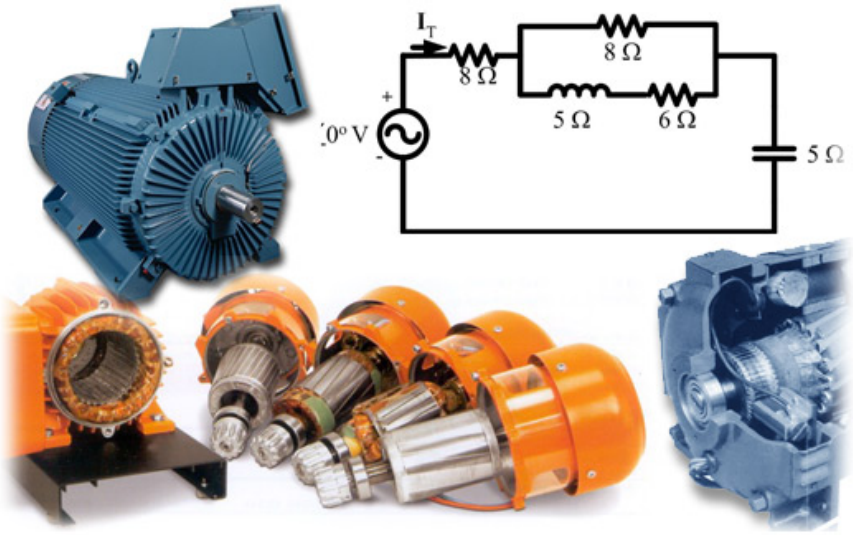
المملكة العربية السعودية
المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني
الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج

آلات ومعدات كهربائية

محطات التوليد و طرق الحماية

٢٤٧ كهر



جميع الحقوق محفوظة للمؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني

الحمد لله وحده، والصلاة والسلام على من لا نبي بعده، محمد وعلى آله وصحبه، وبعد:

تسعى المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني لتأهيل الكوادر الوطنية المدربة القادرة على شغل الوظائف التقنية والفنية والمهنية المتوفرة في سوق العمل، ويأتي هذا الاهتمام نتيجة للتوجهات السديدة من لدن قادة هذا الوطن التي تصب في مجملها نحو إيجاد وطن متكامل يعتمد ذاتياً على موارده وعلى قوة شبابه المسلح بالعلم والإيمان من أجل الاستمرار قدماً في دفع عجلة التقدم التنموي: لتصل بعون الله تعالى لمصاف الدول المتقدمة صناعياً.

وقد خطت الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج خطوة إيجابية تتفق مع التجارب الدولية المتقدمة في بناء البرامج التدريبية، وفق أساليب علمية حديثة تحاكي متطلبات سوق العمل بكافة تخصصاته لتلبي متطلباته ، وقد تمثلت هذه الخطوة في مشروع إعداد المعايير المهنية الوطنية الذي يمثل الركيزة الأساسية في بناء البرامج التدريبية، إذ تعتمد المعايير في بنائها على تشكيل لجان تخصصية تمثل سوق العمل والمؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني بحيث تتوافق الرؤية العلمية مع الواقع العملي الذي تفرضه متطلبات سوق العمل، لتخرج هذه اللجان في النهاية بنظرة متكاملة لبرنامج تدريبي أكثر التصاقاً بسوق العمل، وأكثر واقعية في تحقيق متطلباته الأساسية.

وتتناول هذه الحقيبة التدريبية " محطات التوليد وطرق الحماية " لمتدربي قسم" آلات ومعدات كهربائية " للكليات التقنية موضوعات حيوية تتناول كيفية اكتساب المهارات اللازمة لهذا التخصص.

والإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج وهي تضع بين يديك هذه الحقيبة التدريبية تأمل من الله عز وجل أن تسهم بشكل مباشر في تأصيل المهارات الضرورية اللازمة، بأسلوب مبسط يخلو من التعقيد، وبالاستعانة بالتطبيقات والأشكال التي تدعم عملية اكتساب هذه المهارات.

والله نسأل أن يوفق القائمين على إعدادها والمستفيدين منها لما يحبه ويرضاه: إنه سميع مجيب الدعاء.

الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج

المملكة العربية السعودية
المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني
الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج

محطات التوليد وطرق الحماية

محطات توليد القدرة الكهربائية

جميع الحقوق محفوظة للمؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني

تمهيد

مع ظهور الثورة الصناعية الحديثة في مطلع القرن المنصرم واعتماد تلك النهضة الصناعية على توليد ووجود الطاقة وإمكانية تحويلها من صورة إلى أخرى بدأت تأخذ تكنولوجيا توليد الطاقة الكهربية الدور الأهم في صناعة الطاقة. وقد تميزت الطاقة الكهربية عن غيرها لأنها تمثل الشكل الأكثر استخداما قي الصناعة والاستعمالات المنزلية وذالك لأنها تمتاز بسهولة توليدها وإمكانية تحويلها إلى جميع أشكال الطاقة الأخرى وإمكانية توليدها في أماكن بعيدة ونقلها بسهولة إلى أماكن الاستهلاك بكلفة منخفضة.

ولإعطاء فكرة مبسطة عن توليد الطاقة الكهربائية سوف نتناول العناصر التالية خلال هذا الفصل:

١. مقدمة عن الطاقة الكهربائية وطرق توليدها.
٢. أنواع محطات التوليد.
٣. محطات التوليد البخارية.
٤. محطات التوليد الغازية.
٥. محطات التوليد المائية.
٦. محطات الديزل.

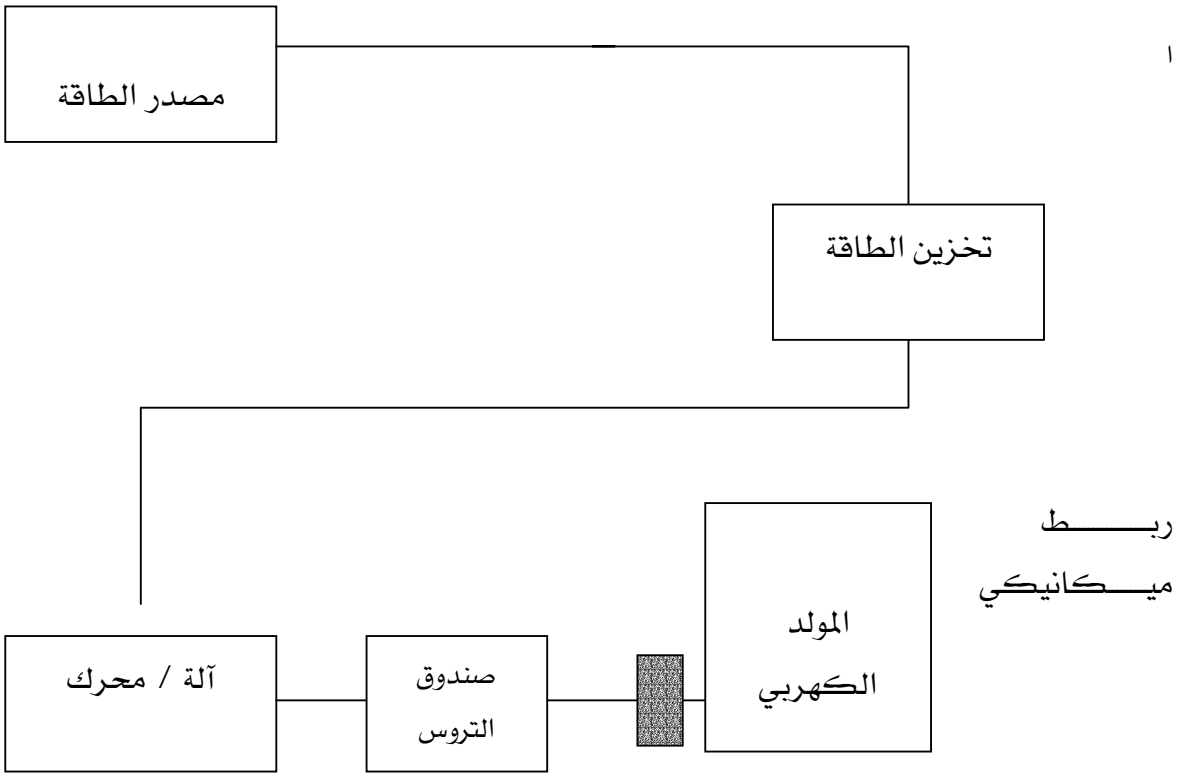
وذلك مع ذكر المخطط الصندوقي لتحويل الطاقة داخل كل محطة وكذلك العناصر الرئيسية لكل محطة ومميزات وعيوب كل منها.

١ -١ الطاقة الكهربائية

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

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

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



شكل ١ - ١ المخطط العام لمحطة التوليد الكهربائية

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

- مخزن الطاقة
- المحرك الأول الميكانيكي
- المولد الكهربي

أ – تخزين الطاقة:

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

ب – المحرك الأولي الميكانيكي:

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

ج – المولد الكهربائي:

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

١ -٢ أنواع محطات التوليد

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

وتنقسم محطات التوليد إلى عدة أنواع منها: -

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

- محطات التوليد النووية

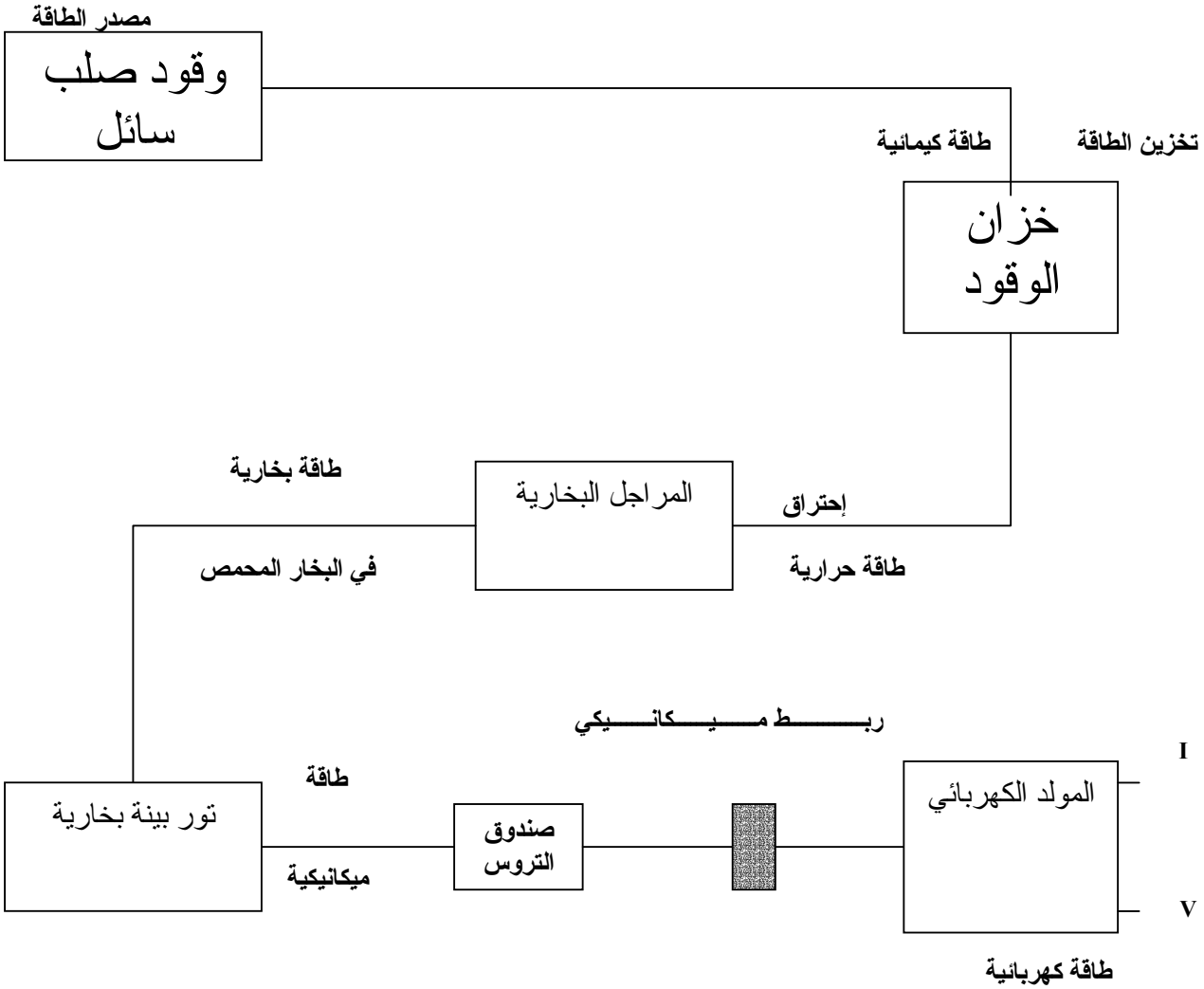
وسوف نكتفي بدراسة الأربعة أنواع الأولى منها.

١ -٣ محطات التوليد البخارية

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

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

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



شكل ١ -٢ المخطط الصندوقي لتحويل الطاقة داخل المحطات البخارية

١ -٣ -١ مميزات المحطات البخارية

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

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

٣ - التكاليف الأولية أقل.

٤ - تكاليف الصيانة والتوليد ليست مرتفعة.

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

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

١ -٣ -٢ عيوب المحطات البخارية

١ - التلوث البيئي الناشئ من تلك المحطات

٢ - ارتفاع تكاليف التشغيل الدورية.

٣ - انخفاض الكفاءة.

٤ - يجب بناء تلك المحطات بعيداً عن التجمعات السكنية (مسافة١كم على الأقل).

٥ - تحتاج إلى كميات كبيرة من مياه التبريد.

١ -٣ -٣ الأجزاء الرئيسية لمحطات التوليد البخارية

تتكون محطات التوليد البخارية من الأجزاء الرئيسية التالية: -

١ - فرن الاحتراق (المحرقة):

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

٢ - **المرجل:**

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

٣ - **التوربينة: -**

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

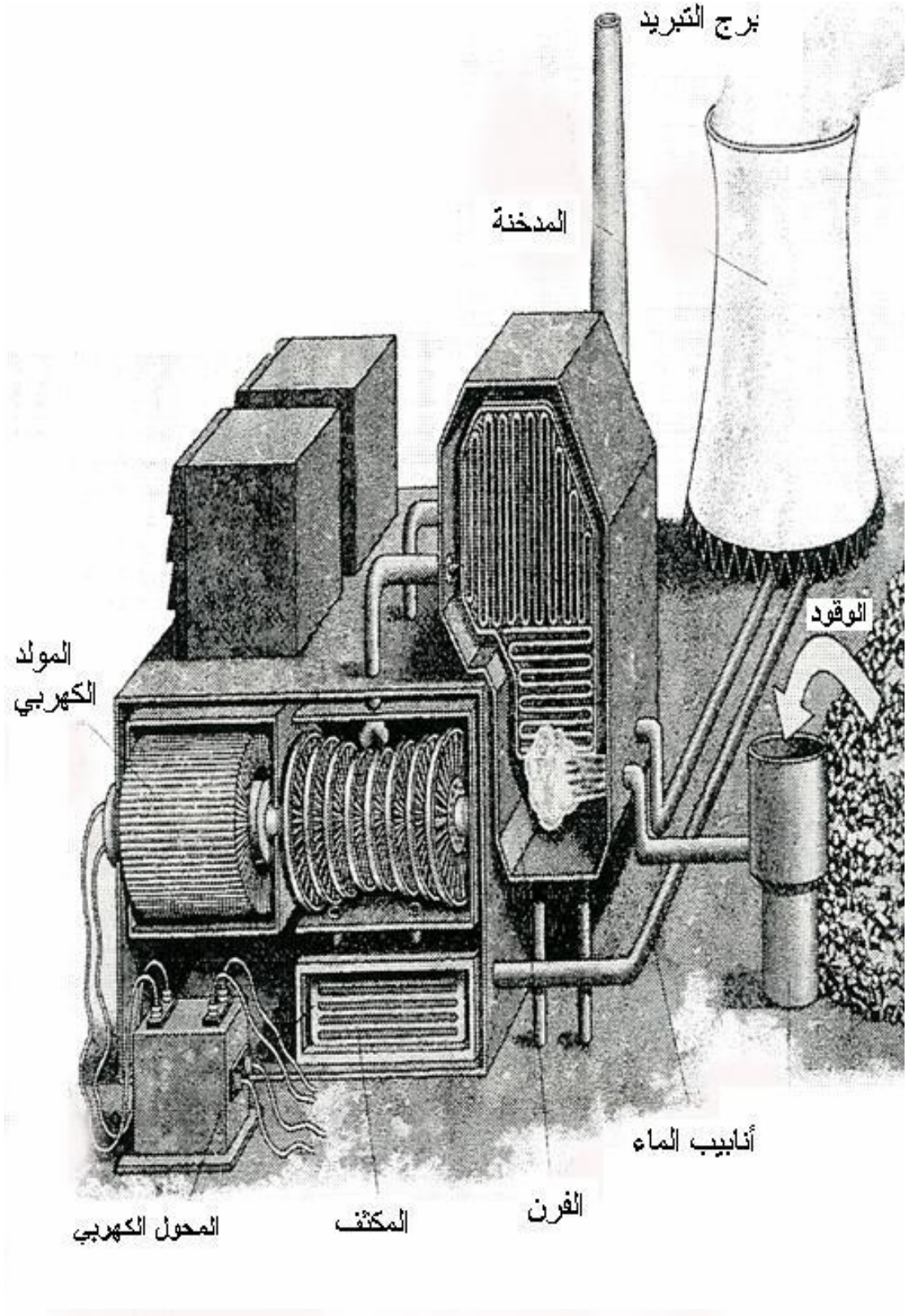
٤ - **المكثف:**

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

٥ - **المولد:**

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

ويبين الشكل (١ -٣) إحدى المحطات البخارية.



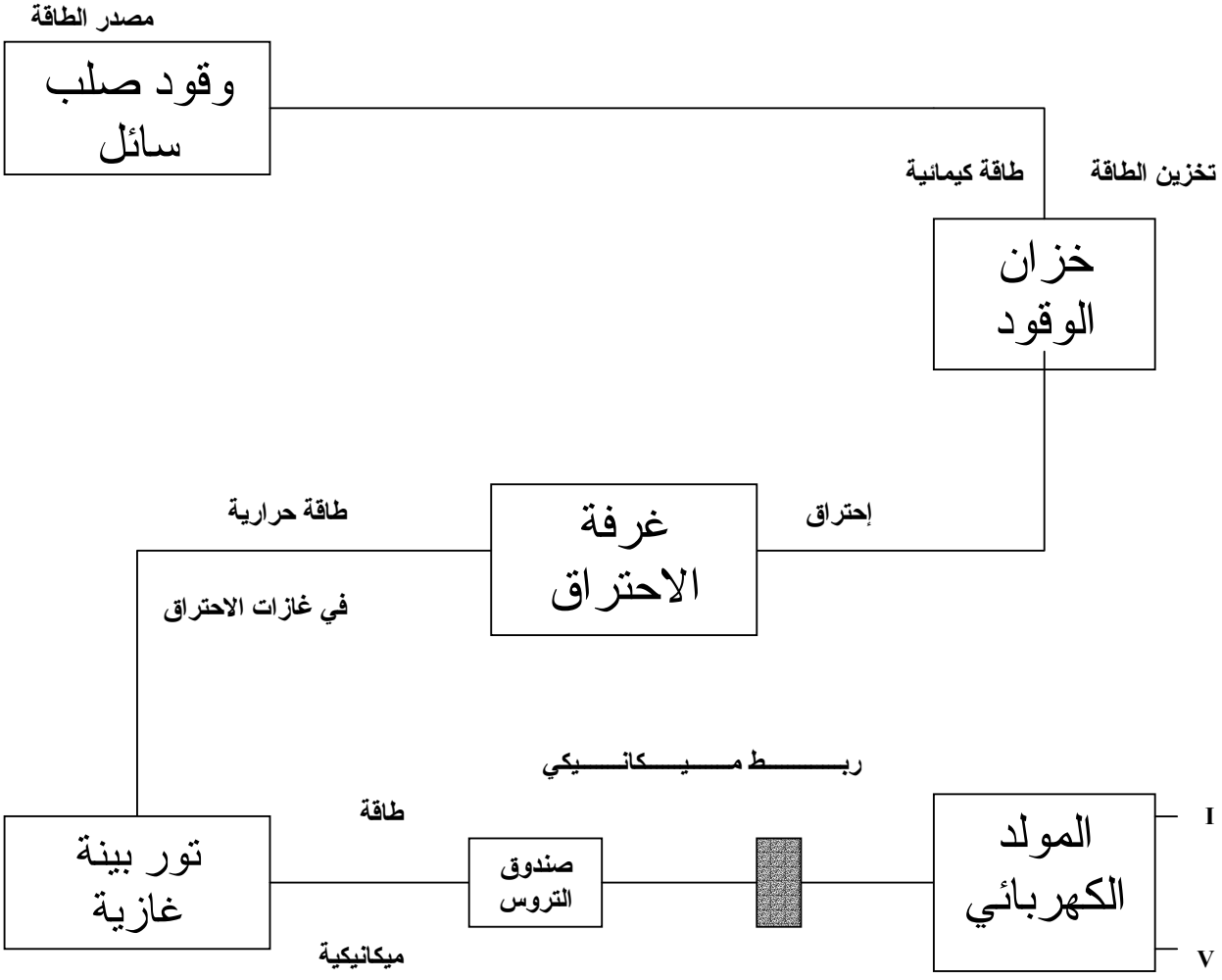
شكل ١ -٣ محطة توليد بخارية

١ -٤ محطات التوليد الغازية

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

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

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



شكل ١ -٤ المخطط الصندوقي لتحويل الطاقة داخل المحطات الغازية

١ -٤ -١ مميزات المحطات الغازية

١ - تكاليف الإنشاء لتلك المحطات أقل من المحطات الأخرى ٠
٢ - يمكن تشغيلها أو إيقافها في زمن أقل من الزمن المطلوب لتشغيل أو إيقاف المحطات الأخرى.
٣ - تحتاج لعمالة ذات مؤهل متوسطة وعدد قليل في التشغيل.
٤ - يمكن تشغيلها لتغذية أوقات الذروة أو التشغيل باستمرار.
٥ - لا تحتاج إلى كميات من المياه لذلك فهي تكثر في المناطق الصحراوية.

١ -٤ -٢ عيوب المحطات الغازية

١ - تكاليف التشغيل الدورية عالية لاحتياجها لكميات كبيرة من الوقود٠
٢ - تعطى قدرات ليست عالية٠
٣ - الكفاءة منخفضة٠
٤ - إهدار كمية كبيرة من الطاقة الحرارية مع غازات العادم وقد تم أخيرا استغلال هذه الطاقة في إنتاج بخار يستخدم في تشغيل وحدات بخارية ملحقة بالمحطات الغازية ويسمى هذا النظام بنظام الدورة المركبة.

١ -٤ - ٣ الأجزاء الرئيسية للمحطات الغازية

١ - ضاغط الهواء:

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

٢ - غرفة الاحتراق:

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

٣ - التوربينة:

٤ - المولد الكهربائي:

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

٥ - الأجهزة المساعدة:

تستخدم بعض الأجهزة المساعدة في المحطات الغازية مثل:

١ - مصافي الهواء قبل دخوله للمكبس.

٢ - مساعد التشغيل الأولى وهو محرك كهربائي.

٣ - وسائل الإشعال للوقود.

٤ - آلات التبريد وماء التبريد.

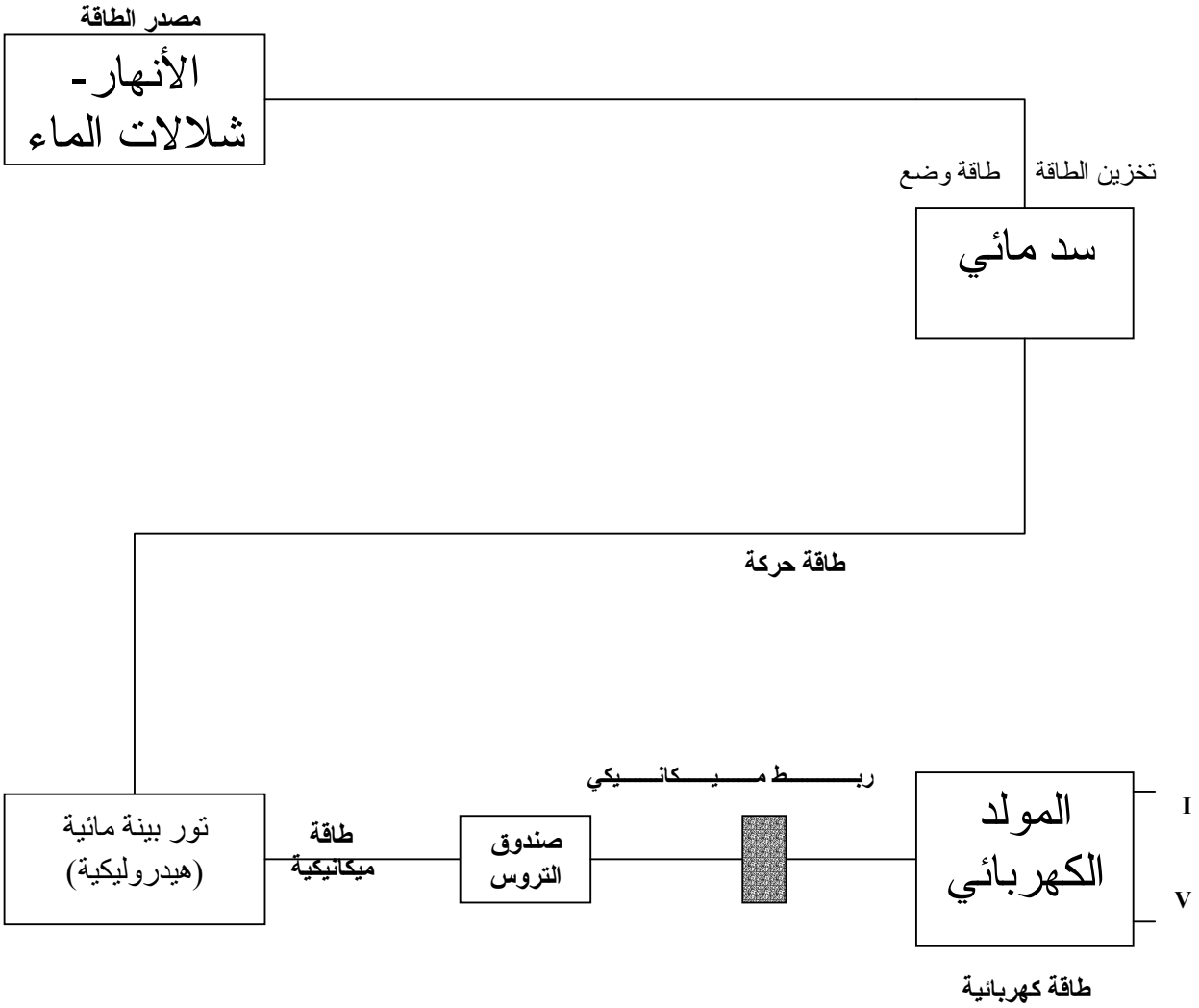
٥ - أجهزة القياس للجهد والتيار والحرارة.

١ -٥ محطات التوليد المائية

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

وعندما يكون مجرى النهر ذا انحدار بسيط فيمكن إقامة سدود لتخزين المياه كما في محطة السد العالي بمصر وعندما يكون مجرى النهر ذا انحدار كبير فيعمل تحويره للمجرى لعمل شلال صناعي.

يتم في هذه المحطات تحويل طاقة الوضع الكامنة في الماء الموجود على ارتفاع(السدود – شلالات) إلى طاقة حركة في عملية سقوط الماء وإذا سلطت هذه المياه وهذه الطاقة على التوربينة المائية فإنها تدور بسرعة كبيرة ويتكون على محور التوربينة طاقة ميكانيكية ونظراً لأن العضو الدوار بالمولد مربوط على محور التوربينة وفي ظل وجود مجال مغناطيسي من العضو الثابت فتتحول الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربية ويتضح ذلك من المخطط الصندوقي لسريان القدرة الموضح في الشكل ١ -٥.



شكل ١ -٥ المخطط الصندوقي لتحويل الطاقة داخل المحطات المائية

٥ -١ -٢ مميزات محطات التوليد المائية

١ - تحتاج للماء كوقود وهو أرخص وأسهل وقود متواجد.

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

٣ - تكاليف التشغيل اليومية رخيصة.

٤ - تحتاج لزمن أقل في بداية التشغيل.

٥ -١ -٣ عيوب محطات التوليد المائية

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

٢ - ارتفاع التكاليف الأولية لبناء المحطة.

٣ - صعوبة إجراء الصيانة.

٥ -١ - ٣ الأجزاء الرئيسية لمحطات التوليد المائية

١ - الخزان والسدود:

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

٢ - مجرى و مساقط الماء:

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

٣ - التوربينة والمولد الكهربي:

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

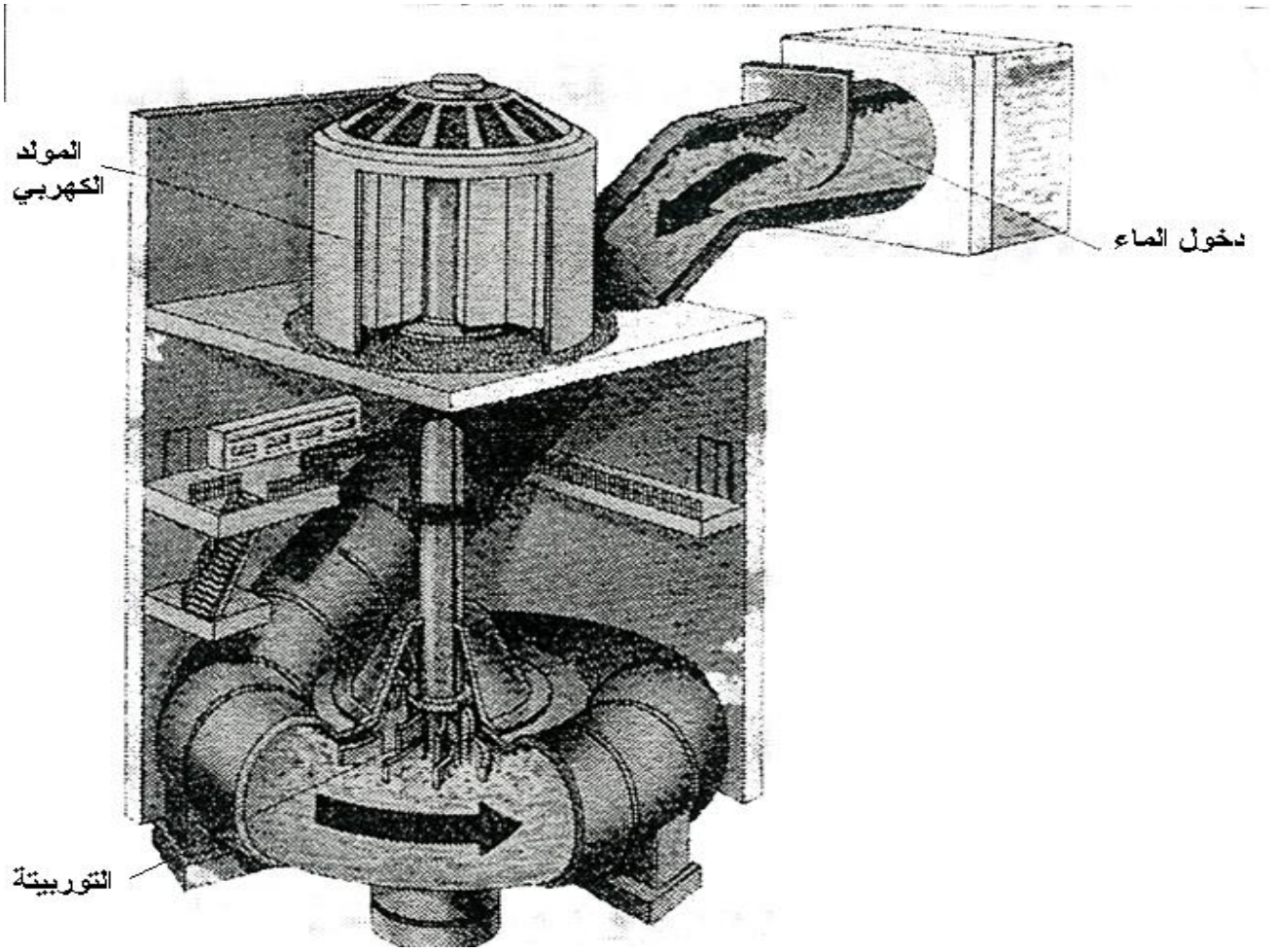
٤ - أنبوبة السحب:

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

٥ - الأجهزة والآلات المساعدة

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

ويوضح الشكل ١ -٦ محطة توليد مائية.



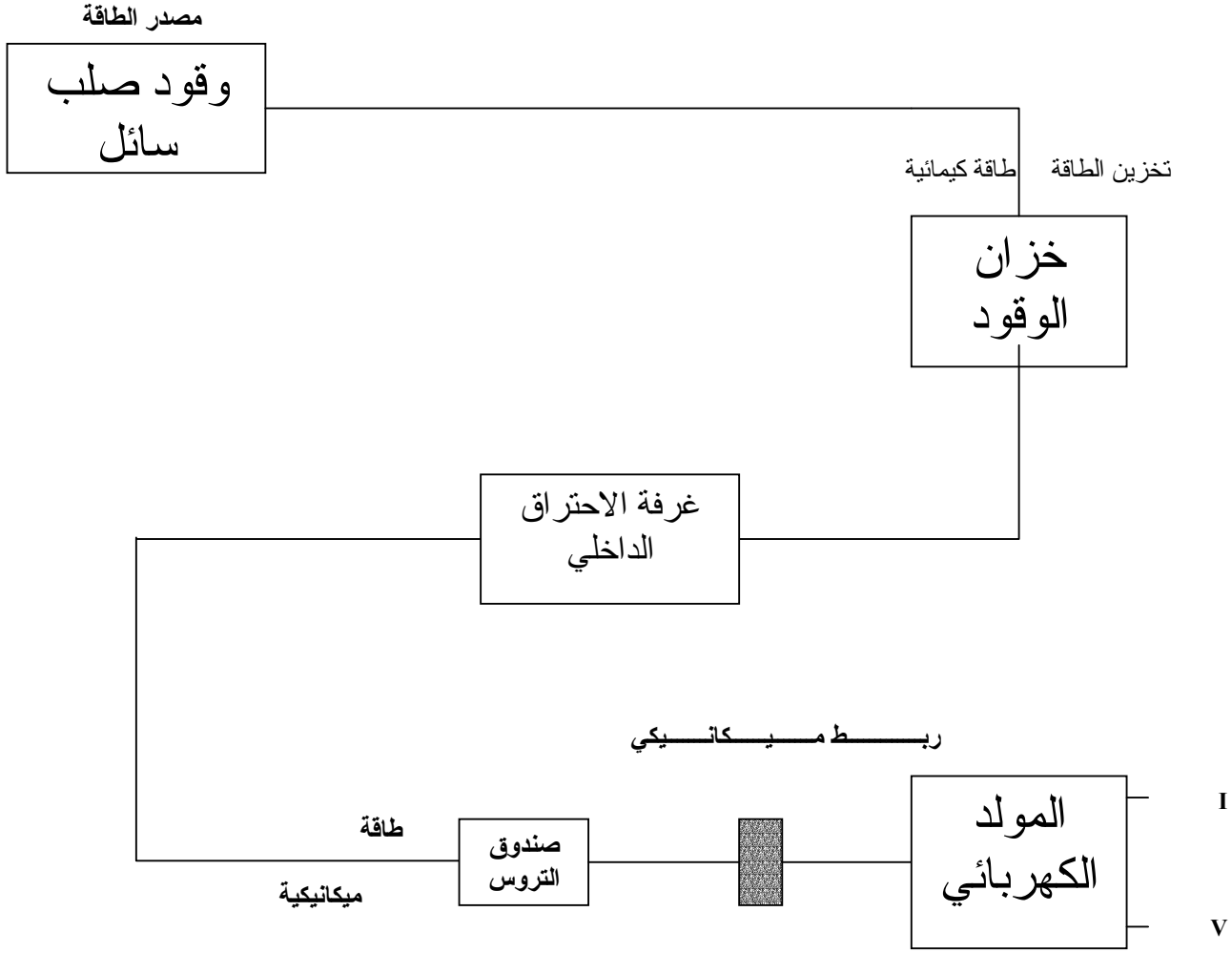
شكل ١ -٦ محطة توليد مائية (هيدروليكية)

١ -٦ محطات توليد الديزل

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

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

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



شكل ١ -٧ المخطط الصندوقي لتحويل الطاقة داخل محطات الديزل

١ -٦ -١ مميزات محطات الديزل

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

١ -٦ -٢ عيوب محطات الديزل

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

١ -٦ -٣ الأجزاء الرئيسية لمحطات الديزل

١ -نظام إمداد الوقود:

يتكون هذا النظام من:

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

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

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

٢ - شفاط الهواء:

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

٣ - نظام التبريد:

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

٤ - ماكينة الديزل:

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

٥ - المولد الكهربي:

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

المراجع:

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

محطات التوليد وطرق الحماية

تشغيل مولدات القدرة

جميع الحقوق محفوظة للمؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني

مقدمة

يعتبر المولد الكهربي أحد الأجزاء الرئيسية في عملية إنتاج وتوليد القدرة الكهربية.ويمكننا القول بأن جملة القدرة الكهربائية المنتجة عالميا تتم عن طريق المولدات التزامنية. ولذا فإن المولد هو أهم عنصر في نظام توليد القدرة الكهربية.

وسوف نتناول في هذا الفصل مراجعة لمعرفة أنواع المولدات التزامنية وكيفية التحكم في الجهد والتردد وذلك من خلال العناصر التالية:

١. الأنواع الرئيسية لمولدات القدرة التزامنية.
٢. الأجزاء الرئيسية لمولدات القدرة التزامنية.
٣. مصادر تغذية الأقطاب.
٤. توليد موجات القوة الدافعة الكهربية الخاصة بالعضو الثابت.
٥. الدائرة المكافئة للمولدات التزامنية.

