد، ويتم رفع الجهد المتولد بواسطة محولات رفع اذ يتم توصيل ملف المحول المتصل بالمولد على شكل دلتا ومن ناحية الشبكة (الملف الاخر) يكون نجمة (ستار) ونقطة التعادل متصلة مباشرة بالارض. الشكل (6-1) يوضح محطة رفع.

الشكل (6-1) يوضح محطة رفع

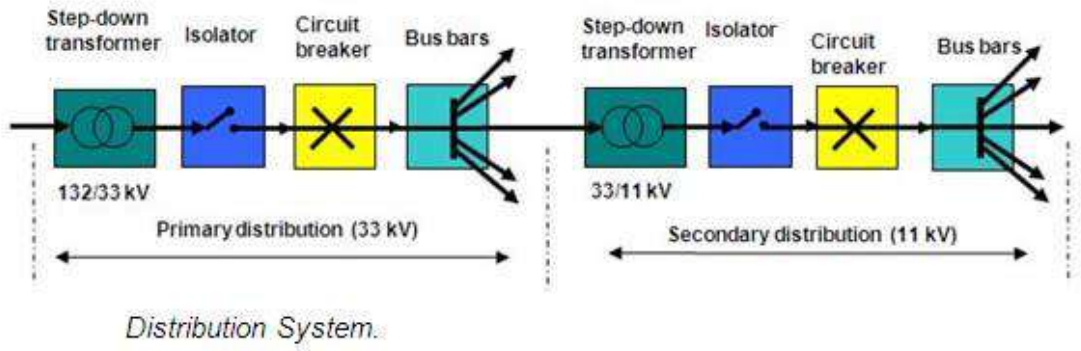
ب- محطات فرعية للخفض Substation Step – Down Power:

وهي تلك المحطات التي تستلم الطاقة الكهربائية بمستوى عالي ويتم فيها خفض هذا المستوى الى حدود ملائمة لتوزيع هذه الطاقة على مواقع الاستهلاك . الشكل (6-2) يوضح محطة خفض.

الشكل (6- 2) يوضح محطة خفض

ثانيا/محطات التوزيع Distribution Substations:

وهي التي تقوم بتحويل جهد شبكة التوزيع الرئيسة من جهود متوسطة (33) كيلو فولت الى جهود متوسطة اخرى ذات قيمة أقل (11) كيلو فولت ويعتمد ذلك على قيمة جهد النقل وتجهز هذه الجهود عادة بعض المصانع والمنشات التي تحتاج الى قدرة استهلاك عالية او تخفض هذه الجهود بمرحلة أخرى الى جهود صغيرة (220) فولت او (380) فولت، وتجري عمليات تحويل الجهد بوساطة محولات ثلاثية الاطوار عادة ويمكن توضيح عملية توزيع القدرة بمستويات جهد مختلفة بالمخطط المذكور في الشكل (6- 3) .



الشكل (6- 3) يوضح مخطط محطة توزيع

يمكن تصنيف المحطات الثانوية من حيث طبيعتها وطريقة تصميمها :

أ - المحطات الثانوية الخارجية Out door Substation:

بحيث تكون جميع دوائرها الرئيسة لكلا الجهدين موجودة في الساحات الخارجية والوسط العازل هو الهواء الخارجي المحيط واما معدات القياس والحماية فتكون داخل مباني خاصة . وقد تكون مركبة على الأعمدة الكهربائية أو قد تكون مركبة على قواعد أرضية. كما في شكل (6- 4).

الشكل (6-4) يوضح المحطات الثانوية الخارجية

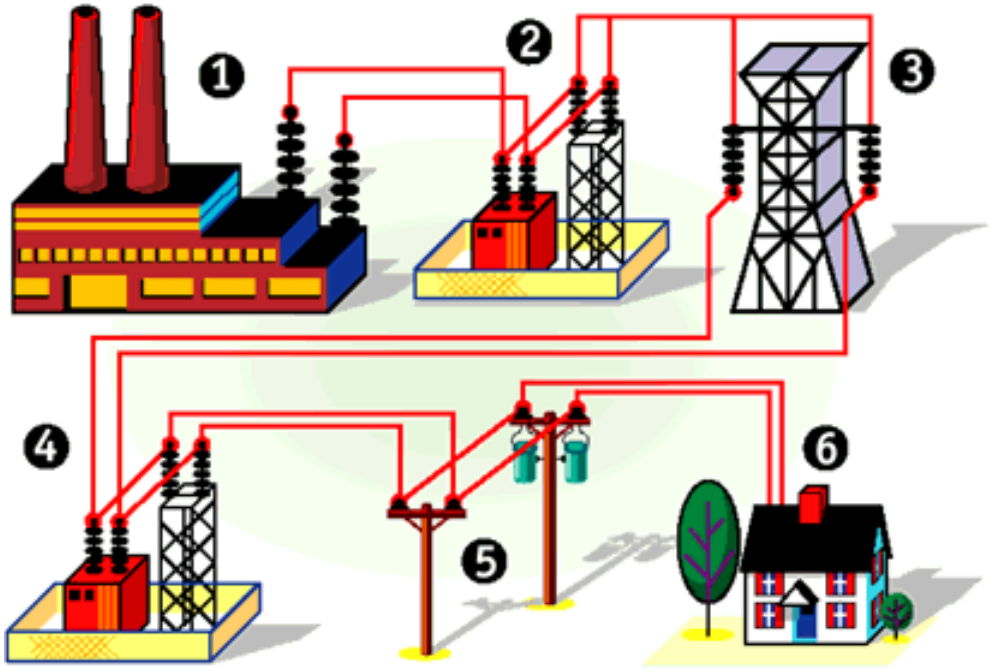
ب - المحطات الثانوية الداخلية In door Substation:

بحيث تكون جميع دوائرها الرئيسة لكلا الجهدين ويمكن تركيبها وتصميمها داخل مباني مخصصة أو تحت الشوارع والارصفة موجودة داخل مبنى خاص باستثناء محولات القوى ويكون الوسط العازل للمعدات هو المطاط الصناعي أو البلاستيك المقوى.

وهذه المحطات يمكن تركيبها ضمن حاويات معدنية مجمعة ومجهزة لتوصيل الخطوط الكهربائية لها بحيث توضع على قواعد مصممة لها . كما في الشكل (6-5).

الشكل (6-5) يوضح المحطات الثانوية الداخلية

المخطط (6-6) يوضح كيفية انتقال الطاقة الكهربائية من محطة التوليد ووصولها الى المستهلك.



1- محطة توليد الطاقة الكهربائية .
2- محطات رفع (المحطات الثانوية) .
3- خطوط النقل الى مسافات طويلة .
4- محطات خفض الجهود (محطة ثانوية) .
5- خطوط توزيع الطاقة الكهربائية (منظومة التوزيع) .
6- تغذية الطاقة الكهربائية للمستهلك .

المخطط (6-6) يوضح كيفية انتقال الطاقة الكهربائية

6- 3 مكونات محطات التحويل

تتكون محطات التحويل من مجموعة من الأجزاء والدوائر الكهربائية التي تشكل في مجموعها محطات التحويل وهي:

أولا/ المحولات Transformers:

وهي على عدة انواع :

أ- المحولات الرئيسة (محولات القوى): وظيفتها رفع الجهد المتولد ومن ثم خفضه قبل ارساله الى المستهلك كما في الشكل (6-2).

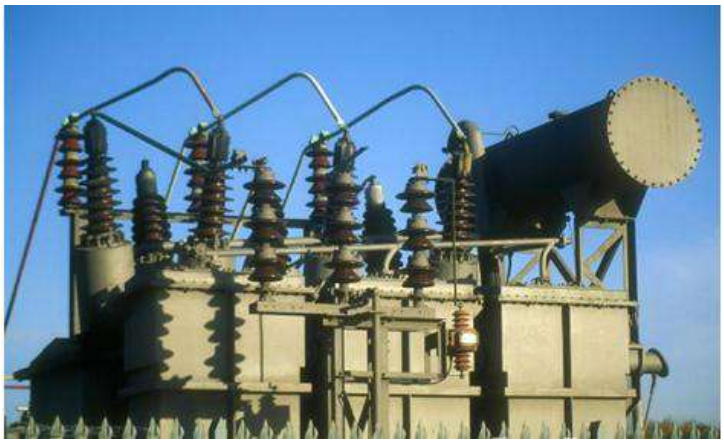
ب-المحولات المساعدة(محولات التأريض): وهذه تكون مرافقة لمحولات القوى ذات القدرة العالية أو المتوسطة ومن وظائفها تزويد احتياجات محطة التحويل بالطاقة الكهرائية كألانارة والتدفئة والتبريد والشواحن.

ت- محولات القياس- وهي نوعان:

1- محول الجهد Voltage Transformer:

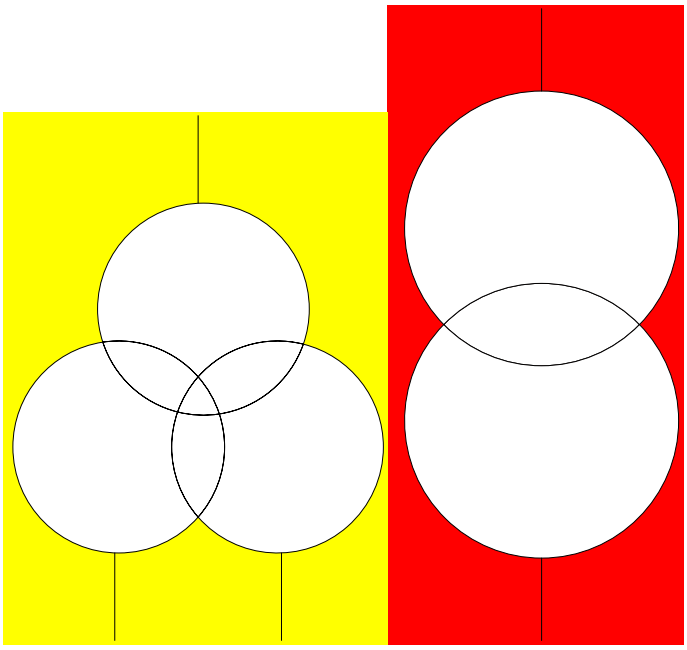
أن المبدأ لعمل هـذه المحولات هو مبدأ عمل المحولات الرئيسة نفسه (محولات القدرة) والمساعدة (محولات التأريض) الذي يقوم على وصل مجموعتين من الملفات على قلب حديدي مغناطيسي وبينهما نسبة تحويل تعتمد على عدد اللفات الابتدائية والثانوية . وهي بشكل عام محولات خافضة تقوم بخفض الجهد لنسبة قياسية محددة لغرض تغذية اجهزة الحماية والقياس.

يتكون الملف الابتدائي من عدد كبير من اللفات ويربط الى خط التغذية بينما الملف الثانوي يتكون من عدد قليل من اللفات ويربط الى اجهزة الحماية والقياس لمنظومات القدرة ، والجهد القياسي للملف الثانوي هو (110) فولت (خط - خط) .كما موضح في الشكل (6-7).



الشكل (6-7) يوضح محول جهد

أن محـولات الجهد يمكن أن تكـون ثنائيـة (2 winding transformer) او ثلاثيــة الملفــات (3 winding transformer) وحسب الموقع المراد استعمالها فيه، كما في شكل (6- 8) الذي يوضح رمز لمحول ثنائي وثلاثي الملفات.



الشكل (6- 8) يوضح رمز للمحولات

ويستعمل محول الجهد فيما يأتي :

أ- تغذية أجهزة القياس مثل (Voltmeter) ، (Wattmeter)، (VAR meter) .

ب- تغذية أجهزة الحماية (Protection Equipment) والتي تقوم بحماية الدوائرالكهربائية وقياس القيم الكهربائية.

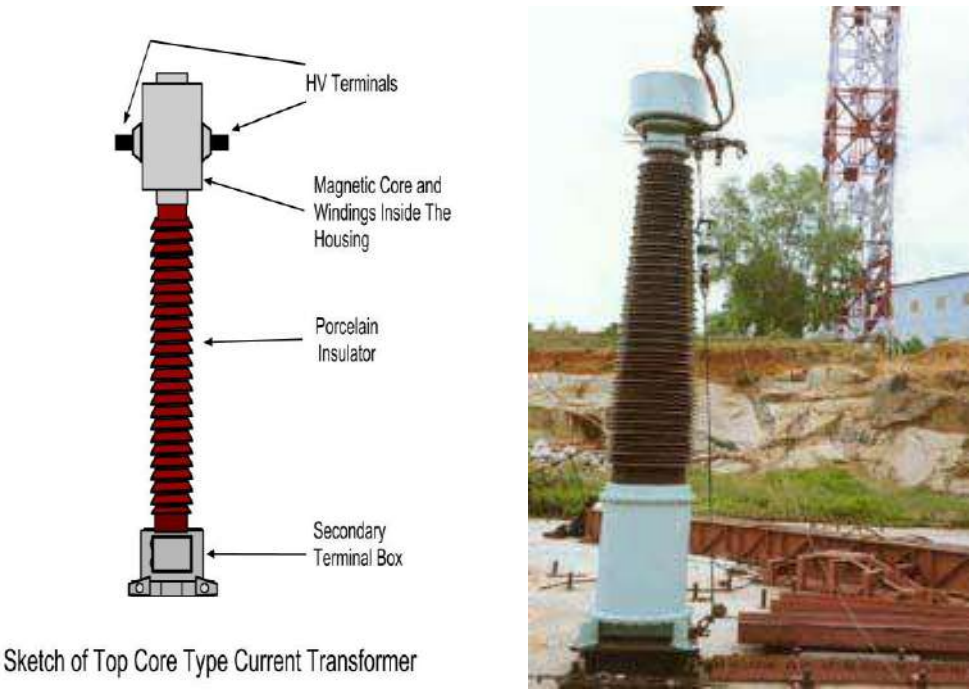
ت- تغذية أجهزة التوافق (Synchroscope) اذ يشترط في عمليات التوافق: تساوي الجهد ، تساوي الذبذبة ، توافق الأطوار ، و تستعمل في محطات التحويل عربة تعرف باسم عربة التوافق لإغلاق الدائرة عن بعد من غرفة التحكم فقط ، ولا يمكن غلق الدائرة عن بعد حتى وان تحققت شروط التوافق إلا باستخدام هذه العربة.

ث- تغذية مسجل الأخطاء (Fault Recorder) وهذا الجهاز مشترك لكافة محطة التحويل إذ انه يعمل ابتداء من مرحلات الحماية المسافية على خطوط (132 كيلو فولت) ومن مرحل الفصل الرئيس للمحولات ، كما انه يسجل التيارات والجهود قبل وخلال وبعد حدوث العطل وكذلك لحظة فصل القاطع الآلي،كما يسجل اللحظة التي تعطلت فيها الأجهزة .

لا يسمح أبدا أن يتعرض الملف الثانوي لمحول الجهد إلى القصر ، والسبب هو أن وظيفة محول الجهد هو خفض الجهد من قيم عليا إلى قيم منخفضة ، وبما أن القدرة ثابتة على ملفي المحول نفسه ، فانه سوف يتولد تيار عالي جدا على الملف الثانوي ويؤدي ذلك إلى تلف محول الجهد .

2- محول التيار Current Transformer:

الشكل (6- 9) يوضح محول تيار .



الشكل (6- 9) يوضح محول تيار

يكون محـول التيارعـادة قبل القاطع الآلي، ويقوم بتحويـل التيار الى قيمة قليلة (1 أمبير) او (5 أمبير) تعتمد على نوع الأداة التي يغذيها ، ومن الآلات و الاجهزة التي يغذيها محول التيار:

(أجهزة القياس، بعض مرحـلات الحمايـة، مسجل الأخطاء) ويكون العزل فـي محولات التيار إما بغاز SF6 او بالورق المشبع بالزيت .

أن الفرق الجوهري والمبدئي بين محولات قياس التيار ومحولات قياس الجهد هو أن محولات التيار يوصل ملفها الابتدائي على التوالي مع الدائرة المراد قياس التيار المار فيها ، وبالنتيجة فانه يمر من خلال الملف الابتدائي كل تيار الحمل او تيار القصر ، ويقوم محول التيار بتغذية أجهزة الحماية والقياس التي تحتاج إلى تيار. ولا يسمح أبدا أن يتعرض الملف الثانوي لمحول التيار إلى الفتح ، لأنه سوف يتولد عند ذلك جهد عالي جدا على طرفي الملف الثانوي ، ينشأ عنها قوس كهربائي عالي يؤدي إلى تعطيل محول التيار .

ثانيا/المفاتيح الكهربائية:

مفاتيح قطع الدائرة أثرا مهما في التصميم والأداء لأي نظام قدرة وهي تمثل الأجزاء الرئيسة في منظومة النقل لحماية هذه المنظومة ولاستمرارية عملها ، ويجب أن تكون القواطع قادرة على توصيل وقطع الدائرة تحت شروط العمل العادية وغير العادية مثل دائرة القصر وكذلك تفصل الدائرة وبشكل مستمر مادامت الأعطال موجودة، وعمليات العزل والتاريض للأجزاء والدوائر الكهربائية في محطات التحويل وهي على أنواع :

A- القاطع الآلي Circuit Breaker:

يعرف على انــه جهــاز قفل وفتــح ميكانيكي لــه القــدرة على وصل وفصل التيار تحت ظروف تشغيل مختلفة ، ويمكن القول أن القاطع آلالي له مهمتان هما:

- فصل و وصل الدائرة الكهربائية في الظروف التشغيلية العادية لغايات التشغيل أو الصيانة اللازمة بسهولة وذلك لان الفصل او الوصل يتم تحت تيارات الأحمال العادية.
- فصل الدائرة الكهربائية في الظروف غير العادية، مثل الأعطال الكهربائية أو الأحمال الزائدة "Over Load" وتكون مهمة القاطع اكثر صعوبة من الحالة السابقة وذلك لارتفاع قيم تيارات الأعطال التي قد تصل إلى عدة أضعاف التيار الاعتيادي.

الشكل (6 - 10) يوضح شكل القاطع الالي .

الشكل (6-10) يوضح القاطع الالي

وبما أن القاطع الآلي يقوم بعملية فصل ووصل التيار فلابد من وجود طرق لاطفاء الشرارة العالية الناتجة عن ذلك ويستعمل لهذا الغرض الزيت ويسمى القاطع الآلي الزيتي (Circuit Breaker Oil)وغاز سادس فلوريد الكبريت ويسمى القاطع الآلي الغازي (SF6 Circuit Breaker) .

- القاطع الآلي الزيتي Oil Circuit Breaker :

الشكل (6-11) يوضح القاطع الآلي الزيتي

كما موضح في الشكل (6 -11) اذ يعد من اقدم أنواع القواطع الآلية المستعملة في هذا القاطع تفتح الملامسات ويطفأ القوس الكهربائي تماما في زيت موضوع داخل اناء مؤرض وتساعد الحرارة الناتجة مـن القوس على تبخر الزيت المحيط وعلى زيادة طاقـة القوس الكهربائي يزداد ضغط الغازات الناتجة

وهناك نوعين تبعا لكمية الزيت المستخدمة:

1- قواطع آلية تحتوي على كمية كبيرة من الزيت وتعرف بأسم Bulk Oil Circuit Breaker فائدة الزيت في هذا النوع هو العزل فضلا عن اطفاء القوس الكهربـائي ، ويستعمل هذا النـوع في الجهود العالية والمتوسطة كما في الشكل (6- 12) .

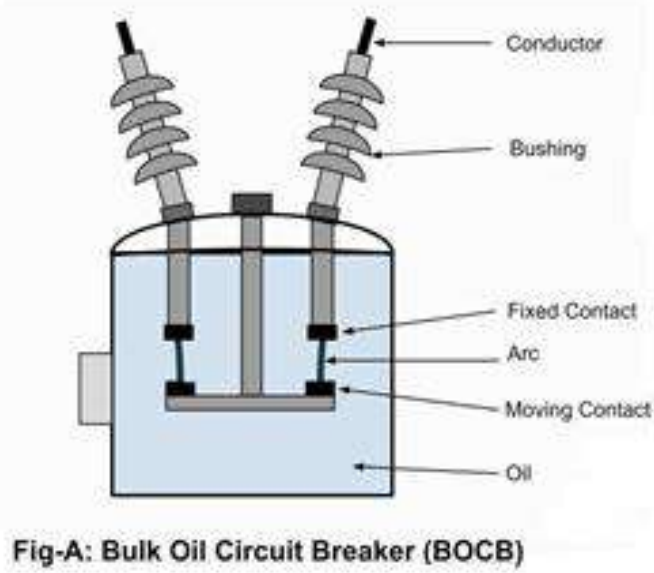


Fig-A: Bulk Oil Circuit Breaker (BOCB)

الشكل (6-12) يوضح Bulk Oil Circuit Breaker

2- قواطع آلية تحتوي على كمية قليلة من الزيت وتعرف باسم Minimum Oil Circuit Breaker يتم اطفاء القوس الكهربائي في وعاء به كمية قليلة من الزيت ويستعمل هذا النوع للجهود المنخفضة والتي تتروح بين (33) و (132) كيلوفولت، وللزيت المستخدم في مثل هذه القواطع مجموعة من الصفات والخصائص الجيدة وهي:

أ- له عازلية عالية .

ب- يمتلك درجة منخفضة من الرطوبة.

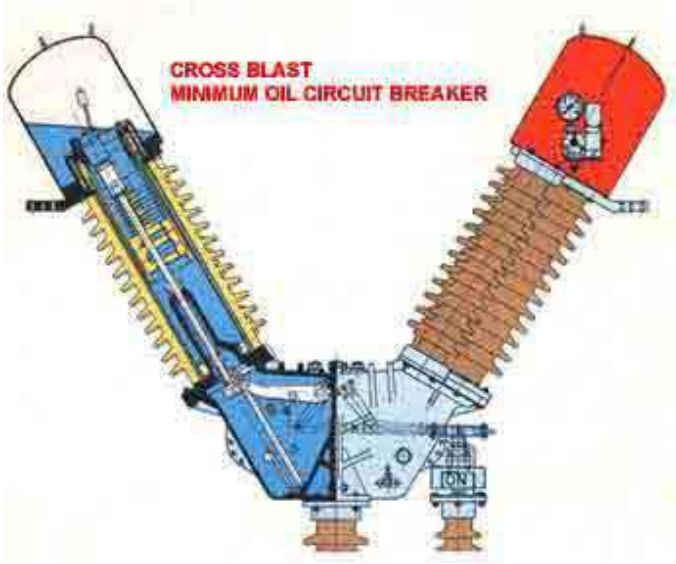
ت- يمتاز بدرجة غليان ودرجة وميض عاليتين.

ث- يساعد على عملية اطفاء الشرارة وتكون الغازات الناتجة عن الزيت ذات قدرة عالية على التبريد.

ومن سيئات الزيوت المستعملة في القواطع الآلية:

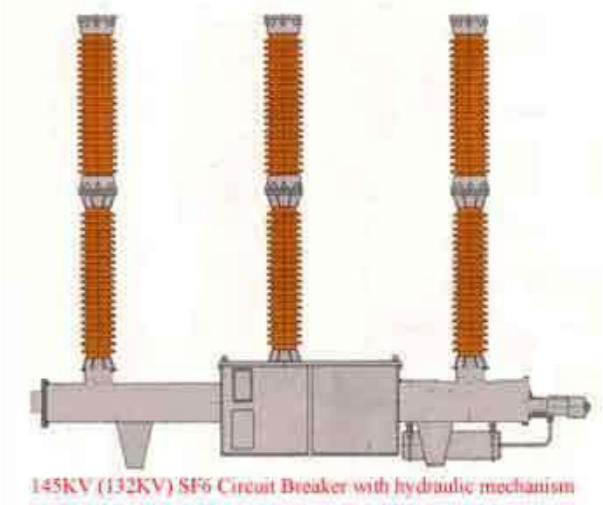
قابـل للاشتعال ، يشكل خليطا متفجرا مـع الهواء عند حدوث شرارة ، يحتاج إلى صيانـة ومراقبة دائمة

كما في الشكل (6- 13) .



الشكل (6- 13) يوضح القاطع الالي ذو الزيت القليل

- القاطع الآلي الغازيCircuit Breaker SF6:



الشكل (6-14) يوضح القاطع الآلي الغازي

فـي الشكل (6- 14) يوضح القاطـع آلالي هذه القواطع تستعمل غـاز سادس فلوريـد الكبريت (SF6)المضغوط وهو غـاز خامل ذو عازلية عالية وغير سام وغير قابل للاشتعال ويضغط الغاز فـي القواطع الآلية على ضغط مقداره (Bar 5)، ومن أهم مميزاته:

1- عند الضغط الجوي تكون قوة العزل (Dielectric Strength) اكثر من الهواء بضعفين او بثلاثة أضعاف.

2 - قابليته لنقل وتبديد الحرارة ، وعند الضغط الجوي تكون اكبر بضعفين أو بضعفين ونصف.

3 - يعد مستقرا كيميائيا بعكس الزيت وغير قابـل للاشتعال ولهذه الميزة يمكن استعمالـه فـي قواطـع الجهد العالي.

4 - يتم إطفاء الشرارة بحيز اقل من الأنواع الأخرى.

5- الاجـزاء المعدنية الموجودة فيه لا تتعرض للتلف لعـدم حدوث اكسدة للمعادن وتقل عملية الصيانة للقاطع .

6 - لا يتفاعل الغاز مع الاجزاء المعدية لغاية (500) درجة مئوية .

B - مفاتيح العزل Isolators :

وهوعبارة عن قاطع تكمن أهميته في التأكد من أن الدائرة مفصولة تماما (الجهد يساوي صفر بين طرفي المفتاح) ولا تستعمل في عمليات وصل وفصل التيار وذلك خوفا من تكون شرارة كبيرة قد تؤدي إلى الإضرار بالمعدات والأشخاص اذ أن هذا المفتاح غير مهيأ لإطفاء الشرارة حيث انه لا يوجد وسيلة لإطفاء الشرارة مثل الزيت كما هو الحال في القاطع الآلي ولا يجوز فتح العازل اليدوي إلا بعد التأكد من أن القاطع الآلي مفتوح ولذلك تم تركيب نظام التقافل اذ انه لا يمكن تحرير المفتاح المستعمل لإجراء عملية العزل اليدوي إلا بعد فتح القاطع الآلي ، انظر الى الشكل (6- 15) .

الشكل (6-15) يوضح مفاتيح العزل

وللعوازل المستعملة في المحطة عدة تسميات كلا حسب موقعه وهي:

1- مستعزل خط Line Isolator :

ويوجد في دائرة الخط ، خلف محول التيار مباشرة . من مميزاته وجود نظامين تقافل عليه ، الاول بينه وبين القاطع الآلي - كما سبق إن ذكر - والآخر بينه وبين المفتاح الأرضي ، حيث لا يتم إغـلاق مفتاح الأرضي إلا بعد فتح مستعزل الخط.

2- عازل عمومي رئيس Isolator Main Busbar :

وهو المستعزل الذي يتصل بالقضبان العمومية الرئيسة وفي الغالب يحمل ارقام معينة في دائـرة الخط ورقم اخر في دائرة دامج القضبان. (Bus Coupler) كما في الشكل (6 -16).

الشكل (6- 16) يوضح عازل عمومي رئيس

3- مستعزل عمومي احتياطي Reserve Busbar Isolator :

وهو المستعزل الذي يتصل بالقضبان العمومية الاحتياطية وفي الغالب يحمل الرقم ثاني فـي دائرة الخط ورقم اخر في دائرة دامج القضبان (Bus Coupler) .

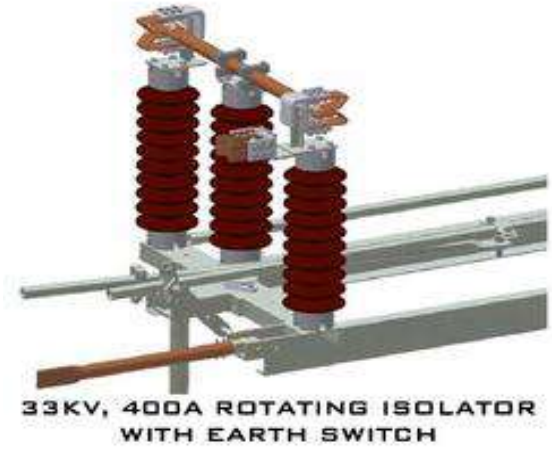
4- مستعزل نقطة الحيادي Neutral Isolator :

وهو المستعزل الذي يصل نقطة الحيادي على طرف الجهد المنخفض في المحول الإضافي مع المقاومـة الأرضية.

5- مستعزل مجزئ القضبان Bus Section Isolator :

وهو المستعزل الموجود في دائرة مجزئ القضبان .

C- مفاتيح التأريض Earthing Switches:



الشكل (6-17) يوضح القواطع الارضية

ويستعمل القاطع الأرضي لأغراض الصيانة ، حيث يتم تأريض الجـزء المـراد صيانته حماية للأشخاص وغالبا ما يتم تركيب القاطع الأرضي على القاطع اليدوي والهدف من وجوده هو تأريض الخط كما انه يوجد نظام تقافل ميكانيكي حيث لا يعمل القاطع الأرضي إلا بعد فتح العازل اليدوي.

ويكون القاطـع الأرضي موجودا على طرفي دائـرة الخط وذلك لضمان عزل كامل للدائرة خلال عمليات الصيانة التي تجرى على دائرة الخط مثلا ، وبصفة عامة يوجد نوعان لمفاتيح التأريض:

1- مفتاح تأريض بطيء:

وهوالاكثرأستعمالا ويستعمل في حالة اجراء التأريض لغرض الحماية وبشرط أن تكون التغذية الكهربائية مفصولة عن النقطة التي يتم التأريض عندها كما في حالة اجراء الصيانة وغيرها.

2-مفتاح تأريض سريع:

هذا النوع مصمم للغلق تحت ظروف التشغيل العادية أي يتحمل تيار القصر وجهد التشغيل، ويكون أستعماله محدود .

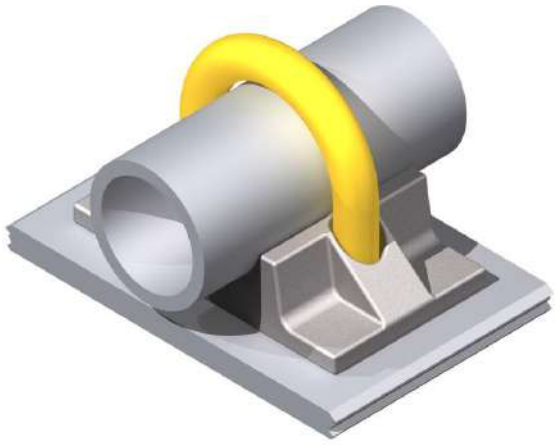
ثالثا/ القضبان العمومية :

لكي يكون توزيع الاحمال بشكل متساو على المحطات نشأت فكرة الربط بين محطات التوليد وبذلك يمكن الحصول على شبكة واحدة مترابطة تتمثل في القضبان العمومية التي تتصل بها وتغذيها جميع وحدات التوليد في جميع المحطات وتكون قدرة كل محطة صغيرة جدا بالنسبة الى القدرة الهائلة المتجمعة على تلك القضبان العمومية ، ولذلك يمكن القول إن قضبان التوزيع هي من أهم مكونات المحطات وأي عطل يحصل فيها يسبب انقطاع التغذية لذلك يجب مراعاة جودة التصميم من الناحية الإنشائية في التثبيت وكذلك الجودة في الصنع .

يوجد نوعان أساسيان من القضبان هما :

1-القضيب الصلب: تستعمل في حالة الجهد المتوسط والمنخفض وتكون مصنوعة من الألمنيوم أو النحاس وعلى هيئة قضبان او أنابيب ويستعمل للتثبيت والعزل.

2-القضيب المرن: تستعمل في حالة الجهد العالي وتكون مصنوعة من الألمنيوم او النحاس او سبائك الألمنيوم المعالجة حراريا وخاصة في حالة الموصلات المستعملة في الجهد العالي والفائق، ويتميز الألمنيوم عن النحاس بأنه أقل في الوزن ويحتاج لصيانة اقل.

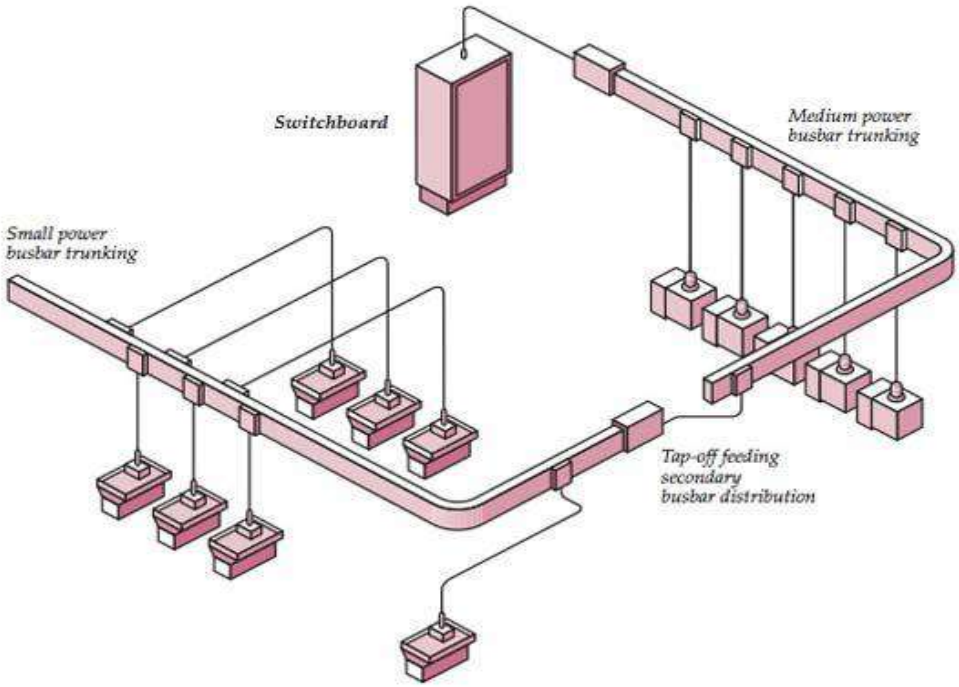


الشكل (6-18) يوضح شكل القضيب المصنوع من الألمنيوم

تصنف المحطات الفرعية من حيث تركيب القضبان العمومية الرئيسة الى صنفين اساسيين هما:

1- أحادية القضبان العمومية single Bus Bars:

يوجد هذا النظام في المحطات التي تغذي أحمال قليلة التي تحتاج إلى القدرات المنخفضة والجهود المتوسطة، كما في الشكل (6-19) يوضح نموذج التوزيع للقضبان العمومية.