تشغيل مولدات القدرة

تستخدم مولدات القدرة في محطات توليد الطاقة الكهربية وتعرف باسم المولدات التزامنية لأنها من الآلات القابلة للانعكاس (أي يمكن تشغيلها كمحركات أو مولدات). وتوضع الملفات المنتجة للقدرة الكهربية (المنتج) في الآلات التزامنية على العضو الثابت وذلك في حالة المولدات متوسطة وكبيرة القدرة أما المولدات صغيرة القدرة فتكون مثل آلات التيار المستمر حيث يكون المنتج هو العضو الدوار. ويحمل العضو الدوار ملفات المجال المغناطيسي للمولدات التزامنية متوسطة وكبيرة القدرة. بينما توضع ملفات المجال المغناطيسي على العضو الثابت في حالة المولدات التزامنية الصغيرة.

٢ -١ الأنواع الرئيسية لمولدات القدرة التزامنية

تقسم المولدات التزامنية على حسب:

١. المحرك الأولي المستخدم: ويقصد بها التوربينة المستخدمة لتحويل الطاقة الأولية المخزنة (الوقود - الماء - الهواء – الشمس – إلخ) إلى طاقة ميكانيكية لإدارة العضو الدوار للمولد والتي يمكن تقسيمها إلى الأنواع التالية:

- مولدات تعمل على توربينات بخارية
- مولدات تعمل على توربينات غازية
- مولدات تعمل على توربينات هيدروليكية
- مولدات تعمل على الاحتراق الداخلي (الديزل)
- مولدات تعمل على تحويل الطاقة الجديدة مثل الطاقة الشمسية وطاقة الرياح إلى طاقة كهربية.

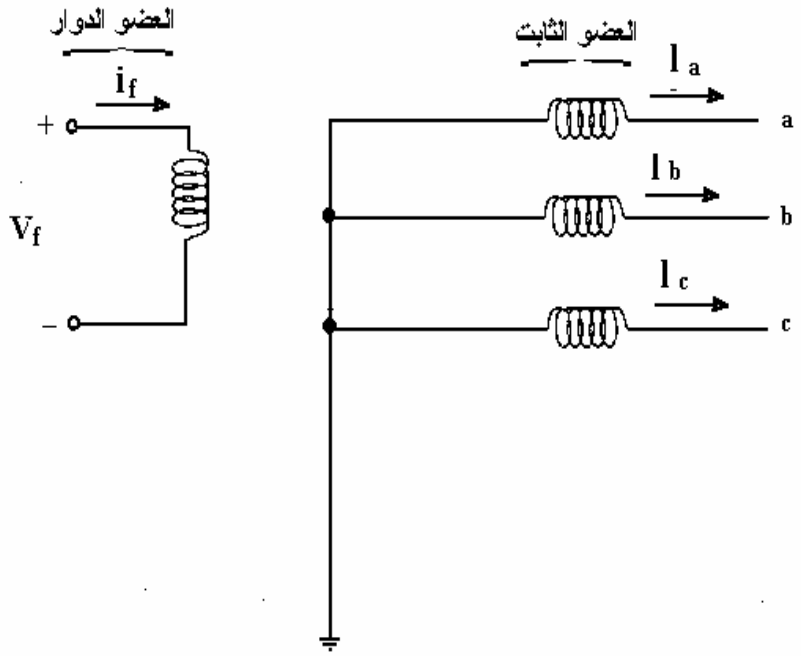
٢. تردد القوة الدافعة الكهربية المتولدة والتي يمكن تفسيمها إلى الأنواع التالية:

- مولدات تعمل على تردد ٦٠ ذبذبة في الثانية.
- مولدات تعمل على تردد ٥٠ ذبذبة في الثانية.

ويختلف التردد الناشئ باختلاف سرعة الدوران للتوربينة واختلاف عدد القطاب المولدة للمجال المغناطيسي.

٢ -٢ الأجزاء الرئيسية لمولدات القدرة التزامنية

تتركب المولدات المتزامنة كما في الشكل ٢ -١ من الأجزاء الرئيسية التالية:



شكل ٢ -١ المكونات الأساسية لمولد القدرة

٢ -٢ -١ العضو الدوار:

يتكون عادة من شكل أسطواني ويوضع عليه ملفات المجال والتي تكون عبارة عن أقطاب بارزة (سرعة المنخفضة) أو أقطاب غاطسه (سرعة عالية) وتغذي تلك الأقطاب بالتيار المستمر وذلك لتوليد مجال مغناطيس ثابت القيمة وتكون تلك التغذية من خلال فرش وحلقات انزلاقية أو باستعمال الدوائر الموحدة للتيار (دوائر تغيير التيار المتردد إلى تيار مستمر) وأحيانا تكون تغذية ملفات المجال المغناطيس تغذية ذاتية.

يستخدم هذا النوع من المولدات (ثنائي الأقطاب أو رباعي الأقطاب) عندما يكون المحرك الأولي عبارة عن توربيتة بخارية عالية السرعة ويتم توصيل التوربينة للمولد عن طريق عمود دوران عل شكل أسطوانة لها طول محوري كبير وقطر صغير نسبيا وذلك للحد من مقدار القوي الطاردة المركزية.

وعندما يكون المحرك الأولي عبارة عن تور بينة هيدروليكية تكون السرعة أبطئ ويلزم استخدام عدد أقطاب أكثر. ولذلك فإن العضو الدوار يصمم بحيث يكون من النوع ذي الأقطاب البارزة ويكون بطيئا وقطره كبير جدا ، وطول محوره صغير نسبيا وعادة يكون عمود الدوران الخاص بالتوربينة والمولد في وضع رأسي مع وضع التوربينة أسفل المولد.

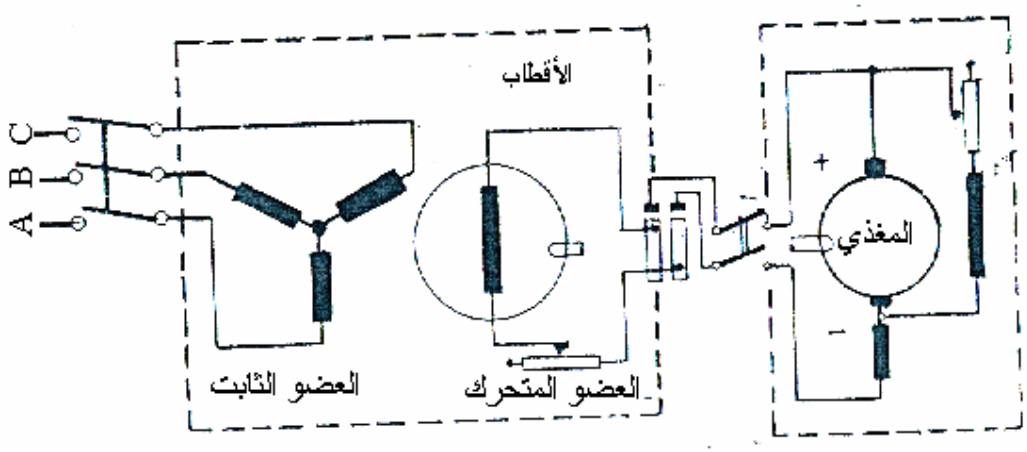
ويحتوي العضو الدوار على أقطاب عددها زوجي وتوجد داخل هذه الأقطاب فجوات توضع فيها موصلات ملفات المجال المغناطيسي. وتغذي تلك الملفات من مصدر يمكن التحكم في جهده. وتحمل الملفات الموجودة تحت قطب واحد تيار مستمر ذو اتجاه واحد ويتغير اتجاه التيار المستمر من قطب إلى آخر. ولذلك تكون القوة الدافعة المغناطيسية الخاصة بالعضو الدوار مترددة القيمة حول محيط المولد. ويرمز للمجال المغناطيسي الخاص بملفات العضو الدوار بالمحور المباشر أو المحور(d) ويرمز للمحور العمودي عليه بمحور التعامد أو المحور(q).

٢ -٢ -٢ العضو الثابت:

يتكون من هيكل خارجي وغطاءان جانبيان ومثبت بالمحيط الداخلي للهيكل.ورقائق حديدية لها فتحات (مجاري) موجودة على أبعاد متساوية وموزعة على السطح الداخلي الكلي للعضو الثابت. وتقسم ملفات عضو الإنتاج إلى ثلاثة ملفات متماثلة خاصة بالأطوار الثلاثة. وتكون تلك الملفات ثلاث دوائر كهربائية بين كل منها ١٢٠ درجة كهربائية ويوصل عادة على شكل نجمة والتي توصل عادة بالأرضي.

٢ -٢ -٣ ملفات الإخماد:

بالإضافة إلى ملفات المجال وملفات عضو الإنتاج فإن جميع المولدات التزامنية يتم تزويدها بملفات إخماد في العضو الدوار وهذه الملفات مكونة من أقفاص سلكية موصلة كدائرة قصر ومشابهة لملفات القفص السنجابي الخاصة بالمحركات الحثية. وتدخل تلك الملفات عملية التشغيل عند حالات القصر الكهربي. بالنسبة إلى الفيض المغناطيسي في العضو الدوار، فإنه يكون ثابتا في حالات التشغيل العادية ولكنه متغيرا مع الزمن في العضو الثابت. ولذلك يصنع العضو الثابت على هيئة شرائح لتقليل كمية الفقد للمجال المغناطيسي داخل الحديد.



شكل ٢ -٢ تغذية الأقطاب بواسطة مولد تيار مستمر

٢ -٣ مصادر تغذية الأقطاب

تتم تغذية الأقطاب المنتجة للفيض المغناطيسي بواسطة دوائر عدة نذكر منها ما يلي:

٢-٣-١ التغذية بواسطة المغذي

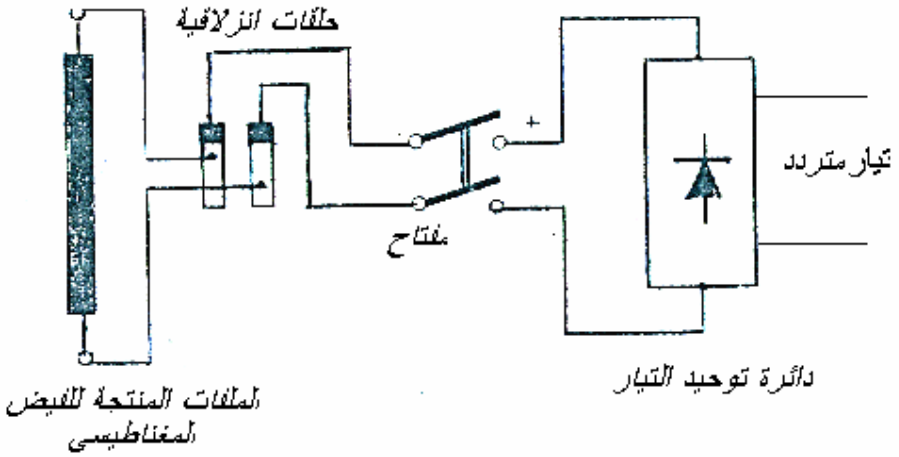
تعتبر هذه الطريقة من أكثر الطرق شيوعاً سابقاً ويتم ذلك بتوصيل أطراف ملفات الأقطاب للمولد التزامني مع أطراف المغذي والذي يكون مولد تيار مستمر من نوع التوازي مثبت مع محور دوران المولد التزامني ويوضح الشكل ٢ -٢ طريقة تغذية أقطاب المولد التزامني باستخدام مولد تيار مستمر.

٢ -٣ -٢ التغذية بواسطة مجموعة من الموحدات

في هذه الطرية تغذي ملفات أقطاب المولد التزامني باستخدام مجموعة من موحدات التيار والتي تقوم بتوحيد التيار المتردد المتولد من مولد تيار متردد إلى تيار مستمر ويقوم هذا التيار المستمر بتغذية أقطاب

المولد المتزامن. ويوضح شكل ٢ -٣ طريقة تغذية ملفات المجال المغناطيسي لمولد تزامني باستخدام مجموعة من الموحدات.

ويوجد طرق أخرى لتغذية الأقطاب بالتيار المستمر.



شكل ٢ -٣ تغذية ملفات أقطاب المولد التزامني بواسطة مجموعة من الموحدات

٢ -٤ توليد موجات القوة الدافعة الكهربية الخاصة بالعضو الثابت

عند مرور تيار مستمر (i_f) في ملفات المجال (ملفات العضو الدوار) فإنه يتولد قوة دافعة مغناطيسية وبالتالي يتكون فيض المجال الرئيسي في العضو الدوار. وتعمل الأقطاب البارزة والتي تأخذ الشكل المدبب إلى وصول كثافة الفيض عبر المحور (d) إلى قيمة عظمى، ثم وصول كثافة الفيض عبر المحور (q) إلى قيمة صغرى (صفر) وبضبط التدرج في أوجه الأقطاب يمكن الحصول على توزيع جيبي للفيض المغناطيسي خلال الفجوة الهوائية.

عند دوران العضو الدوار بسرعة تزامنية ثابتة فإن ملفات المنتج الموجودة على العضو الثابت سوف تتعرض إلى موجة فيض متنقلة (متغيرة). وعندما يقطع الفيض المغناطيسي الذي كثافته(ß) الموصلات العمودية لملفات العضو الثابت بسرعة نسبية S فينشأ في الموصل العمودي قوة دافعة كهربية لها قيمة لحظية:

$$e = ßS \qquad V/m \qquad (٢-١)$$

حيث تقاس (ß) بالتسلا وتقاس السرعة بوحدة متر لكل ثانية.

ونتيجة لأن توزيع الفيض جيبي الشكل، فإن توزيع القوة الدافعة كهربية المتولدة على ملفات المنتج سوف تكون هي الأخرى جيبية الشكل وتكون سرعة تلك الموجة هي نفس سرعة موجة الفيض المغناطيسي.

وتتكون موجة الفيض وموجة القوة الدافعة الكهربية من دورات كاملة عددها (P/٢) حول المحيط الكلي للعضو الثابت.

وبافتراض أن سرعة دوران العضو الدوار هي (n) مقدرة باللفة في الدقيقة فإن القوة الدافعة الكهربية الناشئة سوف يكون ترددها:

$$f = \left(\frac{p}{2}\right)\left(\frac{n}{60}\right) \qquad \text{Hz} \qquad (٢-\ ٢)$$

وعلي سبيل المثال فإن المولد ذو القطبين عندما يدور بسرعة ٣٦٠٠ لفه في الدقيقة سوف يكون تردد القوة الدافعة الكهربية الناشئة على ملفات العضو الثابت هي ٦٠ ذبذبة في الثانية (Hz).

ونظرا لأوضاع الملفات المولدة للقوة الدافعة الكهربية على العضو الثابت فإن القوة الدافعة الكهربية الناشئة على الوجه B سوف تتأخر عن القوة الدافعة الناشئة على الوجه A بمقدار ١٢٠ درجة كهربائية بينما سوف تتأخر القوة الدافعة الكهربية الناشئة على الوجه C عن القوة الدافعة الناشئة على الوجه A بمقدار ٢٤٠ درجة كهربائية (اللف ABC). لذلك سوف تكون القوة الدافعة الكهربية المتولدة عبارة عن مجموعة ثلاثية الوجه (الطور) ومتماثلة.

سوف نرمز للفيض المغناطيسي الناشئ عن التيار المار في ملفات المجال بالرمز Φ_f وبالرمز Φ_a للفيض المغناطيسي الناشئ عن التيار المار في ملفات عضو الإنتاج.

باعتبار الوجه A هو الوجه المرجع فإن الفيض Φ_{fa} المتولد من ملفات المجال بالنظر إليه من جهة العضو الدوار فسوف تظهر كأنها فيض ثابت. أما إذا نظرنا لها من جهة العضو الثابت فسوف تظهر كأنها فيض متردد وتردده هو نفس التردد f.

$$\Phi_{fa} = \Phi_{fa} Cos\,\varpi t = -\Phi_{fa} Sin(\varpi t - 90) \qquad (٣-\ ٢)$$

Φ_{fa} مقاسه بالويبر لكل طور، والزاوية ωt هي السرعة الزاوية للمجال الدوار.

$$\omega = ٢\pi\, f \qquad (٤-\ ٢)$$

بتطبيق قانون نحصل على القوة الدافعة الكهربية المتولدة على الوجه A كما يلي:

$$e = -\frac{d\Phi_{fa}}{dt} \quad V \qquad (٢-٥)$$

$$e = \varpi\Phi_{fa} Cos(\varpi t - 90) \quad V \qquad (٢-٦)$$ وتكون قيمة

rms للقوة الدافعة الكهربية للوجه هي:

$$E = \frac{\varpi\ \Phi_{fa}}{\sqrt{2}} \quad V \qquad (٢-٧)$$ أما إذا

رجعنا إلى Φ_{aa} الناشئ من ملفات الإنتاج والتي تعرف باسم موجه الفيض لرد فعل عضو الإنتاج والناشئة من تيار عضو الإنتاج فإن الوجه المرجعي A سيواجه الفيض Φ_{aa} كما لو كان فيض مترددا. وكما سبق فإن القوة الدافعة الكهربية المتولدة من هذا المجال ستكون:

$$e_t = \varpi\Phi_{aa} Sin\ (\varpi t - 90 - \beta) \quad V \qquad (٢-٨)$$ حيث

الزاوية β الزاوية التي يسبق بها المجال Φ_{aa} التيار المسبب له.

وتكون قيمة rms للقوة الدافعة الكهربية للوجه هي:

$$E_t = \frac{\varpi\Phi_{aa}}{\sqrt{2}} \qquad (٢-٩)$$

لذا تكون القوة الدافعة الكهربية الكلية (E_{res}) الخاصتين بعضو الإنتاج بالجمع الاتجاهي للمعادلة (٢-٦) والمعادلة (٢-٨) هي:

$$Eres = E + E_t \qquad (٢-١٠)$$

$$Eres = E - JX_s I \qquad (٢-١١)$$

حيث ($\mathbf{X_s}$) هي المفاعلة التزامنية.

وتوضح المعادلة (٢-٧) والمعادلة (٢-١١) أن التحكم في القوة الدافعة الكهربية الناشئة على ملفات العضو الثابت يمكن أن يتم بالتحكم في:

١. التحكم في عدد اللفات في كل وجه
٢. التحكم في عدد الأقطاب.

٣. التحكم في سرعة الدوران.

٤. التحكم في تيار المغذي لملفات المجال.

٥. معامل اللف.

بينما توضح المعادلة (٢ -٢) أن التحكم في التردد الخاص بالقوة الدافعة الكهربية الناشئة على ملفات العضو الثابت يمكن أن يتم بالتحكم في:

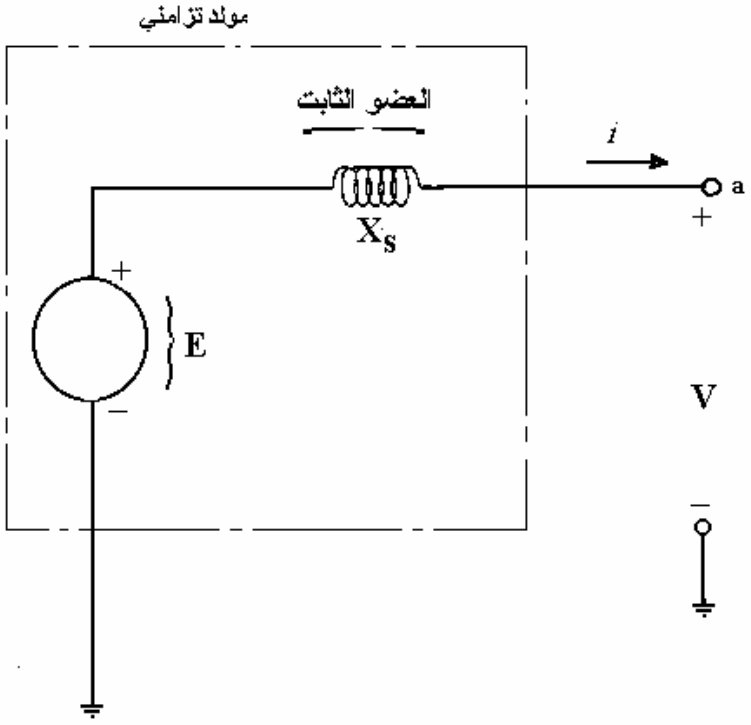
١. التحكم في عدد الأقطاب.

٢. التحكم في سرعة الدوران.

٢ -٥ الدائرة المكافئة للمولدات التزامنية

يوضح الشكل ٢ -٤ إحدى الطرق لرسم الدائرة المكافئة للمولدات التزامنية **والتي** تمثل بمعاقة تتكون من مفاعلة تزامنية ($\mathbf{X_s}$) متصلة تسلس مع مقاومة (R_s) حيث:

$$\mathbf{X_s} = \omega \mathbf{L_s}$$



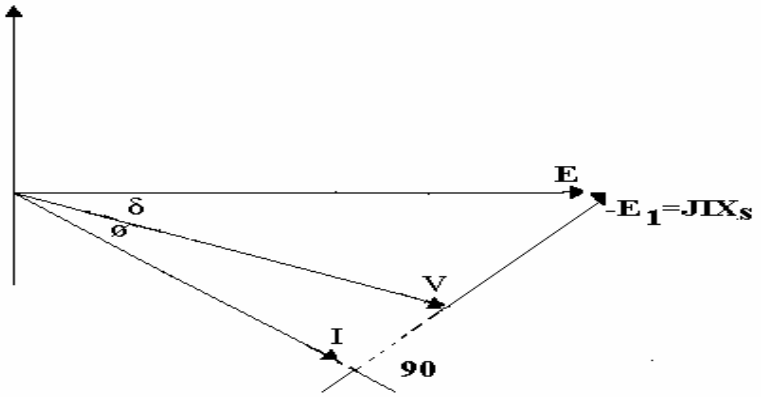
٢ -٤ الدائرة المكافئة للمولد التزامني شكل

ويكون لجهد المفقود على مقاومة عضو الإنتاج Rs أقل من ٠,٠١ من الجهد المتولد على المولد. لذا يمكن إهمال تلك المقاومة ولذلك لم تظهر في الدائرة المكافئة.

ويكون الجهد الخارج من المولد لكل وجه مساويا للجهد المعطي في المعادلة (٢ -١١)

$$V = E_{res} = E - JX_s I \qquad \text{V} \qquad (٢ -١٢)$$

وهذا الجهد توضحه الدائرة المكافئة و كذلك الرسم الاتجاهي شكل ٢ -٥.



شكل ٢ -٥ الرسم الاتجاهي للدائرة المكافئة

ملاحظة:

R_s تزيد بينا تقل **Xs** في المولدات الصغيرة.

δ : هي الزاوية بين الجهد الخارجي والجهد الداخلي المتولد (زاوية توليد القدرة الفعالة).

Ø : هي الزاوية بين الجهد الخارجي والتيار الناشئ من الحمل (زاوية معامل القدرة).

(E_{af}): هو الجهد الناشئ على ملفات كل وجه الموجودة على عضو الإنتاج ويكون مخطط المتجهات للمولد التزامن موضح بالمعادلة:

$$E_{af} = V + I(R_s + JX_s) \qquad \text{V} \qquad (٢ -١٣)$$

المراجع:

[١] الآلات التزامنية والمحركات التأثيرية" محمد أحمد قمر، دار الكتب الجامعية، بيروت، ١٩٨٤م.

[٢] "نظرية أنظمة الطاقة الكهربية" أوللي الجارد" ترجمة أسامة الدسوقي وآخرين، دار المريخ للنشر، دار ماكجروهيل للنشر، الطبعة الثانية، ١٩٨٤.

محطات التوليد وطرق الحماية

ربط محطة التوليد مع الشبكة الكهربائية

جميع الحقوق محفوظة للمؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني

مقدمة

نظرا للتقدم التكنولوجي الهائل ازدادت الأحمال وأصبح الطلب على إنتاج القدرة الكهربائية من أجل تغذية الأحمال المطلوبة من أهم الضروريات الحديثة. ولتوفير القدرة الكهربائية ظهرت تكنولوجيا ربط المحطات سويا من أجل تغذية المناطق التي يحدث بها ازدياد على الطلب للقدرة في بعض الأوقات (أوقات الذروى).

وسوف نتناول في هذا الفصل الشروط اللازمة والواجب توفرها لربط المولد مع الشبكة بما يسمى ربط المولد على القضبان اللانهائية. كما نتناول سلوك المولدات التزامنية المتصلة بالقضبان اللانهائية وذلك من خلال العناصر التالية:

١ - الشروط اللازمة لربط محطة المولد مع الشبكة الكهربائية.
٢ - ربط محطة المولد مع الشبكة الكهربائية بطريقة المصابيح المضيئة.
٣ - ربط محطة التوليد مع الشبكة الكهربائية بواسطة منظار التزامن.
٤ - دراسة سلوك المولدات التزامنية المتصلة بالقضبان اللانهائية.
٥ - الاختلاف في سلوك المولدات التزامنية المتصلة بالقضبان اللانهائية والمولدات الغير متصلة.

ربط محطة التوليد مع الشبكة الكهربائية

مع ازدياد الطلب على استخدام الطاقة الكهربائية في الأغراض الصناعية والتجارية بدأت تزداد حجم محطات التوليد قدرتها. ومع بعد أماكن التوليد عن أماكن الاستخدام بدأ توليد الكهرباء على نطاق كبير ونقل تلك الطاقة المولدة إلى أماكن التوزيع ومع زيادة الأحمال بدرجة كبيرة على بعض المحطات بما يزيد على طاقتها القصوى في بعض الأوقات وفي نفس الوقت تكون الأحمال خفيفة وأقل من سعتها على المحطات الأخرى. لذا نشأت فكرة عمل الربط بين محطات التوليد بعضها لكي يمكن توزيع الأحمال الزائدة على المحطات جميعاً بحيث لا يتعدى الحمل في أي وقت عن الطاقة القصوى لكل محطة وبذلك أصبحت لدينا شبكة واحدة مترابطة تتمثل في قضبان عمومية تتصل بها وتغذيها جميع وحدات التوليد في جميع المحطات. وأصبح مقنن قدرة هذه القضبان كبيرة جداً ومساوياً لمجموع مقنن قدرات الوحدات في جميع المحطات، بحيث تكون القدرة من أي محطة صغيرة جداً بالنسبة إلى قيمة القدرة الهائلة المتجمعة على تلك القضبان وتسمى تلك القضبان العمومية بالقضبان اللانهائية ويجب هنا الإشارة إلى أنه نظراً لصغر قدرة المحطة الواحدة بالنسبة لقيمة القدرة المتجمعة على القضبان اللانهائية فإن توصيل أو فصل المحطة عن القضبان لا يمكن أن يؤثر في قيمة الجهد أو التردد على تلك القضبان اللانهائية وذلك إلى جانب وجود معدات وأجهزة تعمل على حفظ الجهد والتردد ثابتين لتلك القضبان ولذلك يمكننا أن نسمي تلك القضبان بالقضبان ذات التردد والجهد الثابتين.

٣ -١ الشروط اللازمة لربط محطة المولد مع الشبكة الكهربائية

يجب التأكد من توافر الشروط الآتية قبل توصيل المولد التزامني إلى القضبان اللانهائية:

١. أن يكون الجهد المرحلي على أطراف المولد مساوياً للجهد الواقع على القضبان اللانهائية V ونظراً لأن ملفات المولد لا يمر فيها تيار في تلك اللحظة فإن القوة الدافعة الداخلية للمولد (E) تكون مساوياً للجهد الواقع على القضبان. وهذا يعني أن القوة الدافعة الكهربية المرحلية المتولدة على أطراف العضو الثابت بفعل الأمبير لفات لكل قطب من الأقطاب الموجودة على العضو المتحرك يجب أن تساوي في القيمة وتتفق مرحليا مع جهد القضبان.

٢. أن تكون قيمة تردد المولد عندما يدور المولد بسرعة التزامن n_S لفة في الدقيقة مساويا لتردد القضبان اللانهائية الثابت (f) أي أنه لابد أن يكون:

$$f = \frac{pn_s}{120} \qquad \text{Hz}$$

(١- ٣)

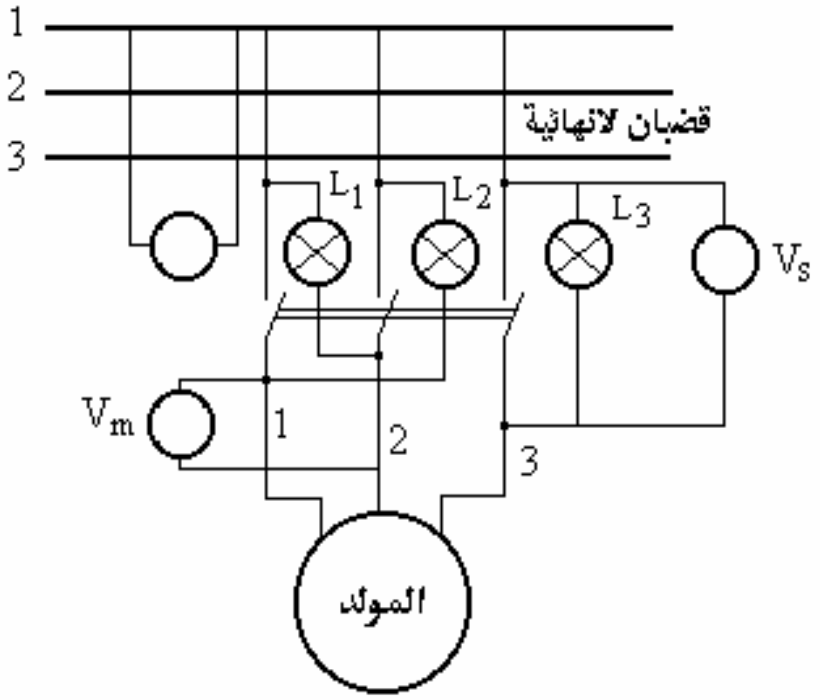
وهذا يعني أن تثبت الآلة (المولد) على الدوران بسرعة التزامن n_S.

٣. أن يتم توصيل أطراف التوصيل للمولد بالتتابع المضبوط بمعنى أن يتم توصيل طرف الوجه A للمولد على القضيب الموصل عليه الوجه A للمولدات الأخرى وهكذا للوجه B ، C أي أنه يجب أن يكون التعاقب المرحلي للمولد يماثل التعاقب المرحلي للقضبان اللانهائية وعند توافر الشروط الثلاثة السابقة يتم قفل مفتاح التزامن كما هو موضح بالشكل ٣ -١.

وتبدأ عملية التزامن بإعداد التوربينة نفسها وإدارتها لكي تدير المولد وضبط الضغط والسرعة لضبط التردد والقوة الدافعة الكهربية للمولد ثم المراجعة على صحة التعاقب للأوجه وذلك قبل فتح مفتاح التزامن الذي يصل الآلة بالقضبان اللانهائية كما مبين بالشكل ٣ -١.

٣ -٢ ربط محطة المولد مع الشبكة الكهربائية بطريقة المصابيح المضيئة

يوضح الشكل كيفية إجراء عملية التزامن بطريقة المصابيح المضيئة حيث توصل ثلاثة مصابيح كهربائية (L_1, L_2, L_3) عبر مفتاح التزامن بين الآلة والقضبان اللانهائية.بحيث يتم توصيل المصباح الأول L_1 بين طرف الآلة رقم ٢ وبين القضيب رقم ١، ويوصل المصباح الثانيL_2 بين طرف الآلة رقم ١ وبين القضيب رقم ٢، ثم يوصل المصباح الثالث L_3 بين طرف الآلة رقم ٣ وبين القضيب رقم ٣. أي أن المصباحين الأول والثاني موصلان توصيلا متقاطعا بين الآلة والقضبان. بينما المصباح الثالث موصل توصيلا مباشرا بين الآلة والقضبان [١].



شكل ٣ -١ ربط المولد بالقضبان اللانهائية بطريقة المصابيح المضيئة

يوصل الفولتميتر V_b ليبين جهد الخط بين القضبان، بينما يتم توصيل الفولتميتر V_m ليبين جهد الخط المرحلي للمولد. كما يوصل الفولتميتر Vs ليبين الفرق في الجهد بين الفولتميتر V_b والفولتميتر V_m. وعندما تكون قراءة Vs تساوي صفر يتم التأكد من أن جهد المولد مسمى لجهد القضبان.

تبدأ عملية التزامن بضبط قراءات الفولتميترات الثلاثة عن طريق تغيير تيار التغذية لملفات المجال المغناطيسي مع ضبط سرعة الدوران للمولد عند سرعة التزامن. وفي أثناء زيادة التيار التغذية يحدث أحد الأحداث التالية:

- أن تضأ جميع المصابيح بطريقة غير منتظمة:

في هذه الحالة يكون التعاقب المرحلي للمولد (ترتيب الأوجه) مختلفا عن التعاقب المرحلي للقضبان. ويلزم لذلك تبديل توصيل أي طرفين من أطراف المولد الثلاثة على مفتاح التزامن لكي يصبح التعاقب المرحلي للمولد مماثلا للتعاقب المرحلي للقضبان.

- أن تضأ وتطفئ المصابيح الثلاثة بالتتابع وبطريقة دورية منتظمة:

ويعني ذلك أن التعاقب المرحلي لأطراف التوصيل للمولد متماثلة مع التعاقب المرحلي لأطراف التوصيل للقضبان بينما التردد للمولد لم يصل إلى القيمة المضبوطة ويلزم تقليل السرعة أو زيادتها لكي تصل قيمة تردد الآلة إلى القيمة التي تساوي فيها تردد القضبان. ويتبن لنا من دورية تعاقب إضاءة المصابيح وإطفاءها

ما إذا كانت الآلة أسرع أم أبطأ من السرعة المطلوبة. فيكون تعاقب الإضاءة في حالة الآلة أسرع بترتيب مضاد لتعاقب الإضاءة في حالة ما إذا كانت السرعة أبطأ.

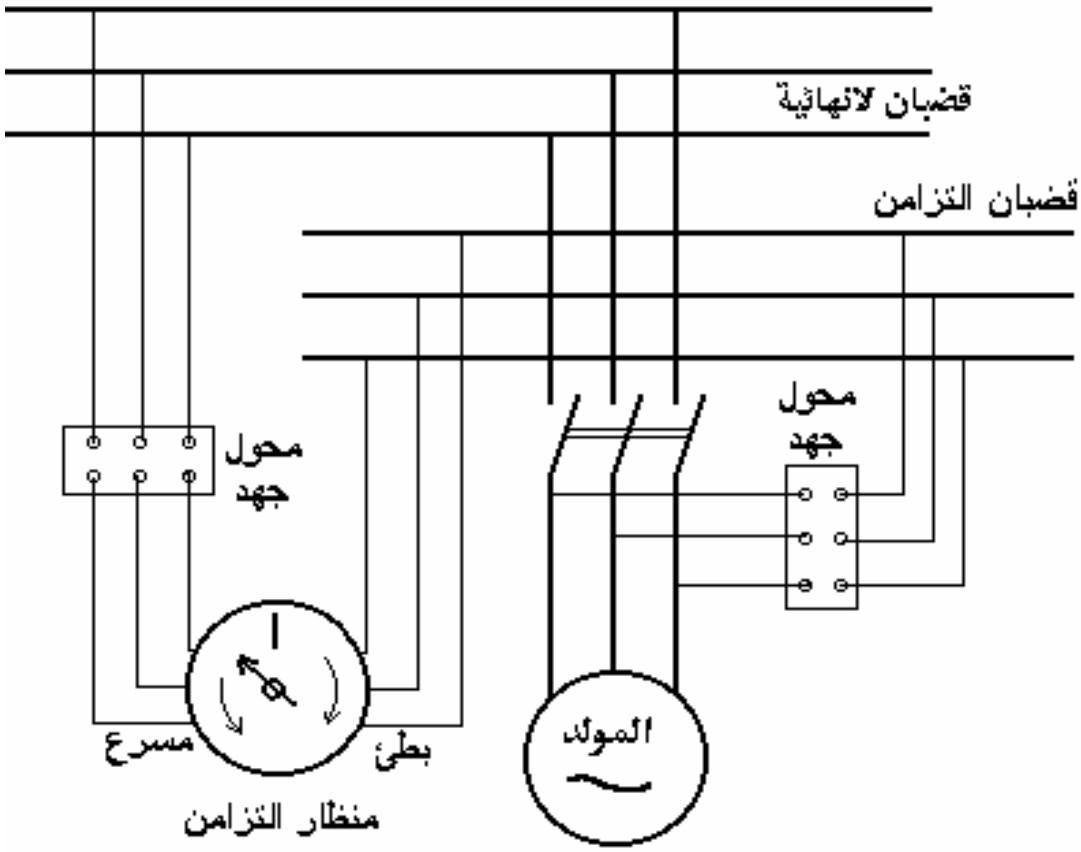
عندما يستقر الوضع على أن يصبح المصباحان الأول والثاني مضيئين بنفس الدرجة والمصباح الثالث مظلما يتأكد من أن تردد الآلة أصبح مساويا لتردد القضبان، مع تماثل التعاقب للمولد والقضبان واستمرار الحفاظ على تساوي الجهد للمولد والقضبان وذلك عن طريق ضبط تيار التغذية للملفات المنتجة للمجال المغناطيسي.

وبذلك تكون عملية التزامن قد تمت ويمكن عند ذلك قفل مفتاح التزامن لكي يصبح المولد موصلا على القضبان اللانهائية دون أن يمر به أي تيار(لا يصبح محرك) ويقال عند ذلك أن المولد أصبح عائما على القضبان.

٣ -٣ ربط محطة التوليد مع الشبكة الكهربائية بواسطة منظار التزامن

يستخدم منظار التزامن للمساعدة في إتمام عملية التزامن والتأكد من توافر الشروط السابقة لعملية التزامن ويتم أولا إجراء عملية التزامن على قضبان تزامن خاصة أولا حتى لا يحدث أي مشاكل في الشبكة الكهربائية نتيجة حدوث أي أعطال أو أخطاء في عملية التزامن ويمكن تزويد الدائرة بأجهزة تحكم تمنع توصيل مفتاح التزامن عند حدوث أخطاء أو أعطال أو إذا لم تتوفر شروط التزامن السابقة.

ويتكون منظار التزامن من ثلاث ريشات من الحديد موجودة على محور واحد يفصل بين كل ريشتين منها زاوية مقدارها ١٢٠ درجة وتكون الريش معرضة للمجال المغناطيسي الذي ينشأ نتيجة وجود المجال المغناطيسي الدائر بفعل جهد القضبان مع المجال المغناطيسي الدائر بفعل جهد المولد التزامني. لذلك يدور مؤشر المنظار في اتجاه المجال الأسرع بحيث يمكن معرفة هل الآلة سريعة أو بطيئة عن الحد المطلوب. ويتحدد ذلك بفعل دوران المؤشر بالنسبة لعلامة واضحة ويكون وقوف المؤشر دليل على استقرار العملية على الوضع الصحيح لعملية التزامن. ويوضح الشكل ٣ -٢ كيفية استخدام منظار التزامن للمساعدة في عملية ربط المولد على القضبان اللانهائية.



شكل ٣ -٢ استخدام منظار التزامن لربط المولد على قضبان لانهائية

٣ -٤ دراسة سلوك المولدات التزامنية المتصلة بالقضبان اللانهائية

يختلف سلوك المولدات التزامنية وخواص تشغيلها عندما يتم ربطها على قضبان لانهائية لكي تقوم بالمساعدة في تغذية الأحمال اختلافاً تاما عن سلوكه وخواص تشغيلها عند ربطها على حمل منفصل. حيث تصبح تلك المولدات عندما يتم ربطها على قضبان لانهائية موصلة على التوازي مع جميع المحطات الأخرى الموصلة على هذه القضبان. وتصبح الآلة عائمة على القضبان ويمكن تشغيلها كمولد أو محرك وسوف نتعرض لكيفية تغيير قيمة تيار الحمل الذي يسري من الآلة إلى القضبان عندما تعمل كمولد أو يسري من القضبان إلى الآلة عندما تعمل كمحرك [٢].

يبنى تغيير اتجاه التيار في الآلات التزامنية على ما يلي:

- العلاقة بين القوة الدافعة الكهربية المتولدة والجهد على أطراف المولد والتيار الحمل معاوقة التزامن والتي تعتبر ثابتة ويمكن كتابة تلك العلاقة على الصورة التالية:

$$V = E - JZ_s I \qquad \text{V} \qquad (٣-٢)$$

- العلاقة بين القوة الدافعة الكهربية المتولدة وبين كل من الفيض المغناطيسي الناشئ من الأمبير لفات على كل قطب وسرعة التزامن والتي توضح أن القوة الدافعة الكهربية المتولدة تتناسب تناسبا طرديا مع كل من الفيض المغناطيسي المحصل داخل الفراغة الهوائية للمولد وكذلك مع سرعة التزامن والتي يمكن كتابتها على الصورة التالية:

$$E = K\Phi n_s \qquad \text{V} \qquad (٣-٣)$$

توضح المعادلتان (٣ -٢)، (٣ -٣) أن تعديل التيار I في القيمة والاتجاه لا يمكن أن يتم في الآلة التزامنية العائمة على قضبان لانهائية إلا بتعديل قيمة واتجاه القوة الدافعة الكهربية المتولدة E وبالتالي تعديل كل من سرعة التزامن والفيض المغناطيسي لأن كل من الجهد V و المعاوقة $\mathbf{Z}_s$ ثابتين القيمة والاتجاه.

أولا بالنسبة لتعديل سرعة التزامن $\mathbf{n_s}$:

نجد أن بصورة عامة لا يمكن تعديل **ns** لأنه يناقض أهم خصائص الآلة التزامنية وهي ثبوت سرعة التزامن، بما يتناسب مع ثبوت تردد القضبان الموصلة إليها (معادلة لتعديل ٣ -١) ولكن يمكن تغيير السرعة في فترات عابرة (لحظات قصيرة جدا)، ثم تعود السرعة إلى قيمتها الأصلية في حالتها المستمرة.

- في حالة تغيير السرعة والآلة تعمل كمولد للتأثير على قيمة واتجاه القوة الدافعة الكهربية المتولدة وذلك بتغيير زاوية القدرة δ (زاوية الجهد الخارجي للمولد عند تحميله) فإن الوسيلة الآمنة لذلك تكون عن طريق تغيير عزم الدوران المحرك للمولد وذلك بتغيير ضبط المنظم من أجل تغيير استهلاك الوقود أو دخول البخار أو الماء للتوربينة وفي هذه الحالة تتغير سرعة الآلة لحظيا بسبب اختلال التوازن بين عزم الدوران المحرك على عمود الإدارة وعزم الدوران المضاد الناشئ عن رد فعل المنتج، والمتمثل في المجال المغناطيس الدوار ويؤدي ذلك في النهاية إلى تغيير في قيمة الزاوية δ.

مما سبق نستطيع القول بأنه يمكن الاستعاضة عن تغيير السرعة للتأثير على قيمة واتجاه القوة الدافعة الكهربية بتغيير ضبط المنظم في الآلة التي تدير المولد بحيث ينتج عن تغيير في القدرة الفعالة التي تعطى للقضبان من المولد. وفي هذه الحالة ينشأ تغيير في قيمة الزاوية δ.

- في حالة تغيير السرعة والآلة تعمل كمحرك للتأثير على قيمة القوة الدافعة الكهربية وذلك بتغيير زاوية القدرة δ (زاوية الجهد الخارجي للمولد عند تحميله) فإن الوسيلة الآمنة لذلك تكون عن طريق تغيير الحمل الميكانيكي على عمود الإدارة لإيجاد الاختلال اللازم وعدم التوازن بين عزم الدوران المحرك على عمود الإدارة وعزم الدوران المضاد الناشئ من الحمل بحيث ينشأ تغير لحظي للسرعة مما يؤدي إلى حدوث التغير المطلوب في قيمة الزاوية δ.

ثانيا بالنسبة لتعديل الفيض المغناطيسي Φ:

يمكن أن يتم ذلك بتعديل قيمة الأمبير لفات وذلك عن طريق تغيير قيمة التيار المغذي لملفات المجال المغناطيسي وهذا التعديل لا يغير في القدرة الفعالة التي يعطيها المولد للقضبان في حالة تشغيل الآلة كمولد أو يأخذها المحرك من القضبان في حالة تشغيل الآلة كمحرك. ولكن هذا التعديل له تأثير مباشر على مركبة التيار الغير فعالة (رد فعل المنتج) والتي تؤدي إلى تغيير في قيمة القدرة الغير فعالة التي تعطيها الآلة للقضبان عندما تعمل الآلة كمولد أو القدرة الغير فعالة التي تأخذها الآلة من القضبان عندما تعمل كمحرك. هذا التغيير في القدرة الغير فعالة يؤثر في معامل القدرة التي تعمل عليه الآلة وبالتالي في الزاوية بين الجهد والتيار.

٣ -٥ الاختلاف في سلوك المولدات التزامنية المتصلة بالقضبان اللانهائية والمولدات الغير متصلة

يمكن تلخيص سلوك المولدات المتصلة بالقضبان اللانهائية سواء التي تعمل كمولد أو محرك:

- تغيير ضبط المنظم الذي يتحكم في الوقود أو الماء وتغيير الحمل الميكانيكي على عمود إدارة المحرك لا يحدث أي تغيير في القدرة الغير فعالة وإنما يؤدي إلى تغيير في القدرة الفعالة التي يعطيها المولد أو التي يأخذها المحرك.من القضبان وهذا التغيير يؤدي إلى تغيير في مركبة التيار الفعالة.
- أن تغيير تيار ملفات المجال لا دخل له بالقدرة الفعالة التي يعطيها المولد للقضبان أو بالحمل الميكانيكي على عمود إدارة المحرك وإنما يعمل على تغيير في القدرة الغير فعالة التي يعطيها المولد إلى القضبان أو التي يأخذها المحرك من القضبان وهذا يؤثر على مركبة التيار الغير فعالة لأن الجهد ثابت القيمة.
- التغيير في الحالتين السابقتين يحدث تغيير في معامل القدرة أي في زاوية الاختلاف بين الجهد والتيار ولكن التغيير في الحالة الثانية أبعد أثرا على تغيير معامل القدرة والزاوية من التغيير في الحالة الأولى.

يمكن تلخيص الاختلاف في سلوك الآلات التزامنية المتصلة بالقضبان عن التي تعمل منفصلة في النواحي التالية:

- من المعروف أنه يمكن تغيير الجهد الواقع على أطراف الآلة وكذلك تغيير تيار الحمل بتغيير تيار المنتج مما يؤدي إلى تغيير القوة الدافعة الكهربائية المتولدة من المولد التزامني إذا كان المولد متصل لتغذية حمل منفصل بينما لا يمكن تغيير الجهد على أطراف الآلة المتصلة بالقضبان اللانهائية لأن جهد تلك القضبان لا يتأخر بأية تغييرات تحدث في الآلة كما أن هناك معدات وأجهزة تعمل على حفظ الجهد الثابت ٠ ولكن هذا التغيير في تيار المنتج يؤدي إلى تغييرات في خواص الآلة كما سنوضحه لاحقاً ٠
- يتعين معامل القدرة في المولد التي يعمل على حمل منفصل بناءاً على نوع هذا الحمل من حيث المانعة السعوية والمانعة الحثية والمقاومة بينما يمكن ضبط معامل القدرة على قيمة معينة في حالة توصيل المولد على قضبان لأنها فيه وذلك بتغير تيار المنتج كما سنوضحه لاحقاً ٠
- يمكن بدء تشغيل الآلة التي تغذي حمل منفصل دون اتخاذ احتياطيات معينة بينما يلزم عمل عملية التزامن التي يجب أن تنفذ بكل دقة قبل ربط المولد التزامني على قضبان لانهائية ٠

المراجع:

[١] الآلات التزامنية والمحركات التأثيرية" محمد أحمد قمر، دار الكتب الجامعية، بيروت، ١٩٨٤م.
[٢] "نظرية أنظمة الطاقة الكهربية" أوللي الجارد" ترجمة أسامة الدسوقي وآخرين، دار المريخ للنشر، دار ماكجروهيل للنشر، الطبعة الثانية، ١٩٨٤.

محطات التوليد وطرق الحماية

التحكم في سريان القدرة المتولدة

جميع الحقوق محفوظة للمؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني

مقدمة

بعد دراسة كيفية توليد القدرة الكهربائية في الفصل الأول ودراسة التحكم في الجهد والتردد في الفصل الثاني وكذلك دراسة ربط المحطات مع الشبكة في الفصل الثالث وسنتعرض في هذا الفصل إلى كيفية حساب القدرة المتولدة ومعرفة كيفية التحكم في القدرة الفعالة والقدرة غير الفعالة.

وسوف نتناول في هذا الفصل دراسة للقدرة الفعالة والقدرة الغير فعالة وكيفية التحكم في قيم تلك القدرة المتولدة وذلك من خلال العناصر التالية:

١ - إنتاج القدرة في محطات التوليد.

٢ - التحكم في القدرة الفعالة للمولد.

٣ - التحكم في القدرة الغير فعالة للمولد.

٤ - ملخص حالات التشغيل.

٤ -١ إنتاج القدرة في محطات التوليد

تنبع الأهمية الأولى للمولدات من الاستخدام لإنتاج القدرة الكهربية. وللوصول إلى صيغة للقدرة الكهربية بدلالة عوامل يمكن قياسه بسهولة(عوامل ليست داخل المولد) نبدأ من الصيغة المشهورة للقدرة المركبة الكلية لكل وجه:

$$S_G = P_G + Q_G \qquad (١- ٤)$$

$$S_G = |V||I|Cos\,\phi + J|V||I|Sin\,\phi \qquad (٢- ٤)$$

حيث تمثل الكميات |V|، |I|، Ø عوامل معروفة يمكن قياسها وتظهر في الشكل ٤ -١ ويجب ملاحظة أن التيار يكون موجبا عندما يكون خارجا من المولد ولذلك فإن المعادلة (٤ -٢) توضح أن القدرة الفعالة (P_G) والقدرة الغير فعالة (Q_G) موجبتان في حالة المولد.

ومن الرسم التخطيطي للمتجهات الموضح في شكل ٤ -١ يمكن استنتاج المعادلات التالية:

$$|E| - I_d X_d = |V|Cos\ \delta \qquad (٣- ٤)$$

$$I_q X_q = |V|Sin\ \delta \qquad (٤- ٤)$$

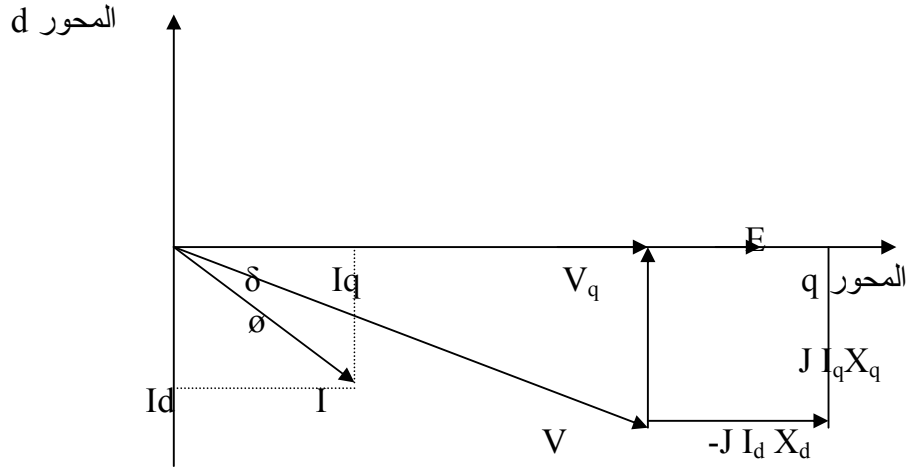
وكذلك نحصل على:

$$I_q = |I|Cos\,\beta \qquad (٥-٤)$$

$$I_d = |I|Cos\,\beta \qquad (٦-٤)$$

حيث تكون علاقة الزوايا كما يلي:

$$\phi = \beta - \delta$$



شكل ٤ -١ الرسم التخطيطي لمتجهات الجهد والتيار للمولد التزامني

وبالتعويض عن تلك القيم في المعادلة (٤ -١)، (٤ -٢) نستنتج:

$$P_G = \frac{|V||E|}{X_d} Sin\,\delta + \frac{|V|^2}{2}\left(\frac{1}{X_q} - \frac{1}{X_d}\right) Sin\,2\delta \qquad (٤-٧)$$

$$Q_G = \frac{|V||E|}{X_d}\cos\delta - |V|^2\left(\frac{\cos^2\delta}{X_d} - \frac{\sin^2\delta}{X_q}\right) \qquad (٤-٨)$$

ولتبسيط المعادلة (٤ -٧)، (٤ -٨) وذلك بإهمال تأثير بروز الأقطاب بحيث يمكننا من افتراض:

$$X_d = X_q = X_s \qquad (٤ -٩)$$

تصبح المعادلتان (٤ -٧)، (٤ -٨) كما يلي:

$$P_G = \frac{|V||E|}{X_s} Sin\ \delta$$

(٤ -١٠)

$$Q_G = \frac{|V||E|}{X_s}\cos\ \delta - \frac{|V|^2}{X_s}$$

(٤ -١١)

ملاحظة:

- وحدات قياس القدرة الفعالة (P_G) هي الميجاوات لكل وجه. بينما وحدات قياس القدرة الغير فعالة (Q_G) موجبتان في حالة المولد هي الميجا فولت أمبير تخيلي لكل وجه.
- لكي تكون وحدات القدرة الفعالة والقدرة الغير فعالة بالوحدات السابقة لابد أن تكون قيم الجهد والقوة الدافعة الكهربية بوحدات الكيلوفولت.
- عند استخدام المعادلة (٤ -١٠) تكون قيمة المفاعلة التزامنية هي:

$$X_s = \frac{X_d + X_q}{2}$$

مثال:

أوجد القدرة الفعالة والغير الفعالة لمولد هيدروليكي له قدرة كليه ١٥ MVA، وتردد ٦٠ Hz وجهد الخط ١٣,٦ Kv علما بأن X_d= ٠,٨ p.u X_q = ٠,٦٥ p.u.

الحل:

$$X_s = \frac{X_d + X_q}{2} = \frac{0.65+0.8}{2}$$

$$X_s = 0.725$$

بفرض أن المولد يعمل بحيث:

$$|E| = |V| = 13.6\,kv = 1\,p.u$$

باستخدام المعادلات (٤ -٧)، (٤ -٨):

$$P_G = \frac{1}{0.8}Sin\delta + \frac{1}{2}\left(\frac{1}{0.65} - \frac{1}{0.8}\right)Sin2\delta$$

$$P_G = 1.25Sin\delta + 0.144Sin2\delta$$

$$Q_G = \frac{1}{0.8}\cos\delta - 1\left(\frac{\cos^2\delta}{0.8} - \frac{\sin^2\delta}{0.65}\right)$$

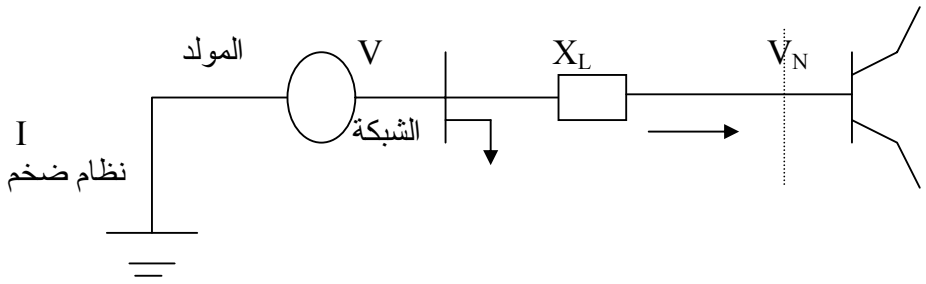
باستخدام الصيغة التقريبية المعطاة في المعادلة (٤ -١٠):

$$P_G = \frac{1}{0.725} Sin\delta = 1.379 Sin\delta$$

$$Q_G = \frac{1}{0.725}\cos\ \delta - \frac{1}{0.725} = 1.379\ \cos\ \delta - 1.379$$

ونلاحظ أن الحسابات بالصيغ التقريبية تعطي تقريبا نفس الحسابات بالصيغ الغير تقريبية.

٤ -٢ التحكم في القدرة الفعالة



شكل ٤ -٢ توصيل مولد متزامن مع شبكة ضخمة (قضبان لانهائية)

كما سبق أن أوضحنا أن توصيل المولد على القضبان اللانهائية لن يؤثر في تردد النظام وفي معظم الأحوال لن يؤثر على الجهد العمومي للقضبان V_N وبافتراض أن المولد تم توصيله للشبكة عن طريق خط توصيل ومحولات لها معاوقة حثية X_l وعند ثبوت قيمة القوة الدافعة الكهربية للمولد تصبح القدرة الحقيقة الناتجة من المولد:

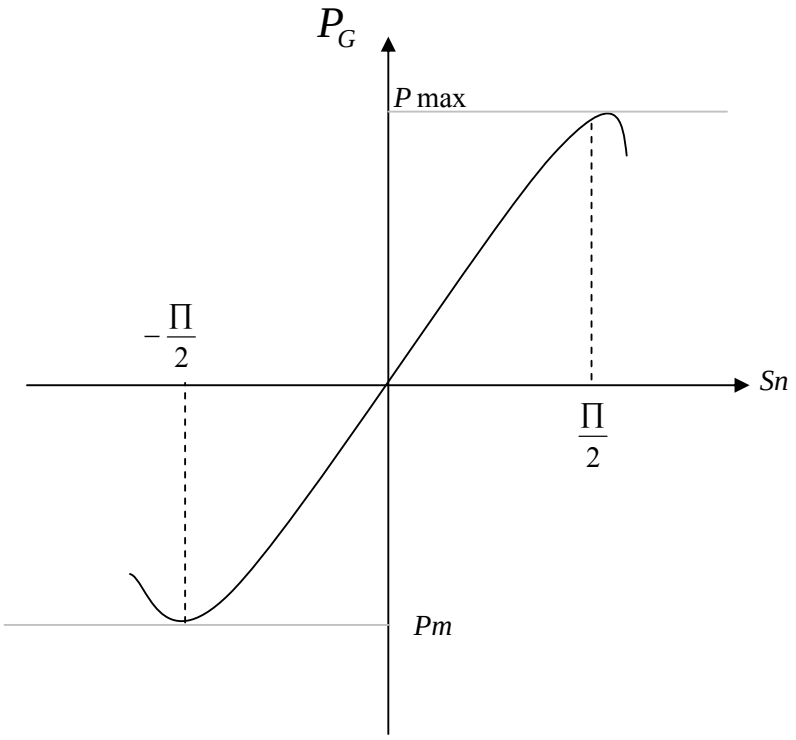
$$P_G \cong \frac{|E||V_N|}{X_S + X_L}\ Sin\ \delta n \cong P_{\max}\ Sin\ \delta n \qquad (١١-\ ٤)$$

$$P_{max} = \frac{|E||V_N|}{(X_S + X_L)}$$

والشكل رقم ٤ -٣ يوضح تغير القدرة الفعالة للمولد P_G مع زاوية القدرة δ_n. فعندما δ_n موجبة فإن ذلك يعني أن E تسبق V_N ولذلك تكون P_G موجبة وهي الحالة الفعلية للمولد وإذا حدث وكان V_N سابقاً E فإن δ_n تكون سالبة وبذلك PG تصبح سالبة أي أن المولد يعمل كمحرك ويحدث ذلك عندما يتحرك العضو الدوار إلى وضع متأخر بسبب العزم المتناقص الناتج من عمود الدوران الميكانيكي .
ويلاحظ أنه لتغيير اتجاه القدرة الفعالة لتعمل الآلة كمولد أو تعمل كمحرك يتم عن طريق تغيير زاوية القدرة.

يتم تغيير قيمة القدرة الفعالة وذلك بتغيير معامل التزامن الذي يوضح العلاقة بين مقدار الزيادة التفاضلية في القدرة نتيجة الزيادة التفاضلية في زاوية القدرة. ويتم ذلك:

- زيادة E وذلك باستخدام فيض مغناطيسي عالي المقدار
- إنقاص المفاعلة التزامنية (أثناء تصميم الماكينة)
- تشغيل المولد عند زاوية قدرة صغيرة (أقل من ٣٠ درجة)



شكل ٤ -٣ تغير القدرة الفعالة مع زاوية القدرة

مثال:

مولد هيدروليكي تم توصيله على قضبان لا نهائية وكان الجهد للقضبان ثابت عند القيمة P.u ١ فإذا كانت معاوقة الوصلة التي بين القضبان والمولد هي P.u ٠,١١ احسب δ_n إذا كانت E للمولد P.u ١,٢٢ ، X_d = ٠,٨ P.u ، X_q = ٠,٦٥ P. u وكانت P_G للمولد P.u ٠,٦٦٧ .

الحل:

$$X_s = \frac{X_d + X_q}{2} = \frac{0.65+0.8}{2}$$

$$X_s = 0.725$$

$$P_{max} = \frac{|E||V_N|}{(X_S + X_L)} = \frac{1.22}{0.725 + 0.11} = 1.461$$

$$P_G \cong P_{\max} \ Sin \ \delta_n = 1.461 \ Sin \ \delta_n$$
$$0.667 = 1.461 \ Sin \ \delta n$$

$$Sin\,\delta_n = 0.457$$
$$\delta_n = 27.16^\circ$$

٤ -٣ التحكم في القدرة الغير فعالة للمولد

لدراسة كيفية التحكم في القدرة الفعالة Q_G التي تعطيها الماكينة يجب العودة إلى المعادلة (٤ -١٠) مع إضافة المعاوقة الحثية للمحول والخط الذي يربط المولد بالشبكة X_l :

$$Q_G = \frac{|V_N||E|}{X_s + X_l}\cos\ \delta - \frac{|V_N|^2}{X_s + X_l}$$

هذه الصيغة تفيد أن Q_G تصبح موجبة عندما يتحقق الشرط التالي:

$$Q_G > 0$$
$$|E|\cos\ \delta_n > |V_N|$$

(٤ -١٢)

وهذا يعني أن المولد ينتج قدرة غير فعالة بمعنى أن المولد يعمل من وجهة نظرة الشبكة كما لو كان مكثف. عمل الآلة كمولد أو محرك في المعادلة السابقة تعتمد على δ_n أي على القدرة الحقيقية P_Gبوجه عام. كما أن العلاقة السابقة تنطبق أيضا في حالة القيم العالية للمقدار E أي في حالة مستوي الإثارة العالية للملفات المنتجة للفيض المغناطيسي. ويطلق على هذه الحالة اسم الإثارة فوق المعدل.

ونصل الآن القاعدة الهامة الآتية:

الماكينة المتزامنة المثارة فوق المعدل (والتي تعمل كمحرك أو مولد) تنتج قدرة غير فعالة وتعمل هذه الماكينة كما لو كانت مكثفا موصلا على التوازي إذا نظر إليها من جهة الشبكة.

وعلى العكس من ذلك فإن الماكينة المثارة تحت المعدل تستهلك قدرة غير فعالة من الشبكة ونتيجة لذلك فإنها تعمل كملف موصل على التوازي إذا نظر إليها من جهة الشبكة.

ونعرف حالة الإثارة تحت المعدل بالعلاقة الآتية:

$$Q_G < 0$$
$$|E| \cos \delta_n < |V_N|$$

(١٣- ٤)

وظاهرة الماكينة المتزامنة المثارة فوق المعدل والتي تنتج بالفعل قدرة غير فعالة للقضبان اللانهائية تعتبر ميزة وفائدة وتسمى بالمكثف المتزامن والماكينة من هذا النوع من التشغيل لا تحمل أية أحمال حقيقية أي أن δ_n= ٠.

ومن المعادلة نجد أنه يمكن التحكم باستمرار وببساطة في Q_G سواء في المقدار أو الاتجاه وذلك:

- تغير E أي بتغير تيار الإثارة للملفات المنتجة للفيض والمجال المغناطيسي.
- تغير زاوية القدرة (أي تغيير القدرة الحقيقية).

ومن المهم معرفة أن التغير في مستوى الإثارة لن يؤثر في القدرة الحقيقية الناتجة من المولد P_G ولكن هذا التغير في مستوى الإثارة سوف يؤثر على كل حال في مقدار P_{max} وبالتالي فإن زاوية القدرة هي التي سوف يلحقها التغير دون أن تتغير قيمة القدرة P_G.

أما التغير في عزم عمود الدوران فسوف يؤثر في القدرة P_G كما سبق وتم توضيحه سابقا في التحكم في القدرة الفعالة وفي نفس الوقت فسوف تتغير أيضا زاوية القدرة δ_n وبم أنه عادة يعمل المولد عند زاوية قدرها أقل من ٣٠٪ وفي مثل هذه الزوايا الصغيرة يكون $\cos \delta_n$ غير حساس للتغيرات وعلى هذا يكون التغير محدود في القدرة الغير فعالة.

٤ -٤ ملخص حالات التشغيل

اعتماد على مقدار واتجاه كل من القدرة الحقيقية والقدرة الغير فعالة فيمكننا التمييز بين مجموعات التشغيل التالية:

١. يمكن للآلة التي تعمل كمولد والتي تدار بواسطة محرك أساسي يمكن أن يتم تشغيلها بحيث تصبح إما منتجة للقدرة الغير فعالة أو مستهلكة لها.

- يكون المولد منتج للقدرة الغير فعالة عندما يكون مثار فوق المعدل وتكون:

$$0 < \delta_n < 90, \qquad 0 < \phi < 90$$
$$P_G > 0, \qquad Q_G > 0$$

- يكون المولد مستهلك للقدرة الغير فعالة عندما يكون مثار تحت المعدل وتكون:

$$0 < \delta_n < 90, \qquad -90 < \phi < 0$$
$$P_G > 0, \qquad Q_G < 0$$

٢. يمكن للآلة أن يتم تشغيلها كمحرك يعطي عزم لحمل ميكانيكي ويتم تشغيلها بحيث تصبح إما منتجة للقدرة الغير فعالة أو مستهلكة لها.

- يكون المحرك منتج للقدرة الغير فعالة عندما يكون مثار فوق المعدل وتكون:

$$-90 < \delta_n < 0, \qquad 90 < \phi < 180$$
$$P_G < 0, \qquad Q_G > 0$$

- يكون المحرك مستهلك للقدرة الغير فعالة عندما يكون مثار تحت المعدل وتكون:

$$-90 < \delta_n < 0, \qquad 180 < \phi < 270$$
$$P_G < 0, \qquad Q_G < 0$$

٣. في أحوال كثيرة يتم تشغيل الماكينة وتكون القدرة الحقيقية مساوية للصفر ويكون هناك حالتين للتشغيل:

- فإذا كانت الماكينة مثارة فوق المعدل فإنها تؤدي نفس الوظيفة كما لو كان ثلاثة مكثفات متوازية لتحسين معامل القدرة. وفي هذا الوضع من التشغيل تعرف الماكينة باسم "المكثف المتزامن " ويكون:

$$\delta_n = 0, \qquad \phi = 90$$
$$P_G = 0, \qquad Q_G > 0$$

- أما إذا كانت مثارة تحت المعدل فإنها سوف تستهلك قدرة غير فعالة وعلى سبيل المثال فإنه في ساعات الليل وعندما يكون الحمل الحقيقي خفيفا بينما تكون خطوط الجهد العالي موصلة ينتج كميات كبيرة من القدرة الغير فعالة والتي يمكن التخلص منها بإثارة المولد تحت المعدل ويكون:

$$\delta_n = 0, \qquad \phi = 90$$
$$P_G = 0, \qquad Q_G < 0$$

المراجع:

[١] الآلات التزامنية والمحركات التأثيرية" محمد أحمد قمر، دار الكتب الجامعية، بيروت، ١٩٨٤م.
[٢] "نظرية أنظمة الطاقة الكهربية" أوللي الجارد" ترجمة أسامة الدسوقي وآخرين، دار المريخ للنشر، دار ماكجروهيل للنشر، الطبعة الثانية، ١٩٨٤.

محطات التوليد وطرق الحماية

أساسيات الحماية الكهربية

جميع الحقوق محفوظة للمؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني

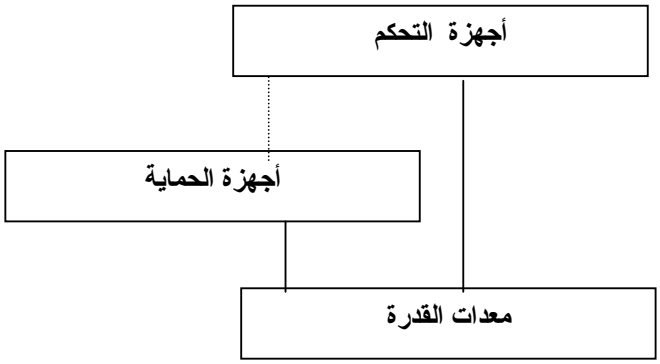
توليد ونقل وتوزيع القدرة الكهربية يحتاج إلى جهود هائلة وتجهيزات كثيرة ومتنوعة لإيصال التيار الكهربائي إلى المستهلك بشكل سليم. نظام القدرة يحتوي على مولدات ومحولات وخطوط نقل هوائية وكابلات وقد يتعرض إلى حوادث غير طبيعية نسميها بالأعطال التي قد تؤدي إلى تلف هذه الأجهزة وقطع للتيار الكهربائي إذا لم تتخذ الإجراءات اللازمة. وإذا لم يتخذ الإجراءات اللازمة فإن التجهيزات الكهربية المعرضة للأعطال قد تتلف ويكون إصلاحها أو استبدالها مكلفا جدا بالإضافة إلى فترة الانقطاع للكهرباء عن المنشآت الصناعية الذي يؤدي إلى توقف الإنتاج وبالتالي إلى خسائر كبيرة.

تمثل مرحلات الوقاية Protective Relaying أهمية كبيرة في نظم القوى الكهربية فهي المسؤولة عن الإحساس بأي عطل أو خلل قد يطرأ في أي مكان بدءا من التوليد إلى النقل إلى التوزيع وتنتهي بالمستخدم وبعد إحساسها بذلك العطل فإنها تقوم بإصدار الأمر إلى المهمات المختصة بعزل العطل أو الخلل بشكل وثائقي وانتقائي والذي يؤدي إلى استمرارية التغذية في باقي النظام. ونظرا إلى ذلك قد جاء التطور الهائل في مرحلات ونظم الوقاية. فقد انتقلت من مرحلات الوقاية الكهرومغناطيسية Electromagnetic Relays إلى الاستاتكية Static Relays ثم الوقاية الرقمية مستخدما الحاسب Digital Relays.

ولحماية نظام القدرة بشكل سليم لابد من معرفة أجهزة الحماية ومميزاتها وكيفية تشغيلها وخطط الحماية المستخدمة.

تركيب أنظمة القدرة متعدد الطبقات

أي نظام قدرة يمكن أن يقسم إلى ٣ طبقات أساسية كما هو موضح في شكل ١. عند المستوى الأساسي يتكون من معدات القدرة التي تولد ، وتحول، وتوزع القدرة الكهربية إلى الأحمال. المرحلة التالية تكون معدات التحكم. هذه المعدة تساعد في حفظ نظام القدرة عند الجهد المقنن والتردد ، وتوليد القدرة الكافية للأحمال. بالإضافة إلى حفظ الاقتصادية العظمى والآمان لشبكة الربط Optimum Economy and Security. و أخيرا توجد طبقة الحماية. ويجب أن نذكر هنا بأن زمن استجابة طبقة الحماية أسرع من طبقة التحكم. وتقوم الحماية بفتح وغلق قواطع الدائرة Circuit Breakers التي تؤدي إلى تغير في هيكلة نظام القدرة. بينما يقوم التحكم بضبط متغيرات النظام من الجهود والتيارات وسريان القدرة Power Flow على الشبكة.



شكل ١: تركيب أنظمة القدرة ذو ٣ طبقات.

أجهزة الحماية في محطات التوليد

تعتبر محطات التوليد هي المصدر الرئيسي لتغذية نظام القدرة ويجب الاهتمام بحمايتها. ويجب أن نشير أنه لا بد من الاهتمام بسرعة الأداء والعمل الانتقائي لأجهزة الوقاية خصوصا في هذه المنطقة نظرا لأهميتها الكبرى. في حالة عدم وجود الانتقائية لأجهزة الحماية يكون من الصعب تشغيل نظام قدرة حديث. وتستخدم الحماية لعزل الأجزاء المخطئة في نظام القدرة بسرعة عالية. وتبقى الأجزاء السليمة في الخدمة. وفى حالة عدم فصل العطل فربما تسبب بالأشياء التالية:

١ - استمرار العطل لفترة كبيرة قد يسبب فقدان التوافق بين المولدات في نفس المحطة أو بين مجموعة التوليد في محطة أخرى.

٢ - الأجزاء التالفة قد تسبب خطرا في نظام القدرة.

٣ - قد يمتد الخطر إلى الأجزاء السليمة في نظام القدرة.

أجهزة الحماية في أنظمة القدرة ومحطات التوزيع

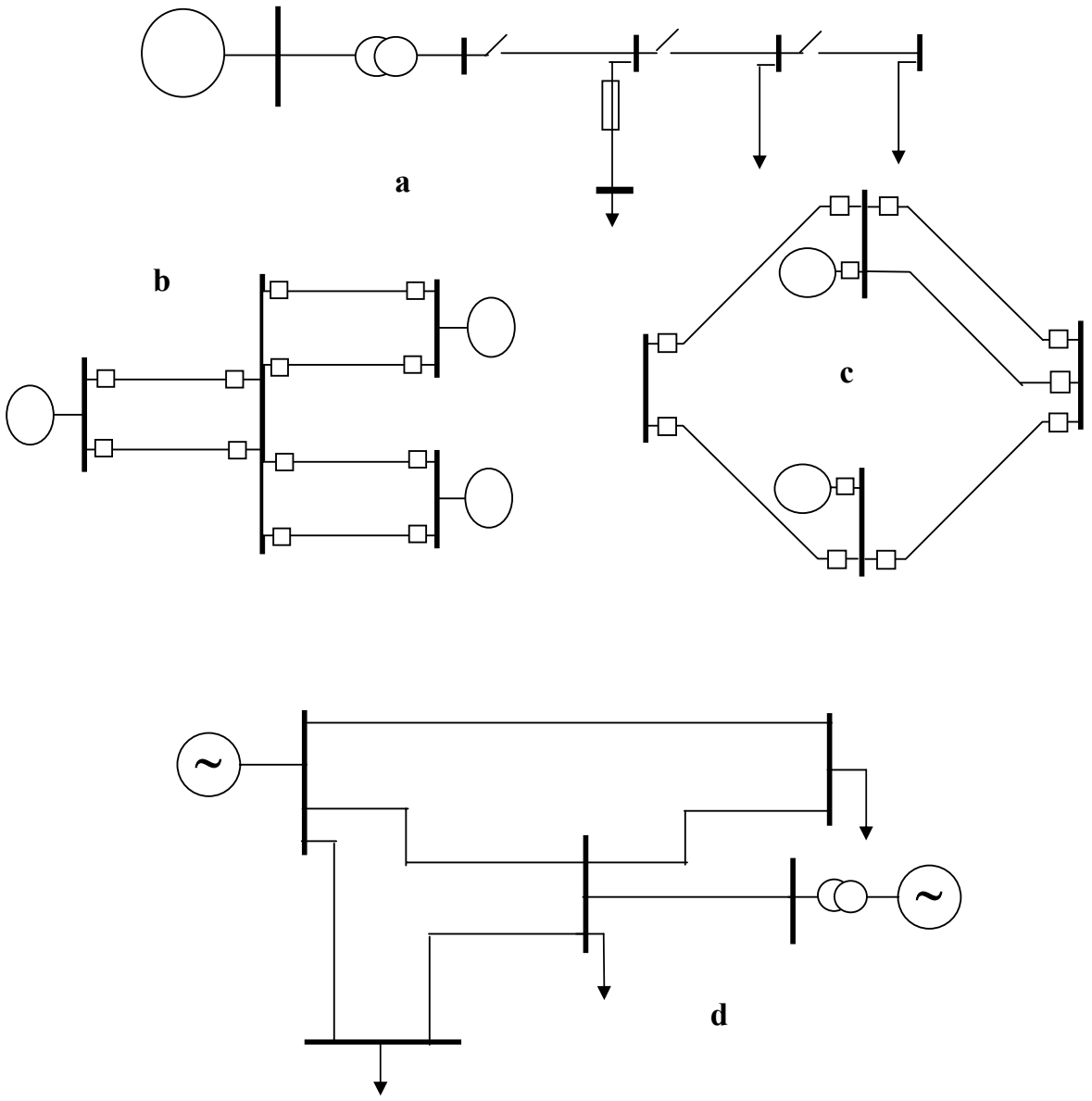
قبل البدء في دراسة كيفية وضع أجهزة الحماية على أنظمة القدرة وعلى محطات التوزيع يمكن عرض الأنواع المختلفة لأنظمة القدرة ومحطات التوزيع. يمكن تصنيف أنظمة القدرة كالآتي:

أ - نظام قدرة شعاعي Radial Power System ويعتبر أبسط الأنواع من الناحية الاقتصادية ولكن من وجهة نظر الموثوقية Reliability أي فقد في المصدر سوف يؤدي إلى فقد في الخدمة لكل المستخدمين.