الشكل (6-19) يوضح نموذج لكيفية التوزيع للقضبان العمومية

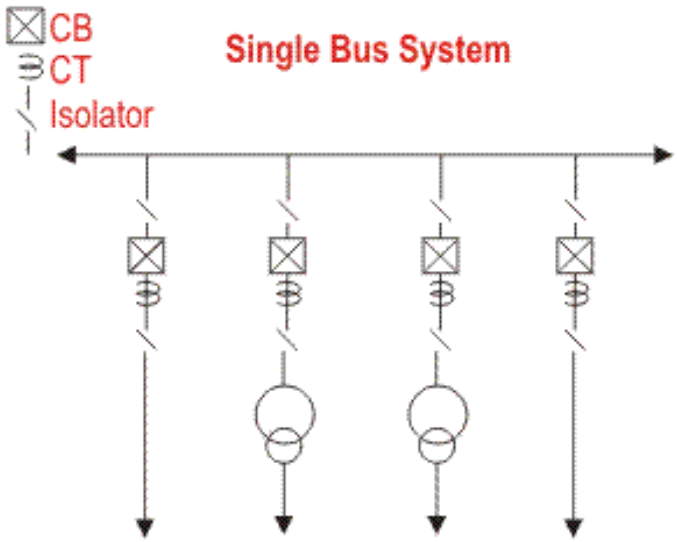
مزايا النظام:

يعد مـن أبسط أنظمة القضبان العمومية اذ ان تجهيزاته قليلة ، لا يحتاج لمساحـة كبيرة ويعد مـن أكثر الأنظمة اقتصادياً.

مساوئ النظام:

العطل على القضبان او أي مـن المفاتيح او الكشف على أي منها او صيانتها يتطلب فصل التغذيـة عـن كامل النظام لحين الانتهاء من الصيانة والإصلاح.

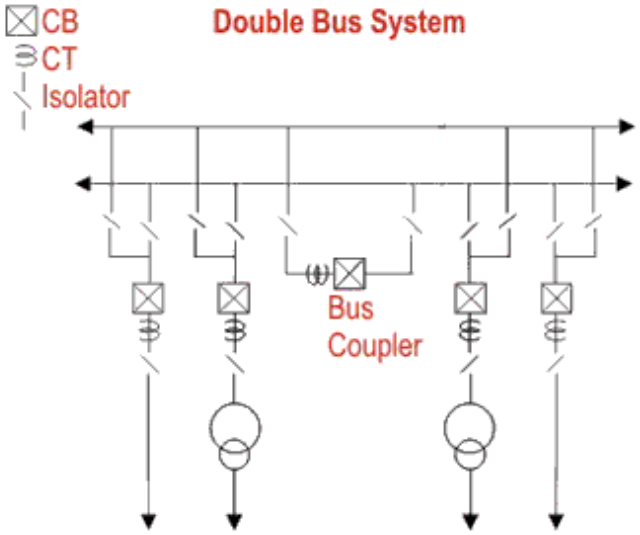
يمكن تحسين هذا النظام ورفع جاهزيته بفصل القضبان إلى جزأين . كما في الشكل (6- 20) ويربط كل جزء بالجزء الاخر بوساطة قاطع دورة وقاطع يدوي وفي حالة حصول عطل او صيانة أحد ألاجزاء يبقى الجزء الاخر في العمل لتجهيز جزء من الطاقة الكهربائية .



الشكل (6 -20) القضبان العمومية المفردة

2- ثنائية القضبان العمومية Duplicate Bus Bars :

تستخدم في المحطات ذات القدرات العالية وانظمة الجهد العالية وذلك من أجل الاستفادة من توزيع ونقل الاحمال الكهربائية في حالات الصيانة على الدوائر الكهربائية في المحطات واستمرارية التغذية للاحمال الكهربائية، كما في الشكل (6-21) .



الشكل (6-21) يوضح القضبان العمومية الثنائية

مزايا النظام:

إمكانية الكشف على بعض الأجهزة والمعدات دون فصل التغذية عن كافة الأحمال حيث يمكن عمل الصيانة لقضيب دون قطع التيار عن الأحمال بنقلها إلى القضيب الأخر وسهولة تشغيل النظام، وهذه المحطات أكثر مرونة في الناحية التشغيلية وبذلك فهي تعطي ضمانا اكبر في المحافظة على استمرارية تجهيز الحمل .

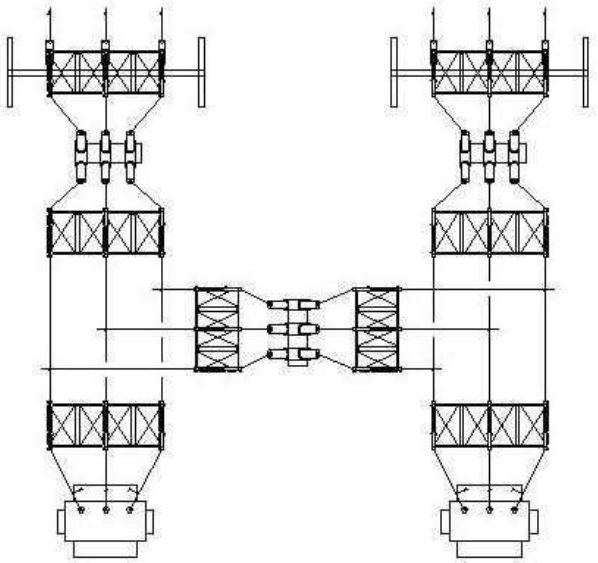
مساوئ النظام:

يتطلب هذا النظام أجهزة أكثر، إنشاءات معدنية أكثر، ومساحة كبيرة بالمقارنة مع النظام أحادي القضبان ويكون هذا النوع من الأنظمة ذات تكاليف اقتصادية اعلى من أحادية القضبان العمومية.

ومن متممات القضبان العمومية التجهيزات الاتية:

- مجزئ القضبان Bus Section :

يبين الشكل (6-22) مجزئ القضبان ، وهو عبارة عن قاطع آلي يقوم بتجزئة القضبان إلى جزأين مما يعطي المحطة مرونة في ضمان أستمرارية التغذية للأحمال أثناء حدوث الأعطال أو إجراء أعمال الصيانة على أحد الأجزاء.



الشكل (6-22) يوضح مجزيء القضبان

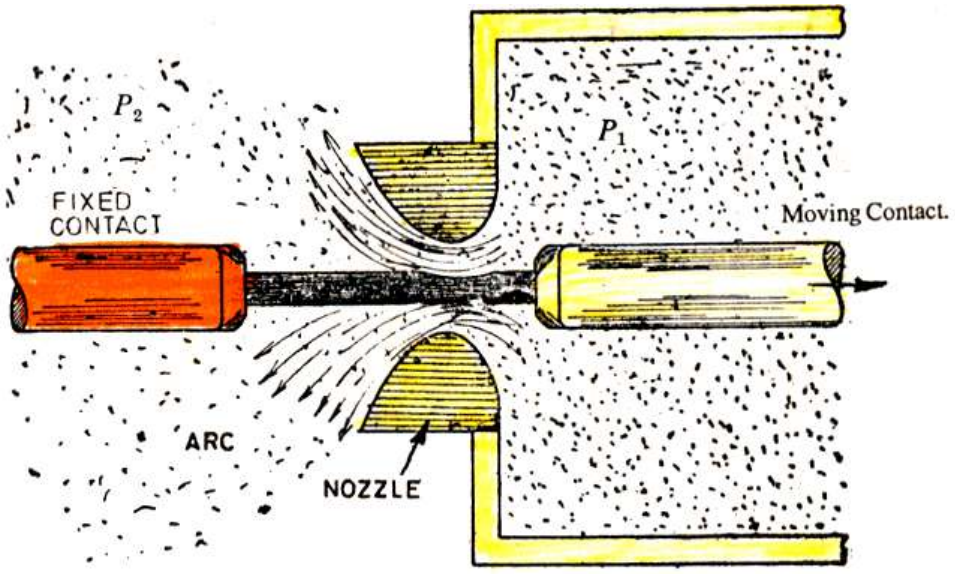
وحتى تتم عمليات فتـح وإغـلاق القواطـع الآلية بشكل سريع بحيث نضمن السلامـة والدقـة في حماية

الأشخاص والمعدات فانه يتم استعمال عدة أنظمة لتحقيق هذا الغرض:

- النظام الهوائي:

حيث يتم استعمال ضاغطة لضغط الهواء داخل اسطوانة خاصة وبضغط كافي لعمل (On/ Off)

(Offفـي حال توقفت المضخة عـن العمل ، كما أن المضخة تعمل أتوماتيكيا عندمـا ينخفض ضغط الهواء، الشكل (6- 23) يوضح ذلك .



(*a*) Arc extinction in gas flow circuit-breakers (Gas flow from high pressure P_1 to low pressure P_2 *via* an insulating nozzle)

الشكل (6- 23) يوضح عملية ضغط الهواء

رابعا / المتسعات والمحاثات:

تستعمل لتنظيم الجهد عن طريق التحكم بقدرة المفاعلة الناتجة بسبب تغير الأحمال ويتم ذلك اما عن طريق سحبها بالمحاثات او تعويضها بواسطة المتسعات التزامنية.

خامسا / حارفات الصواعق الكهربائية:

تستعمل لحماية المحولات والمحاثات من الزيادة في الجهد.

سادسا / الاجزاء الثانوية:

أ- أجهزة الحماية والقياس التي تقوم بحماية الدوائر الكهربائية وقياس القيم الكهربائية.

ب- لوحات التحكم ومعدات الاتصالات- تقوم بالتحكم بتشغيل الاجهزة والمعدات الكهربائية اما عن طريق مركز المراقبة والتحكم بأستعمال معدات الاتصالات المتوفرة في المحطة، او مباشرة من داخلها عن طريق شخص يكون مخول ومكلف بذلك.

ت- أجهزة الفحص ومعدات السلامة واجهزة التكييف والتبريد والتدفئة.

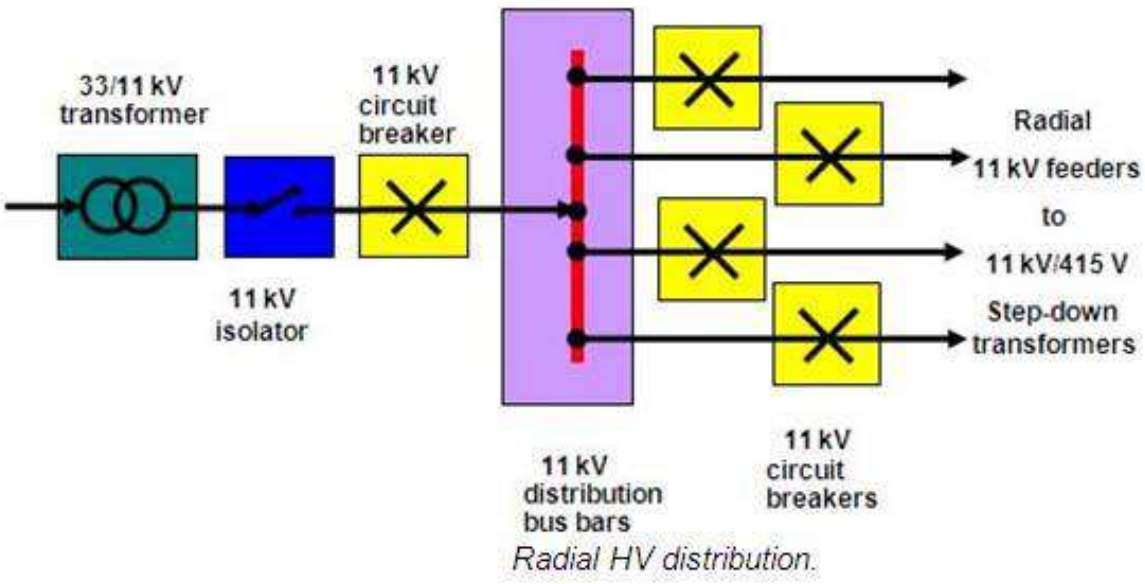
ث-عدادات الطاقة الكهربائية ولوحات تسجيل الاعطال ولوحات الاشارة والانذار.

6- 4 نظم التوزيع Distribution Systems

المغذيات الاولية هي جزء من منظومة التوزيع وتوصل بين محطة التوزيع الفرعية ومحول التوزيع ، ويمكن تقسيم مخطط التوزيع على ثلاثة أنواع:

1- النظام النصف قطري (الإشعاعي) Radial System:

يتكون هذا النظام من ثلاثة أوجه وثلاثة أسلاك أو أربعة أسلاك ، ومن مميزاته أنه يمتاز بالبساطة في التشغيل وبقلة التكلفة وكذلك في نظم الحماية حيث تستخدم المصهرات عند اتصال الأفرع مع الموزع الرئيس للحماية من القصر، ومن عيوبه إن الموثوقية في استمرار الخدمة به قليلة وأذا حدث خطا في مكان ما أو عند صيانة القاطع الرئيسي تنقطع الخدمة عن جميع المستهلكين . كما موضح في المخطط (6- 24).

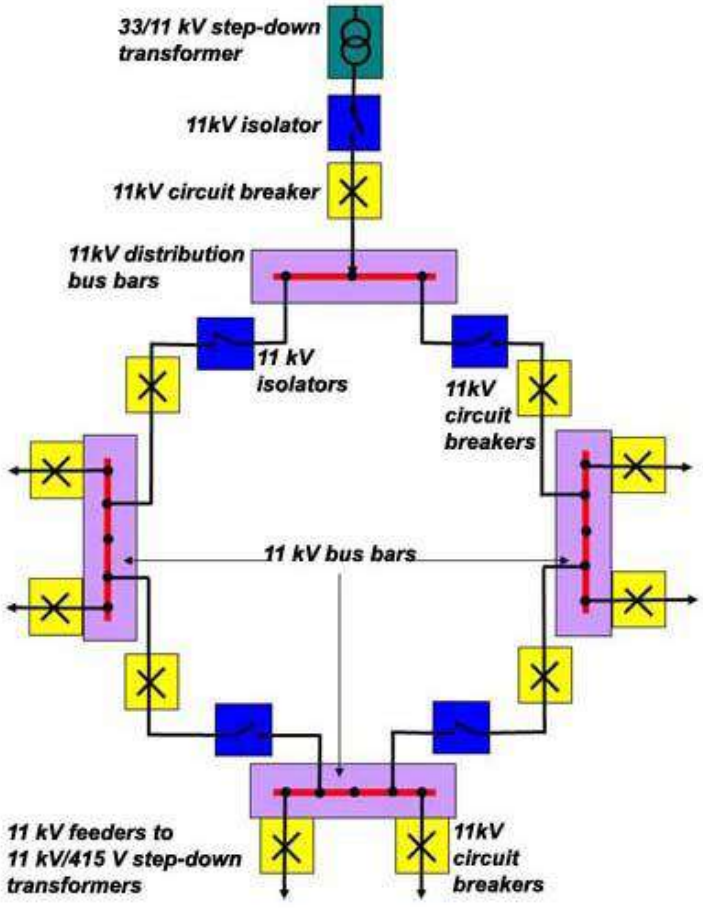


Radial HV distribution.

المخطط (6-24) يوضح التوزيع الأشعاعي

2- النظام الحلقي Loop Ring System:

تصمم هذه الخطوط على شكل حلقة لضمان استمرارية عالية في التغذية ، ينقسم المغذي في هذا النظام على نصفين ويمكن ربط النصفين عن طريق مفتاح ربط (يكون مفتوحا في حالة التشغيل العادية) ويتكون هذا النظام من قاطع رئيسي يفتح آليا في حالة وجود اي خطأ بأي جزء من أجزاء المغذي ويفصل وتتم التغذية من النصف الاخر، ويمكن تحسينه بأستعمال قاطع رئيس لكل نصف حلقة في هذه الحالة عند حدوث خطأ يمكن فصل الخدمة عن هذا النصف فقط. الشكل (6- 25) يوضح التوصيل الحلقي.

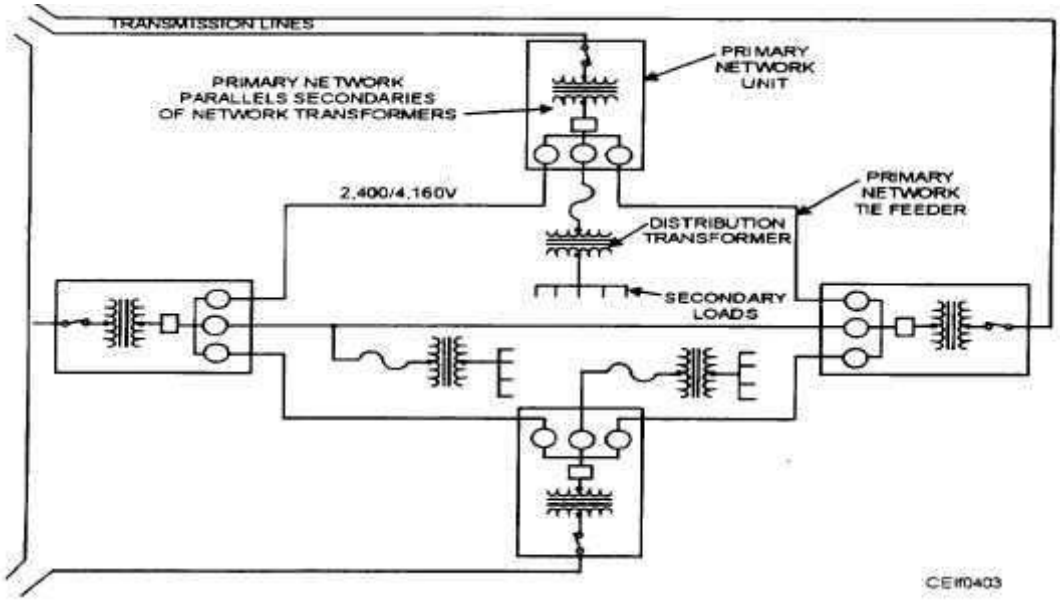


Ring HV distribution.