ب - نظام قدرة متوازي Parallel Power System في هذا النموذج يؤدي إلى مضاعفة وتأمين عملية التغذية.

ج - نظام قدرة حلقي Ring Power System يبن مرونة في عملية حفظ الخدمة للمستهلكين .وتأثير فقد مولد أو خط نقل قد لا يؤدي إلى انقطاع التغذية وعملية الحماية يجب أن تراعى التغذية المختلفة.

د - نظام قدرة شبكي Network Power System وهذا النوع يناسب نظام القدرة الحديث وقد يحتاج إلى حماية ذات تنسيق وتصميم جيد وتعمل بشكل انتقائي. شكل ٢ يوضح النواع السابقة.



شكل ٢: الأشكال المختلفة لأنظمة القدرة.

كما يمكن تصنيف محطات التوزيع كالآتي:

قد تم تصميم محطات التوزيع أساسا لتوثيق الخدمة ومرونة التشغيل وتسمح لصيانة المعدة بأقل فصل في الخدمة. وتصنف إلى عدة أنواع وفقا للجهد وموقع وعمل المحطة كالآتي:

أ - قضبان وحيد -قاطع وحيد Single bus, single breaker

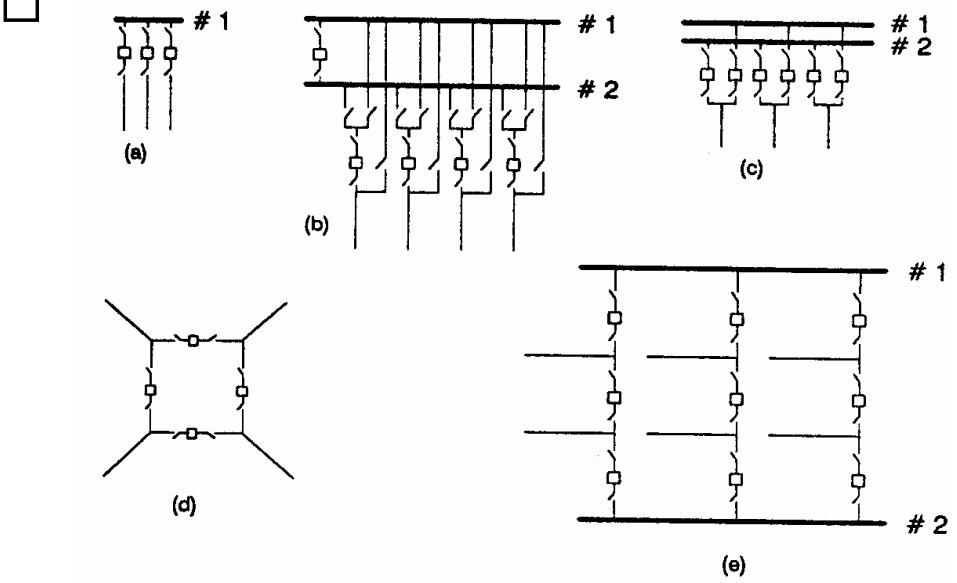
ب - قضيبان –وقاطع Two bus-single breaker

ج -قضيبان وقاطعان Two bus-two breaker

د -القضيب الحلقي Ring bus

هـ -قاطع ونصف Breaker and half

شكل ٣ يوضح هذه الأنواع. تختلف نوع الحماية لكل نموذج على حسب الشكل للمغذيات الخارجية وللقضبان المجمعة.



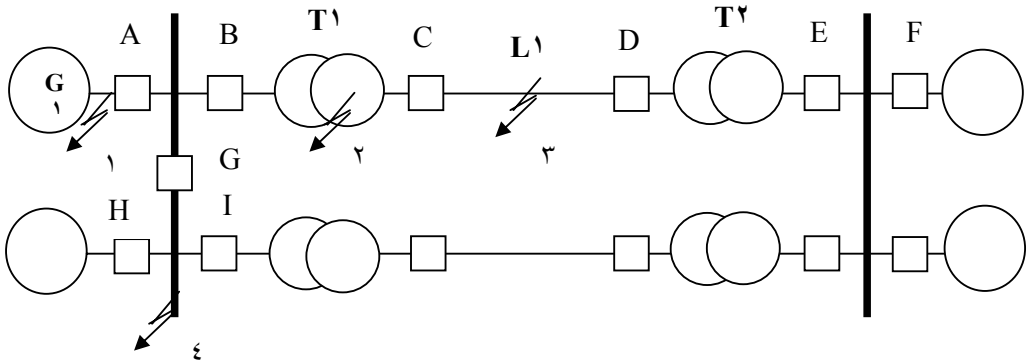
شكل ٣: الأشكال المختلفة لأنظمة قضبان المحطة الفرعية.

الأخطاء في أنظمة القدرة

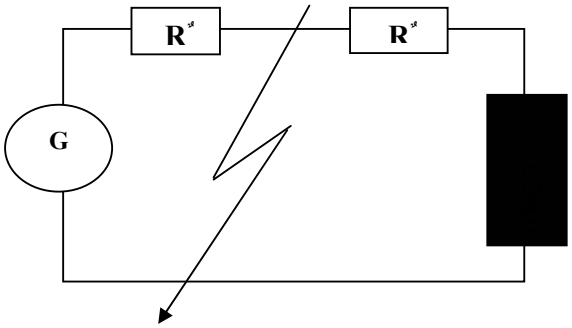
شكل ٤ يبن شبكة كهربية مكونة من مولد -محول -خطوط نقل -قضبان بالإضافة إلى قواطع على كل جزء يراد له الحماية. المولد G١ مركب له قاطع A والمحول رقم T١ مركب له القاطعين (B & C) ، الخط رقم L١ مركب له قاطعين (C & D) في حالة حدوث قصر للمولد G١ فان مرحلات الحماية تعمل على فصل القاطع A وفي حالة وجود عطل في المحول T١ تعمل أجهزة الحماية على فصل

كلا من (B & C) وبالنسبة للخط L١ يفصل (C & D) وفى حالة وجود عطل عند القضيب ٤ يفصل كلا من (G, H & I).

ويمكن تعريف العطل أو القصر في المعدة الكهربائية بحدوث عيب أو خلل في الشبكة الكهربية الذي يؤدي إلى انحراف التيار عن مساره العادي ويؤدى ذلك إلى قطع وفصل في الجزء المحمى كما أن انهيار المادة العازلة يؤدي إلى تلامس الموصل بالأرض وتكون معاوقة العطل Fault impedance صغيرة جدا وبالتالي يكون التيار الكهربي المار في وقت القصر كبيرا جدا. شكل ٥ يوضح حالة الدائرة في حالة وجود قصر.



شكل ٤ : نموذج لشبكة كهربية عليها القواطع.



شكل ٥ : دائرة قصر.

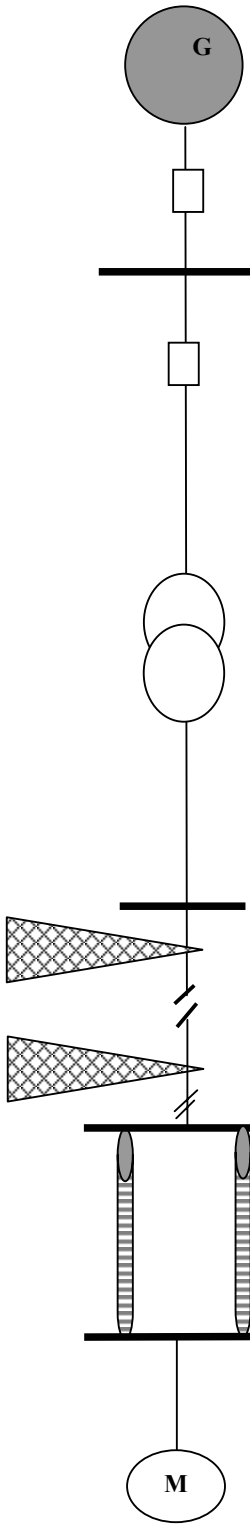
كيفية تقليل أعطال الشبكة

في الواقع توجد أسباب عديدة لحدوث أعطال في الشبكة الكهربية. ولكن يمكن تقليل الأعطال بقدر الإمكان وذلك:

- بتحسين تصميم الشبكات الكهربية،
- تحسين كفاءة المعدات،
- ضبط وتنسيق سليم لمرحلات الوقاية،
- تشغيل سليم للشبكة الكهربية وعدم تعرضها للحالات الغير عادية،
- عمل صيانة دورية.

جدول ١ يوضح عن الأعطال التي يمكن أن تتعرض لها المعدات الكهربية.

جدول رقم :١

المعدة	الشكل العام لها	الأعطال التي يمكن أن تتعرض لها
المولدات		١ - حدوث عطل بالعضو الثابت ٢ - حدوث عطل في العضو المتحرك ٣ - حدوث عطل في عضو مجال الإثارة ٤ - مشاكل في طلمبة الزيت أو طلمبة التسريب ٥ - مشاكل في التردد والجهد ٦ - ارتفاع أو هبوط الجهد في العضو الثابت
القضبان		١ - أعطال ناتجة عن فشل القواطع الآلية في فصل التيار ٢ - الحيوانات والطيور التي تدخل إلى القضبان ٣ - أخطاء عمال التشغيل
المحولات		أعطال خارجية: ١ - زيادة التحميل ٢ - حالات القصر الخارجي ٣ - ارتفاع الجهد ٤ - ضربات الصواعق أعطال داخلية: ١ - حدوث قصر بين أحد الأطوار مع الأرض أو بين الملفات للجهد العالي والمنخفض ٢ - أعطال عن ضعف التوصيلات الكهربية ٣ - فشل التبريد ٤ - أعطال في منظم الجهد والتوزيع للمحولات التي تعمل على التوازي
الخطوط الهوائية		١ - الجليد، الرطوبة، تلوث العوازل، ٢ - الرياح، الأشجار، البرق، ٣ - أخطاء في عملية التوصيل والفصل ٤ - انقطاع في أحد الأطوار ولمسة بالأرض ٥ - ارتفاع مفاجئي في الفولت
الكابلات		١ - أعطال في الكابل نفس ٢ - أعطال في علب الوصل وعلب النهاية ٣ - انهيار العزل
المحركات		١ - حدوث عطل بالعضو الثابت ٢ - حدوث عطل في العضو المتحرك ٣ - زيادة التحميل ٤ - العمل بانقطاع أحد الأطوار ٥ - فقد في تيار مجال الإثارة (المحركات المتزامنة) ٦ - عدم اتزان التيار ٧ - هبوط الجهد

أنواع أعطال نظام القدرة:

إن الأعطال التي تحدث على نظام القدرة تكون في الحالات التي يتبع فيها التيار الكهربي مسار آخر نتيجة فشل العزل الذي يقيد التيار ضمن النواقل. ويكون العزل إما هواء أو مواد ذات مقاومة عالية. أن العزل في هذه الحالة يمكن أن يقصر عن طريق الطيور، أغصان الأشجار، أو مواد معدنية ساقطة. وقد ينهار العزل بسبب ارتفاع الجهد نتيجة الصواعق كما يمكن أيضا للعزل أن يضعف ويتأين.

وقد يمكن تصنيف الأعطال الأساسية في نظام القدرة إلى:

أعطال دائرة القصر Short Circuit Faults

وتشمل: عطل ثلاثي الطور معزول عن الأرض Three Phase Short Circuit ، عطل ثلاثي الطور مع الأرض Three Phase to Ground ، عطل بين طورين Two Phase Short Circuit ، قصر بين أحد الأطوار والأرض Single Phase to Ground ، عطل قصر بين طورين والأرضي Two Phase to Ground. أعطال هذا النوع يسبب فشل العازل بين خطوط النقل أو بين خط النقل والأرضي. شكل ٦ يبين الرسم التفصيلي لهذه الحالات.

أعطال الدائرة المفتوحة Open Circuit Faults

وتشمل: انقطاع أحد الأطوار في الدائرة، أو انقطاع طوريين في الدائرة، أو انقطاع الأطوار الثلاثة في الدائرة. يبن شكل ٧ كل هذه الأنواع.

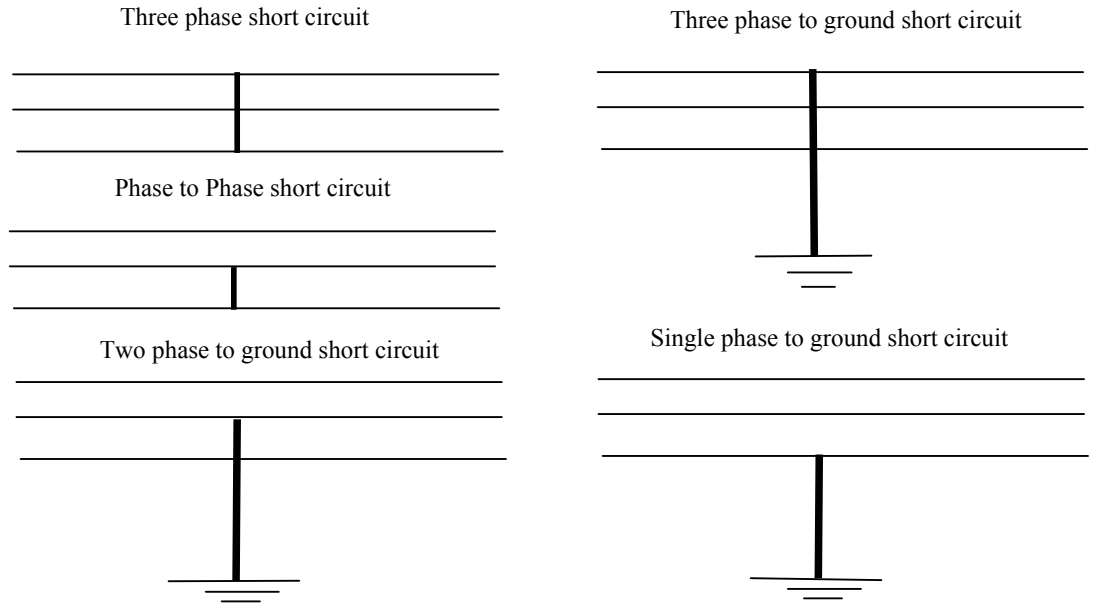
الأعطال المتزامنة Simultaneous Faults

عبارة عن وجود عطلين أو أكثر بنفس الوقت وقد تكون متماثلة أو غير متماثلة وقد تكون في أجزاء مختلفة من نظام القدرة.

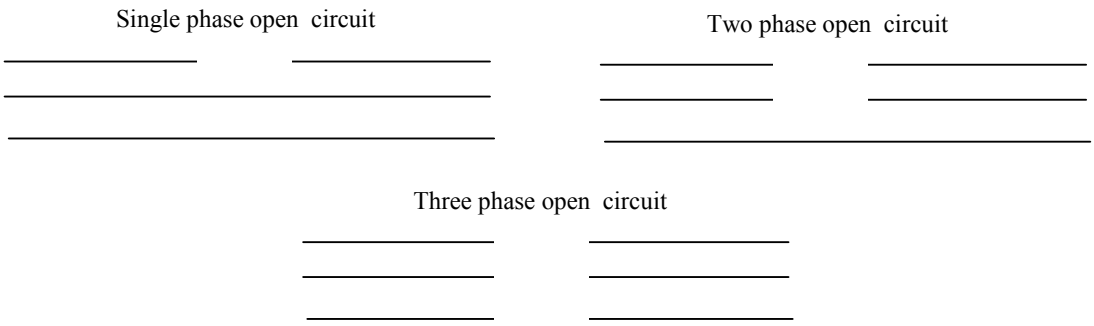
أعطال الملفات Winding Faults

هذا النوع من الأعطال يحدث في ملفات المولد أو المحول أو المحرك وقد يحدث بين أحد الملفات والأرضي، أو بين ملفين، أو قصر بين الملف الواحد.

ويمكن تقسيم الأعطال السابقة إلى أعطال دائمة (Permanent Faults) أو أعطال عابرة Temporary Faults.



شكل ٦: الأنواع الأساسية لأعطال دوائر القصر.



شكل ٧: الأنواع الأساسية لأعطال الدوائر المفتوحة.

زيادة الحمل Overloading

في الجزء السابق قد تم شرح الأنواع المختلفة لقصر الدائرة وقد شرحنا أنة عندما يحدث عطل في الدائرة أو قصر والذي بدوره يؤدي إلى مرور تيار كبير يعرف Short Circuit Current أو تيار القصر والذي يكون أكبر من التيار العادي.

عندما تأخذ الآلة تياراً أكبر من التيار المقنن والمسموح به يعرف في هذه الحالة بتيار زيادة الحمل Overloading-Current حيث أنه أكبر من تيار الحمل العادي ولذلك تحتاج المعدات الكهربية لمرحلات وقاية:

≡ ضد زيادة التيار والذي يكون حدود تشغيله من ١,٢ إلى ٢ من التيار المقنن.

≡ ضد تيار القصر والذي تكون حدوده من ٥ إلى ٢٥ مرة من التيار المقنن.

محولات القياس (التيار والجهد) Current and Voltage Transformers

تستخدم محولات الجهد والتيار لتحويل التيارات (محولات تيار) أو لتحويل الجهود (محولات جهد) العالية جدا إلى قيم منخفضة عن طريق ملفات ثانوية. وتغذى الملفات الثانوية لهذه المحولات بأجهزة حماية وقياس وتحكم ومراقبة وعدادات. ويجب على المحولات نقل الإشارة بدقة عالية وإذا فشلت المحولات في ذلك فإن نظام الحماية ممكن ألا يعمل بشكل صحيح ويصبح نظام القدرة معرضا للخطر.

لذلك يجب أن يكون تصميم محولات القياس بموثوقية عالية. ويستخدم في محولات القياس لضمان العزل إما زيوت أو غازات أو مواد صلبة عازلة.

إن استعمال محولات القياس أمر لابد منه في دوائر الجهد العالي حتى ولو كانت التيارات صغيرة جدا ، لأن هذه المحولات تؤمن الحماية اللازمة للمستخدم بعزل دوائر الأجهزة المستخدمة عن تجهيزات الدوائر الأساسية كما إنها تحمي الأجهزة من الحوادث العابرة(ارتفاع الجهد أو دوائر القصر) التي تحدث على الدائرة الأولية لنظام القدرة.

ونلخص أهداف استخدام محولات القياس كالآتي :

١ - تستخدم لإنقاص تيارات وجهود نظام القدرة إلى قيم صغيرة مناسبة لسلامة أجهزة القياس والتحكم والمراقبة والحماية.

٢ - تستخدم لعزل دوائر الأجهزة المستخدمة عن الدائرة الأولية لنظام القدرة.

٣ - توحيد قيم التيار أو الجهد لقيم قياسية فمثلا يكون التيار الثانوي في محولات التيار (١) أمبير أو (٥) أمبير، والجهد الثانوي في محولات الجهد (١٠٠) فولت أو (١١٠) فولت.

تركيب محولات التيار

يتكون محول التيار من دائرة مغناطيسية مقفلة مصنوعة من رقائق من الحديد السيليكوني (لتقليل مفقودات الحديد) ومن ملفين معزولين عن بعضهما وعن القلب الحديدي وهما

≡ ملف ابتدائي Primary Winding ويحتوى على عدد من اللفات ويتم توصيله على التوالي مع الكابل أو الخط المراد قياس قيمة التيار المار فيه.

≡ ملف ثانوي Secondary Winding ويحتوي على عدد كبير من اللفات ويتم توصيله على التوالي مع ملف التيار لجهاز الوقاية أو القياس.

≡ القلب الحديدي و يحتوي على أشكال مختلفة:

☒ قلب حديدي على شكل مستطيل أو مربع ويستخدم لمحولات التيار الصغيرة والمتوسطة. حيث يتم لف الملف الثانوي أولا على الساق ثم الملف الابتدائي. انظر شكل ٨.

☒ قلب حديدي على شكل حلقة، ويستخدم لمحولات التيار المختلفة، وفية يلف الملف الثانوي بانتظام حول القلب، أما الملف الابتدائي فهو الكابل (أو الموصل) الحامل للتيار والذي يتم إدخاله من خلال الحلقة، انظر شكل ٨. كما يبن شكل ٩ محولات تيار ذات جهود مختلفة.

شكل ٨: الأشكال المختلفة لمحولات التيار.

مقننات محول التيار

١ - التيار الابتدائي ويرمز له Ip

٢ - التيار الثانوي ويرمز له Is (القيم القياسية ١ أو ٥ أمبير)

٣ - نسبة التحويل وهي Ip/Is أو النسبة العكسية للملفات Ns/Np (مثال: ٥/١٢٠٠ أو ٥/٨٠٠)

٤ - عبء المحول Burden وهي القيمة المكافئة لمقاومة أجهزة الوقاية أو القياس المحملة على الملف الثانوي بوحدات أوم أو فولت أمبير -مثال لذلك ٢,٥ ، ٧,٥ ، ١٥ فولت أمبير.

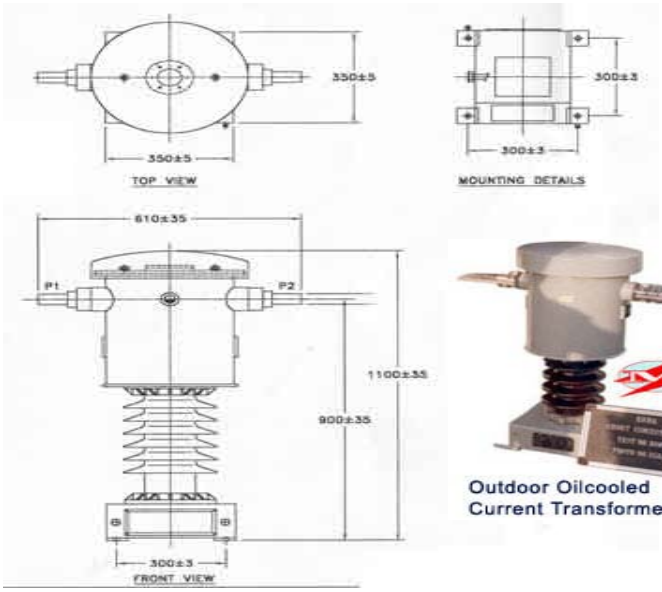
٥ - خطأ نسبة التحويلThe Ratio Error وهي النسبة بين تيار المغنطة والتيار الابتدائي المقنن.

٦ - الاختلاف الوجهي The Phase Difference وهو قيمة زاوية الاختلاف بين التيار الابتدائي المقنن والتيار الثانوي المقنن ويجب أن تكون هذه الزاوية صغيرة حدا.

٧ - درجة الدقة Accuracy Class تعرف درجة الدقة بدلالة كل من خطأ نسبة التحويل والاختلاف الوجهي بين التيار الابتدائي المقنن والتيار الثانوي المقنن.

عادة يرمز للمحول ١٠C٨٠٠ أو تختصر إلى C٨٠٠ وتعنى أن نسبة الخطأ ١٠٪ عند أي تيار في الملف الثانوي والقيمة ٨٠٠ هي قيمة الجهد على الملف الثانوي. والرمز C يعنى توصيف الدقة باستخدام الاختبار.

Current Transformer ٥٠-٦٠٠A



شكل ٩: محولات تيار ذات جهود مختلفة.

الدائرة المكافئة لمحول التيار

يمثل شكل ١٠ الدائرة المكافئة لمحول التيار بالآتي:

(K-L) نقطتي الملف الابتدائي

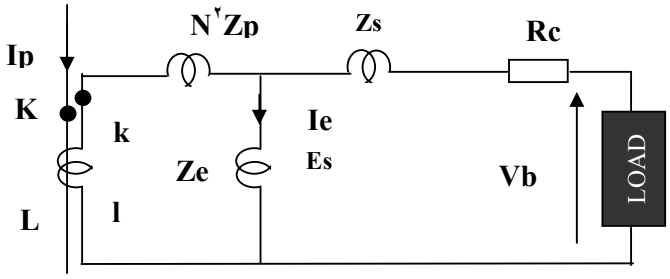
(k-l) نقطتي الملف الثانوي

Ie تيار الإثارة

N نسبة التحويل

Zp معاوقة الملف الابتدائي

Zs معاوقة الملف الثانوي



شكل ١٠

Ze معاوقة الإثارة

ZL حمل العبء سواء كان جهاز وقاية أو جهاز قياس

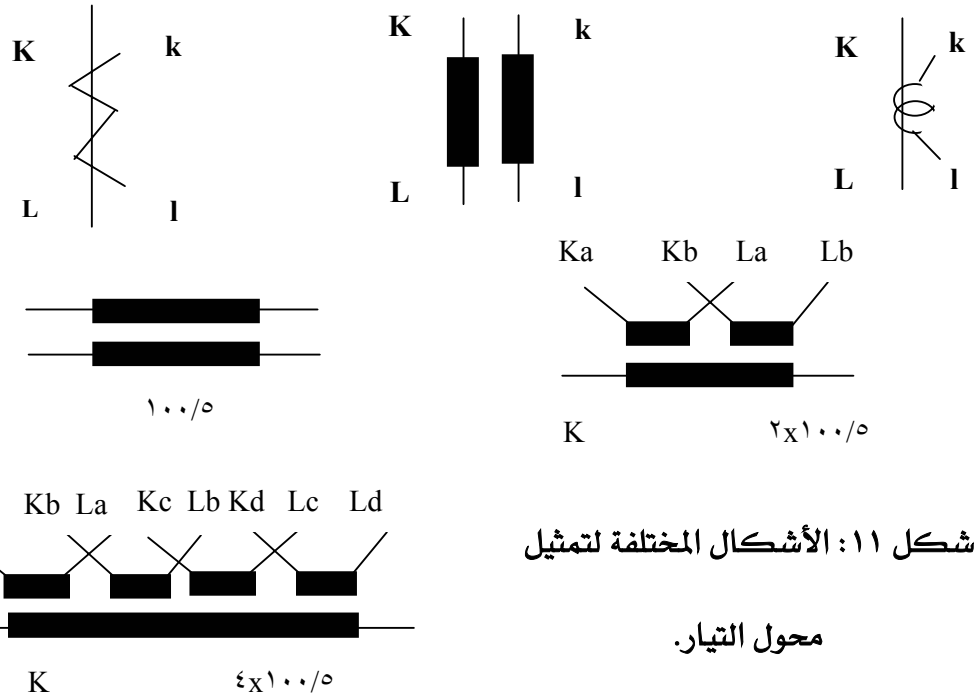
Es جهد الإثارة

Vb جهد العبء

Rc مقاومة أسلاك التوصيل بين المحول وأجهزة الحماية أو القياس

توصيلات محولات التيار

يتكون محول التيار من ملف ابتدائي يرمز له بالأحرف الكبيرة L , K والملف الابتدائي بأحرف صغيرة k, l. ويبن شكل ١١ التوصيلات المختلفة له.



شكل ١١: الأشكال المختلفة لتمثيل محول التيار.

شكل ١٢ يدل على طرق توصيل المحول. شكل ١٢ -١ يدل على توصيل المحول ذو الثلاثة أوجه.

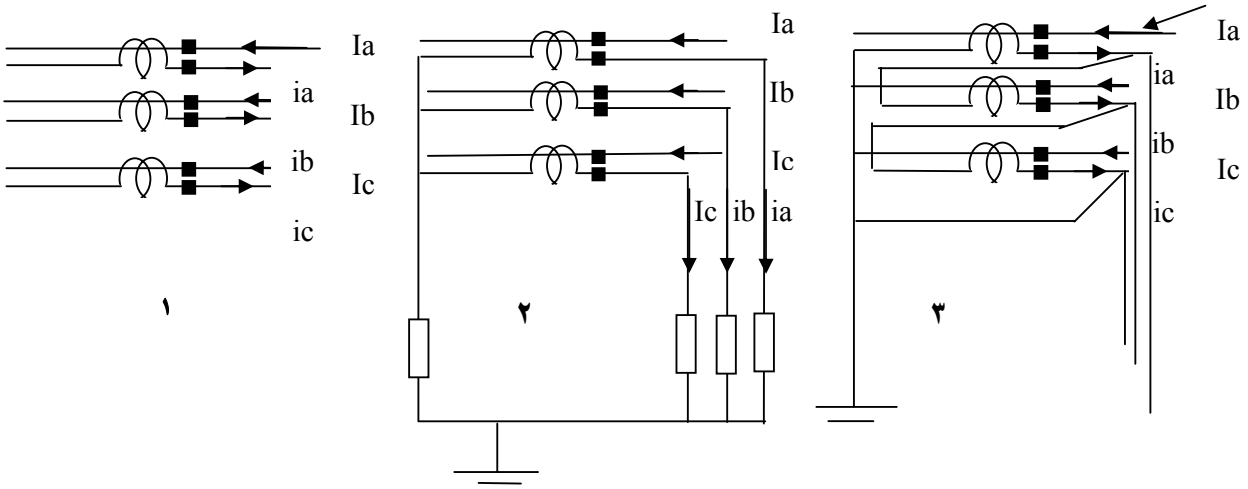
وشكل ١٢ -٢ يدل على توصيل المحول بطريقة نجمة Wye Connection وتستخدم هذه الطريقة:

- لقياس التيارات المارة بالثلاثة أوجه من خلال امبيروميتر
- تركيب أجهزة الحماية ذات حساسات للتيارات المارة بالثلاثة أوجه، حيث يتم توصيل ملف تيار خاص بجهاز الوقاية لكل وجه.
- تركيب جهاز وقاية ذو حساسية لمحصلة الجمع الاتجاه للتيارات بالثلاثة أوجه.

وشكل ١٢ -٣ يدل على توصيل المحول بطريقة دلتا Delta Connection وتستخدم هذه الطريقة:

- لقياس فرق التيارين المارين بالوجهين

≡ تركيب أجهزة الحماية لكشف فرق التيارين المارين بوجهين.



شكل ١٢: طرق توصيل المحول

محولات الجهد Voltage or Potentional Transformer

تستخدم محولات الجهد للحصول على قيمة جهد منخفضة، عادة ١٠٠ فولت لتغذية دوائر الوقاية والقياس والتحكم. ويوجد نوعان من محولات الجهد، محول جهد مغناطيسي ومحول الجهد ذو مكثف.

التعريفات الأساسية لمحولات الجهد

١. الجهد الابتدائي Rated Primary Current ويرمز له Vp
٢. الجهد الثانوي Rated Secondary Current ويرمز لة Vs
٣. نسبة التحويل وهي Vp/Vs أو Np/Ns
٤. عبء الحول Burden وهي القيمة المكافئة لمقاومة الملفات المتصلة على التوازي مع الملف الثانوي $Zb=Vs^2/P$ (حيث Vs هو الجهد الثانوي، P هو عبء محول الجهد بالفولت -أمبير، Zb مقاومة الحمل).
٥. خطأ نسبة التحويل وتعرف بأنه الفرق بين نسبة التحويل الحقيقية ونسبة التحويل مع أخذ هبوط الجهد في الاعتبار.
٦. اختلاف الوجه وهي زاوية الاختلاف بين الجهد الابتدائي المقنن والجهد الثانوي المقنن.
٧. درجة الدق وفيه تستخدم جداول قياسية لإعطاء معنى درجة الدقة بدلالة كل من خطأ نسبة التحويل والاختلاف الوجهي. على سبيل المثال إذا كان محول جهد يستخدم للقياس فإن العبء ١٠٠ فولت أمبير

والدرجة ٥. هذا يعنى أن أقصى خطأ نسبة التحويل يكون ٥.٪ عند الجهد المقنن وعبء يساوي ١٠٠ فولت أمبير.

درجات الدقة للقياس في هذه المحولات هي ٠,١ ، ٠,٢ ، ٠,٥ ، ١ ، ٣. بينما محولات الجهد المستخدمة في الحماية فإن درجة الدقة تحتوي على الرمز P للدلالة على أنه للوقاية. وتكون حدود الدقة من ٥٪ إلى ١٠٠٪ من الجهد المقنن.

إذا كانت بيانات محول هي ٧٥VA, ٣P فمعنى ذلك أن نسبة الخطأ تساوي + أو – ٣٪ من الجهد المقنن وذلك عند أقصى عبء وهو ٧٥ VA .

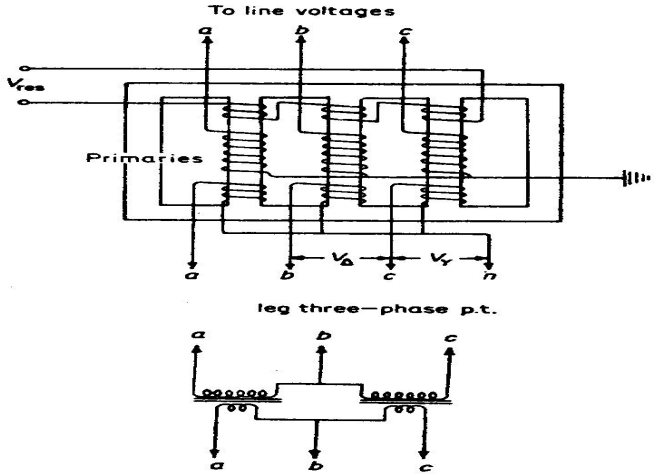
تركيب محول الجهد المغناطيسي

وهو عبارة عن دائرة مغناطيسية مقفلة عبارة عن رقائق من الحديد السيليكوني.

≡ ملف ابتدائي يحتوي على عدد كبير من اللفات ويوصل على التوازي مع الدائرة المراد تركيب محول الجهد عليها.

≡ ملف ثانوي يحتوي على عدد أقل من اللفات ويوصل على التوازي بملفات الجهد بأجهزة القياس والوقاية.

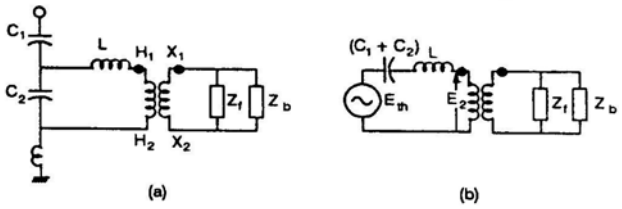
يتم عزل الملف الابتدائي عن الملف الثانوي بمادة عازلة تعتمد على جهد التشغيل، انظر شكل ١٣ .



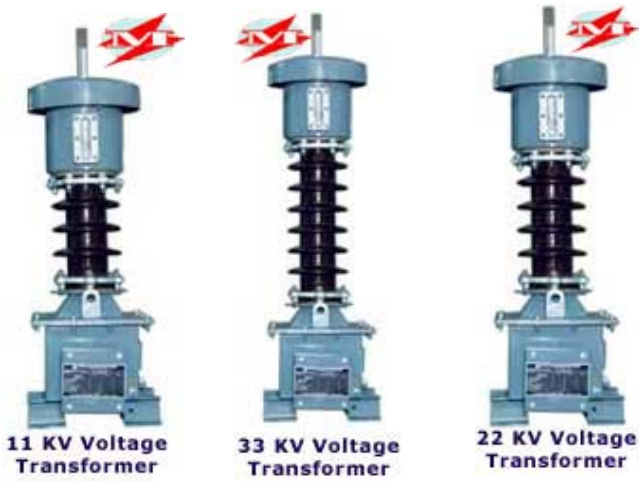
شكل ١٣: محول الجهد المغناطيسي.

تركيب محول جهد ذو مكثف

عند العمل على جهود أعلى من ٦٦ ك.ف يصبح استخدام محولات المغناطيسية مكلف جدا. وهذه الجهود تحتاج إلى عزل مناسب. فمن هنا تستخدم محولات الجهد ذات المكثفات والتي يمكن من خلالها تخفيض قيمة الجهد الابتدائي لقيمة معينة ثم يتم استخدام محول جهد مغناطيسي لتخفيض هذه القيمة إلى قيمة قياسية لدوائر الوقاية وهي ١٠٠ فولت. شكل ١٤ يبين الدائرة المكافئة لمحول جهد من النوع المكثف. شكل ١٥ يبن بعض أنواع محولات الجهد المستخدمة حديثا.



شكل ١٤ يبن الدائرة المكافئة لمحول جهد من النوع المكثف.



شكل ١٥: بعض أنواع محولات الجهد المستخدمة حديثا.

نظام التأريض System Earthing

إذا حدث عطل مع الأرض لأحد نواقل الشبكة أو لخط ثلاثي الأوجه ذو نقطة تعادل معزولة عن الأرض فإن هذا العطل لا يؤدي إلى فصل التغذية عن الخط ولا تشكل هذه النتيجة خطورة بالنسبة للخطوط القصيرة ذات الجهود المنخفضة نسبياً، ولكن في حال الخطوط الطويلة ذات الجهود المرتفعة، فإن تلك الأعطال الأرضية تسبب مشاكل خطيرة، حيث تؤدي إلى نشوء جهود عالية تبلغ ثلاثة أو أربعة أضعاف جهد النظام، وذلك على شكل اهتزازات متراكمة، وبالتالي تشكل خطورة على عازلية الشبكة.

إن التأريض في نظام القدرة ضروري لأسباب كثيرة منها:

- من أجل فصل الخطوط وذلك بتشغيل حمايات العطل الأرضي المركبة في الشبكة حيث إن لتيار العطل الأرضي قيمة محسوسة يمكن الحصول عليها، من أجل موقفات الصواعق المستخدمة للحماية من الجهود المرتفعة في الشبكة والناتجة عن حوادث البرق.
- أعطال الأقواس الأرضية لا تؤدي إلى جهود عالية خطرة على الأوجه السليمة. كما يمكن التحكم بالتداخلات التحريضية بين دائرة القدرة ودوائر الاتصالات بالتحكم بمدى تيار العطل الأرضي.

أنظمة التأريض في نظام القدرة:

إن أنظمة التأريض المستخدمة في نظام القدرة تكون بتأريض نقطة التعادل للمحولات والمولدات ذات الوصل النجمي، والطرق المستخدمة لذلك هي:

التأريض المباشر Solid Earthing

ويستخدم لتأريض نقطة التعادل للمحولات من جهة الوصل النجمي وهي تفيد بالسماح لتدرج سماكة عازلية الملفات نحو الأسفل باتجاه النقطة الحيادية ويستخدم هذا الإجراء على الغالب عند الجهود (١٠٠) ك. ف فأكثر، وإن ممانعة التأريض في هذه الحالة هي الممانعة بين نقطة التعادل والأرضي وتمثل بممانعة الناقل الأرضي نفسه والمقاومة للقضيب الأرضي أو الصفيحة (Earth-Plate) والأرض.

وتعرف طريقة التأريض المباشر بنظام التأريض الفعال (Effective Earthed System). وأثناء عطل وجه مع الأرضي فإن جهد أي وجه مع الأرضي لأي طور سليم لا يتجاوز ٨٠٪ من الجهد بين وجهين في النظام المدروس.

التأريض باستخدام مقاومة Resistance-Earthing

وفي هذا النوع من التأريض توصل مقاومة بين النقطة النجمية والأرضي ويعرف بالتأريض غير الفعال (Non-effective earthing).

التأريض باستخدام مفاعلة Reactance-Earthing

وتستخدم مفاعلة بدلاً من المقاومة للوصل بين النقطة النجمية والأرض ويعرف أيضاً بالتأريض غير الفعال، ويتم اختيارها بشكل سليم لتلائم متطلبات أجهزة الحماية.

ويبين الشكل ١٦ أنواع التأريض الطبيعي المستخدم حيث إن (a) يمثل التأريض المباشر و(b) التأريض من خلال مقاومة و(c) التأريض من خلال مفاعلة.

التأريض باستخدام ملف إخماد القوس (أو ملف بترسون)

Arc-suppression (Peterson) Coil Earthing

ويتم وصل النقطة النجمية إلى الأرض بواسطة مفاعلة وتكون قيمة مفاعلتها بحيث يمكن التحكم بضبطها بحيث تتوافق بشكل أكبر أو أقل من قيمة السعات بين الوجهين السليمين والأرض عندما يكون الوجه الثالث موصول إلى الأرض بشكل مباشر، عندئذ فإن تيار القوس يساوي إلى مجموع التيارات السعوية. والتيار المار في المفاعلة أي يساوي إلى الصفر، حيث إن التيارين للمفاعلة والتيار السعوي انفراج بمقدار (١٨٠°) درجة أي متعاكسان، ويؤدي ذلك إلى إطفاء القوس. وتعتبر ملف بترسون فعالة تماماً في منع الضرر الناتج عن الأقواس الأرضية، وتجهز هذه المفاعلة بمآخذ (Tapping) بحيث يمكن تغيير

قيمتها لتناسب السعات في الشبكة وتسمح بتغير سعة مركبة التتابع الصفري للنظام الناتجة عن عمليات فصل الدوائر ويبين الشكل ١٧ هذا النوع من التأريض.

التأريض بواسطة ملف بترسون ومقاومة

يستخدم في هذا النوع من التأريض شكل مركب من ملف إخماد القوس ومقاومة ويبين الشكل ١٧ المخطط الفعلي لهذه الطريقة. عند حصول عطل أرضي دائم على وجه واحد فإنه يكبت (Suppressed) بواسطة الملف. ومن غير المرغوب فيه استمرار العطل فترة طويلة على النظام، لذلك فإنه بعد تأخير زمني يمكن ضبطه حتى(٣٠) ثانية فإن الملف يوصل آلياً على التوازي مع المقاومة ذات القيمة المنخفضة والتي تسمح بسريان تيار العطل الأرضي مما يؤدي إلى تشغيل حمايات العطل الأرضي (E).

ويبين الشكل ١٧ مبدأ ملف إخماد القوس الكهربائي مع مقاومة تأريض مساعدة. وتشير الرموز المستخدمة في الشكل إلى: (C) تشير إلى السعات الموزعة بين كل وجه والأرض في نظام القدرة، I^{CS} التيار السعوي الكلي للوجه S مع الأرض و I^{CR} التيار السعوي الكلي للوجه R مع الأرض وذلك عندما يكون المفتاح S مفتوح. Ip تيار العطل المار في ملف إخماد القوس، If تيار العطل بين أحد الأوجه والأرض ويساوي مجموع التيار Ip مع التيارات السعوية للأطوار غير المتصلة مع الأرض. ويغلق المفتاح S عندما يستمر تيار العطل الأرضي في الملف فترة أطول من زمن تغيير مرحلة التأخير الزمني (T.D).

التأريض في المباني

لعمل شبكة تأريض جيدة للمبنى فإنه من الضروري أن يتم تأريض العناصر التالية :

- كل الأجسام المعدنية والمعرضة للملامسة.
- كل الأجهزة الكهربائية .
- جميع مخارج البرايز ووحدات الإنارة.

يمكن استخدام إحدى الوسائل التالية كقطب للتأريض وهى:

- تمديدات المواسير المعدنية للمياه .
- أسياخ التسليح للمبنى.
- موصل معدني يتم تمديده حول المبنى.

كما يمكن استخدام أقطاب التأريض الصناعية التالية:

- ≡ قطب تأريض صناعي

وهو عبارة عن قضيب أو ماسورة معدنية لا يقل طولها ٢٤٠ سم تدفن رأسياً ملامسة للتربة إلا إذا كانت الأرض صخرية فيمكن وضعها مائلة ٤٥ درجة على المستوى الرأسي أو تدفن في خندق على عمق ٧٥ سم من سطح الأرض على الأقل.

≡ لوح التأريض

وهو عبارة عن لوح معدني قد يكون من النحاس بسمك ١,٥ مم أو من الحديد بسمك لا يقل عن ٦,٣٥ مم. ويجب ألا تقل المساحة المعرضة للتربة عن ٠,١٨٦م٢.

وعموماً يجب أن يكون قطب التأريض الملامس للتربة خالياً من الشحوم أو الزيوت لأنها تضعف خصائص قابلية التأريض للتوصيل الكهربائي.

الطرق المختلفة لخفض مقاومة التأريض

بعد الانتهاء من تأريض المبنى واللوحات العمومية والفرعية يتم قياس مقاومة التأريض بواسطة أجهزة خاصة بذلك فإذا لوحظ أنها تزيد عن الحد المسموح به وهو ٢٥ أوم فإنه يلزم خفض هذه القيمة باستخدام طريقة أو أكثر من الطرق التالية :

≡ زيادة قطر قضيب التأريض

≡ زيادة طول قضيب التأريض

≡ زيادة عدد قضبان التأريض

القواطع الآلية Circuit Breakers

باستمرار نمو الشبكات الكهربائية وازدياد قدرة محطات التوليد ازدادت الحاجة إلى أجهزة قطع وحماية جيدة ومعتمدة. وأصبحت حماية الشبكات تشكل المركز الرئيسي من الأهمية ، فعند حدوث دائرة قصر في الشبكة ، تغذى كمية هائلة من التيار إلى مكان العطل مما يؤدي إلى ضرر بليغ وانقطاع في التغذية . لذلك يجب على أجهزة الحماية أن تحقق موثوقية تامة بحيث يمكن الاعتماد عليها اعتماداً كلياً وأن تميز تمييزاً مطلقاً بحيث تعزل الأقسام المتعطلة من الشبكة فقط وأن تعمل بسرعة للحد من تأثير العطل على تجهيزات الشبكة . وبما أن مجال الدراسة هو الحمايات التي تعطي أوامر الفصل للقواطع الآلية لذلك لا بد من إعطاء فكرة سريعة عن القاطع الآلي وآلية تشغيله والتحكم فيه ومبدأ إطفاء القوس الكهربائي . وتستخدم أجهزة القطع Switchgear . إما لعزل الدوائر الكهربائية عند حدوث الأعطال بواسطة أجهزة الحماية، وأن تعزل الدائرة بواسطة فتح القاطع لإجراء أعمال الصيانة الدورية أو الطارئة على التجهيزات .

وتصنف القواطع المستخدمة عادة إلى نوعين :

≡ النوع الأول هي القواطع الآلية Circuit breaker والتي بإمكانها فصل الدائرة تحت الجهد والحمولة وإغلاق الدائرة تحت الجهد.

≡ النوع الثاني وهي القواطع العازلة Isolators وهي قواطع بإمكانها إغلاق الدائرة تحت الجهد ولكن غير مسموح بفتح الدائرة تحت الحمولة .

وبشكل عام فإنه يمكن تصنيف قواطع الدائرة والأدوات التابعة لها بشكل مبدئي إلى أربعة أصناف:

١. قواطع الجهد المنخفض وتستخدم في دوائر الإنارة والتيار ضمن الأبنية والمنشآت الصناعية وفي السكك الحديدية والكهربائية وفي الأجهزة المساعدة لمحطات الطاقة ذات التيارات المنخفضة وجميعها تقريباً قواطع هوائية.

٢. قواطع الجهد المتوسط – المنخفض وتكون للجهود (٢,٣ -١٥) كيلو فولت وقدرة قطع بين ٢٥ إلى ٥٠٠ ميجا فولت أمبير وتستخدم في محطات الطاقة الصغيرة وفي الأجهزة المساعدة لمحطات الطاقة الكبيرة. ومعظم القواطع القديمة زيتية إلا أن الاتجاه الحديث هو نحو القواطع الهوائية وبصورة خاصة من النوع ذو الإطفاء المغناطيسي.

٣. قواطع الجهد المتوسط – العالي ويكون الجهد بين (١٥ – ٣٤,٥) كيلو فولت وقدرة قطع بين (٥٠٠) إلى (٢٥٠٠) ميجا فولت أمبير وتستخدم في المحطات الثانوية الهامة وفي دوائر المولدات في محطات الطاقة الكهربائية وذات قدرة قطع متعددة . وقد استخدمت القواطع الزيتية بكثرة في هذا المجال إلا أن القواطع ذات الهواء القسري (Air blast) أصبحت شائعة الاستعمال.

٤. قواطع الجهد العالي ويكون جهدها أعلى من (٤٦) كيلو فولت وتستخدم في خطوط النقل الهامة حيث تكون عادة زيتية ومن النوع الخارجي المركب على قواعد وقد جرت عليها تحسينات كثيرة فيما يتعلق بالسرعة وقدرة القطع وصغر الحجم.

مبدأ إطفاء القوس الكهربائي

في اللحظة التي تبدأ فيها ملامسات القاطع الآلي بالتباعد فإن التيار يكون كبيراً جداً. ولا يؤدي التباعد الصغير بين الملامسات ضمن أقطاب القاطع إلى انقطاع التيار فوراً . فعندما يزداد تباعد الملامسات تزداد المقاومة بينهما وبالتالي يزداد الفقد الحراري في هذه المقاومة حسب العلاقة (I^2R) ، وينتج أيضاً تأين الهواء أو تبخر وتأين الزيت ويصبح هذا الهواء أو بخار الزيت المتأين ناقلاً ويستمر جريان التيار ضمنه مكوناً قوساً كهربائياً . ويكون الجهد بين ملامسات قطب القاطع صغيراً بحيث يكفي للمحافظ على القوس الكهربائي.

ويبين الشكل ١٨ الترتيبات الممكنة لاستخدام أجهزة القطع في نظام القدرة فالشكل (a) يبين استخدام أجهزة القطع في ترتيب القضبان المجمعة المزدوجة. والشكل (b) يبين استخدامها في ترتيب القضبان المجمعة بشكل حلقة مزدوجة مع ربطها بمفاعل Reactor ويمكن عزل هذا المفاعل لأغراض الصيانة. ولا يمكن نقل الدوائر من أحد جانبي المفاعل إلى الجانب الآخر. والشكل (c) يبين استخدام أجهزة القطع في شبكة مفتوحة ، وبدون استخدام قواطع للمحولات. الشكل (d) نفس الشكل السابق ولكن تستخدم قواطع للمحولات. الشكل (e) استخدام أجهزة القطع في شبكة مغلقة ونقصد بأجهزة القطع القواطع الآلية والقواطع العازلة Isolator بالقواطع التسلسلية Series Switches وإن قواطع الدائرة للجهد العالي لها أربعة أشكال رئيسية :

- القواطع الزيتية.
- القواطع الآلية ذات الزيت القليل.
- قواطع الهواء القسري.
- قواطع ذات الغاز العازل SF_6 .

ويبين الشكل ١٩ مقطع لقاطع زيتي ٦٦ ك ف ثلاثي الأوجه، حيث يتضمن وعاء معدني مملوء بالزيت وله غطاء معدني يحوي على مخارج عازلة لدخول وخروج نواقل الدائرة من الوعاء وتدعى بالمخترقات Bushing. ويلاحظ في الشكل وجود محولات تيار في نهايات مخترقات القاطع. وتتصل بالنهايات السفلى للمخترقات تحت مستوى الزيت ملامسات ثابتة Fixed Contacts وهي الملامسات العلوية .

كما يوجد ملامسات متحركة Contacts Moving وتكون سفلية وتكون عادةً قضبان نحاسية أسطوانية Cylindrical Copper Rods والملامسات السفلية هي التي تتحرك لتوصل مع الملامسات العلوية أو تفصل عنها .وتتكون الملامسات العلوية من نابض نحاسي قوي يخلق ضغط على قضيب الملامس السفلي عند الإغلاق ليشكل تماس كهربائي جيد. وعندما يفتح القاطع تحت حالات العطل فإن عدة آلاف من الأمبيرات تمر بين ملامسات القاطع وبالتي فإن عملية إطفاء القوس الكهربائي الناتج وفتح القاطع بفاعلية تشكل مشاكل هندسية رئيسية تجري محاولات كثيرة للتغلب عليها .

إن الحرارة العالية الناتجة عن القوس تؤدي إلى تحلل الزيت وتوليد غاز الهيدروجين في الزيت ويدفع هذا الغاز بضغط عال جداً القوس الكهربائي إلى الفتحات الخاصة الجانبية التي تحيط بالملامسات.

والعلاقة التالية تعطي القدرة في القوس الكهربائي بدلالة قدرة القطع وزمن القطع .

قدرة القوس = قدرة القطع (.M.V.A) × ٠,١ × زمن القوس (ثانية)

فإذا كان قدرة القطع ٥٠٠ ميجا فولت أمبير وزمن القوس دورتين (أي ٠,٠٤ ثانيه) فإن قدرة القوس تكون :

٥٠٠× ٠,١ × ٠,٠٤ = ٢٠٠٠ كيلو جول .

وتكون كمية الغاز المنطلق في هذه الحالة (١٢٠) لتراً .

ويبن الشكل ٢٠ الدائرة التوضيحية لعملية إطفاء القوس الكهربائي في القواطع الزيتية.

ويتم إطفاء القوس الناتج على مرحلتين : -

المرحلة الأولى : تعتمد على ازدياد مقاومة القوس إلى قيمة مرتفعة بحيث تجعل التيار مهملاً .

المرحلة الثانية : تعتمد على ازدياد عازلية فراغ القوس إلى قيمة مرتفعة بحيث تحول دون إعادة اشتعال القوس حين تطبيق جهد الدائرة .

أما القواطع الآلية ذات الهواء القسري air-blast circuit breakers فإنها تستخدم من أجل أنظمة الجهد أعلى من (١٢٠) كيلو فولت ويستخدم الهواء المضغوط في هذه القواطع لعمليات الفتح والإغلاق (وتستخدم في الوقت الحاضر للقواطع في نظام الجهد ٦٦ كيلو فولت) .

ويبين الشكل ٢١ توضيح إخماد القوس لقاطع بالهواء المضغوط حيث الشكل (a) يمثل حركة الهواء المضغوط محورية مع ملامس متحرك محوري أيضاً. أما الشكل (b) فيمثل حركة الهواء المضغوط محورية مع ملامس متحرك جانبي . وتمثل الأرقام: -

١) -إلى النهايات ٢) - الملامس المتحرك ٣) - الملامس الثابت ٤) - أنبوب الهواء

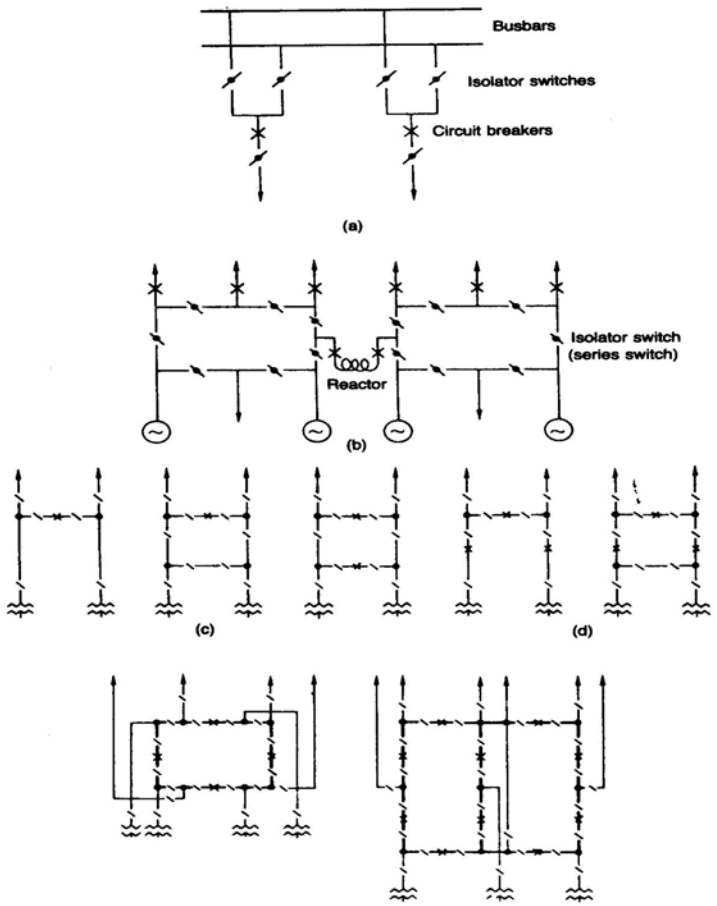
ويخزن الهواء عادة في هذا النوع من القواطع عند ضغط (١,٣٨MN/m٢) ويحرر ويوجه إلى القوس عند سرعات عالية مما يؤدي إلى إطفاء القوس . كما يبين الشكل ٢٢ التجهيزات النموذجية لقاطع يستخدم الهواء المضغوط .

القواطع الآلية (٤٠٠) ك٠ ف تقطع تيارات القصر حتى (٦٠) كيلو أمبير أي تيار قطع (٤٠٠٠٠) ميجا فولت أمبير خلال (٠,٠٤٠) من الثانية بعد وصول إشارة الفصل.

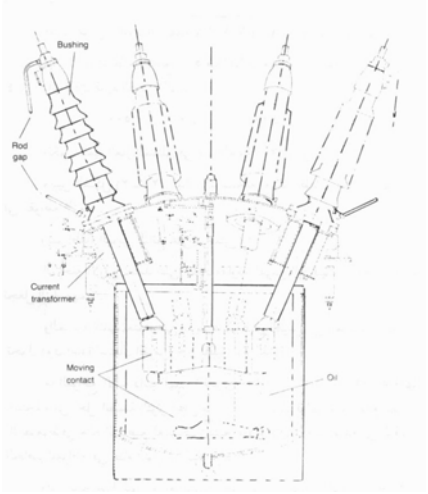
القواطع الآلية (١١٠٠) ك٠ف تكون قادرة على فصل تيارات أعطال (٥٠ -٦٠) كيلو أمبير ويجب أن تكون قادرة على الصمود أمام اختبارات الجهد المتناوب بتردد القدرة لمدة دقيقة واحدة لجهد (١٩٠٠) ك٠ ف في الحالة الجافة و(١٥٠٠) ك٠ ف في الحالة الرطبة واختبارات الجهودات الصدميه للبرق (٢٨٠٠) ك .ف.

إن استخدام سادس فلوريد الكبريت (SF٦) كعازل ووسط قطع في القواطع الآلية يعطي القواطع مميزات أفضل بالنسبة للقواطع ذات الهواء المضغوط منها مقاومته الكهربائية العالية ومميزاته الجيدة لإخماد القوس ويعطي حجم أصغر للقواطع بالنسبة لنفس القيم الاسمية مقارنة مع القواطع الهوائية .

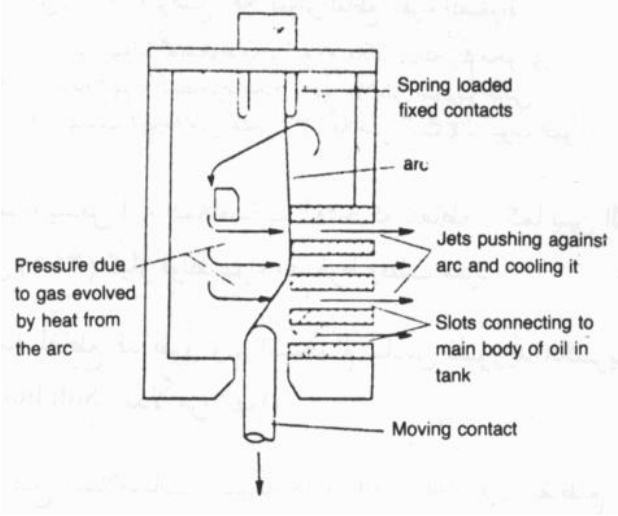
إن المقاومة الكهربائية Electric Strength لسادس فلوريد الكبريت (SF٦) عند الضغط الجوي يساوي المقاومة الكهربائية للهواء عند ضغط جوي بمقدار عشرة أضعاف (١٠ atm.) وتكون درجات الحرارة الناتجة عند حصول قوس كهربائي ضمن سادس فلوريد الكبريت من مرتبة (٣٠,٠٠٠ k) وهذه الدرجة أعلى بكثير من درجة حرارة تفكك الغاز والتي هي (٢٠٠٠k). ويبين الشكل ٢٣ ترتيبات محطة تحويل ٣٨٠/١١٠ kV تستخدم أجهزة قطع (SF٦) .



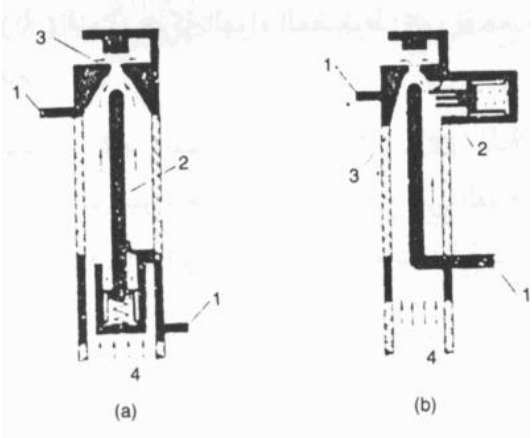
شكل ١٨ : الترتيبات الممكنة لأجهزة القطع.



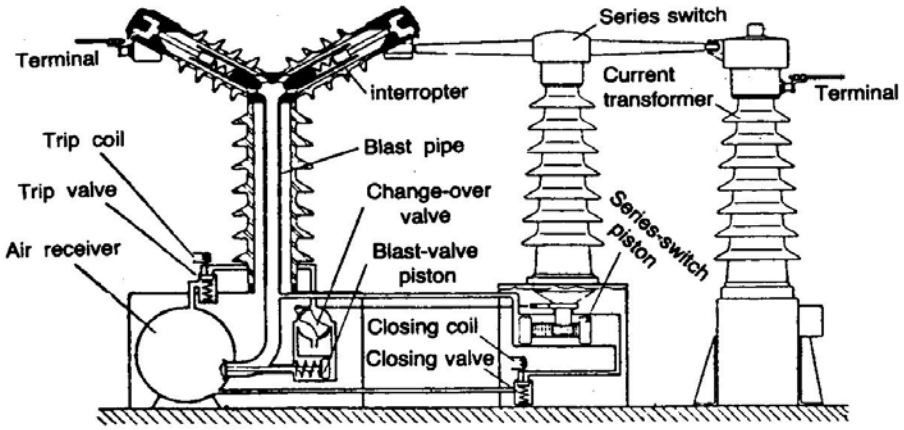
شكل ١٩ : مقطع لقاطع زيتي ٦٦ ك.ف
ثلاثي الوجه.



شكل ٢٠: إخماد القوس لقاطع زيتي.

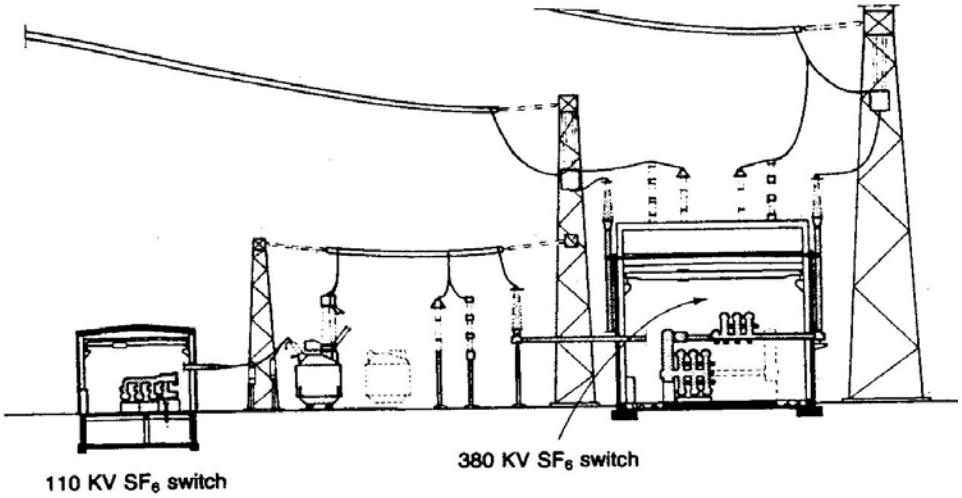


شكل ٢١: إخماد القوس لقاطع هوائي.



Schematic arrangement for typical air blast circuit breaker.

شكل ٢٢: التجهيزات النموذجية لقاطع آلي هوائي.



Arrangement of 380 kV / 110 kV substation using SF_6 switchgear.
(Permission of Brown Boveri.).

شكل ٢٣: التجهيزات النموذجية لقاطع SF٦.

المتممات أو المرحلات (Relays)

إن نظام القدرة الكهربائية قديما كان مكون من مجموعات توليد صغيرة تغذي أحمال محلية. وكان باستطاعة مراقب المحطة في الحالات الطارئة أن يفتح القاطع اليدوي بالرغم من خطورة تشكل القوس الكهربائي. منذ تلك الأيام التاريخية حدث تطور سريع على انتشار الشبكات الكهربائية ومجموعات التوليد وتوسعت وتعقدت مما أدى إلى فرض تطور مماثل في استخدام أجهزة حماية مناسبة.

وكذلك فقد ازداد التوليد في نظام القدرة بشكل كبير جداً. وبازدياد حجم مجموعات التوليد وتعقيد شبكة القدرة أدى بالدول الصناعية بتطوير أنظمة القدرة لديها وذلك بالتصميم الجيد لأجهزة القطع بحيث تتميز بالسرعة لعزل الأعطال بالرغم من الأقواس الكهربائية ذات القدرة العالية وذلك خلال أجزاء صغيرة من الثانية لتحاشي ومنع تلف وانهيار التجهيزات الكهربائية في نظام القدرة.

وتعتبر المنصهرات (Fuses) أول الأجهزة الآلية التي استخدمت في مجال الحماية من الأعطال في الشبكات، فهي تستطيع أن تعزل الأجهزة المتعطلة من الشبكة بسرعة عالية، وتعتبر ذات فعالية وموثوقية كبيرة ولا تزال تستخدم بشكل واسع في دوائر التوزيع بالرغم من أنها تعاني من عدة مساوئ، فهي تحتاج إلى التبديل قبل إعادة التغذية، ويمكن أن تنصهر المنصهرة في أحد الأوجه فقط ويبقى الجهد على الوجهين الآخرين. لذلك فهي لا تحمي من العطل بصورة تامة.

وقد تم التغلب على هذه المساوئ باستخدام القواطع الآلية ذات الفصل المباشر وهي مزودة بحماية حرارية تحمي من ازدياد الحمولة عن حد معين وحماية مغناطيسية تؤدي إلى فصل الدائرة عند حدوث أعطال على القسم المحمي من الشبكة .

وتتميز هذه القواطع بإمكانية فتح وإغلاق الدائرة في الحالات النظامية وكذلك حين حدوث العطل. كما تتميز بإمكانية تغيير الزمن والتيار لهذه القواطع للتحكم بتيار العطل وزمن الفصل.

ولذا المقارنة بين استخدام المنصهرات والقواطع الآلية يتبين أن القواطع الآلية أفضل من الناحية الفنية ولكنها مكلفة أكثر من المنصهرات، أما المنصهرات فإنه يقتصر استعمالها على الدوائر الفرعية لسرعتها وقلة تكاليفها. كما يجب أن نذكر صعوبة تغيير المنصهرات من أجل فصل الأعطال كما هو الحال في القواطع.

وبالنسبة للقواطع الآلية ذات الفصل المباشر فإن استخدامها محدود بجهود الشبكة وفي حال ارتفاع جهد الشبكة المراد حمايتها فإن القواطع الآلية لوحدها غير كافية لعزل الأعطال في الشبكة المراد حمايتها ويجب تدعيمها بأجهزة حماية مناسبة مهمتها اكتشاف وجود الأعطال، وتحديد القواطع الآلية التي عليها

فصل القسم المتعطل وذلك بعد إصدار أوامر الفصل من أجهزة الحماية – المرحلات – المتممات - (Relays) وهذه الأجهزة هي مستقلة عن القواطع وتتحكم ملامسها بملف الفصل للقواطع الآلية. وتعتبر المحاولات الأولى لتصميم أجهزة الحماية ونخص منها مرحلات الحماية (Protective-Relays) والتي تستجيب بعملها في حالات دوائر القصر أو زيادة التيار كما هو الحال في زيادة الحمولة عن حد معين، كانت المرحلات الكهرومغناطيسية (Electromagnetic-Relays) ومنها مرحلة الحافظة المنجذبة (Attracted armature Relay) ويمكن أن تعطي أمر الفصل للقاطع الآلي إما بشكل آلي أي بدون تأخير زمني أو بتأخير زمني محدود. وبعد التجارب تبين لهذه المرحلات مجال محدود من الاستخدام ولها مساوئ حيث إن زمن الفصل يتعلق بتيار العطل. وقد تم التوصل إلى مرحلات أكثر دقة وأكثر سرعة وتتم بخاصية الانتقائية وخاصية الزمن العكسي للتيار حسب العلاقة :

$$I.t = k$$

أي كلما كبر تيار العطل كلما كان زمن الفصل قصيراً والمرحلة أسرع بعزل القسم المتعطل من الشبكة. وقد تم التوصل إلى هذا النوع من المرحلات والتي تسمى بالمرحلات الحثية (Induction-Relays) ومنها المرحلة الحثية ذات القرص وهي تطوير لعداد القدرة الحثيى بعد إضافة ملامس إليه. وهذه الحماية لا تزال مستخدمة حتى الوقت الحاضر. ثم بعد ذلك أضيفت إلى المرحل خاصية الزمن الأصغر المحدود ثم حدث تطور على هذا النوع من المرحلات وذلك بالحصول على خصائص زمن أكثر عكسية أي تعطي زمن فصل أسرع بارتفاع تيار العطل ومن المرحلات الحثية ذات الزمن العكسي جداً والزمن فائق العكسية (Very Inverse and Extremely Inverse) بعد ذلك الحين بدأت تظهر أهمية سرعة إزالة الأعطال وكذلك الحاجة لزيادة الحساسية والعمل الانتقائي للمرحلات.

كما ظهر عنصر الممانعة السريع والذي يعمل خلال دورة واحدة ويستعمل مبدأ الجائز المتوازن (Balanced Beam) كما تمت محاولات لاستخراج المرحلات التفاضلية (Differential Relays) ذات السرعة العالية على خط النقل الرئيسية ولحماية المحولات والمولدات والمرحلات التفاضلية تقل الكميات الكهربائية على طرفي القسم المحمي وتعمل عندما تنحرف النسبة زاوية الوجه أو المجموع الجبري للكميات المقارنة عن قيمة محددة مسبقاً.

حال استخدام هذه الحماية لحماية خطوط النقل فإنه يتوجب نقل المعلومات المطلوبة من النهاية البعيدة للخط إلى النهاية الأولى من أجل المقارنة وغير ذلك ويتطلب ذلك إيجاد وسيلة لنقل المعلومات وهي إما استخدام دوائر سلكية بأسلاك البيلوت (Pilot wires) وتعمل بتردد الشبكة الكهربائية أو قنوات الحامل (Carrier Current Channels) والتي تستخدم نواقل الخط المحمي نفسه وتعمل بالتردد

الراديوي (Radio Frequency). وظهر فيما بعد الحمايات التي يعتمد عملها على مبادئ المركبات المتناظرة ذات التتابع الموجب والتتابع الصفري.

كما ظهرت مرحلات زيادة التيار الاتجاهية لحماية الشبكات المعقدة والمغذاة من عدة مصادر. كما ظهرت الحمايات المسافية لحماية خطوط النقل ذات الجهد العالي.

إن المعلومات التي استعرضناها هي حول مرحلات الحماية الكهرومغناطيسية Electromagnetic-Relays - أما المرحلات الاستاتيكية (Static Relays) فقد انتشرت في الوقت الحاضر بشكل واسع بسبب أدائها الجيد واستطاعة دخلها المخفضة Burdens وحجمها الصغير ولا تحتاج إلى الصيانة.

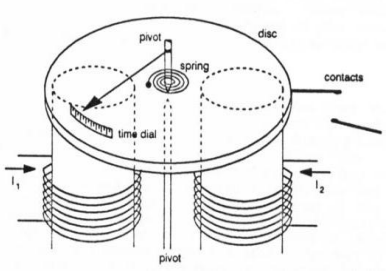
وتعرف هذه المرحلات بأنها المرحلات التي لا تتضمن أجزاء متحركة (No-moving parts) وتستخدم الأجهزة الاستاتيكية لأعمال القياس والتحكم والمراقبة والحماية ومن المحتمل أن كل محطة توليد أو محطة تحويل ترتبط مع مركز تحكم رئيسي بإرسال واستقبال معلومات القياس والعدادات والحماية والتحكم عبر حاسبات رقمية مرسلة أو مستقبلة خلال قناة أسلاك أو قناة حاملة.

ولإجراء مقارنة بين المرحلات الاستاتيكية والمرحلات الكهرومغناطيسية فإن المرحلات الاستاتيكية Static Relays تتصف بالمميزات الرئيسية التالية: الاستجابة السريعة، الحياة الطويلة والمقاومة العالية للصدمات والاهتزاز وذات إعادة وضع سريعة وقيمة إفلات عالية وعدم وجود تجاوز في مرحلة الحماية Over Shoot بسبب عدم وجود أعطال ميكانيكية وتخزين حراري. ويمكن الحصول على مميزات أفضل بسبب عدم وجود احتكاك نقاط الارتكاز والحوامل ومشاكل الملامس (تآكل ، ارتداد) ولا تحتاج إلى صيانة مثل المرحلات الكهرومغناطيسية. لا يسبب تكرار العمل أي تلف في المرحلة الاستاتيكية. إمكانية الحصول على حساسية أعلى وبالتالي محولات تيار ومحولات جهد أصغر عند الاستخدام. بسبب مستويات القدرة المنخفضة لدوائر القياس يمكن تصغير الأجهزة المستخدمة وبالتالي تصغير أخطاء محولات التيار.

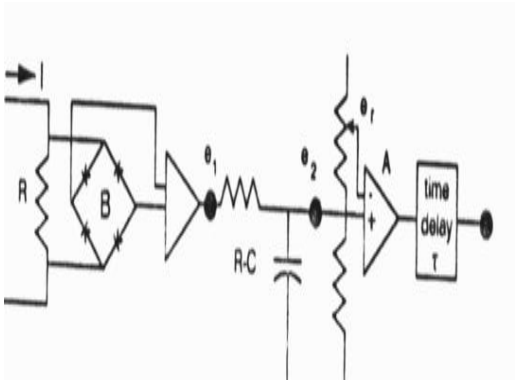
ثم حدثت طفرة كبيرة في عالم الحماية حيث ظهرت الحماية الرقمية. تتميز الحماية الرقمية بالإمكانية الكبيرة في تخزين المعلومات وبالسرعة الفائقة في إجراء العمليات الحسابية وإنجاز العلاقة الرياضية، وبالقدرة على ترتيب واستعمال المعلومات مهما كانت طبيعتها. والعناصر التي يتكون منها الحاسب الرقمي المستخدم في الحماية هي وحدة الإدخال وحدة الإخراج، الذاكرة الخارجية، وحدة المعالجة المركزية، وحدة التحكم والمراقبة، الذاكرة الرئيسية.

وقد تم تطبيق الحماية الرقمية بصورة سريعة جداً وأصبحت في كل المحطات الآن. وقد تتميز بسرعة فائقة، وموثوقية عمل.

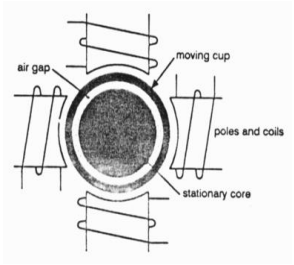
يبين شكل ٢٤ الأشكال المختلفة لتطور المرحلات من النوع الكهرومغناطيسى إلى النوع الاستاتيكي ثم أخيرا بالنوع الرقمي.

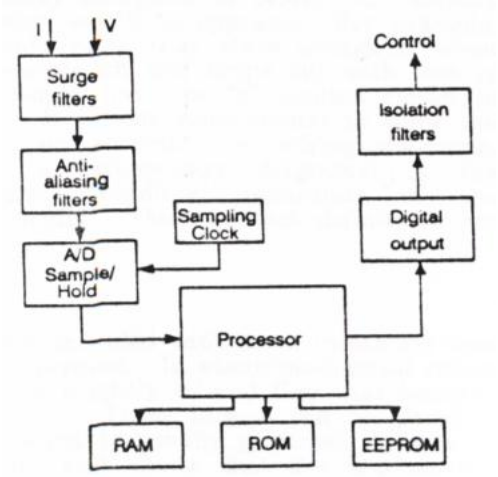


١



٢





٣

شكل ٢٤ : مجموعة مختلفة من المرحلات

١ -مرحلات كهرومغناطيسية

٢ -مرحل استاتيكى

٣ -مرحل رقمي

المصطلحات الأساسية

يتفق مهندسو الحماية على بعض المصطلحات الأساسية المستعملة في تصميم وتشغيل المنظومة. ونقدم فيما يلي أهم هذه المصطلحات.

مناطق الحماية Protection Zones

من الأمور الواجب مراعاتها جيدا في تصميم منظومة الحماية هو عدم ترك أي نقطة في الشبكة بدون حماية. ولتحقيق هذا الغرض يتم تقسيم الشبكة إلى مناطق متداخلة تسمى كل منطقة منها منطقة حماية بحيث يمكن حماية كل منطقة بطريقة مناسبة.