الشكل (6-25) يوضح التوزيع الحلقي

3- النظام الشبكي Net Work System:

في هذا النظام يتم ربط أكثر من محطة فرعية ببعضها عن طريق مغذيات اولية ويكون لكل مغذي قاطع خاص به ويمكن تغذية الأحمال من جميع الاتجاهات ، يمتاز هذا النظام بالموثوقية والمرونة العالية واستمرارالخدمة وقلة المفاقيد في القدرة أي كفاءته أعلى من الأنظمة السابقة، ومن عيوبه كلفته العالية وصعوبة التشغيل والتصميم، كما موضح في الشكل (6- 26) .



الشكل (6- 26) يوضح التوزيع الشبكي

أسئلة الفصل السادس

س1: تصنف المحطات حسب طبيعة عملها الى 1---------- 2---------- .

س2:تقسم محطات النقل من حيث طبيعة وتصميم المحطة الى:

1---------- 2---------- .

س3: عدد مكونات محطة التحويل .

س4: أنواع المحولات المستعملة في المحطات هي 1---------- 2---------- 3 ---------- .

س5: محول الجهد يستخدم في :

1---------- 2---------- 3---------- 4 ---------- .

س6: تكمن أهمية المفاتيح الكهربائية في قطع الدائرة في حالة حدوث خطأ في منظومة النقل. عدد انواع هذه المفاتيح.

س7 : يعرف القاطع الآلي على انه جهاز قفل وفتح ميكانيكي وله القدرة في فصل ووصل التيار، وله مهمتان ما هي ؟

س8 :اختر العبارة الصحيحة:

القواطع الآلية التي تحتوي على كمية كبيرة من الزيت يستعمل :

1- الجهود المنخفضة.

2- الجهود العالية.

3- للعزل بالإضافة إلى إطفاء القوس الكهربائي.

س9 : ما أنواع مفاتيح التأريض؟ عددها، مع الإشارة الى أيهما أكثر استعمالا.

س10 : ما مفهوم قضبان التوزيع؟

س11: قضبان التوزيع تعد من أهم مكونات المحطات - لذلك يجب مراعاة---------- وكذلك----------

.

س12- من أنواع القضبان العمومية، القضيب المرن ويستعمل في الجهود العالية ويكون مصنوعا من ---------- أو---------- أو---------- .

س13 : اذكر مزايا ومساوئ نظام أحادي القضبان.

س14: من مزايا نظام الثنائي للقضبان أمكانية ---------- حيث يمكن عمل الصيانة لقضيب دون عمل الصيانة لقضيب دون قطع التيار عن الأحمال.

س15 : ما هو مجزئ القضبان.

س16 : نظم التوزيع تنقسم الى 1----------2----------3 ---------- .

الفصل السابع

حماية منظومات القدرة

Power Systems Protection

1-7 تمهيد

توليد ونقل وتوزيع القدرة الكهربائية يحتاج إلى جهود هائلة، وتجهيزات كثيرة ومتنوعة لإيصال التيار الكهربائي إلى المستهلكين بشكل سليم . أن نظام القدرة يحتوي على مولدات ومحولات وخطوط نقل هوائية وقابلوات وقد يتعرض إلى حالات وحوادث غير طبيعية نسميها الأعطال التي قد تؤدي إلى تلف هذه الأجهزة وقطع التيار الكهربائي عن المستهلك إذا لم تتخذ الإجراءات اللازمة لفصل الجزء المعطوب عما تبقى من المنظومة ان تلف الأجهزة والمعدات يجعل إمكانية إصلاحها أو استبدالها مكلفا جداً فضلا عن ان مدة الانقطاع للكهرباء عن المنشات الصناعية قد يؤدي إلى توقف الإنتاج مسبباً خسائر مادية كبيرة .

ولتلافي هذه الحالات ومنع الأجهزة من التلف نستعمل ما يسمى بمنظومة الحماية (Protection System) والتي تتكون من مجموعة من المعدات الخاصة التي تقوم بالإحساس بأي عطل او خلل قد يطرأ في أي مكان ابتدأ من التوليد إلى النقل إلى التوزيع وانتهاءً بالمستهلك وبعد إحساسها بالعطل تقوم بعزله بشكل دقيق وسريع عن اجزاء المنظومة الاخرى مما يؤدي إلى استمرار الطاقة في اجزاء المنظومة الاخرى .

2-7 الحماية وأهميتها

من الممكن تعريف الحماية على أنها وضع السبل الكفيلة والإجراءات اللازمة لتلافي حدوث الأضرار جراء حدوث العطل الكهربائي او التقليل من مدى حجم هذه الأضرار وذلك من خلال الاستشعار السريع بالعطل وقطعه وفصل الجزء المعطوب عن باقي المنظومة .

من مهام الحماية التحسس بالعطل وتحديد موقعه ومن ثم فصله عن المنظومة على ان يتم ذلك بأسرع وقت ممكن ويكون التحسس بالعطل وتحديد موقعه وفصله بوساطة اجهزة الحماية التي تعمل بشكل مقترن جنباً الى جنب مع كل جزء من أجزاء منظومة القدرة عند تحسس اجهزة الحماية بوجود ظرف عمل غير طبيعي للشبكة المحمية ستقوم بأصدار أشارة تسمى اشارة الافلات (Trip Signal) الى قاطع الدورة لغرض فصل العطل . وأن المدة الزمنية التي تستغرقها أجهزة الحماية منذ لحظة بدء حدوث العطل ولحين اصدار اشارة الافلات يطلق عليها بزمن الحماية (Protection

(Time = Tp) ويتوقف طول هذه المدة الزمنية على نوعية اجهزة الحماية ولهذه الفترة الزمنية اهمية بالغة من حيث السرعة في ازالة العطل فكلما كانت اجهزة الحماية اكثر تطوراً كلما قلت هذه الفترة الزمنية واصبح امكانية ازاله العطل بشكل اسرع . علماً بان صدور اشارة الافلات لايعني الانتهاء من عملية فصل الشبكة العاطلة عن المنظومة وذلك لان عملية الفصل تقع على عاتق قاطع الدورة بعد استلامه اشارة الافلات .

ويطلق على الفترة الزمنية الكلية ابتداء من حدوث العطل وحتى ازالته وفصل الشبكة العاطلة عن المنظومة يسمى بالزمن الكلي لازالة العطل (Over all Fault Clearance Time) ويرمز له بـ (To) ورياضياً يمكن التعبير عنه بما يأتي:

$$To = T_p + T_{cB} \quad \text{---------- (1-7)}$$

زمن الأفلات : Tp

زمن الأزالة لقاطع الدورة : T_{cB}

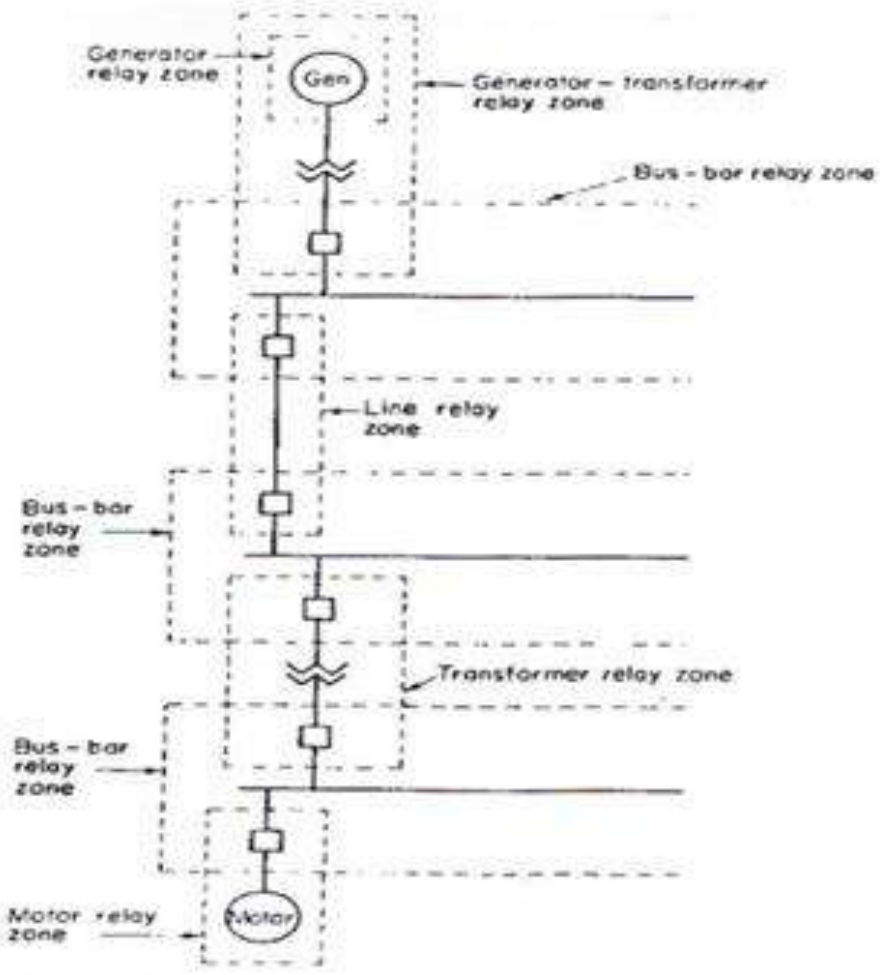
ودائماً تكون دوائر أنظمة الحماية معزولة عن دوائر القدرة الكهربائية ولذلك يتم تغذيتها بفولتية منخفضة بحدود 100فولت او 110فولت وتيار بحدود 1أمبير او 5 أمبير . عن طريق محولات القياس وهي محولات الجهد (Potential or Voltage Transformers - P.T) ومحولات التيار (Current Transformers - C.T) .

3-7 مناطق الحماية Protection Zones

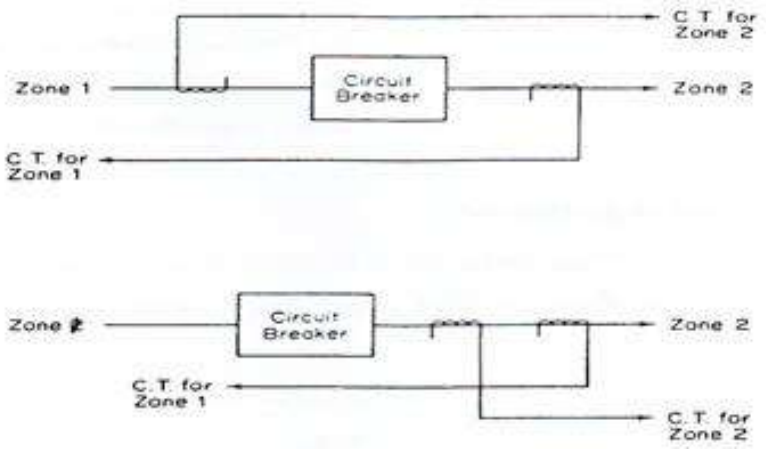
لغرض الحصول على ضمان من الناحية التمييزية واستمرارية العمل لمنظومة القدرة فقد توجب تصميم منظومات الحماية على اساس تجزئة منظومات القدرة الكلية الى مناطق حماية او قطاعات تسمى بمنطقة الحماية (Protection Zones) كما في الشكل (1-7) وتضم على الاكثر كل منطقة حماية جزءاً واحداً من الشبكة أو احياناً جزأين ويجب ان تكون مناطق الحماية المتجاورة متداخلة لضمان حماية كافة اجزاء منظومة القدرة وعدم ترك أي جزء بدون حماية ويمكن تقسيم الشبكة عادة الى مناطق الحماية الاتية:

1- منطقة المولد، او المولد مع المحولة .
2- منطقة المحولة .
3- منطقة قضبان التوزيع .
4- منطقة خطوط النقل (الكابلات والخطوط الهوائية).
5- منطقة الاحمال والمحركات .

والتقسيم الى هذه المناطق يضمن نظام وقاية مناسب مما يقلل احتمالية قطع الخدمة الى اقل وقت ممكن والشكل (7-1) يعطي رسم أحادي الطور لجزء من نظام القدرة الكهربائية مع تقسيمه الى مناطق للحماية مع ملاحظة ان كل منطقة تتداخل مع المنطقة المجاورة لتجنب وجود مساحات غير محمية والتي يطلق عليها (مناطق عمياء) وتوصيلات محولات قياس التيار تحقق هذا التداخل ، والشكل (7-2) يعطي اثنين من النظم المحتمل أستعمالها مع ملاحظة ان حدوث عطل في منطقة محولات قياس التيار المشتركة سيعمل على تشغيل القواطع في كلا المنطقتين .



الشكل (7-1) المناطق التقليدية للوقاية لجزء من نظام القدرة الكهربائية



الشكل (7-2) التداخل حول قاطع الدائرة

7- 4 أنواع الأعطال في منظومة القدرة Types Of Fault In Power System

تتعرض منظومة القدرة بكافة أجزائها إلى أنواع كثيرة، من لأعطال نتيجة لأسباب كثيرة مثل العوامل الجوية كالرياح والصواعق وسقوط بعض الأشجار وغيرها. وبشكل عام يمكن تصنيف الأعطال الأساسية في منظومة القدرة إلى:

7-4-1 أعطال دائرة القصر Short Circuit Fault

يعد هذا النوع من الأعطال من اكبر المخاطر التي تتعرض لها الشبكات الكهربائية الذي يؤدي إلى سريان تيارات كهربائية عالية مما يؤدي بدوره إلى حدوث حرائق في بعض المناطق، والى إضرار ميكانيكية خاصة في المولدات الكهربائية وملفات المحولات الكهربائية ما لم يزال العطل بشكل سريع من الشبكة .

وان هذا العطل يعني فشل العازل بين الموصلات او بين الموصل والأرضي مما يؤدي إلى حصول تماس قد ينتج عنة شرارات كهربائية وسريان تيارات عالية جداً . وبشكل عام يشمل هذا النوع من الأعطال .

- ✓ عطل ثلاثي الطور معزول عن الأرض Three Phase Short Circwit:

وهو ينتج عن حصول تماس بين الأطوار الثلاثة ويكون أخطر الأنواع ولكنه أقلها حدوثاً .

✓ **عطل ثلاثي الطور مع الأرض Three Phase to Ground Fault:**

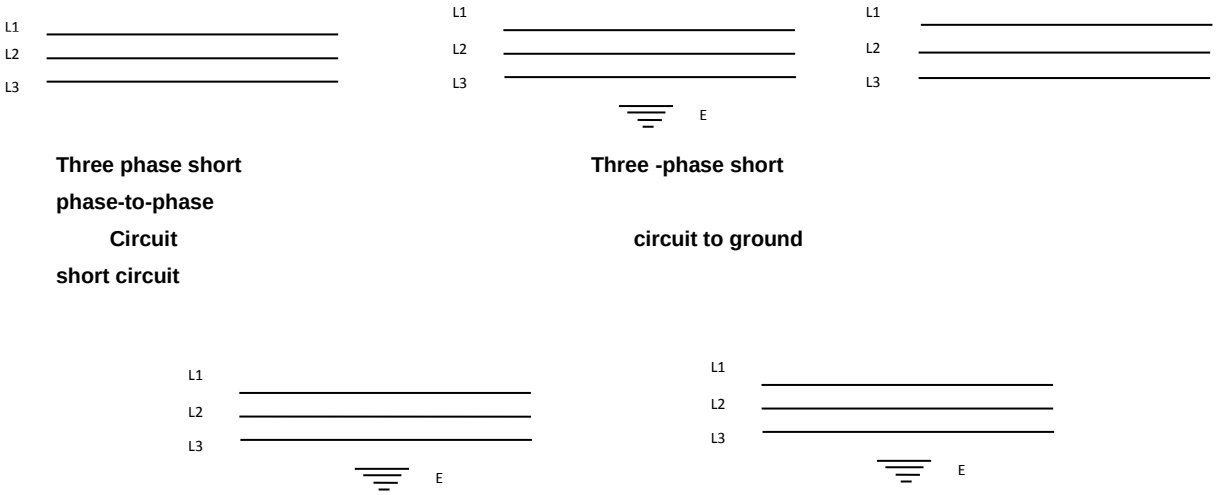
وهو ينتج عن حصول تماس بين الأطوار الثلاثة مع جسم المسند المربوط بالأرض أو عن طريق انهيار العازل . وهوأيضاً من الأنواع الخطيرة ونادرة الحدوث .

✓ **عطل بين طورين Two Phase Short Circuit:**

وهو ينتج عن حصول تماس بين الطـورين بسبب الرياح أو بسبب انهيار العازل وقد يكون فقط بين الطورين ومعزول عن الأرض ويسمى في هذه الحالة عطل خط الى خط أو يكون بين الطورين والأرض ويسمى عطل خط الى خط إلى الأرض .

✓ **عطل احد الأطوار مع الأرض Single Line-to-Ground Fault:**

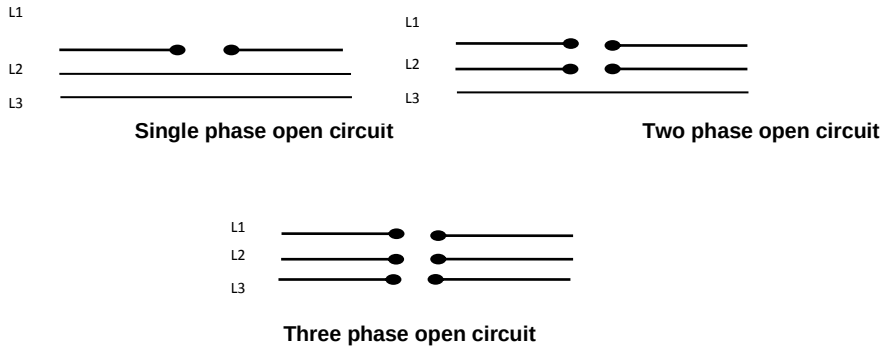
وهو أكثر الأنواع حدوثاً حيث يحصل بسبب انهيار العازل وخاصة في الظروف الجوية الرديئة كالإمطار والغبارمما يسبب حصول شرارة قفز الوميض (Flash over) بين الموصل والمسند المثبت بالأرض . والشكل (3-7) يوضح الرسم التوضيحي لهذه الحالات .



الشكل (7- 3) ألانواع ألاساسية لأعطال دائرة القصر

2-4-7 أعطال الدائرة المفتوحة Open Circuit Faults

يعد هذا النوع من الأعطال النادرة الحدوث بالمقارنة مع اعطال دائرة القصر كما أن الاخطاء الناتجة عنه اقل بكثير من اعطال دائرة القصر . ويشمل انقطاع احد الاطوار في الدائرة ، أو انقطاع طورين في الدائرة أو انقطاع الاطوار الثلاثة ويبين الشكل (7- 4) كل هذه الانواع .



الشكل (7- 4) الانواع الاساسية لاعطال الدائرة المفتوحة

3-4-7 الاعطال المتزامنة Simultaneous Faults

وهي عبارة عن وجود عطلين او اكثر في ان واحد مثل حصول عطل دائرة قصر وعطل دائرة مفتوحة بالوقت نفسه .

4-4-7 أعطال الملفات Windings Faults

هذا النوع من الاعطال يحدث في ملفات المولد أو المحولة او المحرك وقد يحدث بين أحد الملفات والارضي أو بين ملفين او حصول دائرة قصر بين ملفات الملف الواحد وبشكل عام الجدول (1) يوضح الاعطال التي يمكن ان تتعرض لها المعدات الكهربائية في منظومة القدرة .

جدول (1) يوضح الاعطال التي يمكن ان تتعرض لها المعدات الكهربائية في منظومة القدرة

المعدة	الشكل العام لها	الاعطال التي يمكن ان تتعرض لها
المولدات (Generation)		1- حدوث عطل بالعضو الثابت (Stator) . 2- حدوث عطل بالعضو الدوار(Rotor) . 3- حدوث عطل في عضو مجال الاثارة (Exciter). 4- مشاكل في منظومة الزيت او منظومة التسريب. 5- مشاكل في التردد والجهد. 6- ارتفاع أو هبوط الجهد في العضو الثابت (Stator).
القضبان bus-bars		1- اعطال ناتجة عن فشل القواطع الآلية في فصل التيار. 2- الحيوانات والطيور التي قد تدخل للقضبان. 3- اخطاء اعمال التشغيل.
المحولات Transformers		اعطال خارجية : 1- زيادة التحميل. 2- حالات القصر الخارجي. 3- أرتفاع الجهد. 4- ضربات الصواعق. اعطال داخلية : 1- حدوث دائرة قصر بين احد الاطوار والارض أو بين ملفات الجهد العالي والواطيء . 2- اعطال ناتجة عن ضعف التوصيلات الكهربائية . 3- فشل التبريد. 4- اعطال في منظم الجهد والتوزيع للمحولات التي تعمل على التوازي .
الخطوط الهوائية (المعلقة) Overhead Transmission Lines		1- حدوث دائرة قصر بين طور الارض او بين طورين او بين ثلاثة اطوار بسبب الصواعق والرياح والتلوث والرطوبة وغيرها . 2- اخطاء ناتجة عن عملية الفصل والتوصيل . 3- انقطاع احد الاطوار او طورين او ثلاثة وممكن ملامستها للارض . 4- ارتفاع مفاجئ في جهد الخط .
القابلوات Cable		1- انهيار العازل. 2-اعطال في داخل القابلو نفسه. 3-اعطال في علب الوصل والنهاية .
المحركات Motors		1- حدوث عطل بالعضو الثابت (Stator). 2- حدوث عطل بالعضو الدوار(Rotor). 3- زيادة التحميل Over Loading. 4- العمل بانقطاع احد الاطوار. 5- هبوط الجهد. 6- عدم اتزان التيار .

5-7 الاضرارالناجمة عن الأعطال

يمكن أدراج الاضرار الناجمة عن الأعطال التي تحصل في منظومة القدرة كما يأتي :

1- سريان تيارات كهربائية غير اعتيادية (أي ذات مقادير اكبر من تلك المقررة تصميميا) مما يؤدي إلى تسخين مكونات الشبكة المتأثرة بالعطل وانصهارها وانقطاعها وخاصة أسلاك التوصيل .

2- قد يكون العطل مصحوباً بحدوث أقواس الشرارة الكهربائية خلال الوسط العازل علماً بان هذه الأقواس تسبب رفع درجة حرارة المواد العازلة إلى حدود قد تصل إلى حد الإتلاف او حدوث الحرائق.

3- توقف عملية تجهيز الطاقة إلى مناطق الاستهلاك المجهزة من قبل الشبكات المتأثرة بالعطل .

4- إحداث حالة عدم التوازن للأطوار الثلاثة للمنظومة إلى حدود غير ملائمة عملياً .

5- فقدان حالة الاستقرار لعمل المنظومة مما قد يؤدي إلى فقدان حالة التزامن بين مولدات المنظومة والتي تحدث عندها إضرار بالغة الخطورة من جراء التوقف الفجائي للطاقة بشكل عام لجميع المستهلكين وهذا ما يطلق عليه بالتوقف العام .

6- تغير مستوى الجهد الكهربائي الطبيعي إلى حدود غير ملائمة لعمل الشبكات الكهربائية أي ارتفاع او انخفاض مستوى الجهد الكهربائي إلى حدود قد تحدث معها مضاعفات أخرى .

6-7 مكونات منظومة الحماية Protection Equipments

تتكون منظومة الحماية من معدات واجهزة تعمل بشكل مقترن ومتكامل جنباً الى جنب مع كل جزء من أجزاء منظومة القدرة ويطلق على هذه الاجهزة بمعدات الحماية وتتكون من الأجزاء الاتية:

1-6-7 المرحلات Relays

وهو عبارة عن جهاز مصمم على القيام بالتحسس المستمر لسير العمل في الشبكة الكهربائية المحمية من قبلها وتقوم بكشف العطل واصدار اشارة الافلات الى قاطع الدورة المخصص لعزل هذه الشبكة عن اجزاء المنظومة الاخرى وايقاف تجهيز العطل بالطاقة الكهربائية.

وتجري عملية التحسس من قبل المرحلة على ضوء استمرارية استلامها لمعلومات عن سير العمل في الشبكة المحمية وغالبا ما تكون هذه المعلومات صورة مصغرة وصحيحة لمتغيرات الشبكة نفسها مثل الجهد الكهربائي أو التيار أو زوايا الاطوار وقد تعتمد المرحلة في تحسسها للعطل على متغير واحد أو اكثر فمثلا هناك مرحلة تتحسس بالزيادة غير الطبيعية في التيار مثل مرحلة التيار المفرط (over) Current Relay في حين هناك مرحلة اخرى تتحسس بالتغير في النسبة $\frac{\text{الجهد}(v)}{\text{التيار}\,I}$ مثل مرحلة

المقارنة (Compartor Relay) وهناك مرحلة تعمل بظواهر اخرى ناجمة عن حدوث العطل مثل مرحلة بوخهولز (Buchholz Relay) التي يستند عملها الى ظاهرة تحلل غاز زيت محول القدرة نتيجة حدوث العطل في داخله .

ملاحظة: من الجدير بالذكر هنا ان مرحلة الحماية لايمكنها التنبؤ بحدوث العطل قبل وقوعه فعلياً .

وفيما يلي أهم أنواع المرحلات المستعملة وحسب طريقة عملها وتركيبها:

تنقسم المرحلات حسب طريقة عملها وتركيبها الى :

1- المرحلات الكهرومغناطيسية Electromagnetic .

2- المرحلات الكهروحرارية Electrothermal Relays .

3- المرحلات الاستاتيكية Static Relays.

4- المرحلات الكهروديناميكية Electro- Dynamic Relays.

5- المرحل الفيزيائي الكهربائي Physical- Electric Relay.

6- مرحلات الحاسوب Computer Relays .

مجالات التطبيق لاستعمال المرحلات هي:

1- تيار او جهد او قدرة منخفضة Under Current or Voltage or Power Relay.

2- تيار او جهد او قدرة عالية Over Current or Voltage or Power Relay.

3- مرحل لانعكاس القدرة او التيار Directional or Reverse Power or Current .

4- مرحل تفاضلي Differential Relay .

5- مرحل مسافة Distance Relay.

6- مرحل ممانعة Impedance Relay .

فترات التشغيل للمرحل - يسمى المرحل تبعاً لفترة تشغيله وهي كما يأتي :

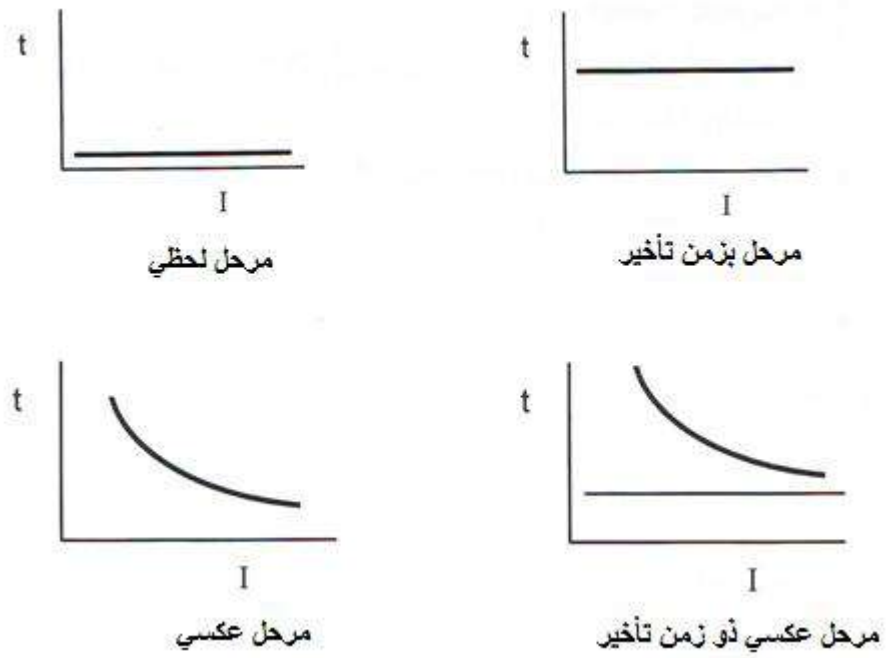
1- مرحل لحظي Instantaneous Relay .

2- مرحل بزمن تأخير Definite Time - Lag Relay .

3- مرحل عكسي Inverse time- Lag Relay.

4- مرحل عكسي ذو زمن تأخير Invers Definite Minimum Time Lag Relay.

والشكل (7- 5) يمثل العلاقة بين الوقت الذي يعمل فيه المرحل وقيمة التيار .



الشكل (7-5) العلاقة بين الوقت الذي يعمل فيه المرحل وقيمة التيار

تصنيف المرحلات :

تصنف المرحلات حسب طريقة عملها ووظيفتها وهي كما يأتي:

1- مرحلات قياس :

ان مرحلات القياس تتضمن عدداً من الانواع والسمة الشائعة لهذهِ المرحلات انها تعمل عند مستوى معين من البيانات سبق تحديده وضبطه وحسب مجال عملها وهي كآلاتي:

أ- مرحلات التيار: وتعمل عند قيمة محددة للتيار وتشمل مرحلات زيادة التيار ومرحلات نقص التيار .

ب- مرحلات الجهد: وتعمل عند قيمة محددة للجهد وتشمل مرحلات زيادة الجهد ومرحلات نقص الجهد.

ت- مرحلات القدرة: وتعمل عند قيمة محددة للقدرة وتشمل مرحلات زيادة القدرة ومرحلات نقص القدرة.

ث-المرحلات الاتجاهية وتشمل:

1- مرحلات التيار المتردد: وتعمل على اساس علاقة الطور الزاوي بين الكميات المتناوبة (المترددة).

2-مرحلات التيار الثابت: وتعمل على اساس اتجاه التيار وغالباً لنظام المغناطيسي الثابت او الملف المتحرك .

ج-مرحلات التردد: وتعمل عند قيمة محددة للتردد وتشمل مرحلات زيادة التردد ومرحلات نقص التردد.

ح- مرحلات الحرارة : وتعمل عند قيمة محددة لدرجة الحرارة خلال الجزء المحمي .

خ- المرحلات التفاضلية : وتعمل على أساس الفرق بين كميتين مثل التيارأوالجهد وهكذا، وهذا الفرق يمكن أن يكون أتجاهي أو قياسي .

د- مرحلات المعاوقة : وتعمل على أساس المسافة بين محول قياس التيار والعطل والمسافة التي تقاس على أساس قياس المقاومة أو المفاعلة أو المعاوقة .

2-مرحلات (فتح وغلق) (On-Off) ويعرف احياناً بمرحلات (All or Nothing):

وتتضمن مرحلات التأخر الزمني (Time- Log) والمرحلات المساعدة ومرحلات الفصل . والسمة الشائعة لهذه الفئة ان المرحل ليس له مستوى محدد للضبط ويتم تغذيته بكمية معينة والتي اما تكون اعلى من القيمة التي يعمل عندها او أقل من القيمة التي يعاد عندها لوضعه الاصلي .

2-6-7 محولات التيار Current Transformers (C.T)

ان الشبكات الكهربائية تكون عادة ذات جهد عالٍ ويسري في هذه الشبكات تيار ثقيل فلابد من تصغير هذه المقادير قبل ايصالها الى المرحلات وأجهزة القياس المختلفة .

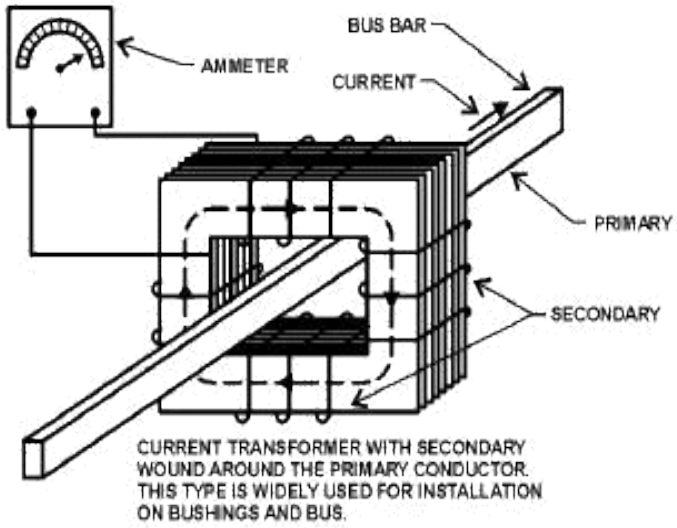
فتستعمل محولة التيار لتصفير التيار الثقيل الساري في الاجهزة والموصلات الكهربائية الى قيم مناسبة لعمل أجهزة الحماية والقياس والسيطرة .

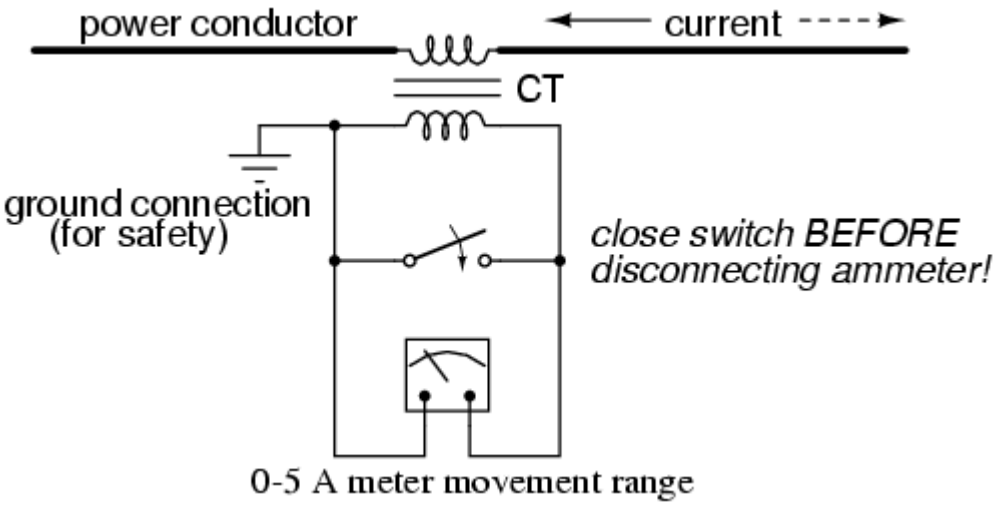
وتتكون من ملفين الاول يسمى بالملف الاولي (الابتدائي) الذي يتصل بالدائرة الاولية، والملف الاخر يسمى بالملف الثانوي ويتصل عادة مع أجهزة القياس الحماية أو السيطرة ويسري في هذا الملف تيار خفيف ذو مقدار قياس (Standard) وهو اما واحد أمبير (1A) او خمسة امبيرات (5A) . وتربط محولات التيار على التوالي مع الشبكة .

تكون عدد اللفات في الملف الاولي عادة قليلة قد تصل احياناً الى لفة واحدة بينما تكون عدد اللفات للملف الثانوي كبيرة وذلك حسب النسبة المراد تكوينها بين التيار الذي يسري في الملف الاولي والملف الثانوي وحسب العلاقة التالية في الحالات المثالية :

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} \qquad (2\text{-}7)$$

والشكل (7- 6) يبين محولة التيار ودائرة ربط محولة التيار مع الدائرة الاولية والثانوية .