يتم تقسيم الشبكة عادة إلى مناطق الحماية الآتية:

١ - منطقة المولد، أو المولد مع المحول.

٢ - منطقة المحول.

٣ - منطقة قضبان التوزيع.

٤ - منطقة خطوط النقل (الكابلات والخطوط الهوائية).

٥ - منطقة الأحمال والمحركات.

يبين الشكل ٢٥ طريقة تقسيم الشبكة إلى مناطق الحماية السابق ذكرها.

الحماية الرئيسية والاحتياطية Main and back-up protection

عند حدوث خطأ على الشبكة يجب فصل الجزء الخاطئ عن باقي الشبكة في أقل فترة زمنية ممكنة. يمكن أن يؤدي فشل أجهزة الحماية والقطع في فصل الخطأ إلى خطورة شديدة على الأفراد العاملين وكذلك تلف وتدمير أجهزة الشبكة. لهذا السبب، فإن فلسفة الحماية تعتمد دائماً في حماية كل نقطة من الشبكة على نوعين من الحماية:

١. الحماية الرئيسية، وهي أجهزة الحماية الرئيسية المسؤولة أساساً عن فصل الجزء الخاطئ بأسرع وقت ممكن وذلك تبعاً لنظام تنسيق منظومة الحماية.

٢. الحماية الاحتياطية، وهي أجهزة حماية أخرى تكون مسئولة عن فصل الجزء الخاطئ في حالة فشل أجهزة الحماية الرئيسية في فصل الخطأ. وتعمل أجهزة الحماية الثانوية بتأخير زمني متعمد عن أجهزة الحماية الرئيسية وذلك حتى تترك لها المجال للعمل أولاً.

شكل ٢٦ يبين منطقة الحماية والمنطقة الخلفية في حماية النظام اللاوحدة وذلك باستخدام الحماية المسافية. فالحماية عند A تعمل كحماية أساسية من أجل الأعطال عند X أو عند Y والتي لا تفصل لسبب ما بالحماية عند C.

الانتقائية والتمييز Selectivity and Discrimination

يقصد بانتقائية منظومة الحماية قدرة تلك المنظومة على انتقاء الجزء الخاطئ من الشبكة وفصله عن باقي أجزاء الشبكة السليمة دون غيره. من الصعب في أغلب الأحيان الحصول على انتقائية كاملة حيث يكون ذلك مكلفاً وربما دون داعٍ. وتبعاً لذلك فإن درجة انتقائية منظومة الحماية تحدد بعوامل مختلفة منها أهمية الأحمال والتكاليف وكذلك طريقة التشغيل. ويمكن القول بصفة عامة أنه من المسموح به في أغلب الحالات فصل بعض الأجزاء السليمة من الشبكة في حالة حدوث خطأ ما على أحد الأجزاء مما يعني أن الانتقائية غير كاملة تماماً.

أما التمييز فهو قدرة منظومة الحماية على التمييز بين ما يأتي (كل على حدة).

- حالات التشغيل الطبيعية وحالات التشغيل غير الطبيعية.
- حالات التشغيل غير الطبيعية داخل منطقة الحماية وحالات التشغيل غير الطبيعية خارج منطقة الحماية.

سرعة العمل Speed of Operation

يعتبر من أهم المطالب في أجهزة الحماية، فعند حدوث عطل في منطقة ما فإن الحماية في هذه المنطقة يجب أن تقرر دون تأخير ما إذا كان هذا العطل ضمن منطقة الحماية أو خارجها فكلما طالت فترة بقاء العطل استمر تيار العطل مما يؤدي إلى تلف الأجهزة.

الحساسية Sensitivity

تعتبر قيمة أقل كمية كهربية حقيقية يبدأ عندها اشتعال المرحل، فمثلا المرحلات التي تعمل بتار قصر فإن الحساسية تعنى أقل تيار قصر يمر بالمنطقة المحمية ويعمل على تشغيل المرحل. وتعرف حساسية مرحل الحماية باستخدام الوقاية باستخدام عامل الحساسية S كالآتي:

$$S=I_{sc(min)}/Io$$

$I_{sc(min)}$ = قيمة أقل تيار قصر يمر بالمنطقة المحمية

Io = قيمة أقل تيار يعمل على تشغيل مرحلات الوقاية

الموثوقية Reliability

تعني عدم فشل مرحلات الوقاية في عزل القصر الحادث في منطقة الحماية. وأيضا عدم حدوث أعطال بمكونات نظام الوقاية وأن تعمل المرحلات عند الاحتياج فقط.

التنسيق Coordination

لتنسيق في منظومة الحماية هو عملية ضبط جميع أجهزة الحماية والقطع في تلك المنظومة (مصهرات – مرحلات – قواطع دائرة) بحيث يتم تحديد الحالة التي يعمل عندها كل جهاز وزمن عمل هذا الجهاز

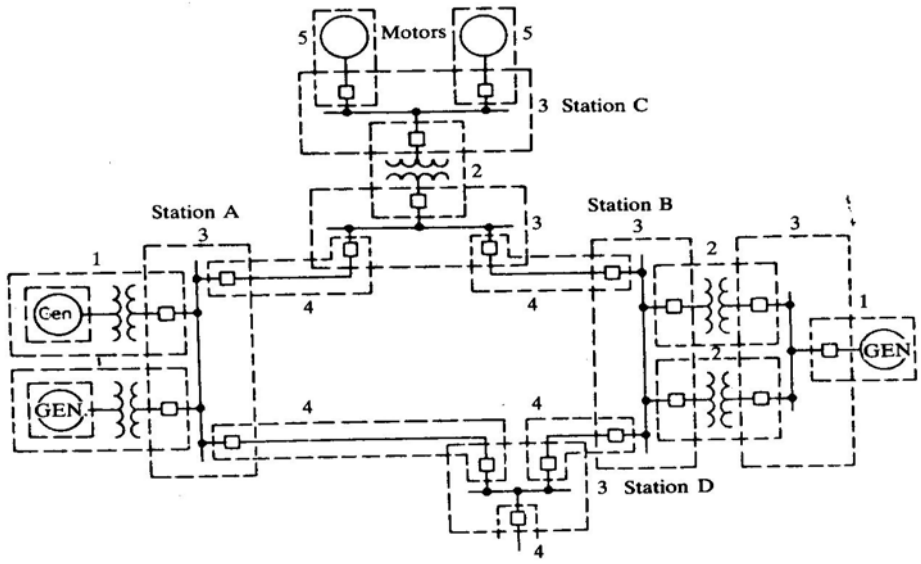
وذلك تبعاً لطبيعة الخطأ الناتج من حيث مقداره ونوعه. يمكن عن طريق عملية التنسيق الحصول على الانتقاء المطلوب من عملية الحماية.

الاستقرار Stability

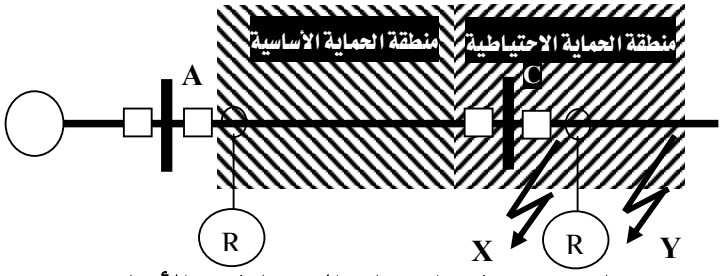
وتعنى خاصية الاستقرار أن يظل نظام الوقاية مستقرا ولا تعمل مرحلات الوقاية عند حدوث قصر خارج منطقة الحماية أو عند حدوث حالات فجائية.

الاقتصاد Economic

الحصول على أقصى وقاية وبأقل التكاليف.



شكل ٢٥ : نظام قدرة مع مناطق الحماية.



شكل ٢٦ : منطقة الحماية الاحتياطية والأساسية.

أنواع المرحلات وتركيبها وطرق ضبطها

إن خطط الحماية باستخدام المرحلات يتكون إما من مرحل واحد أو مجموعة من المرحّلات تتصل مع بعضها البعض في دوائر مختلفة محدودة. وخطة الحماية تقوم بحماية الخطوط، الكابلات، المحولات، المولدات، القضبان المجمعة والتجهيزات الكهربائية من أخطار الأعطال الكهربائية أثناء حدوثها.
وتتكون دائرة الحماية من جزئين أساسيين هما جزء الاستجابة أو القياس والجزء المنطقي أو جزء العمل.
أما جزء الاستجابة أو القياس فهو الجزء الأساسي في الحماية ويتكون من المرحّلات الرئيسية التي تقوم بمراقبة الظروف والقيم في الدائرة المحمية باستمرار وتستجيب إلى أعطالها أو أحوالها غير النظامية، وترسل عندئذ الإشارات المناسبة إلى الجزء المنطقي أو جزء العمل من ناحية الحماية.
أما الجزء المنطقي أو جزء العمل فإنه عنصر مساعد يتلقى أوامره من جزء الاستجابة فيعمل وفق برنامج وتسلسل محدد مسبقاً ويمكنه أن يرسل نبضة تحكم أو إشارة فصل لقاطع الدائرة أو غير ذلك ويمكن أن يكون الجزء المنطقي مرحلات كهرومغناطيسية أو كهر وميكانيكية أو من دوائر مشكلة من أنصاف النواقل أو ما تسمى بالمرحلات الاستاتيكية. وتصنف مرحّلات الحماية إلى مجموعتين:
المجموعة الأولى : وهي المرحّلات الرئيسية – وهي التي تستجيب للأعطال.
والمجموعة الثانية : وهي المرحلات المساعدة – وهي التي تقوم بالعمل حسب الأوامر التي تأتيها من المرحلات الرئيسية.
إن المرحلات الرئيسية تشمل عدداً من الحمايات وذلك حسب أنواع الأعطال المختلفة التي تحدث، حيث إن مظاهر دائرة القصر هي زيادة في التيار وهبوط في الجهد وانخفاض في الممانعة للجزء المحمي من الدائرة وبناء على ذلك فإن مرحلات الاستجابة في هذه الحالة هي:

- المرحلات التيارية التي تتجاوب مع مقدار التيار.
- ومرحلات الجهد التي تتجاوب مع مقدار الجهد.
- والمرحّلات المسافية وتتجاوب مع الممانعة سواء كانت مفاعلة أو مقاومة.

بالإضافة إلى المرحلات السابقة تستعمل مرحلات القدرة الاتجاهية التي تتجاوب مع مقدار واتجاه قدرة دائرة القصر التي تجري في منطقة الحماية.
إن المرحّلات التي تعمل عندما تزيد الكمية المؤثرة عن قيمة محددة تدعى بمرحّلات الزيادة مثل حماية زيادة التيار وحماية زيادة الجهد، أما المرحلات التي تعمل عند هبوط الكمية إلى أقل من قيمة محددة

فتسمى مرحلات الهبوط مثل حماية هبوط الجهد ، وحماية هبوط التردد. أما مرحلات التردد فإنها تعمل عندما يزداد التردد أو ينقص عن القيمة النظامية. أما مرحلات زيادة التيار الحرارية فإنها تستجيب إلى زيادة الحرارة الناتجة عن التيار في حالة زيادة الحمولة.

أما المرحلات المساعدة ومن بينها المرحلات الزمنية والتي تدخل تأخيراً زمنياً محدداً في عمل الحماية، والمرحلات المؤشرة تشير وتسجل عمل الحماية. والمرحلات المساعدة التي تستعمل لزيادة إمكانية الوصل أو الفصل للمرحلات الرئيسية.

تصنيف خطط الحماية

نظام الوحدة Unit-Protection

حماية نظام الوحدة Unit-Protection يشير إلى حماية منطقة محددة (محول أو محرك أو مولد) بشكل مستقل عن الأقسام المجاورة من النظام وهذا النظام يصنف إلى الحماية بأسلاك البيلوت Pilot والحماية بدون أسلاك البيلوت وتصنف الحماية بأسلاك البيلوت إلى:

١- أعطال الوجه مع الأرضي وتتم حمايتها باستخدام التيار المتوازن والجهد المتوازن Balanced

٢- أعطال الأرض المقيدة (المتوازنة) Balanced Earth Fault.

٣- مقارنة الاتجاه Directional Comparison.

٤- مقارنة الطور (الوجه) Phase Comparison.

أما الحماية بدون أسلاك البيلوت فتصنف إلى:

١- أعطال الأرض المتوازنة Balanced Earth Fault وتستخدم فيها الحماية الاتجاهية وغير الاتجاهية Directional and Non-Directional.

٢- الحماية المسافية Distance Relays.

٣- التيار الحامل Carrier Current ويستخدم فيها مقارنة الطور.

٤- إنزياح النقطة الحيادية Neutral Displacement.

٥- حماية تسرب الهيكل Frame Leakage.

٦- حماية بوخهلز Buchholz.

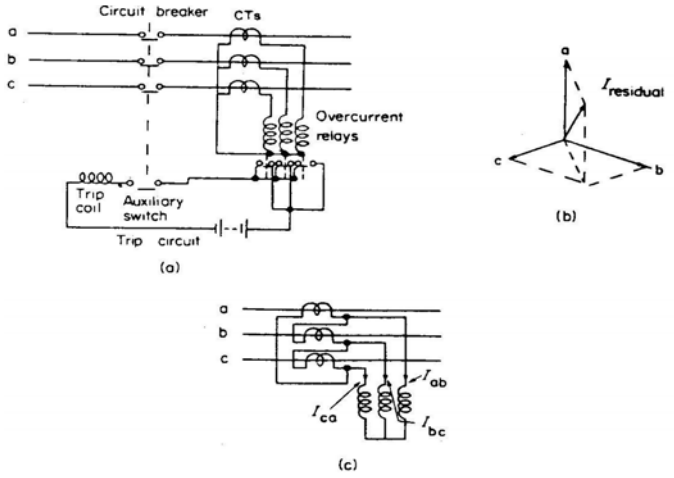
نظام اللاوحدة Non Unit-Protection

نظام حماية اللاوحدة Non–Unit فيستخدم فيه عدة مرحلات مرتبطة لتعطي حماية أكثر من منطقة واحدة وتشمل:

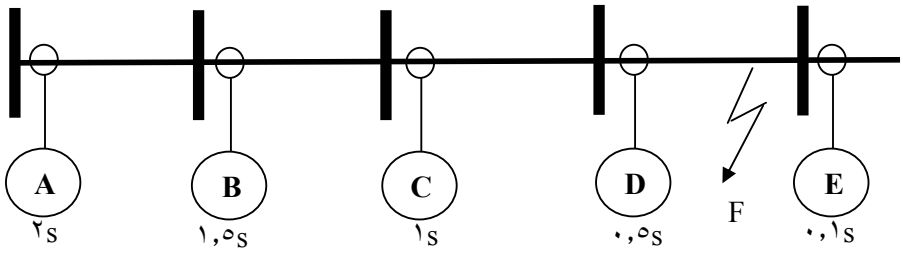
١- حماية زيادة التيار وتكون اتجاهية وغير اتجاهية.
٢- العطل الأرضي Earth Leakage غير الاتجاهي.
٣- الحماية المسافية Distance Relays.
٤- زيادة درجة الحرارة.
٥- تتابع الطور السالب Negative Phase Sequence.

حماية زيادة التيار Over Current Protection

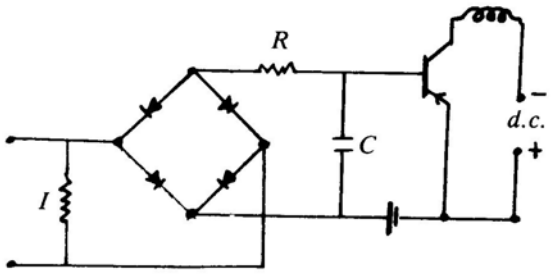
وهي الحماية التي تقوم بالعمل عندما يرتفع التيار في الدائرة المحمية فوق قيمة محددة مسبقاً. وهي من الحمايات الأساسية والبسيطة معتدلة الكلفة وتستعمل بشكل واسع لحماية الخطوط، الكابلات، المولدات، المحولات والمحركات وذلك من الأعطال الناشئة عن دوائر القصر للأطوار أو تماس أحد الأطوار مع الأرض في النظام ذي الحيادي المؤرض وتعمل أيضاً عند زيادة الحمولة. ومنها المرحلات ذات التأخير الزمني المحدود ويكون فيها الزمن محدود ومستقل عن قيمة تيار العطل ومثل هذه المرحلات يكون التدرج في الزمن. وتستخدم عملياً للخطوط الشعاعية أو الحلقية. والنوع الثاني ذات الزمن العكسي وهي من نوع المرحلات التحريضية ومزودة بمخمد (Damping) ويتناسب زمن التشغيل عكساً مع قيمة تيار العطل وكلما كبر تيار العطل كلما كان زمن الفصل أسرع وتصنف إلى عدة أنواع كما نذكر أيضاً أنه من خطط الحماية من زيادة التيار يتم استخدام المنصهرات Fuses كما يتم استخدام القواطع الآلية ذات الفصل المباشر. يبين الشكل ٢٧ دائرة بسيطة لخطة حماية زيادة التيار حيث يبين الشكل (a) توصيلات الدائرة وخاصة محولات التيار التي توصل بشكل نجمي. والشكل (b) المخطط الشعاعي لتيارات المرحل في الوصل النجمي لمحولات التيار. والشكل (c) يبين توصيل محولات التيار بشكل مثلثي.



شكل ٢٧ : حماية ضد زيادة التيار.



شكل ٢٨ : طريقة حساب حماية زيادة التيار في خط شعاعي مغذى من طرف واحد.



شكل ٢٩ : مرحل زيادة التيار من النوع الاستاتيكى.

كما يبين الشكل ٢٨ خطة حماية زيادة تيار لأحد المغذيات الشعاعية باستخدام مرحلات زيادة التيار ذات الزمن العكسي. والأزمنة المبنية على الشكل من أجل تيار عطل في النقطة F يساوي ٢٠٠٪ من تيار الحمولة الكامل. ومن أجل عطل في نفس النقطة وتيار عطل ٨٠٠٪ فإن أزمنة الفصل تصبح على النحو التالي:

زمن الفصل عند A = ٢ (ثانية) $\times \frac{200}{800}$ = ٠,٥ ثانية

وعند B ٠,٣٧٥ ثانية

وعند C ٠,٢٥ ثانية

وعند D ٠,١٢٥ ثانية.

ويكون زمن الفصل عند D هو ٠,١٢٥ + ٠,٣ = ٠,٤٢٥ ثانية

حيث إن ٠,٣ ثانية هو زمن عمل القاطع الآلي.

وفي الوقت الحاضر أصبح الاتجاه السائد نحو استخدام الحمايات الاستاتيكية، والتي تتميز بسرعة العمل وعدم وجود أجزاء متحركة في الحماية ويبين الشكل ٢٩ الدائرة الأساسية لمرحل زيادة تيار استاتيكي Solid–State Over Current Relay.

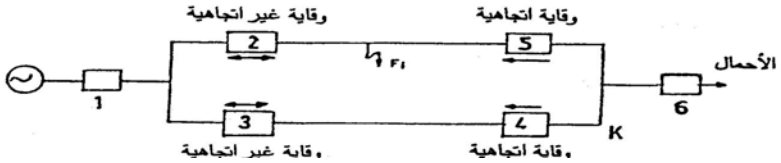
الحمايات الاتجاهية Directional Protections

إن حماية زيادة التيار الاتجاهية تتجاوب مع مقدار التيار ومع اتجاه جريان القدرة عند حدوث الأعطال، وتتكون بشكل أساسي من حماية زيادة التيار مكملة بالمرحل الاتجاهي للقدرة، وتبرز ضرورة استعمالها في الشبكات التي تتغذى من الطرفين وفي الشبكات الحلقية.

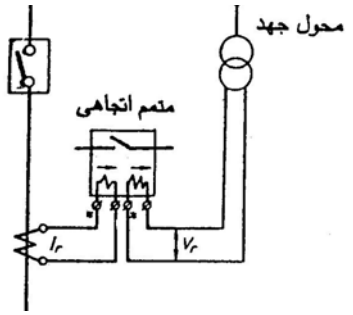
وفي تجهيزات محدودة وهامة مثل المولدات فإن القدرة بشكل دائم تنساب باتجاه الخارج باستثناء حالات منها عندما يحدث للمولد عطل، أو عندما يفقد قوته المحركة ويصبح عمله كمحرك ويسحب القدرة من الشبكة. مثل هذه الحالة يتم كشفها بالمرحل الاتجاهى Directional Relay والتي تغلق ملامسها من أجل القدرة التي تنساب إلى الداخل.

كما تستخدم المرحلات الاتجاهية للتحكم بمرحلات زيادة التيار ذات التأخير الزمني مثل هذه المرحلات يعمل على أساس مقدار الجهد وتيار الدائرة المحمية. وإذا كان المقدار موجباً فإن العزم الناشئ يُبْقي ملامسات المرحل مفتوح. ويبين الشكل ٣٠ إحدى خطط تطبيقات الحماية الاتجاهية للخطوط الحلقية، أو التي تتغذى من مصدر واحد.

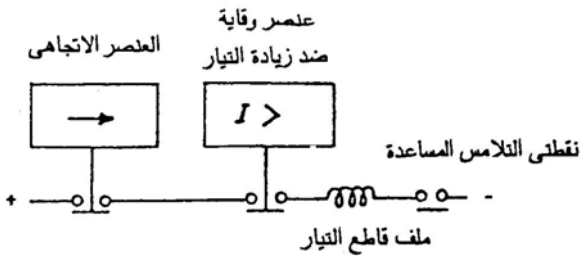
ويشير السهم إلى اتجاه الفصل عند حدوث الأعطال. كما يشير السهم بالاتجاهين إلى موقع الحمايات غير الاتجاهية. يبين الشكل ٣١ تمثيل لمرحل الوقاية الاتجاهى. كما يبين الشكل ٣٢ دائرة مرحل وقاية ضد زيادة التيار الاتجاهي. كما يبين شكل ٣٣ الدائرة الأساسية لمرحل اتجاهي استاتيكي كمقارن طور (وجه).



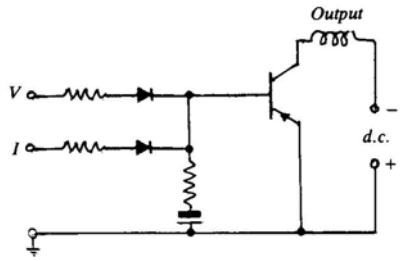
شكل ٣٠: النظام الحلقي والحماية الاتجاهية.



شكل ٣١: تمثيل مرحل الوقاية الاتجاهية.



شكل ٣٢: دائرة مرحل حماية ضد زيادة التيار الاتجاهي.



شكل ٣٣: دائرة مرحل حماية اتجاهي استاتيكي.

الحمايات المسافية Distance Protections

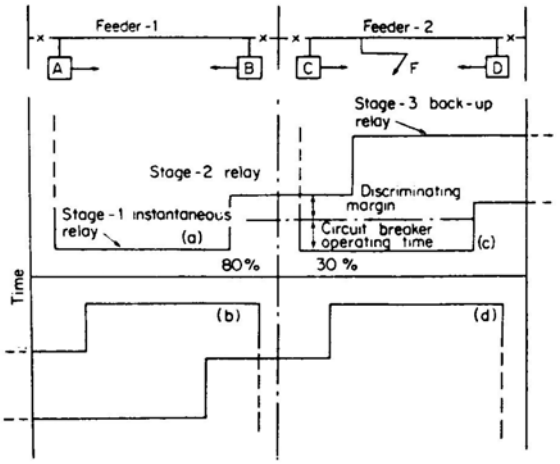
عندما يكون التأخير الزمني غير مناسباً في حمايات زيادة التيار، فإنه يتم استخدام الحمايات المسافية. ويوجد أنواع عديدة من هذه الحماية، وتستخدم بشكل أساسي لحماية خطوط الجهد العالي. فإذا كانت ممانعة الجزء المراد حمايته (Z_L) فإن التيار المار خلال الجزء المراد حمايته إلى منطقة العطل يؤدي إلى جهد يساوي إلى ($V=I.Z_L$) . وإذا تمت مقارنة الجهد مع التيار في الحماية وتم ترتيب خطة بحيث تعطي الحماية أمر الفصل عندما يكون ($V < I.Z$).

وعادة فإن الحماية تقيس الممانعة $Z = \frac{V}{I}$ وتتناسب Z مع طول الخط

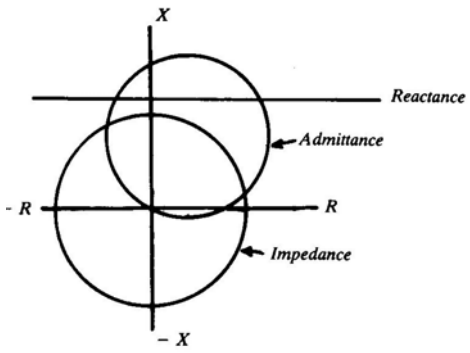
وتوجد إمكانية لتغيير الحماية لتعطي أمر الفصل عندما يكون العطل ضمن المنطقة المحمية. ويعتبر العمل الانتقائي في الحماية المسافية أسهل في الحصول مما هو عليه في حماية زيادة التيار. ويبين الشكل ٣٤ خصائص الزمن المتدرج للحماية المسافية بثلاث مراحل. كما يبين الشكل ٣٥ خصائص مرحلات الممانعة Impedance والمسايرة (أو موه) Admittance، و خصائص المفاعلة Reactance. ويظهر من الشكل أن خصائص الممانعة هي دائرة مركزها مبدأ المحاور كما أن خواص المسايرة هي دائرة تمر من مبدأ المحاور. أما خصائص المفاعلة فهي مستقيم يوازي المحور الأفقي.

ويوضح شكل ٣٦ تمثيل مبسط لمرحل الوقاية المسافية الاستاتيكية حيث يتم توصيل أطراف الجهد، من الملف الثانوي لمحولات الجهد، إلى محول جهد مساعد ويتم تحويل مخرجة إلى تيار ثم يقارن هذا التيار بتيار المخرج من محول التيار المساعد، ويعرف هذا النوع بمرحل الوقاية المسافية الاستاتيكى ذي مدخل تيار، كذلك يمكن استخدام نفس التمثيل ولكن بتحويل تيار المدخل إلى جهد تم مقارنته بجهد المخرج من محول الجهد المساعد ويعرف هذا النوع بمرحل الوقاية المسافية الاستاتيكى ذي مدخلي جهد.

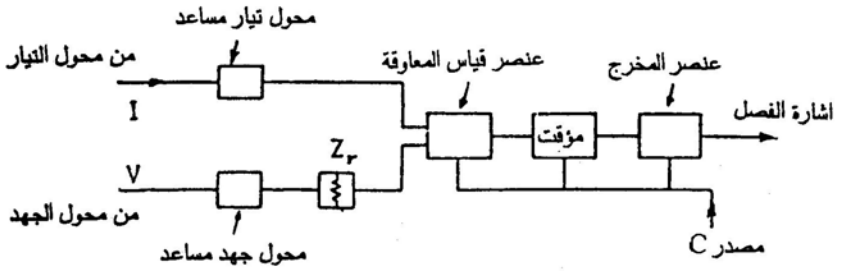
كما يبين الشكل ٣٧ مقارن الجهد باستخدام قنطرتي نوحيد ، ويتم تحويل التيار I إلى الجهد IZ ثم يقارن بالجهد V. وبذلك يكون مدخلا المقارن هما V و IZr.



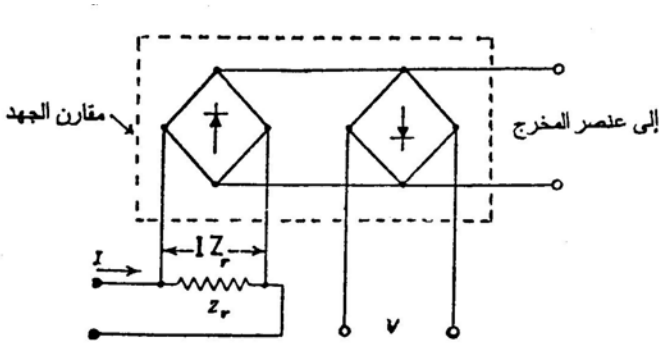
شكل ٣٤: خصائص الزمن المتدرج للحماية المسافية بثلاث مراحل.



شكل ٣٥: خصائص المرحلات.



شكل ٣٦: تمثيل مرحل الوقاية المسافية الاستاتيكية.



شكل ٣٧: مقارن الجهد باستخدام قنطرتي نوحيد.

الحماية التفاضلية Differential Protections

وتعتمد في عملها 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 حصول عطل داخل المنطقة المحمية فإن ذلك يؤدي إلى عدم تساوي التيار الداخل والتيار الخارج من منطقة الحماية وذلك بسبب تسرب تيار إلى منطقة العطل ويؤدي ذلك إلى تشغيل المرحل. وهذه الحماية تزيل الأعطال في أي نقطة من نقاط الدائرة المحمية فوراً وتبدي انتقائية جيدة عند ظهور الأعطال خارج المنطقة المحمية.

وعندما تستخدم هذه الحماية للتجهيزات الكهربائية مثل المولدات والمحولات فإن هذه الحماية تسمى حماية التيار التفاضلية ولكن عند استخدامها لحماية الخطوط فإنه يتطلب إيجاد وسيلة لنقل المعلومات المراد مقارنتها من إحدى نهايتي الخط إلى النهاية الأخرى والوسائل المستخدمة لنقل مثل هذه المعلومات هي إما دوائر سلكية تسمى بأسلاك البيلوت أو بالأسلاك الطيارة Pilot-Wires وتعمل بتردد الشبكة

الكهربائية. أو يستخدم تقنية التيار الحامل والتي تستخدم نواقل الخط المحمي نفسه وتعمل بالتردد الراديوي ومعظم خطط الحماية، هذه تعتمد على أحد المبادئ الأساسية الأربعة التالية:

١- مقارنة التيار.

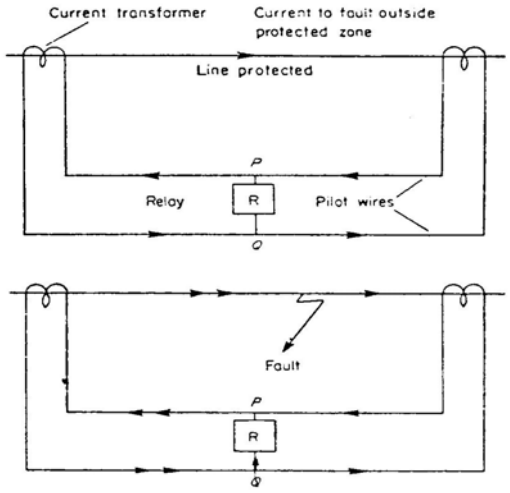
٢- مقارنة الطور.

٣- مقارنة الاتجاه.

٤- الإطلاق المنقول Transferred Tripping .

وطريقة استخدام أسلاك البيلوت مكلفة ولا تستخدم إلا لحماية الخطوط ذات الأهمية الكبيرة وعندما يكون الخط طويلاً تستخدم الطريقة الثانية طريقة الحماية بالتيار الحامل. وهذه الطريقة تستخدم لأغراض أخرى، بالإضافة إلى غرض الحماية.

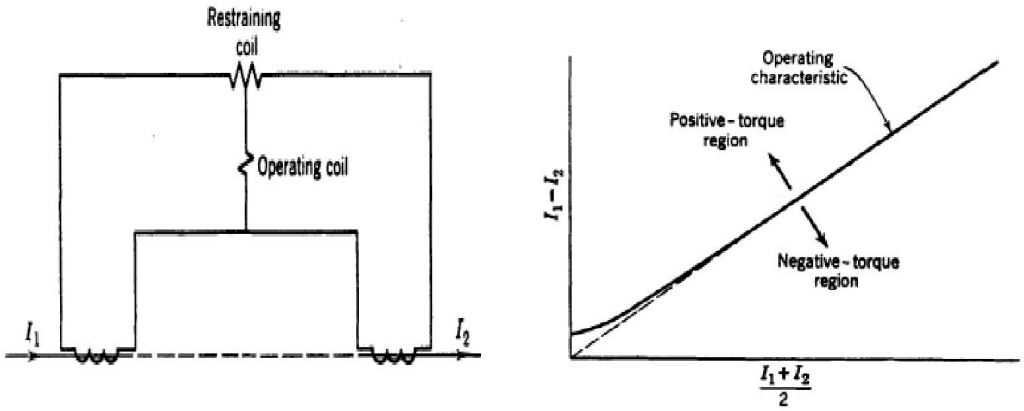
ويبين الشكل ٣٨ الحماية التفاضلية (طريقة التيار الدوار Circulating-Current ولأحد الأطوار فقط. فالشكل (a) يبين توزيع التيار في حالة عطل خارج المنطقة المحمية، ويلاحظ عدم مرور أي تيار خلال ملف المرحل R. كما يبين الشكل (b) توزيع التيار في حالة حدوث عطل داخل المنطقة المحمية. ويلاحظ مرور تيار خلال ملف المرحل مما يؤدي إلى عمل المرحل وإغلاق ملامساتها لتعطي أمر الفصل للقواطع الآلية المرتبطة معها لعزل منطقة العطل. وتستخدم هذه الحماية لحماية المولدات، الخطوط، المحولات، والقضبان المجمعة. كما يبين الشكل ٣٩ توصيل الحماية التفاضلية لأحد الأطوار مع خصائص التشغيل. فالشكل يبين توصيل الحماية التفاضلية باستخدام ملف تشغيل Operating-Coil وملف مقاومة Restraining. ويبين الشكل خصائص انحياز المرحل في الحماية التفاضلية والذي يمثل علاقة تيار التشغيل مع التيار الدوار أو المقاوم. وترسم هذه المميزات على مستوى يمثل المحور الأفقي التيار ٢/(I١+I٢) والمحور العمودي التيار
($I_١ - I_٢$). وتعمل المرحلة باتجاه السهم العلوي ولا تعمل باتجاه السهم السفلي.



(a)

(b)

شكل ٣٨: الحماية التفاضلية.



شكل ٣٩: الحماية التفاضلية وخصائص التشغيل.

الوقاية ضد زيادة وانخفاض الجهد

Over-voltage and Under-voltage Protection

تغذي مرحلات الوقاية ضد زيادة أو انخفاض الجهد من الملفات الثانوية لمحولات الجهد. وتعمل ملفات المرحل بجهد مقنن ١٠٠ أو ١١٠ أو ٢٢٠ فولت تيار متردد AC. وفي مرحلات الوقاية الأستاتيكية يضاف محول (أو محولات) جهد مساعد (Auxiliary Voltage Transformer) لتخفيض قيمة الجهد المقنن إلى قيمة مناسبة لتغذية الدوائر الإلكترونية . وفيما يلي توضيح لأنواع مرحلات الوقاية ضد زيادة وانخفاض الجهد .

مرحلات الوقاية ضد زيادة أو انخفاض الجهد الكهرومغناطيسية

هناك أنواع متعددة من هذه الرحلات ومنها:

- مرحل وقاية ذو حافظة مفصلية (Hinged Armature Type Relay) ويعمل لحظياً ، كما هو مبين في شكل ٤٠(١).
- مرحل وقاية ذو جزء حديدي متحرك (Moving Iron Type Relay) ويعمل لحظياً ، كما هو مبين في شكل ٤٠(٢).

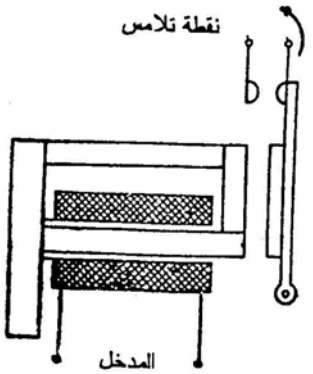
ويوضح شكل ٤١ طريقتين لتوصيل محولات الجهد ، أحدهما توصيله نجمة مؤرضة للحصول على جهد ثانوي ثلاثي الأوجه ، والأخرى توصيله دلتا للحصول على قيمة جهد عدم الاتزان للأوجه الثلاثة.

وفيما يلي أمثلة لمرحلات الوقاية ضد الجهد:

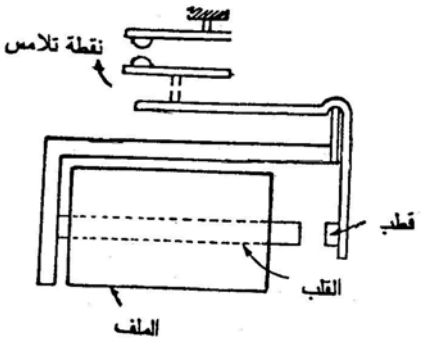
١) مرحل وقاية ضد زيادة الجهد حسب المبين في شكل ٤٢ و يعمل بجهد مقنن Vn يساوي ٢٢٠ فولت وتردد ٥٠ هرتز وحدود ضبط المرحل من ١ إلى ٢ من قيمة الجهد المقنن Vn. ويركب على وجه واحدSingle-Phase وهذا المرحل ذو جزء حديدي متحرك ويعمل لحظياً Instantaneous moving-iron relay ويحتوي على :

نقط تلامس (إما وضع الفتح أو القفل) – مجموعة مقاومات على التوالي مع ملف الجهد للتغلب على حالة التشغيل المستمر للملف تجنبا لحدوث ارتفاع في درجة حرارة الملف منعا للتلف.

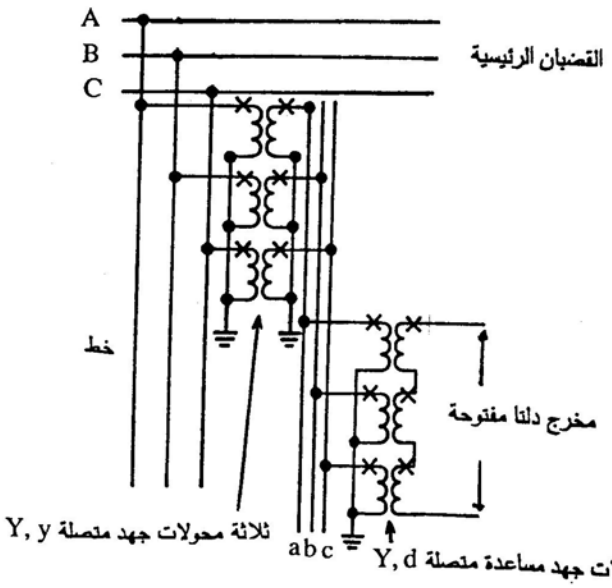
(١)



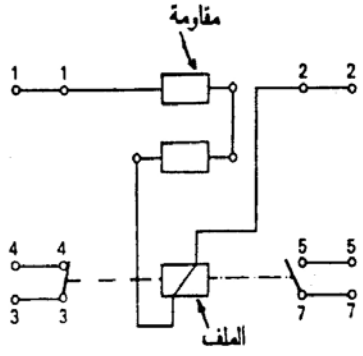
(٢)



شكل ٤١: طرق توصيل محولات الجهد.