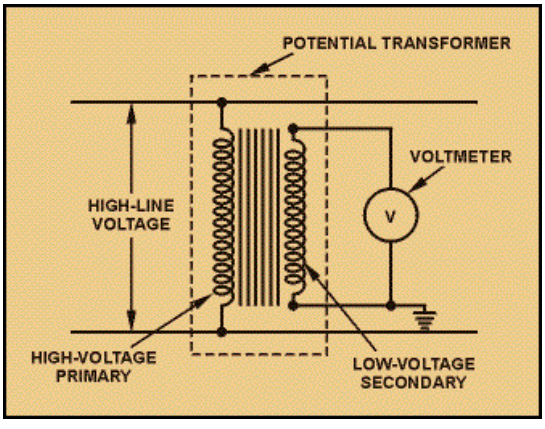


الشكل (7- 6) محولة التيار

3-6-7 محولات الجهد Potential or Voltage Transformers (PT)

تستعمل محولات الجهد للحصول على قيمة جداً منخفضة عادة 100 فولت او 110 فولت لتغذية دوائر الحماية والقياس والسيطرة ويربط الملف الابتدائي لمحولة على الجهد على التوازي في الدائرة الكهربائية المراد أجراء القياسات فيها .

ان الملف الثانوي وكأنه اجزاء محولة الجهد المعدنية تكون مؤرضة للحماية من احتمال ظهور جهد عالي بسبب انهيار المادة العازلة لملف الضغط العالي . كما في الشكل (7- 7) .



الشكل (7-7) محولة الجهد

4-6-7 قواطع الدورة Circuit Breakers

وهوعبارة عن جهاز كهروميكانيكي يحتوي على اقطاب كهربائية يتم عن طريقها فصل التوصيل الكهربائي عن جزء الشبكة المغذي عن طريق هذا القاطع . ان عملية اجراء او فصل التوصيل الكهربائي داخل محتوى القاطع هي عملية ميكانيكية تخضع كلياً الى جهاز سيطرة خاص بذلك القاطع وتتصل بشكل مباشر مع اجهزة الحماية . اذ تستلم دائرة السيطرة الاشارة الصادرة عن اجهزة الحماية وتقوم بالايعاز باجراء عملية الفصل فقط .

اما اعـــادة التوصيل الكهربائي لتلك الشبكة فهي تخضع لمتطلبات أخرى لاعلاقة لها بأجهزة الحمايـة ،

ان المدة الزمنية التي يستغرقها قاطع الدورة في الشبكة العاطلة منذ استلامه أشارة الافلات للحماية ولغاية اكمال العملية الميكانيكية في فصل وايقاف تجهيز العطل بالطاقة يطلق عليها زمن الازالة لقاطع الدورة T_{cp} وان هذه الفترة الزمنية لها اهمية بالغة في تحديد مدى الاضرار الناجمة عن حدوث العطل ، الشكل (7- 8) يوضح أنواع مختلفة من قواطع الدورة .

قاطع دورة نوع (SF6)

قاطع دورة زيتي

الشكل (7- 8) قواطع الدورة

7-7 المتطلبات ألاساسية لمعدات الحماية

يستند تصميم وتركيب معدات الحماية على الايفاء بمتطلبات اساسية الغاية منها الحصول على الضمان الكامل لاستجابة تلك المعدات عند حدوث العطل في الشبكة المحمية . ومن أهم المتطلبات الاساسية التي يجب ان تتميز بها منظومة معدات الحماية هي:

1-7-7 الحساسية Sensitivity

يمكن تعريف الحساسية بانها قابلية منظومة الحماية بامكانية التحسس بأقل تيار عطل وبناء على ذلك تقوم بأصدار اشارة الافلات الى قاطع الدورة المسؤول عن التوصيل الكهربائي للجزء العاطل من اجل أيقاف تجهيز الطاقة لهذه الشبكة .

2-7-7 الثقة او (العول) Reliability

وهي وجوب ضمان استجابة معدات الحماية في حالة حدوث العطل اي انه يجب أن تعمل معدات الحماية بشكل موثوق يعتمد عليه الى ابعد الحدود. أن زيادة الثقة تعتمد بشكل مباشر على زيادة في التكاليف لغرض الحصول على احسن تصميم ماخوذاً بالاعتبار أستمرار الصيانة الدورية لمعدات الحماية للتأكد من ثبوت فاعليتها في العمل أثناء حدوث العطل .

3-7-7 التمييزية Discrimination

وهي قابلية منظومة الحماية على التحسس بحدوث العطل داخل الشبكة المحمية فقط وعدم تأثرها بحدوث العطل خارج هذه الشبكة.

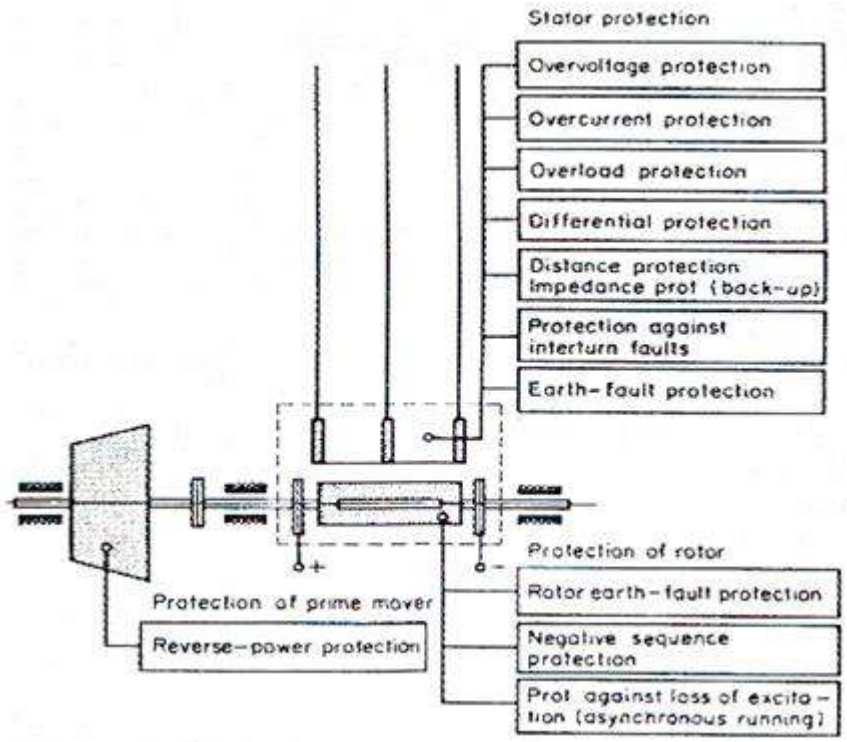
4-7-7 السرعة Speed

وهي قابلية منظومة الحماية بالاسراع في قطع الدوائر العاطلة وفصلها عن اجزاء الشبكات الكهربائية الاخرى.

8-7 حماية المولدات الكهربائية Generator Protection

في محطات التوليد الكهربائية توضع أجهزة الوقاية والحماية لجميع أجزاء المولد (الجزء الثابت والجزء المتحرك ودائرة المحرك الأساس Prime Mover) .

الشكل (7- 9) مخطط يوضح أماكن تواجد أجهزة الوقاية لجميع أجزاء المولد .



الشكل (7-9) أماكن تواجد أجهزة الوقاية للجزء الثابت والمتحرك ودائرة المحرك الاساسي

تعد حماية المولدات الكهربائية من التحديات الكبيرة بالنسبة لمصممي منظومات الحماية اذ تمثل الاهم بالمقارنة مع المعدات الاخرى وبالتالي يجب ان تتضمن حماية المولد اعتبارات لاية ظروف تشغيل غير اعتيادية مثل التحميل الزائد وارتفاع في السرعة والجهد هذا بالاضافة الى ضمان حماية المولد اولاً من أعطال دائرة القصر .

أن من أهم الاعطال التي تحدث في المولدات خلال عملها هي:

1- عطل داخلي : وهو تلف العازل لملفات العضو الثابت (Stator) مما يؤدي الى حدوث دائرة قصر بين الملفات .

2- التحميل غير المتوازن بسبب حدوث عطل خارج المولد .

تستعمل ما يسمى بالحماية التفاضلية (Differential Protection) لحماية المولدات وتعتمد هذه الطريقة على مقارنة التيار الداخل والتيار الخارج من المنطقة المراد حمايتها ويكون التياران متساويين في الحالة الطبيعية للدائرة وكذلك عند حدوث عطل خارج المنطقة المحمية . وعند حدوث عطل داخل المنطقة المحمية فأن ذلك يؤدي الى عدم تساوي التيار الداخل والتيار الخارج من منطقة الحماية مما يؤدي الى تشغيل المرحل وبالتالي قاطع الدورة لعزل المنطقة العاطلة، والشكل (7- 10) يبين دائرة الحماية الفرقية للمولد التزامني .

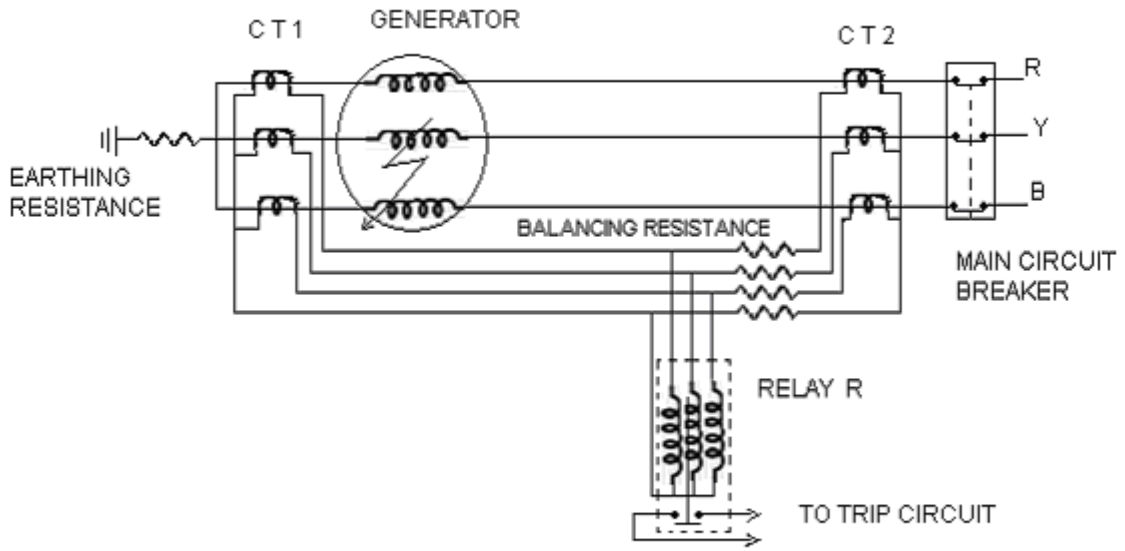


Fig 3

الشكل (7-10) الحماية الفرقية (التفاضلية) للمولد

بالاضافة الى الاعطال التي تم ذكرها انفاً والتي يتعرض لها المولد فأنه ايضاً توجد بعض الاعطال الاخرى وظروف اشتغال غير طبيعية ويجب وضع حماية لكل حالة وسنتطرق الى أهم هذه الحالات وهي:

7-8-1 الحماية ضد زيادة التحميل

ان زيادة التحميل المستمر للمولدة يسبب زيادة في درجة حرارة الملفات للعضو الثابت مما قد يؤدي الى ضعف في اداء وعمل المولد. ولذلك يستعمل لحل هذه المشكلة مرحل زيادة التيار (Overcurren) Relay ويوجد فضلا عن هذا النوع من المرحلات اجهزة ومعدات اخرى تستعمل لكشف مثل هذه الظروف مثل ملفات كاشف الحرارة والتي توضع في اجزاء مختلفة لملفات العضو الثابت لمعرفة قياس درجة حرارة الملفات ومن هذه الانواع هي المزدوج الحراري (Thermocouple) والمقاومة الحرارية (Thrmistor).

7-8-2 الحماية ضد القدرة المعكوسة

في بعض انواع الاعطال التي تصيب وحدة التوليد قد يتحول المولد الى محرك أي بمعنى اخر أن المولد سيقوم بسحب قدرة كهربائية من النظام ويمكن كشف هذا العطل عن طريق مرحل قدرة مع خواص أتجاهية .

7-8-3 الحماية ضد فقد مجال الاثارة

ان فقد تغذية مجال الاثارة يؤدي الى ارتفاع في درجة حرارة العضو الدوار (Rotor) ويتم كشف فقد التغذية عن طريق قياس القدرة غير الفعالة للعضو الثابت ، وأن أي زيادة في هذه القيمة تدل على فقد في عملية التزامن .

7-8-4 الحماية ضد زيادة او نقص التردد

أن أي زيادة او نقصان في التردد اكثر من الحدود المسموح بها عالمياً ستؤدي الى مشاكل كبيرة تصيب وحدة التوليد .

فأن زيادة التردد تؤدي الى تسريع الوحدة والتي قد تؤدي بدورها الى خروج المنظومة عن حالة الاستقرارية ويمكن حماية المولدة من هذه الحالة باستعمال المستمسكات والمسيطرات الاخرى (Governors) كما يمكن الاستعانة بمرحلات زيادة التردد كحماية ثانوية للاجهزة الميكانيكية .

اما حالة نقصان التردد يؤدي الى تأثير سيء على التوربين اكثر من المولد وتتم معالجة نقصان التردد التي تنتج عن زيادة التحميل اما بوساطة المتحكم (Governor) او عن طريق عملية عزل الاحمال .

فأذا تم عزل الاحمال بطريقة صحيحة سيؤدي ذلك الى رجوع التردد الى حالته السليمة .

5-8-7 الحماية الكلية الرقمية للمولد Digital Protection

نتيجة للتطورات السريعة في مجال التقنيات الرقمية وأجهزة الحاسوب فتوفر حالية منظومات حماية رقمية متكاملة للمولد ويتم توصيلها وضبطها باستعمال الحاسوب .

9-7 حماية المحولات الكهربائية

تعتبر المحولة الكهربائية جزءاً رئيسياً من عناصر منظومة القدرة ولذلك يجب حمايتها من كافة أنواع الاعطال وتشمل تلك الحماية حماية ملفات المحولة (الملفات الابتدائية والملفات الثانوية) وكذلك حماية القلب الحديدي للمحولة بالاضافة الى حماية الاجهزة والمعدات المساعدة .

ورغم أن الاعطال التي تتعرض له المحولات فهي قليلة الحدوث مقارنة بما تتعرض له مكونات المنظومة الكهربائية الاخرى، الا أن بعض تلك الاعطال تكون خطيرة الى درجة قد تتسبب في حدوث اخطار جسيمة للمحولة أو اجزاء منظومة القدرة الاخرى اذا لم يتم فصل العطل في الوقت المناسب .

1-9-7 العوامل الاساسية المؤثرة في حماية المحولات

1- **مقننات المحولة:** تعتمد متطلبات الحماية للمحول على مقنن المحولة فكلما زاد مقنن المحولة كلما كانت متطلبات الحماية له اكثر .

2- **نوع المحولة:** محولات القدرة اكبر بصفة عامة واكثر تعقيداً من محولات التوزيع لذا فهي تحتاج الى أنواع من الحماية قد لايتطلبها محولة التوزيع الصغيرة أو المتوسطة .

3- **نوع العازل:** تتطلب المحولات المغمورة بالزيت أو اي سائل اخر أنواع من الحماية اكثر من الانواع المطلوبة للمحولات الجافة .

4- **نوع التوصيل للملفات:** يعتمد نوع الحماية على طريقة توصيل ملفات المحول (دلتا او نجمي او غيرها) .

5- **أنواع الاحمال :** هناك احمال يمكن قطع التغذية عنه لفترات معينة بينما توجد أحمال اخرى لاتحتمل قطع التغذية عنها .

6- **درجة الحرارة:** يجب أن لاتتعدى درجة حرارة الملفات للمحولة أقصى درجة حرارة مسموح بها لملفات المحولة .

2-9-7 طبيعة الاعطال في المحولات

يمكن تقسيم الاعطال المحتمل حدوثها في المحولات على الانواع الاتية:

1- زيادة الحمل أو حدوث دائرة قصر خارجي .

2- اعطال في ملفات المحولة وتوصيلاتها .

3- اعطال في الاجهزة المساعدة التي تعد اجزاء من المحولة .

1-2-9-7 الحماية ضد زيادة الحمل او دائرة القصر الخارجي

تعطي عادة مصانع المحولات دليلاً لتجاوز الحمل على المحولة في شكل جدول يعرف باسم (دليل التحميل) ويجب طلب هذا الجدول من مصانع المحولة ، حيث من الافضل استعمال الجدول الخاص بكل محولة بعينها ويلزم عند وضع خطة الحماية مراعاة هذه الجداول بعد أخذ خطة التحميل في الاعتبار. ويجب تغيير ضبط اجهزة الحماية تبعاً للفقرات المسموح بها تجاوز الحمل على المحولة . ويمكن الحماية من تجاوز الحمل والقصر الخارجي كما يأتي :

أولا / تشغيل قاطع الدورة الخاص بالمحولة بوساطة وحدة افلات مباشرة او غير مباشرة بحيث يكون له منحني زمن - تيار يحتوي على حماية تجاوز الحمل وحسب الجداول التي ذكرت اعلاه .

ثانياً / استعمال اجهزة حساسة لدرجة الحرارة ويتم تركيبها في المحولة حيث يمكنها ان تقوم بواحدة او اكثر من الوظائف التالية :

1- اعطاء بيان عن درجة حرارة المحولة (الملفات ووسط التبريد).
2- اعطاء تحذير (جرس مثلاً) عندما ترتفع درجة الحرارة عن الحد المسموح .
3- تشغيل وحدة تبريد الطوارئ في المحولة في حالة وجودها .
4- تشغيل دائرة افلات قاطع الدورة الخاص بالمحولة اذا تجاوزت الحرارة الحد المسموح به .