شكل ٤٢: مرحل وقاية ضد زيادة الجهد.



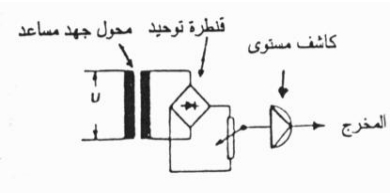
مرحلات الوقاية ضد زيادة أو انخفاض الجهد الاستاتيكية

يتكون مرحل الوقاية ضد زيادة أو انخفاض الجهد ذي الزمن اللحظي من دائرة إطلاق شميت -Schmitt Trigger) أو دائرة كاشف مستوي (Level-Detector) (يعمل عند بلوغ الجهد مستوى معين)، وعنصر مدخل عبارة عن محول جهد مساعد وقنطرة توحيد ، ثم مقاومة متغيرة لضبط قيمة تشغيل المرحل، كما هو موضح في شكل ٤٣. ويوضح شكل ٤٤ دائرة مرحل وقاية ضد زيادة الجهد اللحظي. وفيها تتكون دائرة إطلاق سميت من الترانزستورين T١,T٢. في حالة التشغيل العادي (أي أن قيمة جهد المدخل تساوي الجهد المقنن) يكون الترانزستورين T٣ ,T١ في حالة فصل، بينما الترانزستور T٢ في حالة توصيل . وعند حدوث زيادة في الجهد بحيث تتعدى قيمته، بعد عملية التوحيد ، قيمة جهد كاشف المستوى VL (المحددة بالزنير ديود Zd) وعندئذ يتحول الترانزستور T١ لحالة التوصيل ، وبالتالي يمد ملف عنصر المخرج بجهد تشغيله نتيجة تحرك الترانزستور T٣ لحالة التوصيل .

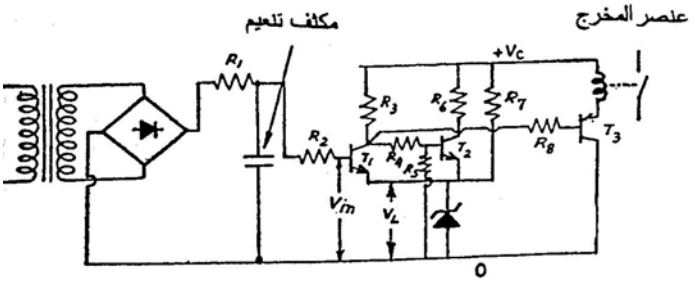
ويمثل مرحل الوقاية ضد زيادة وانخفاض الجهد – أحادي الوجه – حسب المبين في شكل ٤٥ ويلاحظ احتواء الدائرة على ديود لحماية قطبية جهد المدخل Polarity Protection عند حدوث عكس قطبية مثلاً . ويقارن جهد المدخل بجهد المرجع ويعمل كاشف المستوى والمكبر على تغذية ملف عنصر المخرج بجهد تشغيله ، ويتم ضبط قيمة التشغيل عن طريق مقاومة متغيرة .

يمكن أن يعمل مرحل الوقاية ضد انخفاض وزيادة الجهد معاً، بحيث نحصل على إشارة مخرج عند حدوث زيادة في الجهد ، وكذلك إشارة مخرج عند حدوث انخفاض في الجهد، حسب الموضح في الشكل ٤٦، وتكون خصائص المرحل كالآتي :

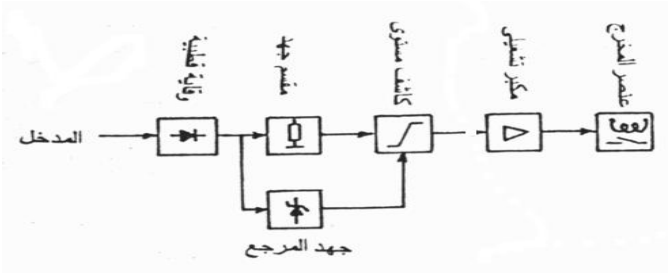
- حدود ضبط انخفاض الجهد : ٩٠ % □ ٨٠ من قيمة الجهد المقنن.
- حدود ضبط زيادة الجهد : ١٢٠ % □ ١٠٥ من قيمة الجهد المقنن.
- زمن التشغيل : ١٦٠ مللي ثانية .
- نسبة الاستعادة (لزيادة الجهد) : ٩٩ % □ ٩٨
- نسبة الاستعادة (لانخفاض الجهد) : ١٠٢ % □ ١٠١
- الدقة : ١ ٪ ± عند حرارة محيطة تتغير من ٥٠°C □ ٥°C
- جهد المرجع (المساعد) : ٣٠ □ ٢٠ فولت D.C
- القدرة المستهلكة في دائرة القياس للمرحل : ٠,٢ فولت أمبير عند ٢٢٠ فولت .
- القدرة المستهلكة للدائرة المساعدة : ٣,٨ وات عند ٢٤ فولت D.C .



شكل ٤٣: مرحل الوقاية ضد انخفاض أو ارتفاع الجهد من النوع الأستاتيكي.



شكل ٤٤: مرحل الوقاية ضد زيادة الجهد اللحظي.



شكل ٤٥: تمثيل مرحل الوقاية ضد زيادة أو انخفاض الجهد –أحادي الوجه.

يحتوي مرحل الوقاية ضد زيادة وانخفاض الجهد ثلاثي الأوجه على ثلاثة عناصر مدخل كل عنصر يتكون من محول مساعد وقنطرة توحيد ودائرة تنعيم . يغذي مخرج عناصر المدخل دائرتي ديود (Diode Circuit) أحدهما في مسار جزء المرحل الخاص بزيادة الجهد والأخرى للجزء الخاص بانخفاض الجهد. ويكون الغرض من دائرة الديود أنها تعمل كدالة OR في حالة التشغيل (أو اللقط) بينما تعمل كدالة

AND في حالة الاستعادة . وعند حدوث زيادة في الجهد فإن المرحل يعمل بأعلى قيمة للجهد في أحد الأوجه ، ولكن لحدوث استعادة للمرحل يجب أن يصل جهد الثلاثة أوجه إلى قيمه أقل من قيمه الضبط للمرحل (ويكون عكس ذلك عند حدوث انخفاض في الجهد) .

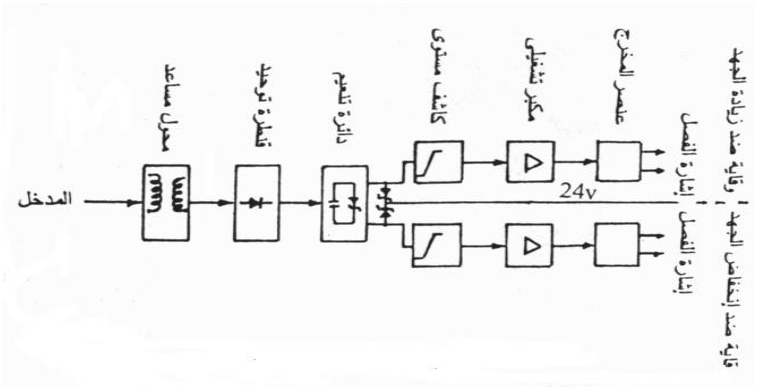
يعمل المرحل بكفاءة عند حدوث جميع الحالات الآتية :

- زيادة أو انخفاض الجهد المتماثل (Symmetrical) .
- زيادة أو انخفاض الجهد غير المتماثل (Asymmetrical) .
- حدوث فتح في أحد الأوجه (Phase open) .

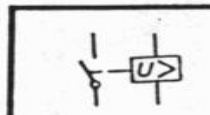
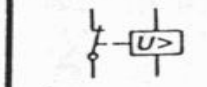
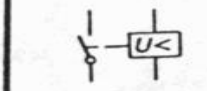
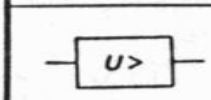
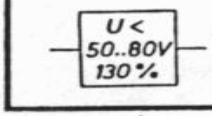
ويمكن ضبط مرحل وقاية ضد انخفاض الجهد –أحادي الوجه –خصائصه كالتالي :

- الجهد المقنن Vn : ١٠٠ فولت .
- التردد : ٥٠ هرتز .
- حدود الضبط : ٠,٤٥ -٠,٩ من قيمة الجهد المقنن.

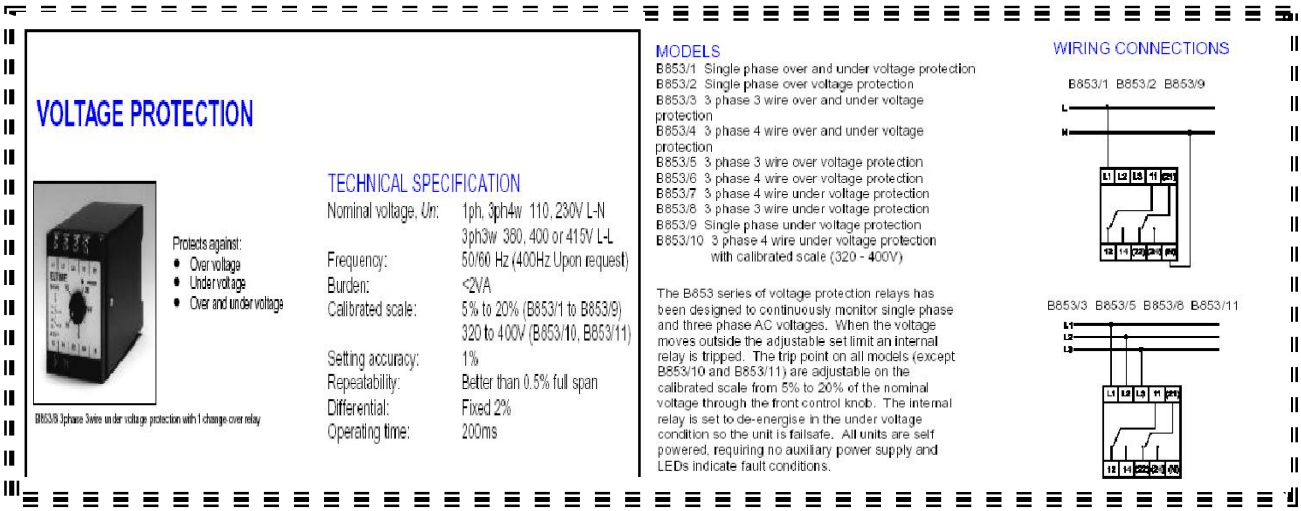
ويوضح شكل ٤٧ الرموز المختلفة المستخدمة للدلالة على مرحل الوقاية ضد زيادة الجهد أو ضد انخفاض الجهد في كل من الرحلات الكهرومغناطيسية والاستاتيكية. يبين شكل ٤٨ أحد التطبيقية لمرحل الوقاية في السوق ضد زيادة وانخفاض الجهد . كما يبين الشكل أرقام الموديلات والرسم التوضيحي للتركيب.



شكل ٤٦ : مرحل الوقاية ضد انخفاض وزيادة الجهد.

	متمم وقاية ضد زيادة الجهد يحتوى على نقطة تلامس مفتوحة
	متمم وقاية ضد زيادة الجهد يحتوى على نقطة تلامس مقفولة
	متمم وقاية ضد انخفاض الجهد يحتوى على نقطة تلامس مفتوحة
	متمم وقاية ضد انخفاض الجهد
	متمم وقاية ضد انخفاض الجهد حدود الضبط من 80 - 50 فولت نسبة الإستعادة 130%

شكل ٤٧ : الرموز المختلفة المستخدمة للدلالة على مرحل الوقاية
ضد زيادة الجهد أو ضد انخفاض الجهد.



شكل ٤٨ : مرحل وقاية زيادة وانخفاض الجهد.

محطات التوليد وطرق الحماية

حماية المولدات الكهربية

جميع الحقوق محفوظة للمؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني

تتضمن حماية المولد اعتبارات لظروف تشغيل غير عادية مقارنة بأي جزء آخر. في بعض المحطات يجب أن تزود بحمايات أتوماتيكية ضد أي ظروف تشغيل غير طبيعية وضارة. ولكن يوجد بعض الاختلاف في وجهات النظر عن توليفة الحمايات الكافية للمولدات في المحطات المعنية. على سبيل المثال في بعض اختلاف وجهات النظر يعتبر الحماية ضد ظروف التشغيل الغير طبيعي، غير القصر، ليس بالضرورة يحتاج إلى فصل لحظي من الخدمة وممكن أن يترك إلى التحكم.

أعطال المولد

أعطال المولد يمكن أن تقسم كالآتي:

١ -أعطال العضو الثابت	٢ -أعطال العضو الدوار	٣ -ظروف غير طبيعية للتشغيل
أعطال بين الأوجه والأرضي	أعطال أرضية	فقد مجال الإثارة
أعطال بين الأوجه والأرضي	أعطال بين الملفات الداخلية	التحميل الغير متزن
أعطال بين الملفات الداخلية	دوائر فتح العضو الدوار	التحميل الزائد
		فقد في المحرك الأولي
		ارتفاع في السرعة والجهد
التأثير الناتج عن هذه الأعطال		
توصيل الملفات بالأرضي ينتج ١ -قوس كهربي للقلب وبالتالي لحمم الرقائق مع بعضه البعض مسببا تيارات دوامية مع بقع حرارية. ٢ - ارتفاع شديد لدرجة حرارة الموصلات مع نشوب حريق.	ينج عن إجهادات حرارية وميكانيكية التي تؤثر على عزل الملفات وتؤدي إلى أعطال أرضية مع ترددات عالية في العضو الدوار مع أضرار على كراسي الارتكاز. أما في حالة فتح الدائرة قد يسبب قوس كهربي	عندما يفقد العضو الدوار مجال الإثارة ترتفع السرعة تدرجيا وتؤثر كما لو كان مولد حثي. عدم الاتزان ممكن حدوثه نتيجة عوامل شتى منها أعطال أرضية، تحميل غير متزن، فتح دائرة أو فقد أحد أقطاب القاطع

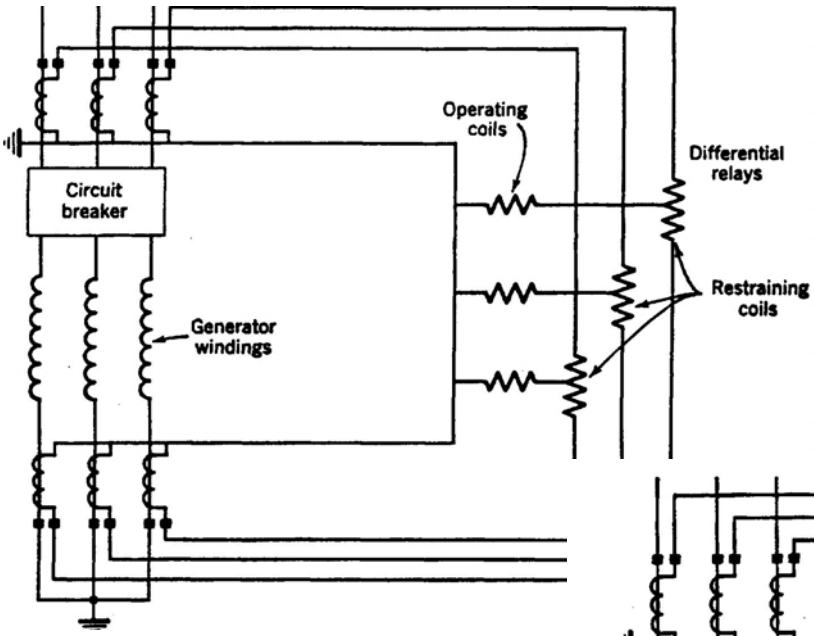
١ - أعطال العضو الثابت

- حماية دوائر قصر ملفات العضو الثابت

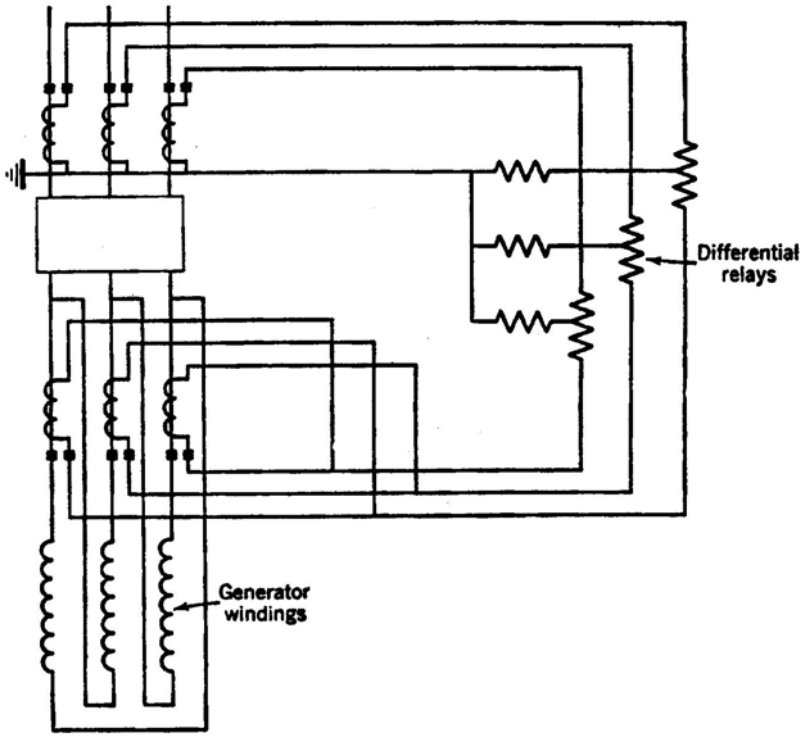
من خلال ممارسة التطبيق العملي للمصنعين القياسية تمت التزكية لاستخدام الحماية التفاضلية للمولدات المقننة ١٠٠٠ كيلو فولت أمبير أو أعلى، و تحمى معظم تلك المولدات باستخدام المراحل التفاضلية والتي تم شرحها مسبقا. فوق ١٠٠٠٠ كيلو فولت أمبير، غالبا وعلى وجه العموم يستخدم المراحل التفاضلية.

تعتبر الحماية التفاضلية المئوية الأفضل لهذا الغرض، ويفضل استخدامها حيث أنه يمكن ضبطها اقتصاديا. ليس من الضرورة النظر إلى حجم المولد الذي يحدد كيف يجب أن تكون الحماية جيدة، الشيء المهم هو مدى التأثير العائد على باقي النظام في حالة طول مدة القصر في المولد، وكم هو مضر للمولد في حالة إخراجه من الخدمة لفترة طويلة.

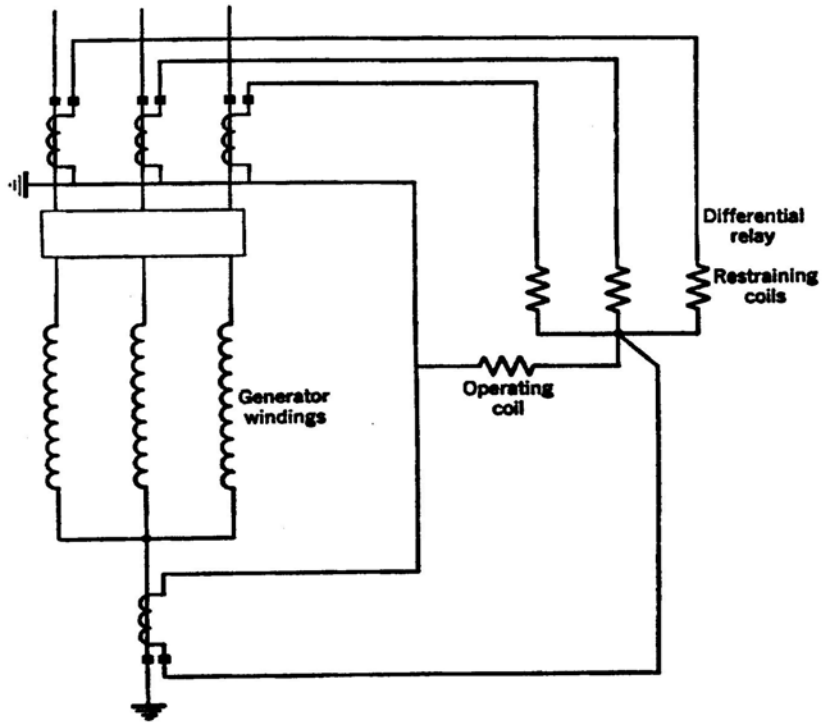
عملية تنظيم وتركيب محولات التيار للمرحلات التفاضلية المئوية موضحة في شكل ١ في حالة النجمة، وفى شكل ٢ للدلتا. إذا كان سلك التوصيل لنقطة التعادل في الخارج ومؤرض خلال معاوقة، يستخدم المرحل التفاضلي المئوي كما هو موضح بالشكل ٣. والجدير بالذكر هنا يجب أن نشير إلى أن الحماية المسماة بالوحدة"unit" للمولد والمحول مع بعضهم موضحة بالشكل ٤.



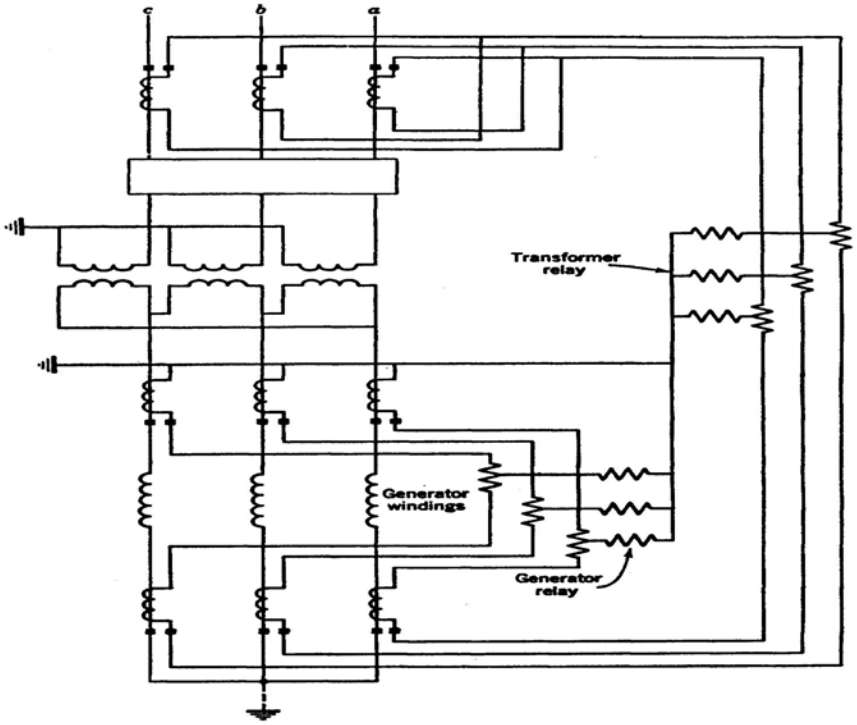
شكل ١: الحماية التفاضلية المئوية في حالة النجمة.



شكل ٢: الحماية التفاضلية المئوية في حالة الدلتا.



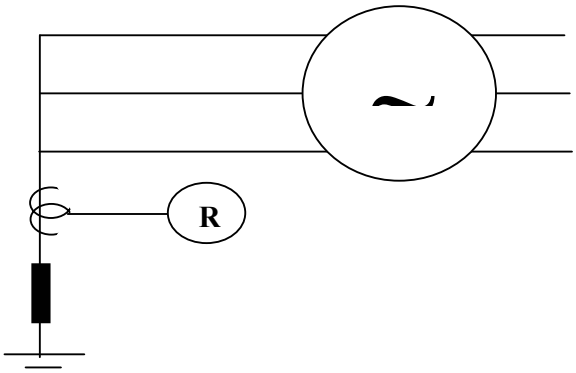
شكل ٣: الحماية التفاضلية المئوية في حالة النجمة مع أربع واصلات خارجية.



شكل ٤: الحماية التفاضلية المئوية لوحدة المولد مع المحول.

- حماية العضو الثابت ضد الاتصال بالأرضي

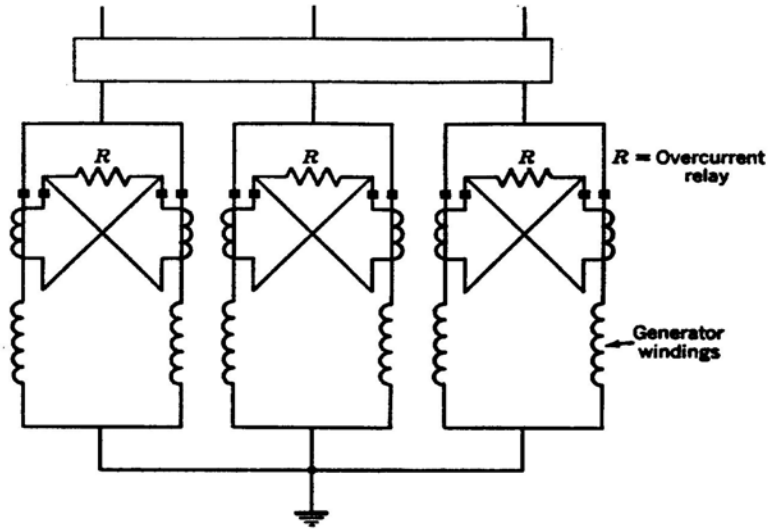
طريقة التأريض قد تؤثر على كيفية الحماية المزودة بالمراحل الأرضية. عندما يوصل المولد بالأرضي مباشرة يوجد تيار وجه كما في الأعطال الأرضية والتي بالتالي تؤدي إلى عمل الحماية التفاضلية. لو زادت المقاومة الأرضية والتي تؤدي إلى حد التيار مما تسبب بعض المشاكل للحماية التفاضلية من هنا نلجأ إلى وضع حماية تسمى بمرحل التعادل Neutral Relay كما هو مبين بشكل ٥.



شكل ٥: التوصيل بالأرضي مع محول تيار ومرحل نقطة التعادل.

- حماية أعطال الملفات للعضو الثابت

الأعطال الداخلية لقصر ا لملفات للوجه الواحد في العضو الثابت لا يمكن اكتشافها مستخدما الحماية التفاضلية حيث لا يوجد فرق في التيارات عند نهايات الملفات. لذا تستخدم الحماية التقليدية والتي تسمى بالوجه المجزأ Split-Phase وهي موضحة بالشكل رقم ٦. وتعمل هذه الحماية في حالة حدوث أي نوع من القصر داخل الملفات ويستخدم مرحل زيادة التيار ذو النوع العكسي للحصول على الحساسية العالية. هذا النوع لا يستجيب إلى الأعطال الخارجية.



شكل ٦: حماية ملفات العضو الثابت مستخدما حماية الوجه المجزأ.

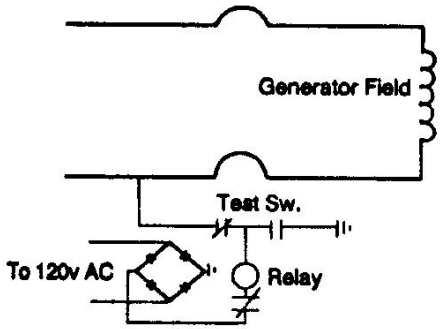
٢ - أعطال العضو الدوار

- _الحماية ضد أعطال الأرضي

كما أشير سابقا بأن الأعطال الأرضية قد تسبب ضررا بملفات العضو الدوار أو أثناء فتح الدائرة. شكل ٧ يبين إحدى الطرق الحديثة لاكتشاف العطل الأرضي للعضو الدوار. كما هو موضح بأن المجال ممكن حيازته عن طريق مصدر تيار مستمر مسببا مرور تيار من خلال مرحل في حالة حدوث أي عطل أرضي.

- الحماية ضد فقد مجال الإثارة

فقد تغذية المجال يؤدي إلى ارتفاع في درجة حرارة العضو الدوار. يتم كشف فقد التغذية عن طريق قياس القدرة الغير فعالة للعضو الثابت، أي زيادة في هذه القيمة تدل على فقد في عملية التزامن.



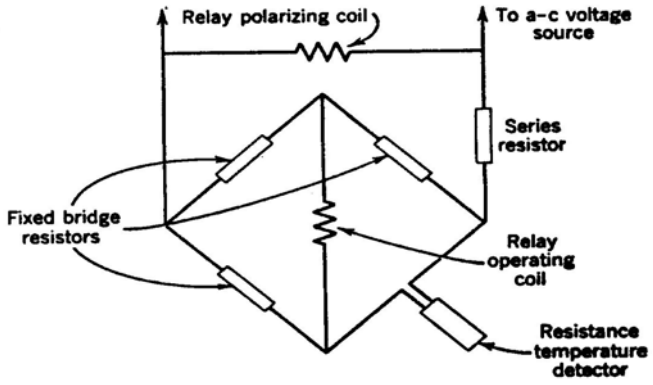
شكل ٧: كشف العطل الأرضي للعضو الدوار.

- الحماية ضد زيادة التحميل

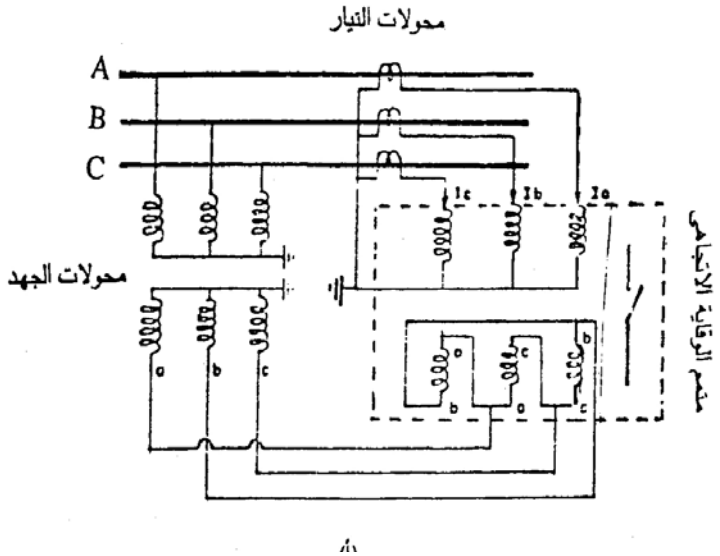
التحميل المتزن المستمر للآلة يسبب زيادة في درجة حرارة ملفات العضو الثابت. يستخدم لحل هذه المشكلة مراحل زيادة التيار، ولكن نادرا ما تستخدم نظرا لعملية التمييز بالوقت. كما توجد طرق ذو اعتمادية لكشف مثل هذه الظروف وذلك باستخدام ملفات كاشف درجة الحرارة والتي توضع في أجزاء مختلفة لملفات العضو الثابت وذلك لمعرفة مقياس درجة الحرارة الموجودة في ملفات العضو الثابت. الأنواع المختلفة لكاشف درجات الحرارة هي Thermocouples, Thermistors, or Resistance Temperature Detectors. يعتبر ملف كاشف درجة الحرارة جزءا من قنطرة هويستون، كما هو موضح بالشكل رقم ٨.

- الحماية ضد القدرة المعكوسة

في حدوث عطل في المحرك الأولى تبدأ الآلة في التحول إلى محرك، بمعنى إنها تسحب قدرة كهربية من النظام وتحرك المحرك الأولي في الاتجاه العكسي. ويتضمن ذلك وجود حمل متزن على النظام و يمكن كشف هذا العطل عن طريق مرحل قدرة مع خواص اتجاهيه كما هو موضح بالشكل رقم ٩.



شكل ٨ : حماية زيادة درجة حرارة العضو الثابت مستخدما كاشفات درجة الحرارة.



شكل ٩: الحماية ضد انعكاس القدرة.

- الحماية ضد زيادة أو نقص التردد

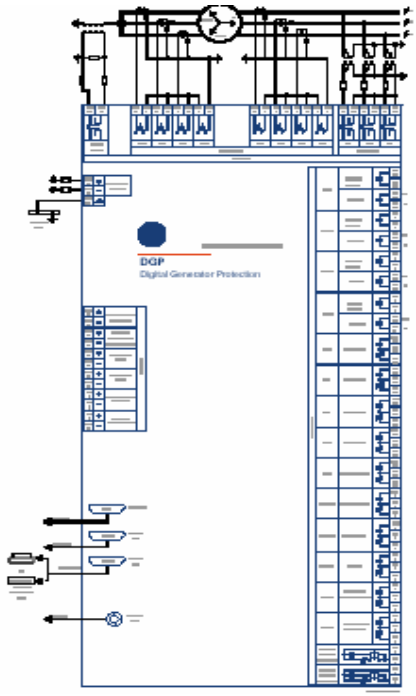
تؤدي زيادة التردد إلى تسريع الوحدة ويمكن حمايتها مستخدما أجهزة زيادة السرعة. كما يمكن الاستعانة بمرحلات زيادة التردد كحماية ثانوية للأجهزة الميكانيكية.

حدوث نقصان في التردد يؤدي إلى تأثير سيئ على التربينة أكثر من المولد. وتتمم معالجة نقصان التردد عن طريق عملية عزل الأحمال Load Shedding . إذا تم عزل الأحمال بصورة سليمة يؤدي ذلك إلى رجوع التردد إلى حالته السليمة قبل ما تخرج السيطرة على التربينة.

الحماية الكلية الرقمية للمولد

شكل ١٠ يمثل الحماية الرقمية الحديثة للمولد وكيفية توصيله وضبطة باستخدام الحاسب. شكل ١١ يمثل الرسم التخطيطي للمرحل.

شكل ١٠: الحماية الرقمية الحديثة للمولد.



شكل ١١: الرسم التخطيطي للمرحل.

محطات التوليد وطرق الحماية

حماية المحولات الكهربية

جميع الحقوق محفوظة للمؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني

مقدمة :

يعتبر المحول جزء رئيسي من عناصر منظومة القوى الكهربية. وقد سبق معرفة كيفية حماية المولد والمحرك وفي هذا الفصل سوف نتعلم كيفية عمل حماية متكاملة للمحول الكهربي. وتشمل تلك الحماية حماية ملفات المحول (الملفات الابتدائية – الملفات الثانوية) وكذلك حماية القلب الحديدي للمحول بالإضافة إلى حماية الأجهزة والمعدات المساعدة.

ورغم أن الأعطال التي تتعرض له المحولات تعتبر قليلة الحدوث مقارنة بم تتعرض له مكونات منظومة القوى الكهربية، إلا أن بعض تلك الأعطال من الخطورة بحيث تتسبب في حدوث أخطار جسيمة للمحول أو لباقي أجزاء منظومة القوى الكهربية إذا لم يتم فصل العطل في الوقت المناسب.

وسوف نتناول العناصر التالية خلال دراسة هذا الفصل:

١. العوامل الأساسية المؤثرة في حماية المحولات.
٢. طبيعة الأعطال في المحولات.
   - الحماية ضد تجاوز الحمل أو القصر الخارجي.
   - مرحل البوخولز.
٣. الحماية ضد الأعطال في ملفات المحول وتوصيلا ته.
٤. الحماية ضد تجاوز التيار.
٥. الحماية الفرقية للمحول.
٦. حماية الأرضية للمحول.
٧. الحماية ضد الأعطال في الأجهزة المساعدة

حماية المحولات

يعتبر المحول والمولد أكبر وأهم عنصرين من عناصر الشبكة الكهربائية. كما تعتبر نسبة حدوث الأعطال لهما من أقل النسب مقارنة بخطوط النقل ولكن الخسائر والأضرار الناتجة من الأعطال التي قد تحدث في المحولات أو المولدات تكون كبيرة. لذا يجب الاهتمام بالحماية الخاصة بالمحولات.

-١ العوامل الأساسية المؤثرة في حماية المحولات

١ - مقننات المحول، تعتمد متطلبات الحماية للمحول على مقنن المحول فكلما زاد مقنن المحول كلما كانت متطلبات الحماية له أكثر.

٢ - نوع العازل، تتطلب المحولات المغمورة في الزيت أو أي سائل آخر أنواع من الحماية أكثر من الأنواع المطلوبة للمحولات الجافة.

٣ - نوع المحول، محولات القدرة أكبر بصفة عامة وأكثر تعقيدا من محولات التوزيع، لذا فهي تحتاج إلى أنواع من الحماية قد لا يتطلبها محول توزيع صغير أو متوسط.

٤ - نوع التوصيل والملفات، يجب مراعاة طريقة توصيل المحول (دلتا أو نجمة أو غيرها).

٥ - دورة الحمل وأهمية الأحمال، هناك من الأحمال ما يحتمل قطع التغذية عنه لفترات معينة، كما توجد أحمال أخرى لا تحتمل قطع التغذية عنها (استراتيجية الأحمال).

كما يجب أن يكون لدينا دراية كاملة بالأعطال والحالات الشاذة التي قد يتعرض لها المحول لكي نتمكن من وضع الحماية السليمة للمحول بحيث تتمشى مع باقي خطة الحماية للشبكة وأن لا تتعدى درجة حرارة ملفات للمحول أقصى درجة حرارة مسموح بها لملفات المحول وكذلك اعتبارات التحميل وأنواع الأحمال والمتطلبات الأخرى والتي تختلف حسب الظروف والاعتبارات الهندسية والاقتصادية.

٧ -٢ طبيعة الأعطال في المحولات

يمكن تقسيم الأعطال المحتمل حدوثها في المحولات إلى الأنواع التالية:

١ - زيادة الحمل أو حدوث قصر خارجي.

٢ - أعطال في ملفات المحول وتوصيلا ته.

٣ - أعطال في الأجهزة المساعدة والتي تعتبر أجزاء من المحول.

٧ -٢ -١ الحماية ضد تجاوز الحمل أو القصر الخارجي

نظرا لأن تجاوز الحمل قد يستمر لفترة طويلة تعتمد على أقصى درجة حرارة مسموح بها لملفات المحول وطبيعة وسط التبريد. وتسمح جميع المواصفات المعمول بها بتجاوز الحمل المقنن للمحول لفترة زمنية محددة تعتمد على الحمل الذي كان يعمل عليه المحول قبل تجاوز الحمل مباشرة وعلى نسبة تجاوز الحمل ودرجة حرارة وسط التبريد. ويجب ملاحظة أنه إذا زادت درجة حرارة الملفات عن أقصى قيمة مسموح بها فإن ذلك يؤثر على العمر الافتراضي للمحول إلا أن يتم تعويض تجاوز الحمل الذي تعرض له الحول بفترات من الحمل الخفيف . كما يجب التأكد قبل السماح بتجاوز الحمل من أن جميع أجزاء المحول لن تتأثر بهذا التجاوز [١].