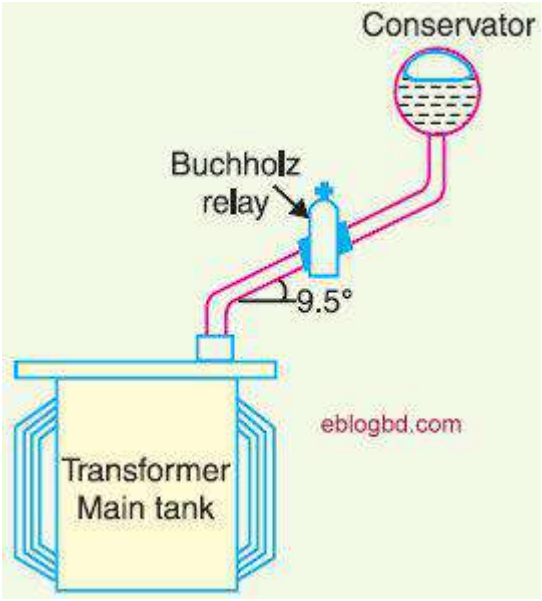
ومن هذه الأجهزة الحساسةهي:

1- الثرموتر البسيط .
2- الثرموتر بملامسات .
3- مرحلات حرارية .
4- مرحل البوخهولز.
5- وسنتطرق الى مرحلة (بوخهولز) بشكل مفصل، وذلك لأهميته في حماية المحولات.

مرحل بوخهولز Buchholzs Relay:

نستعمل هذه المرحلة خصيصاً لحماية محول القدرة ذي الملفات المغمورة في الزيت والمزودة بخزان اضافي أعلى المحولة لتجمع الغازات المتصاعدة من تحلل الزيت ويعمل لحماية المحوله ضد جميع أنواع الأعطال الداخلية .

ويستند هذا لمرحل في عملة على ظاهرة تحرر الغاز من الزيت نتيجة الطاقة الحرارية التي يكتسبها الزيت خلال حصول العطل داخل المحولة ويبين الشكل (7-11) موقع ربط المرحل بين وعـاء المحولــة (Transtormer Tank) والخزان الاضافي للزيت (Conservator) .



الشكل (7-11) مرحل بوخهلوز

حيث يتكون المرحل من وعاء يحتوي على الزيت ويتكون من الداخل من جزأين رئيسين . الجزء الاعلى يتكون من مفتاح زئبقي (Mercury Switch) متصل بعوامة (طوافة) ويربط الجزء الاعلى الى دائرة الانذار(التحذير) اما الجزء الاسفل فيتكون ايضاً من مفتاح زئبقي موضوع على حامل متحرك ويربط هذا الجزء الى دائرة الافلات (Trip Circit) يؤدي غلق المفتاح العلوي الى اصدار اشارة الانذار (Alarm) والذي يحدث نتيجة ميل العوامة بسبب هبوط مستوى الزيت نتيجة للتسرب أو التحلل بسبب أرتفاع درجة الحرارة اما غلق المفتاح السفلي يؤدي الى اصدار اشارة الافلات وفتح قواطع الدورة لطرفي المحولة ويحدث الغلق نتيجة تحرك حامل المفتاح المبين في الشكل المذكور اعلاه ولايحدث هذا التحرك الاعند تحرك كمية كبيرة من الغاز ولاتحدث هذه الظاهرة الا في حالة حدوث عطل شديد مثل عطل قصر الدائرة فيما بين ملفات الطور الواحد أو بين الاطوار او بين الاطوار والارضي. علماً بان الحماية التفاضلية التي سيتم ذكرها لاحقاً تكون غير قابلة للتحسس بعطل دائرة القصر لملفات الطور الواحد بينما يستطيع مرحل بو خهولز بالتحسس ضد هذا النوع من الاعطال وفصله عن الدائرة.

7-9-2-2 الحماية ضد الاعطال في ملفات المحول وتوصيلاته

تتعرض كل من ملفات المحولة (ألابتدائي والثانوي) الى انواع عديدة ومختلفة من دائرة القصر، ويمكن تلخيصها كما يأتي:

- عطل ملفات الجهد العالي الى الارض.
- عطل طور - طور على اطراف ملفات الجهد العالي .

- عطل دائرة قصر بين ملفات الجهد العالي .
- عطل دائرة قصر بين ملفات الجهد الواطي
- عطل اطراف ملفات الجهد المنخفض الى الارضي
- عطل طور - طور على اطراف الجهد المنخفض.
- عطل ارضي خارجي .

تعد دائرة القصر من اخطر الحالات التي قد تتعرض لها المحولة على الاطراف ورغم العدد الكبير للانواع المختلفة للاعطال التي قد تتعرض لها المحولة الا أن كل هذه الاعطال يتم الحماية منها بثلاثة أنواع رئيسة من الحماية هي :

1- الحماية ضد تجاوز التيار:

يساعد هذا النوع من الحماية في الخطة العامة لعملية حماية المحولة ضد اعطال الملفات ويتم أجراء حماية المحولة اما باستعمال حماية على الجانب ألابتدائي فقط واما باستعمال حماية جانب أبتدائي والقانوني معاً وهذا يتم اعتماداً على جهد المحولة .

2- الحماية الفرقية (التفاضلية):

تعتمد الحماية الفرقية كما تم ذكرها سابقاً على تغذية المرحل بتيارين متساويين للحالة الاعتيادية في حالة عدم وجود عطل وذلك عن طريق محولي تيار كما مبين في الشكل (7-10) وتكون المنطقة المحمية هي المنطقة المحصورة بين محولي التيار بحيث:

أ- في حالة عدم حدوث عطل داخل المنطقة المحمية فأن التيارين I_1, I_2 يكونان متساويين ويكون التيار الداخل لملف التشغيل للمرحل مساوياً للصفر ولذلك لايعمل المرحل.

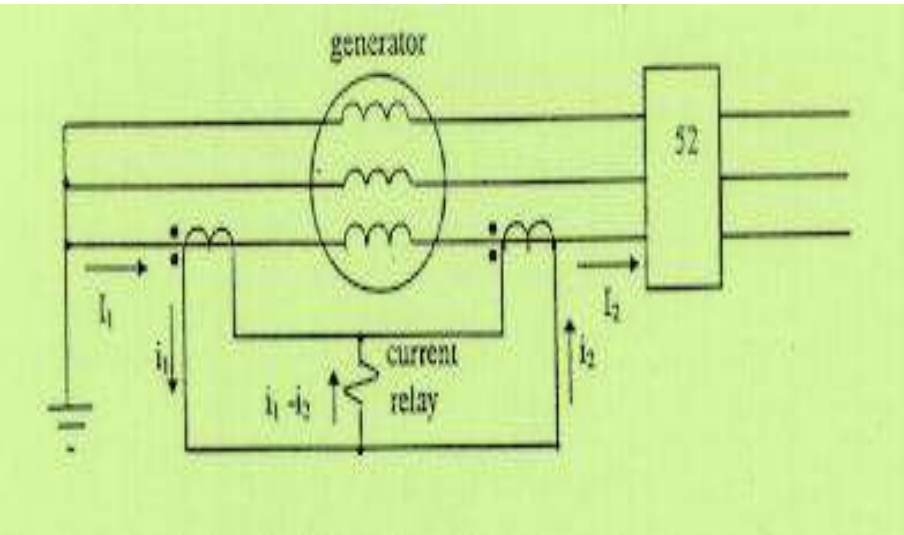
ب- في حالة حدوث عطل داخل المنطقة المحمية فأن ذلك يؤدي الى اختلاف في قيمتي I_1, I_2 مما سيؤدي الى مرور تيار ناتج من الفرق بين التيارين في ملف التشغيل مما سبب بتشغيل المرحل اذا زاد هذا الفرق عن حد معين .

ت- في حالة وجود عطل خارجي (خارج المنطقة المحمية) فسوف يزداد التيار الداخل والخارج من المحول ويكون التياران I_1, I_2 متساويين ويكون التيار داخل ملف التشغيل مساوياً للصفر ولايعمل المرحل.

3- الحماية ضد الخطأ الارضي :

بالرغم من ان الحماية الفرقية تقوم بعمل حماية من الخطأ الارضي ، الا انه في بعض الحالات يكون لتيار الخطأ الارضي أقل من القيمة التي تسبب عمل مرحل الحماية الفرقية .

وتوجد عدة طرق للحماية الارضية وكل هذه الطرق تعتمد اما على قياس التيار المار الى الارض مباشرة واما على قياس مجموع التيارات الثلاثة في خطوط المحولة (هذا المجموع يساوي تيار الخط الارضي) او بمقارنة مجموع التيارات الثلاثة في خطوط المحولة بالتيار المار في الخط الارضي ، كما في الشكل (7-12).



الشكل (7-12) مبدأ عمل الحماية الفرقية

7-2-9-3 الحماية ضد الاعطال في الأجهزة المساعدة

يجب الاشارة الى حماية المحولة من الارتفاعات المفاجئة والشديدة في الجهد نتيجة فصل وتوصيل الاحمال أو نتيجة الصواعق .

ويمكن وضع المحولة داخل مبنى لحمايته من الصواعق البرقية المباشرة وفي حالة وضع المحولة خارج المبنى يمكن استعمال قضيبين هوائيين يعمل كل منهم كمانع للصواعق واحياناً يمكن استعمال شبكة من الاسلاك الافقية الهوائية المربوطة جيداً بالارض من خلال الكترونات التأريض والمعلقة على اعمدة بعيدة عن المحولة .

كما يتم استعمال جهاز الحماية ضد تجاوز الجهد (كابح الجهد) ووضعه بالقرب من المحولة لكي يحميها من الموجات الراحلة والارتفاعات في الجهد نتيجه الفتح والغلق .

كما يزداد المحول بأجهزة الحماية من ارتفاع ضغط الزيت وجهاز حماية ضد ارتفاع درجة حرارة الزيت .

10-7 حماية خطوط النقل Transmission Line Protection

ذكرنا سابقاً ان هنالك عدة أخطاء وأعطال تحصل في خطوط نقل الطاقة الكهربائية منها بسبب الظروف الجوية ومنها بسبب أرتفاع الاحمال أو خطأ في المعدات الكهربائية مما يسبب تأثير مباشر على قيمة االجهد والتيار في الشبكة الكهربائية ، هناك عدة طرق مستعملة لحماية شبكة التوزيع وخطوط النقل وهي كما يأتي :

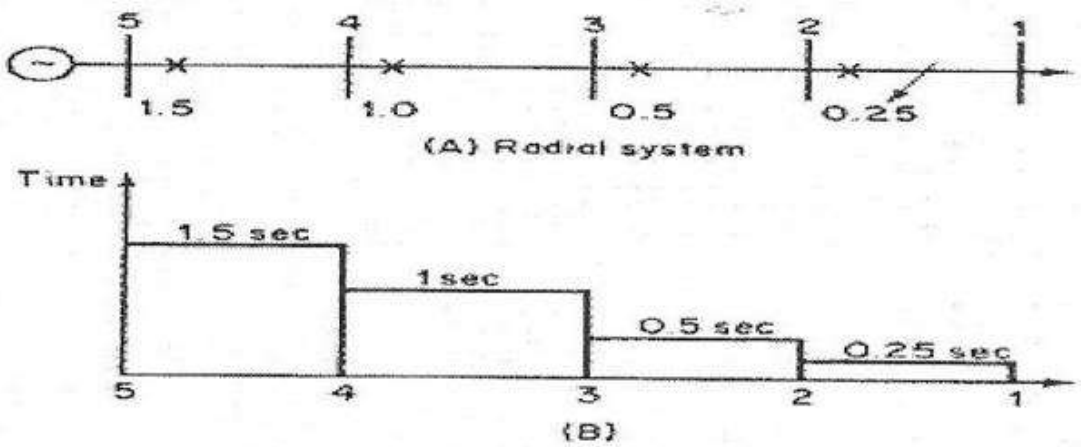
1-حماية خطوط النقل بنظام زيادة التيار Over current protection:

تعتمد هذهِ الطريقة على أساس أرتفاع قيمة التيار في خطوط النقل نتيجة حدوث الاعطال حيث تقوم المتحسسات والمرحلات الخاصة بأعطاء الاشارة الى القاطع الخاص لفصل المنطقة المصابة بالعطل ،يؤخذ بنظر الاعتبار ضمان القدرة في المناطق المحيطة بمنطقة العطل بمعنى أن المرحل يعمل على عزل العطل عن باقي المنظومة وهذهِ تسمى بالانتقائية (Selectivity) وتحتاج الى تنسيق عمل المرحلات وهناك عدة طرق لتنسيق عمل المرحلات وهي:

أ- التنسيق بالزمن Time Grading:

تعتمد هذهِ الطريقة على ان تيارات الاعطال تكون اعلى قيمة كلما قرب العطل من المصدر ولذا تضبط المرحلات حتى تعمل عند تيارات متدرجة مناسبة والتي تقل كلما زادت المسافة من المصدر . الشكل (13-7) يوضح مثالاً لطريقة التنسيق بالزمن مطبقة على نظام شبكة كهرباء اشعاعي في كل من النقاط 2-3-4-5 توجد وحدة حماية مزودة بمرحل زيادة التيار وزمن تأخير محدد (Definite Time . Delay Over Current Relay) .

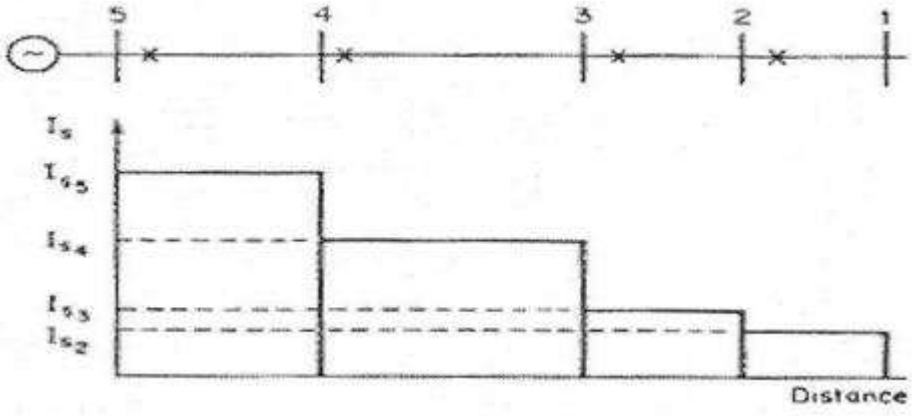
ويتم ضبط المرحل عند القاطع رقم 2 على أقل تاخير زمني (25ِ 0ثا) ويلي ذلك المرحل عند القاطع 3 على تأخير زمني (0.5 ثا) والمرحل عند القاطع 4 على (ثانية واحدة) وفي حالة حصول قصر (شورت سيركت) عند النقطة F سيعمل المرحل عند القاطع 2 ، ويقوم بعزل مجال العطل وقبل ان تعمل المرحلات 3-4-5 وعيب هذه الطريقة أن اطول فترة تاخير زمني تكون بجانب المصدر حيث يكون بتيار اعلى قيمة .



الشكل (7-13) مبدأ التنسيق بالزمن لخط أشعاعي

ب-التنسيق بالتيار Current Grading:

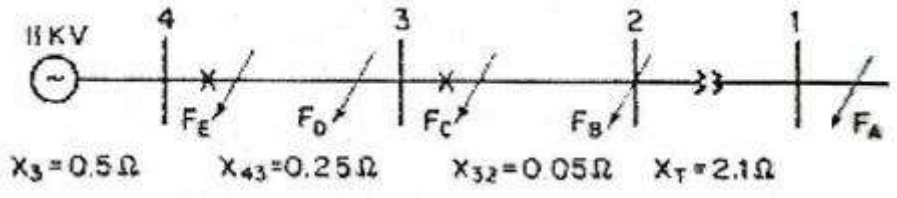
في هذه الطريقة يتم الاستفادة من ان تيار القصر يكون اكبر مايمكن عندما يحصل بالقرب من المصدر وعلى هذا الاساس يتم ضبط المرحلات على قيم للتيار تتناقص كلما بعدت المسافة عن المصدر . الشكل (7-14) يوضح مثالاً لتنسيق قيم التيار على طول خط نقل الطاقة الكهربائية .



الشكل (7-14) التنسيق بالتيار لنظام أشعاعي

مثال 7-1

باعتبار النظام الاشعاعي الموضح في الشكل (7-15) ، أحسب تيارات العطل للاعطال F_E، F_D، F_C، F_B، F_A واقتراح ضبط للمرحلات على اساس طريقة التنسيق بالزمن بافتراض 30% مجال للخطأ .



الشكل (7-15) النظام ألاشعاعي للمثال (7-1)

الحل : جهد النظام هو 11 كيلوفولت ولهذا يحسب تيار العطل كالاتي :

$$I = V / X_F = 11000/\sqrt{3} / X_F$$

حيث X_F هي المفاعلة من المصدر الى نقطة العطل . وفي حالة العطل عند F_A تكون:

$$X_{FA} = 0.5 + 0.25 + 0.05 + 2.1 = 2.9 \text{ ohm}$$

ومن ثم يكون تيار العطل هو :

$$I_{FA} = 11000/ (\sqrt{3} \times 2.91) = 2189.95 \text{ A}$$

والعطل عند X_{FB} تكون :

$$X_{FB} = 0.5 + 0.25 + 0.05 = 0.8 \text{ ohm}$$

ومن ثم يكون تيار العطل :

$$I_{FC} = 11000/ (\sqrt{3} \times 0.75) = 8476.8 \text{ A}$$

ولان F_D قريبة جداً من F_C نستنتج ان :

$$I_{FD} = I_{FC} = 8476.8 \text{ A}$$

والعطل عند E يكون :

$X_{FE} = 0.5$ ohm

ولهذا:

$I_{FE} = 11000/ (\sqrt{3} \times 0.5) = 12701.71$ A

وسيستجب المرحل رقم (1) للاعطال عند F_B و F_C ويتم ضبطه عند 130% من تيار العطل F_A ولهذا :

$I_{S1} = 1.3\ I_{FA} = 2846.63$ A

وسيستجيب المرحل رقم (2) للاعطال F_E و F_D وسيضبط عند:

$I_{S2} = 1.3\ I_{FC}$ 11008.14 A

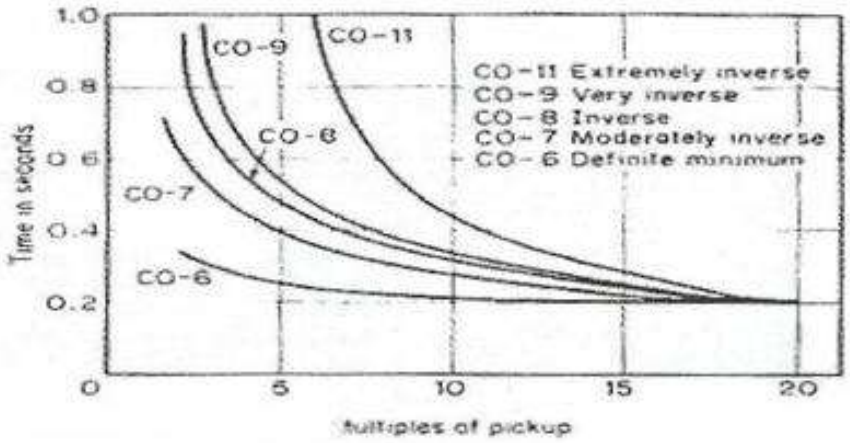
مع ملاحظة أن المرحل (2) لن يستجيب للاعطال F_A و F_B و F_C.

2- الحماية بنظام زيادة التيار الزمني العكسي Inverse – Time Over Current Relaying:

تعتمد طريقة المرحل الزمني العكسي لزيادة التيار على تناسب زمن تشغيل المرحل عكسياً مع مستوى تيار العطل والشكل (16-7A) يوضح هذهِ العلاقة ، وتوجد هناك أنواع من هذهِ المرحلات المستعملة وهي:

1- مرحل من نوع CO-11.
2- مرحل من نوع CO -9 .
3- مرحل من نوع CO -8 .
4- مرحل من نوع CO -7 .
5- مرحل من نوع CO -6 .

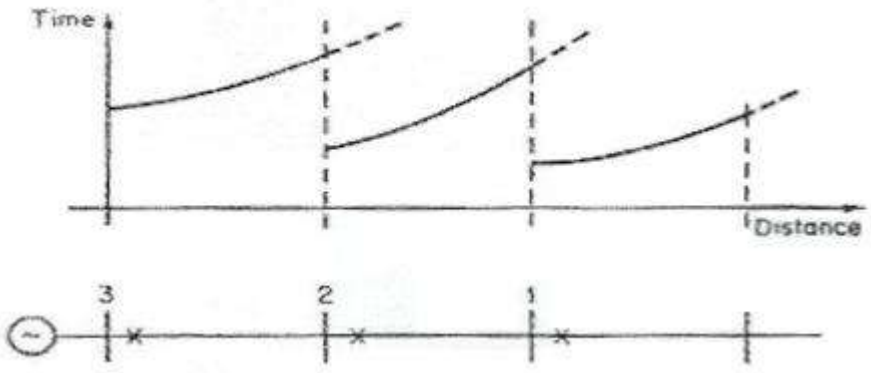
أن من اكثر الانواع استخداماً في هذه الطريقة هو مرحل نوع (CO -7) .



الشكل (16-7A) مقارنة لاشكال منحنيات المرحل CO

يحقق الاعطال القريبة من نقاط الحماية في هذه الطريقة اختصاراً في الزمن للتخلص من العطل .

الشكل (16-7B) يمثل نقاط خط اشعاعي مع التنسيق بالوقت باستعمال مرحلات زمنية عكسية موجودة عند القواطع 1،2،3.



الشكل (16-7B) تطبيق نظام وقاية زمني عكسي مع التنسيق بالزمن على نظام أشعاعي

3- حماية المغذيات بالاسلاك الدليلية Pilot –Wire feeder protection:

تعتمد هذه الطريقة على مبدأ حماية الوحدة الذي يتضمن قياس تيارات العطل عند كل نهاية منطقة محددة في فرع المغذي نفسه ثم يتم نقل وتبادل هذه القياسات والمعلومات بين المعدة او المنظومة عند حدود المنطقة المطلوب حمايتها ، والمبدأ المستعمل هنا هو مبدأ الحماية التفاضلية وخاصة بالنسبة للمغذيات القصيرة يتم استعمال نظام الاسلاك الدليلية لنقل المعلومات ويتم تصنيف انظمة الوقاية التفاضلية باستعمال الاسلاك الدليلية لحماية المغذيات الى ثلاثة أنواع :

1- نظام أستعمال لتيار الساري Circulating Current System.

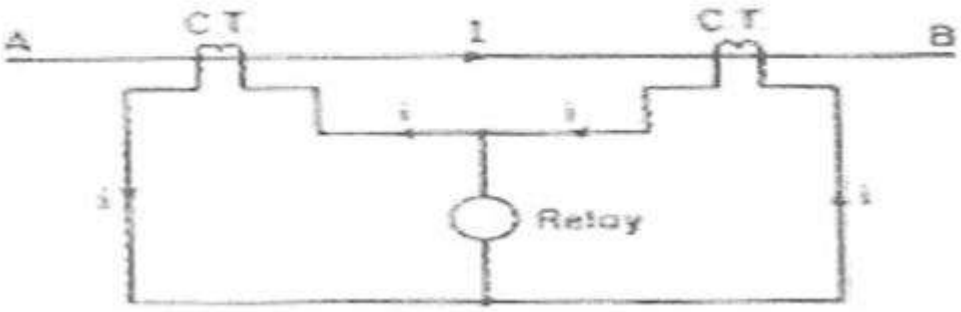
2- نظام الجهد المتزن Balanced Voltage- System.

3- نظام مقارنة الطور Carson- Last.

كل هذه الانواع تعتمد على حقيقة أهمال التيار السعوي وعلى قياس القيمة اللحظية للتيار الذي يدخل أو يخرج من الموصل عند النهاية الاخرى ، ولذلك تكون القيمة اللحظية الكلية للتيار الذي يدخل او يخرج من الموصل مساوية للصفر وذلك عندما يكون الموصل سليم أما اذا كان الموصل متصل بقصر الى الارض أو الى اي موصل اخر عند اي نقطة فيها قصر سيكون التيار الكلي الذي يدخل او يخرج من الموصل مساوي للقيمة اللحظية للتيار الذي يدخل او يخرج من الموصل عند نقطة العطل .

1- نظام استعمال التيار الساري:

أن عمل نظام استعمال التيار الساري موضح في الشكل (7-17) الذي يوضح تطبيقه على مغذي طور واحد، ويستخدم في هذا النظام محولين للتيار لهما نفس نسبة التحويل ، يوصل محول تيار عند كل نهاية من الدائرة المراد حمايتها، وتوصل الملفات الثانوية للمحولين على التوالي مما يجعل الجهود الثانوية المتولدة في حالة الحمل أو في حالة الاعطال الخارجية في الاتجاه نفسه مما يتسبب في جمعها محدثة تيار يسري في دائرة الاسلاك الدليلية .

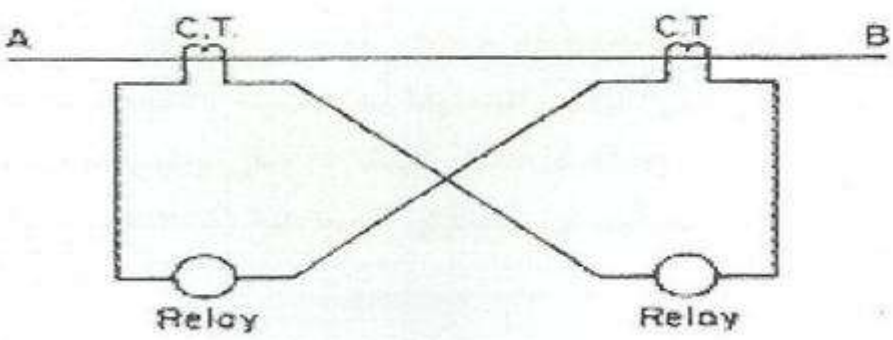


الشكل (7-17) نظام التيار الساري

ويعمل المرحل (الرلي) الموضح في الشكل الرمز (R) الذي يتم توصيله عند منتصف دائرة الاسلاك الدليلية التي يمر بها الفرق بين التيارات الثانوية لمحولي التيار ويكون تيار الفرق مساوياً الى الصفر في حالة كون التيار الثانوي لمحولي التيار متساويان ، وفي حالة حصول الاعطال أو تماس لايتحقق التساوي في التيارات الثانوية ومن ثم يسري التيار ناتج من حاصل الفرق بينهما يؤدي الى عمل المرحل وعزل المغذي المصاب بالعطل .

2- نظام الجهد المتزن:

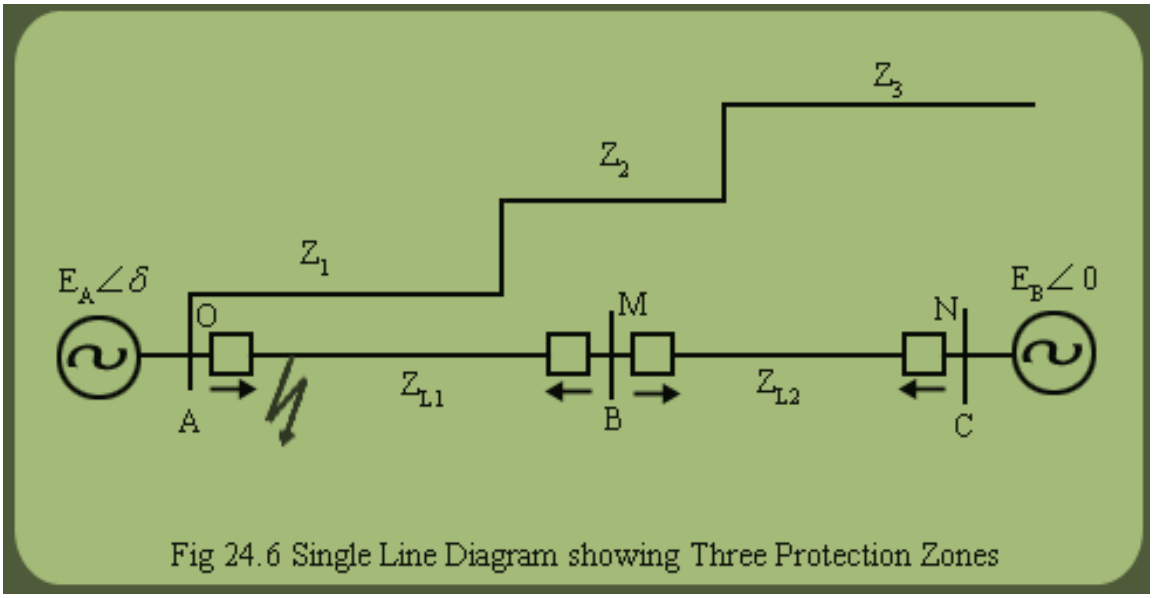
أن حماية المغذيات التفاضلية باستعمال الجهد المتزن على دائرة احادية الطور موضحة في الشكل (7-18) وفي هذا النظام يتم توصيل الملفات الثانوية لمحولي التيار الموجودين عند نهاية الدائرة المطلوب حمايتها على التوالي بطريقة معكوسة حول حلقة الاسلاك الدليلية ولهذا لايمر خلال المرحل المتصل على التوالي مع الاسلاك الدليلية تحت ظروف العمل الطبيعية ، اما في حالة ظروف الاعطال الداخلية لا تتساوى الجهود الثانوية لمحولات التيار وفي الوقت نفسه لا تزال معكوسة مما يؤدي الى ظهور جهد محصلة للجهدين محدثاً تيار يسري في الاسلاك الدليلية مما يؤدي الى تشغيل المرحل وعزل الجزء المصاب بالعطل في منظومة الشبكة .



الشكل (7-18) مبدأ عمل نظام الجهد المتزن

نظام حماية المسافة Distance Protection:

يتم حماية خطوط النقل والمغذيات باستعمال مبدأ المقارنة والذي يحدد اساساً مكان العطل وقياس الممانعة عن طريق استعمال مرحل المقارنة (Comparator Relay) والشكل (19-7) يوضح مبدأ عمل هذا النوع من الحماية والذي تعتمد على قيمة الممانعات.



الشكل (19-7) مبدأ عمل حماية المسافة

أسئلة الفصل السابع

س1: أختر العبارة الصحيحة لكل من العبارات الاتية:

أ- يطلق على الفترة الزمنية ابتداء من حدوث العطل وحتى ازالته وفصل الشبكة العاطلة عن اجزاء المنظومة الاخرى بـ :

1- زمن الافلات

2- زمن الازالة لقاطع الدورة

3- الزمن الكلي لازالة العطل.

ب-يتم تغذية دوائر انظمة الحماية بفولتيات ذات قيم:

1- منخفضة نسبيا وبحدود 100-110 فولت.

2- عالية القيمة بحدود 100-110 كيلوفولت.

3- لايتم تغذيتها بأية فولتية.

ت- يجب ان تكون مناطق الحماية لمنظومة القدرة:

1- منفصلة بعضها عن بعض

2- متداخلة في المناطق المتجاورة.

3- متداخلة في المناطق المتباعدة.

ث- جهاز الحماية الذي يقوم بكشف العطل واصدار اشارة الافلات يسمى:

1- قاطع الدورة

2- محول القياس

3- المرحل.

ج- مرحل بوخهولز يستعمل لحماية:

1- محولات القدرة

2- المولدات التزامنية

3- خطوط النقل.

س2- أجب بصح او خطأ مع تصحيح الخطأ دون تغيير ماتحته خط:

1- كلما كانت اجهزة الحماية اكثر تطورا كلما ازدادت الفترة الزمنية الكلية لازالة العطل.

2- يعتبر عطل الدائرة القصيرة من اكبر المخاطر التي تتعرض لها منظومة القدرة.

3- يعد عطل الدائرة المفتوحة من الاعطال الكثيرة الحدوث بالمقارنة مع اعطال الدائرة القصيرة في منظومات القدرة.

4- ان مرحلة الحماية لايمكنها التنبؤ بحدوث العطل قبل وقوعه فعليا.

5- التمييزية هي قابلية منظومة الحماية على التحسس بحدوث العطل خارج الشبكة المحمية.

6- ان زيادة التحميل المستمر للمولدة يسبب زيادة في درجة حرارة الملفات.من

7- ان زيادة او نقصان التردد في منظومة القدرة اكثر من الحدود المسموح بها عالميا لا تسبب مشاكل كبيرة في المنظومة.

8- لا تعد المحولة الكهربائية جزءا رئيسا من عناصر منظومة القدرة.

9- خطوط النقل المعلقة هي اكثر اجزاء منظومة القدرة عرضة لحدوث الاعطال.

10-لاتلعب الظروف الجوية دورا مهما في الاعطال التي تحصل في خطوط النقل المعلقة.

س3- املأ الفراغات الاتية:

1- من مهام منظومة الحماية هو--------- العطل و--------- موقعه ومن ثم --------عن المنظومة.

2- يطلق على الاشارة التي يرسلها مرحل الحماية لقاطع الدورة باشارة-------- .

3- يجب ان تكون مناطق الحماية المتجاورة ---------- لضمان حماية اجزاء المنظومة كافة.

4- يعد عطل الدائرة المفتوحة من الاعطال--------الحدوث في منظومة القدرة.

5- جهاز الحماية المسؤول عن كشف العطل وارسال اشارة الافلات لقاطع الدورة يسمى ---------- .

6- ان فقد مجال الاثارة في المولدة يؤدي الى ارتفاع درجة حرارة العضو------ .

7- ان زيادة سرعة وحدة التوليد يؤدي الى ---------- التردد.

8- في وحدة التوليد تتم معالجة زيادة او نقصان التردد بوساطة ---------- .

9- تسمى الحماية التي تعتمد على مبدأ الفرق بين التيارين المجهزين للمرحل في المنطقة المحمية بالحماية ---------- .

10-تستعمل مرحلة بوخهولز لحماية ---------- ضد---------- .

المصادر

1- كتاب العلوم الصناعية- الثالث كهربا ء - المهندس فرج دانيال، فاخر ابراهيم الكناني - 1986 .

2- التصميم والمعدات للمحطات الفرعية لانظمة نقل وتوزيع الطاقة الكهربائية- المهندس وحيد مصطفي احمد – 2008 .

3- نظم القدرة دراسة وتحليل - د. سنان محمود عطار باش، د . عبد الله محمد - جامعة الموصل - 1990

4- القدرة الكهربائية - د . عبد الصاحب حسن - جامعة بغداد - كلية الهندسة -1985 .

5- كتاب العلوم الصناعية الثالث كهربا ء (القديم) .

6- 1970 - Electrical Technology By Theraja .

7- Electrical Technology By Huges .

8- Power Plant Engineering – A . K – Inda 2006 .

9- Power Generation – Hand Book .

10- Philip Kiameh - 2002 .

11- Electrical Technology By Theraja .

تم بعونه تعالی