تعطي مصانع المحولات عادة دليلا لتجاوز الحمل على المحول في شكل جدول يعرف باسم دليل التحميل. ويجب طلب هذا الجدول من صانع المحول، حيث من الأفضل استعمال الجدول الخاص بكل محول بعينة.

ويلزم عند وضع خطة الحماية مراعاة الجداول الخاصة بتجاوز الحمل وذلك بعد أخذ خطة التحميل في الاعتبار. ويجب تغيير ضبط أجهزة الحماية تبعا للفترات المسموح بها تجاوز الحمل على المحول .

يمكن الحماية من تجاوز الحمل والقصر الخارجي كما يلي:

أولا: تشغيل قاطع الدائرة الخاص بالمحول بواسطة وحدة إعتاق مباشرة أو غير مباشرة بحيث يكون له منحنى زمن – تيار يحتوي على حماية تجاوز الحمل (تأخير زمني طويل)، ويتم اختيار وضبط حماية تجاوز الحمل تبعا للجداول السابقة.

نلاحظ في تلك الطريقة أن نظام الحماية ليس له اتصال مباشر بالمحول إنما يعمل تبعا للتيار المار به.

ثانياً: استعمال أجهزة حساسة لدرجة الحرارة يتم تركيبها في المحول حيث يمكنها أن تقوم بواحدة أو أكثر من الوظائف الآتية:

١ - إعطاء بيان عن درجة حرارة المحول (الملفات ووسط التبريد) .

٢ - إعطاء تحذير (جرس مثلا) عندما ترتفع درجة الحرارة عن حد معين داخل المحول.

٣ - تشغيل وحدة تبريد الطوارئ في المحول في حالة وجودها.

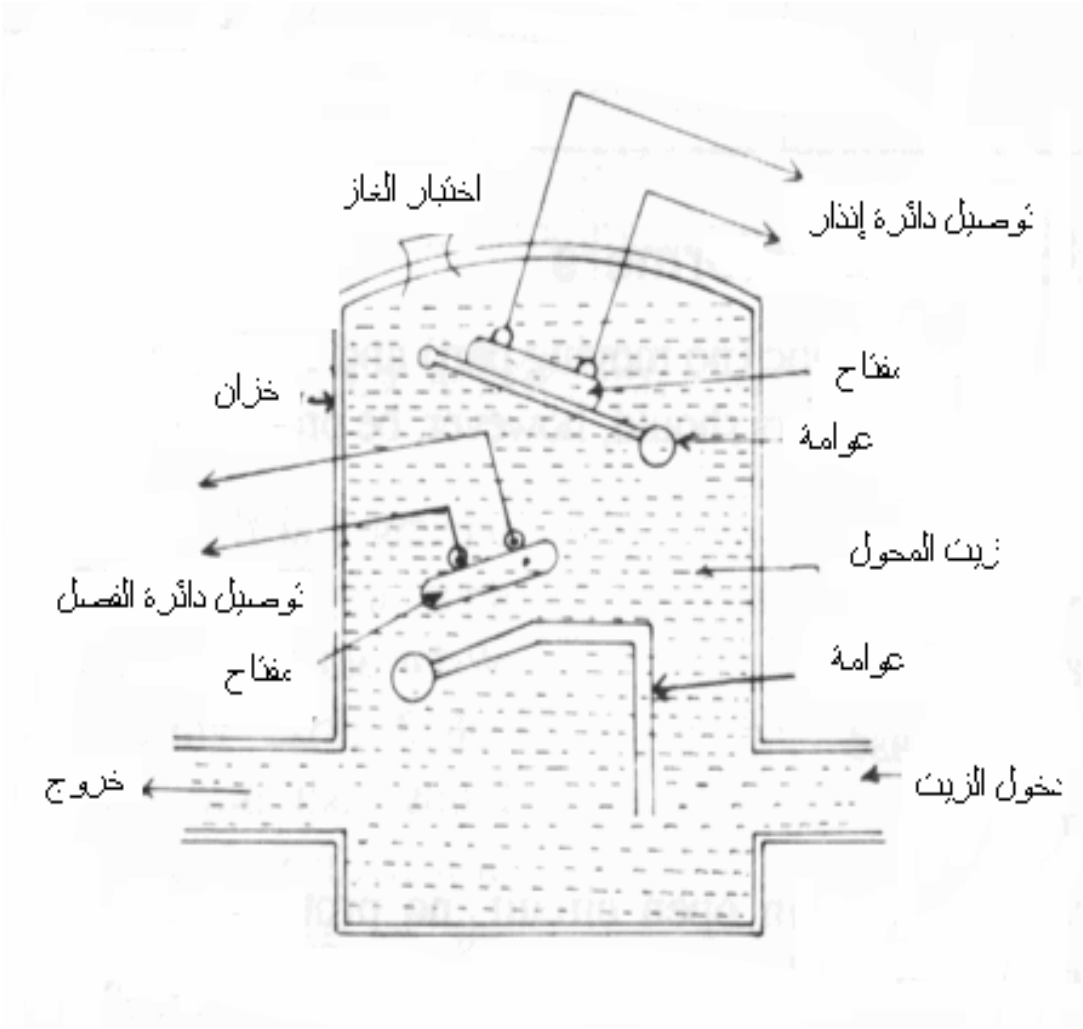
٤ - تشغيل دائرة إعتاق قاطع الدائرة الخاص بالمحول إذا تجاوزت درجة الحرارة الحدود المسموح بها .

ومن الملاحظ أن تلك الأجهزة كثيرة ومتنوعة ، نذكر منها باختصار ما يلي :

- ترمومتر بسيط.
- ترمومتر بملامسات.

- مرحل حراري.
- جهاز تحديد البقعة الساخنة.
- مرحل البوخولز.

ويجب تحديد ما نراه مناسباً لظروف التشغيل والحماية بحيث يتوافق هذا مع أهمية الأحمال والاعتبارات الاقتصادية. كما أنه من الممكن في بعض الأحيان فصل بعض الأحمال غير الهامة في فترات تجاوز الحمل، وذلك عندما يكون العامل الاقتصادي له تأثير حاسم في أخذ القرار. وسوف نستعرض محول البوخولز في هذا الفصل فقط.



شكل ٧ -١ مرحل البوخولز

٧ -٢ -٢ مرحل البوخولز

من المعروف أن أعطال القلب الحديدي للمحول (انهيار عزل الشرائح الحديدية للقلب الحديدي للمحول) وكذلك التوصيلات الكهربائية غير الجيدة لأطراف التوصيل للملفات ينتج عنها ارتفاع موضعي لدرجة الحرارة والتي قد تصل إلى ٣٥٠ درجة مئوية. هذا الارتفاع العالي في درجة الحرارة يتسبب في انحلال زيت المحول إلى غازات والتي تصعد أعلى المحول فوق زيت المحول والتي يمكن تجميعها في الخزان الذي يعلو المحول. ويعتبر مرحل البوخولز من أبسط وسائل الحماية للمحولات. ويستخدم دائما في المحولات المزودة بتنك (خزان) لتجميع الغازات المتصاعدة من انحلال زيت المحولات. والمرحل عبارة عن وعاء معدني متصل بأنبوب بطرف التنك وأنبوب آخر بالمحول. والوعاء مهيأ لاستقبال الغازات المتصاعدة من خزان المحول والتأثر بكمية تلك الغازات. ويحتوي ذلك الوعاء على عوامتين أسطوانيتين الشكل من الألومنيوم، تطفوان على سطح الزيت عندما يكون الوعاء ممتلئ بالزيت. وكل عوامة تتحرك حول محور وتتحكم في نقط تلامس زئبقية. وتكون نقاط التلامس مفتوحة طالما كانت العوامة طافية. والعوامة الأولى موجودة في قمة الوعاء والأخرى بالقرب من قاع الوعاء. وتعمل العوامة الأولى على توصيل دائرة إنذار بينما تعمل العوامة الثانية على توصيل دائرة فصل للمحول وذلك على حسب كمية الغازات كما هو موضح بالشكل ٧ -١.

في حالة التشغيل العادي (عدم حدوث أي أعطال) فإن كميات الغازات المتصاعدة من انحلال زيت المحول تكون قليلة جداً وبالتالي يستمر المحول في العمل.

في حالة زيادة التحميل أو حدوث عطل في القلب الحديدي للمحول أو عطل في التوصيلات الكهربائية لأطراف الملفات ترتفع درجة حرارة الزيت نتيجة للارتفاع في درجة حرارة الملفات أو ارتفاع درجة حرارة القلب الحديدي وتبدأ الغارات في التصاعد. تتجمع تلك الغارات في الخزان العلوي وعندما يمتلئ الخزان تبدأ تلك الغارات في الوصول إلى وعاء المرحل. عندما تصل كمية الغارات المتصاعدة في غرفة المراحل إلى قيمة معينة تبدأ العوامة العلوية في الحركة لتغلق نقاط التلامس لدائرة الإنذار.

عند زيادة كمية الغازات المتصاعدة لتصل إلى العوامة المثبتة بالقرب من قاع الوعاء تتحرك تلك العوامة لتغلق نقاط التلامس لدائرة الفصل للقاطع ليقوم القاطع بفصل المحول عن الشبكة.

وعموما يعمل الجهاز ويعطي إنذاراً في الحالات التالية:

- عند تكون بقعة ساخنة داخل المحول نتيجة لوجود قصر بين شرائح القلب الحديدي.
- عند انهيار عزل المسامير التي تثبت القلب الحديدي.
- عند فتح أي من نقط التلامس للموصلات.

- زيادة التحميل للمحول.
- عند انخفاض مستوى الزيت لوجود تسرب.

وإذا استمرت أي من الحالات السابقة ولم تعالج أو حدوث قصر كهربي شديد فسوف تهبط العوامة السفلي وتعمل على توصيل دائرة الفصل للقواطع.

يمكن معرفة نوع العطل الحادث داخل المولد وذلك بالتحليل الكيميائي للغازات والأبخرة المتجمعة في الخزان العلوي للمحول كما يلي:

- وجود الهيدروجين + الأسيتلين يدل على وجود قوس كهربي بين أجزاء المحول.
- وجود الهيدروجين + الأسيتلين + الميثان يدل على وجود عطل في مغير نسبة التحويل للمحول. أو قوس كهربي قوي ومؤثر على عزل المحول.
- وجود الهيدروجين + الميثان + الأيثيلين يدل على وجود ارتفاع في درجة حرارة القلب الحديدي.
- وجود الهيدروجين + الأيثيلين + ثاني أكسيد الكربون + الأيثان يدل على وجود ارتفاع في درجة حرارة ملفات المحول.

٧ -٣ الحماية ضد الأعطال في ملفات المحول وتوصيلا ته

تتعرض كل من ملفات المحول (الابتدائي والثانوي) إلى أنواع عديدة ومختلفة من قصر الدائرة ويمكن تقسيمها كما يأتي:

- عطل أرضي على أطراف ملفات الجهد العالي .
- عطل وجه – وجه على أطراف ملفات الجهد العالي .
- عطل أرضي داخلي على ملفات الجهد العالي .
- عطل وجه – وجه داخلي على ملفات الجهد العالي .
- عطل قصر دائرة بين ملفات الجهد العالي .
- عطل أرضي على أطراف الجهد المنخفض .
- عطل وجه – وجه على أطراف الجهد المنخفض .
- عطل أرضي داخلي على ملفات الجهد المنخفض .
- عطل وجه – وجه داخلي بين ملفات الجهد المنخفض .
- عطل قصر دائرة بين ملفات الجهد المنخفض .
- عطل وجه – وجه خارجي .

- عطل أرضي خارجي.

ويعتبر قصر الدائرة هو أخطر الحالات الشاذة التي قد يتعرض لها المحول على الإطلاق. ورغم التعداد الكبير في أنواع الأخطاء التي قد يتعرض لها المحول، إلا أن كل هذه الأخطاء يتم الحماية منها بثلاثة أنواع رئيسية من الحماية هي:

١. حماية تجاوز التيار.
٢. الحماية الفرقية.
٣. حماية الخطأ الأرضي.

والأجهزة المستعملة في الحماية هي أجهزة الحماية والقطع المذكورة في الأبواب السابقة بأنواعها المختلفة (مصهرات – قواطع – دائرة – مرحلات).

٧ -٤ الحماية ضد تجاوز التيار

تساعد الحماية ضد تجاوز التيار في الخطة العامة لعملية حماية المحول ضد أعطال الملفات. ويجب من وضع متطلبات خطة الحماية بالاسترشاد بالشروط الوطنية أو العالمية المعترف بها في هذا المجال مع الأخذ في الاعتبار الحالة الخاصة للمحول. نذكر في هذا المجال متطلبات حماية تجاوز التيار للمحولات تبعاً للكود الأمريكي وذلك كحد أدنى من المتطلبات (NEC – ٤٥٠ ١٩٩٣) .

يتم إجراء حماية المحول إما باستخدام حماية على الجانب الابتدائي فقط (الجهد العالي عادة) وإما باستخدام حماية على جانب الابتدائي والجانب الثانوي معا.

أولا: عند استخدام حماية على الجانب الابتدائي فقط يراعى ما يأتي:

- المحولات التي يزيد جهد أحد جانبيها عن ٦٠٠ فولت يمكن الحماية بإحدى الطريقتين الآتيتين:

١. استخدام مصهر بمقنن لا يزيد عن ٢٥٠ ٪ من تيار الحمل الكامل على الجانب الابتدائي. ويشترط في هذا المصهر أن يتحمل ٢٠٠ ٪ من هذا التيار بصفة دائمة (الرتبة E في المواصفات الأمريكية). هذا النوع من المصهرات يعرف باسم مصهرات الخدمة أو مصهرات الحماية الثانوية، وهو مصمم لكي ينصهر بعد حوالي ٦٠٠ ثانية عند حوالي ٢٢٠ ٪ من مقنن التيار له.

٢. استخدام قاطع دائرة بمقنن لقط لا يزيد عن ٣٠٠ ٪ من تيار الحمل الكامل على الجانب الابتدائي للمحول، أو استخدام مصهر عادي لا يزيد مقننه عن ٣٠٠ ٪ أيضا.

- المحولات التي لا يزيد الجهد على جانبيها عن ٦٠٠ فولت يتم استخدام مصهر بمقنن تيار – أو قاطع دائرة بمقنن تيار لقط – يساوي ١٢٥ ٪ من تيار الحمل الكامل على الجانب الابتدائي للمحول. هذا بشرط أن تكون قدرة حمل التيار للكابل المغذي للمحول تساوي ١٢٥ ٪ أيضاً من تيار الحمل الكامل . ويمكن في تلك الحال وضع الحماية عند طرف كابل التغذية من ناحية المصدر بحيث تصبح تلك الحماية كافية لكل من المحول والكابل مهما كان طول هذا الكابل.

ثانيا: عند استخدام حماية على كل من الجانب الابتدائي والجانب الثانوي.

- للمحولات الأعلى من ٦٠٠ فولت للملف الثانوي وفي حالة استخدام قاطع كهربائي فيجب ضبط قاطع الدائرة ليعمل علي٣٠٠٪ من التيار المقنن وذلك للمحولات ذات المعاوقة الحثية التي لا تزيد عن ٦٪ وفي حالة استخدام الفيوز فيضبط ليعمل على ١٥٠٪ من التيار المقنن وذلك للحماية الموجودة في الملف الثانوي. يتم تعديل ضبط قاطع الدائرة ليعمل على٢٥٠٪ من التيار المقنن وذلك للمحولات ذات المعاوقة الحثية التي تزيد عن ٦٪ وفي حالة استخدام الفيوز فيضبط ليعمل على ١٢٥٪ من التيار المقنن.
- للمحولات الأقل من ٦٠٠ فولت للملف الثانوي وفي حالة استخدام قاطع كهربائي فيجب ضبط القاطع ليعمل ٢٥٠٪ من التيار المقنن وفي حالة استخدام الفيوز فيضبط أيضا ليعمل على ٢٥٠٪ من التيار المقنن وذلك للمحولات ذات المعاوقة الحثية التي تقل أو تزيد عن ٦٪ وذلك للحماية الموجودة في الملف الثانوي.
- للمحولات الأعلى من ٦٠٠ فولت للملف الابتدائي وفي حالة استخدام قاطع كهربائي فيجب ضبط القاطع ليعمل ٦٠٠٪ من التيار المقنن وذلك للمحولات ذات المعاوقة الحثية التي لا تزيد عن ٦٪ وفي حالة استخدام الفيوز

فيضبط ليعمل على ٣٠٠٪ من التيار المقنن وذلك للحماية الموجودة في الملف الابتدائي.

- للمحولات الأعلى من ٦٠٠ فولت للملف الابتدائي وفي حالة استخدام قاطع كهربائي فيجب ضبط القاطع ليعمل ٤٠٠٪ من التيار المقنن وذلك للمحولات ذات المعاوقة الحثية التي تزيد عن ٦٪ وفي حالة استخدام الفيوز فيضبط ليعمل على ٢٠٠٪ من التيار المقنن وذلك للحماية الموجودة في الملف الابتدائي.

ويمكن في جميع الحالات المذكورة في أولاً وثانياً استخدام مقنن جهاز الحماية الأكبر مباشرة في حالة عدم وجود المقنن المطلوب بالضبط.

ثالثا: للمحولات الصغيرة يمكن اتباع ما يأتي:

- إذا كان تيار الجانب الابتدائي المقنن للمحول أقل من ٢ أمبير يستخدم مصهر بمقنن أو قاطع دائرة بمقنن لقط لا يزيد عن ٣٠٠ ٪ من تيار الحمل الكامل .
- إذا كان تيار الجانب الابتدائي أقل من ٩ أمبير وحتى ٢ أمبير يستخدم مصهر بمقنن أو قاطع دائرة بمقنن لقط لا يزيد عن ١٦٧ ٪ من تيار الحمل الكامل .

وفي كلتا الحالتين يستخدم المقنن الأصغر مباشرة في حالة عدم وجود المقنن المطلوب بالضبط .

يجب أن يكون لدى أجهزة الحماية على الجانب الابتدائي القدرة على عمل ما يأتي:

١ - تحمل تيار المغنطة المندفع للمحول :

تحدث هذه الظاهرة عند إعادة توصيل المحول من جانبه الابتدائي على مصدر التغذية مع عدم وجود حمل على جانبه الثانوي. ويكون ذلك التيار على شكل تيار لا حملي ذي قيمة عالية تتراوح من ٨ إلى ١٢ ضعفاً من تيار الحمل الكامل المقنن للمحول . ويستمر هذا التيار لفترة عابرة تؤخذ عادة ٠,١ ثانية في أغراض الحماية .ويؤخذ الرقم ٨ للمحولات حتى مقنن **١٠٠٠ ك . ف. أ** ، والرقم **١٢** للمحولات الأكبر من ذلك.

يعتبر تيار المغنطة المندفع من الظواهر الموجودة في جميع المحولات، ويكون وجودها أكثر وضوحاً في المحولات الحديثة بسبب قدرة قلب تلك المحولات على الاحتفاظ بالمغناطيسية المتبقية بصورة أكبر من المحولات القديمة. ويحتوي هذا التيار على موجة بالتردد الأساسي (٦٠ هرتز) وعلى موجات أخرى على جميع التوافقيات الزوجية والفردية مع وضوح التوافقيات الثانية التي هي خاصية مميزة لهذا التيار. كما

يحتوي على مركبة تيار ثابت. عند إجراء عملية الحماية على المحول يتم توقيع النقطة المناظرة لتيار المغنطة المندفع على خريطة الزمن – التيار. ويجب أن يكون منحنى جهاز حماية الجانب الابتدائي فوق هذه النقطة حتى لا تتسبب في تشغيله.

٢ - فصل القصر الأرضي المباشر الحادث على الجانب الثانوي قبل تلف المحول:

يتم عادة تصميم المحولات بحيث تتحمل الإجهادات الداخلية الناتجة من قصر الدائرة على الأطراف الخارجية لفترات محددة يجب معرفتها من الصانع وعلى حسب المواصفات العالمية.
ولإجراء الحماية السليمة يجب أن يكون الخط المناظر لخاصية تلف المحول من تيارات القصر أعلى بأكمله من منحنى الزمن – التيار لجهاز الحماية من القصر.

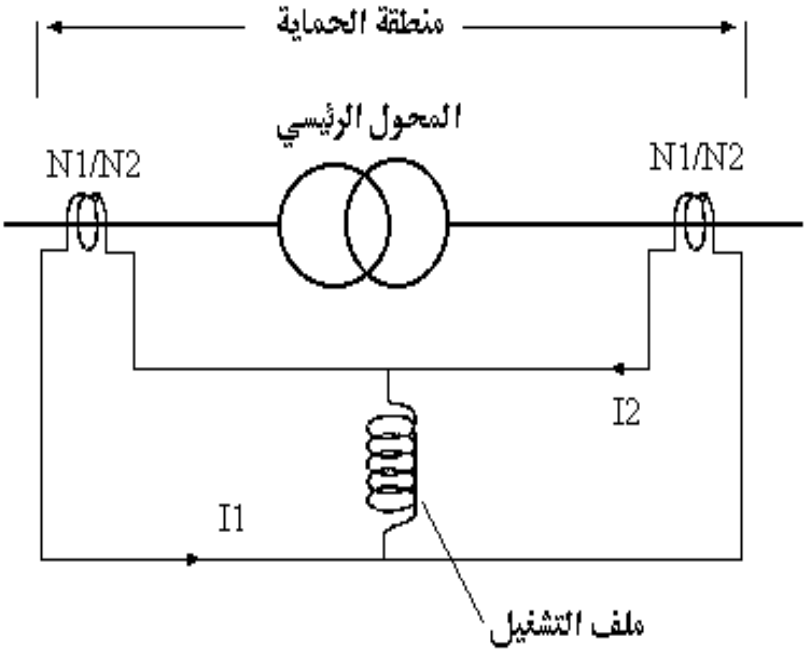
٣ - طريقة توصيل المحول:

نظرا لأن المحول يعمل في الأحوال العادية وأحوال الأعطال تبعاً لقاعدة تساوي القوة الدافعة المغناطيسية (الأمبير – لفة) في الملفين الابتدائي والثانوي. وعلى ذلك يجب الأخذ في الاعتبار اختلاف تيار الوجه عن تيار الخط في توصيلة شكل دلتا – نجمة.

٧ -١٥الحماية الفرقية للمحول

من المهم أن نلاحظ أن مرحل تجاوز التيار يتم استعماله للحماية الفرقية. وتعتمد الحماية الفرقية على تغذية المرحل بتيارين متساويين – للحالة المثالية في حالة عدم وجود أعطال - من محولي تيار كما هو مبين بالشكل ٧ -٢. وتكون المنطقة المحمية هي المنطقة المحصورة بين محولي التيار، بحيث:

- في حالة عدم حدوث أعطال داخل المنطقة المحمية فإن التيارين I_1 وI_2 يكونان متساويان ويكون التيار داخل ملف التشغيل مساويا للصفر ولا يعمل المرحل.
- في حالة حدوث عطل داخلي من الأنواع السابقة (داخل منطقة الحماية) فإن ذلك يؤدي إلى اختلاف في قيمتي I_1 وI_2 مما يسبب في تشغيل المرحل إذا زاد هذا الفرق عن حد معين.
- في حالة وجود عطل خارجي (خارج منطقة الحماية) فسوف يزيدا لتيار الداخل والخارج من المحول ويكون التياران I_1 وI_2 متساويين ويكون التيار داخل ملف التشغيل مساويا للصفر ولا يعمل المرحل.



شكل ٧ -٢ الحماية الفرقية للمحول

هذه هي النظرية الأساسية من وجهة النظر المثالية، أما في الحالة العملية فإن الحماية الفرقية ترتبط دائماً بعدة مشاكل منها:

- ❖ لا يجوز الاعتماد على الحماية الفرقية فقط والاستغناء بها عن حماية تجاوز التيار حيث إن الحماية الفرقية محددة بمنطقة المحول فقط كما سبق بيانه .
- ❖ ترتبط الحماية الفرقية بمشاكل عديدة نذكر ها فيما يلي باختصار مع ذكر الحلول لها .

أولا: تيار المغنطة المندفع:

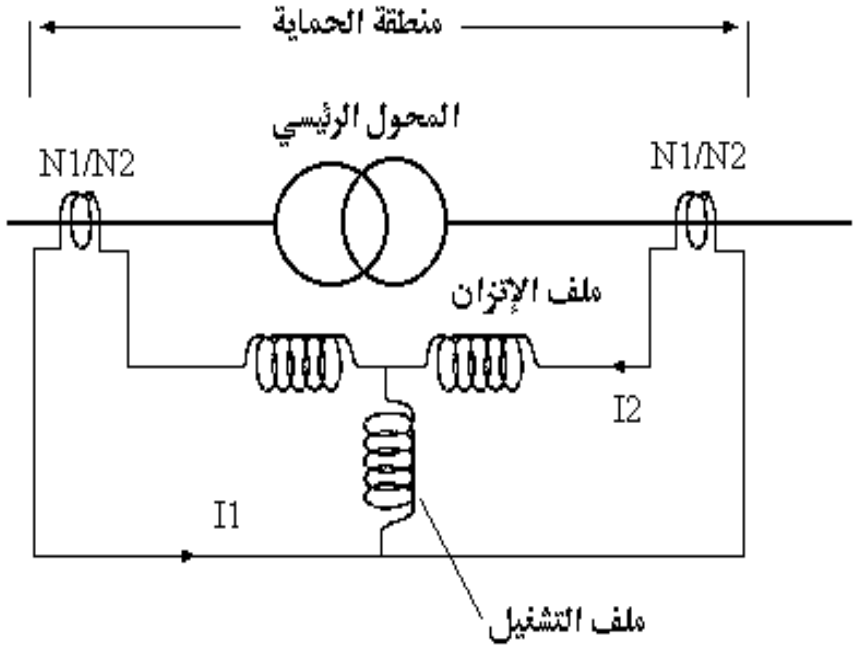
كما أشرنا سابقا أن تيار المغنطة المندفع هو تيار لا حملي ، أي أنه يظهر على الجانب الابتدائي فقط ولا يظهر على الجانب الثانوي . معنى ذلك ببساطة أن مثل هذا التيار من الممكن أن يسبب عمل المرحل الفرقي. توجد حلول عديدة للتغلب على هذه المشكلة ، وجميع هذه الحلول ممكنة ومطبقة عملياً ، منها ما يأتي :

١ - استعمال مرحل فرقي بحساسية منخفضة لموجة التيار المندفع . أي أن هذا المرحل له تيار لقط مرتفع بحيث يتجاوز التيار المندفع، بالإضافة إلى تأخير زمني كافٍ.

٢ - استخدام مرحل انخفاض جهد مع المرحل الفرقي . يميز هذا المرحل بين حالة التيار المندفع وحالة قصر الدائرة التي تكون مصحوبة بانخفاض شديد في جهد أحد الأطوار على الأقل .

٣ - تغذية المرحل الفرقي بعزم معاكس لعزم التشغيل يتم توليده من توافقيات التيار المندفع وخاصة التوافقية الثانية . أن هذا يميز بين تيار القصر الذي لا يحتوي على تلك التوافقية وبين التيار المندفع.

٤ - يمكن كذلك منع تشغيل المرحل الفرقي بأية وسيلة عند لحظة تشغيل المحول وتوصيلة على مصدر التغذية .



شكل ٧ -٣ الحماية الفرقية للمحول باستخدام مرحل فرقي منحاز

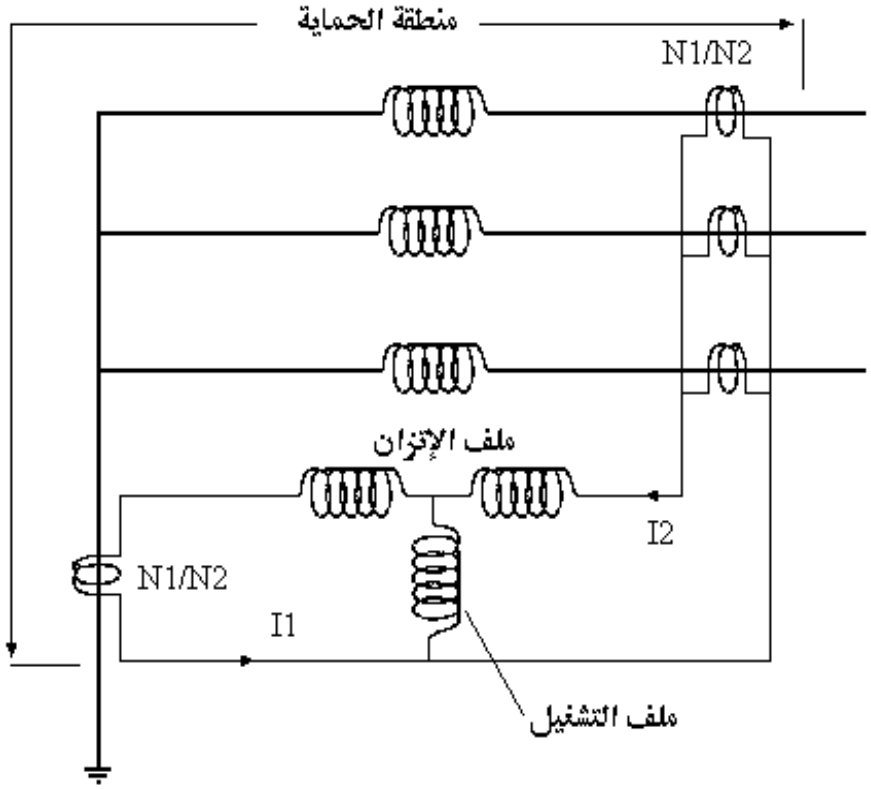
ثانياً: وجود فرق بين تياري المرحل الفرقي:

لا يمكن من الناحية العملية الحصول على تيارين متساوين تماماً من محولي التيار اللذين يغذيان المرحل الفرقي وذلك نتيجة لتفاوت الصناعة والتوصيلات والأجهزة وغير ذلك. ورغم أن هذا الفرق يكون صغيراً في الحالات العادية بحيث يمكن ضبط المرحل تبعاً لذلك، إلا أنه عند حدوث عطل خارجي فإن ارتفاع قيمة تيار القصر يرفع من قيمة هذا الفرق مما قد يؤدي إلى تشغيل المرحل نتيجة لخطأ خارج منطقة الحماية

يمكن التغلب على هذه المشكلة باستعمال مرحل يعرف باسم المرحل الفرقي المنحاز المزود بملف آخر يسمى ملف الكبح (الاتزان). وباستخدام ذلك الملف يمكن ضبط تساوي التيارين i_1 وi_2. يبين لشكل ٧ -٣ فكرة عمل هذا المرحل. ويتم في هذا النوع من الحماية تغذية المرحل بواسطة محولي التيار. يتصل ملف التشغيل بمنتصف ملف الكبح وتتروح نسبة الفرق بين i_1 وi_2 من ٢٠ ٪ إلى ٥٠ ٪ عادة، ويتم اختيارها بحيث لا تتسبب الأخطاء الخارجة عن منطقة الحماية في تشغيل المرحل. كما أن تلك النسبة تسمح بالفرق التي يمكن أن تحدث بين i_1 وi_2 نتيجة للأسباب السابقة.

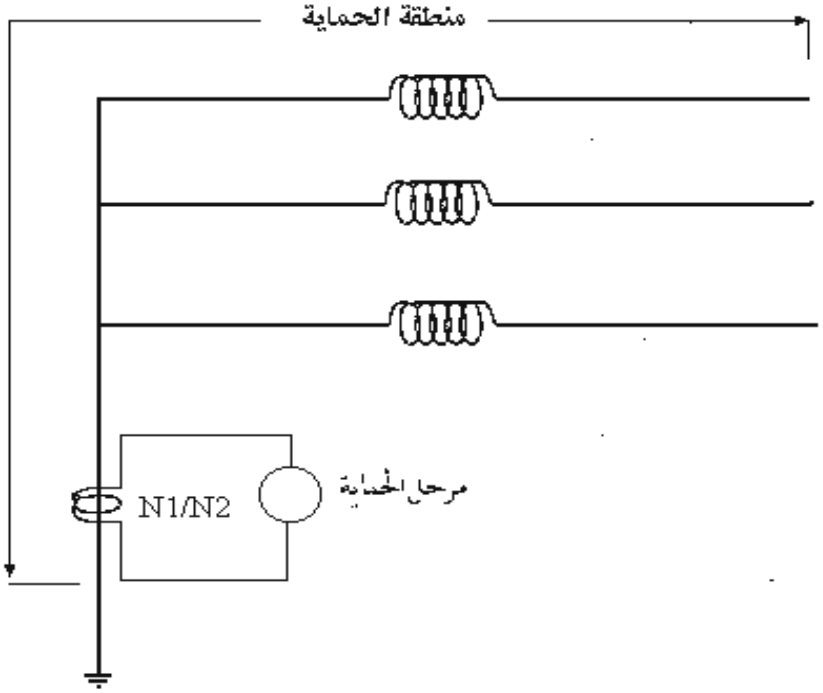
٧ -٦ الحماية الأرضية للمحول

بالرغم من أن الحماية الفرقية تقوم بعمل حماية من الخطأ الأرضي، إلا أنه في بعض الحالات يكون لتيار الخطأ الأرضي أقل من القيمة التي تسبب عمل المرحل الفرقي ويحدث مثل تلك الحالات عند تأريض نقطة تعادل المحول بواسطة مقاومة أو مفاعلة كبيرة مما يحد من قيمة تيار القصر الأرضي. يمكن في تلك الحال استعمال حماية أرضية منفصلة.

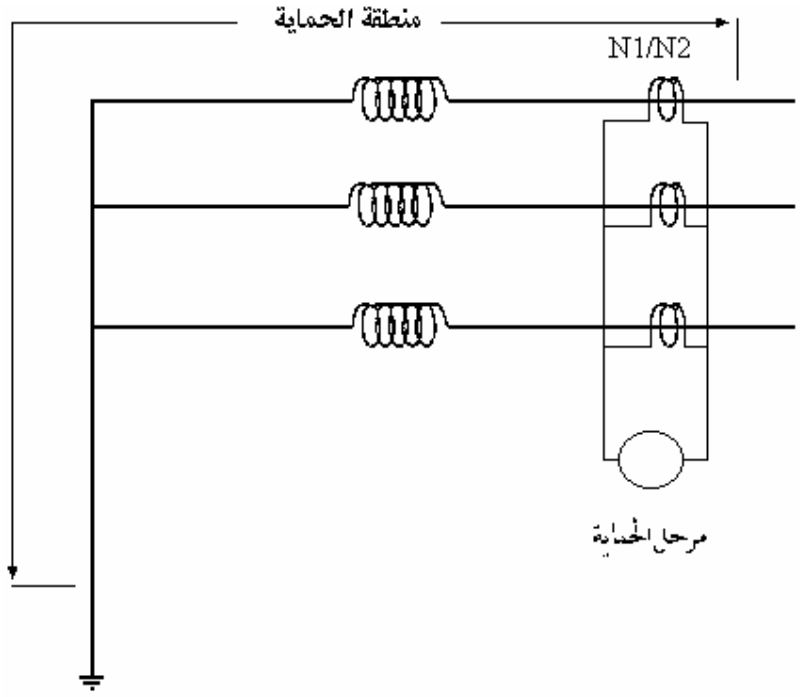


الشكل ٧ - ٣ الحماية الأرضية للمحول باستخدام مرحل الحماية الفرقية

توجد طرق عديدة للحماية الأرضية، ويمكن اختبار ما هو مناسب لكل حالة.وكل هذه الطرق تعتمد إما على قياس التيار المار إلى الأرض مباشرة وإما على قياس مجموع التيارات الثلاثة في خطوط المحول (هذا المجموع يساوي تيار الخط الأرضي) أو بمقارنة مجموع التيارات الثلاثة في خطوط المحول بالتيار المار في الخط الأرضي. يبين الشكل ٧ - ٣ إحدى طرق الحماية الأرضية للمحول. حيث يتم مقارنة مجموع تيارات الأوجه بتيار الأرضي. وفي حالة عدم وجود عطل أرضي يكون التياران داخل ملف التشغيل متساويين. أما في حالة وجود عطل أرضي فسوف يعمل المرحل على فصل المحول نتيجة اختلاف التيارين داخل ملف التشغيل.



الشكل ٧ -٤ الحماية الأرضية للمحول باستخدام مرحل يعمل على تيار الأرضي



الشكل ٧ -٥ الحماية الأرضية للمحول باستخدام مرحل يعمل على مجموع تيارات الأوجه

يبين الشكل ٧ - ٤ إحدى طرق الحماية الأرضية للمحول وذلك بقياس مجموع تيارات الأوجه الثلاثة. ومن المعروف أن المجموع الكلي لتلك التيارات يساوي صفر عند عدم حدوث أي أعطال في الدائرة الكهربائية. أما في حالة وجود عطل أرضي فسوف يعمل المرحل على فصل المحول نتيجة لمرور تيار داخل مرحل الحماية.

يبين الشكل ٧ - ٥ طريقة الحماية الأرضية للمحول عبر قياس تيار الخط الأرضي. حيث إن هذا التيار يساوي مجموع تيارات الأوجه الثلاثة. وفي حالة عدم وجود عطل أرضي يكون التيار المار في مرحل الحماية مساويا للصفر. أما في حالة وجود عطل أرضي فسوف يعمل المرحل على فصل المحول نتيجة مرور تيار في الخط الأرضي.

٧ الحماية ضد الأعطال في الأجهزة المساعدة

يجب الإشارة إلى حماية المحول من الارتفاعات المفاجئة والشديدة في الجهد نتيجة عمليات فصل وتوصيل الأحمال والمحطات أو نتيجة الصواعق البرقية المباشرة أو الموجات الراحلة الداخلة للمحول من خلال خطوط النقل.

يمكن وضع المحول داخل مبنى لحمايته من الصواعق البرقية المباشرة. وفي حالة وضع المحول خارج المبنى يمكن استعمال قضيبين هوائيين يعمل كل منهم كمانع صواعق لحماية المحول وأحيانا يمكن استخدام شبكة من الأسلاك الأفقية الهوائية المربوطة جيدا بالأرض من خلال الكترودات التأريض والمعلقة على أعمدة بعيدة عن المحول.

يتم استخدام جهاز الحماية ضد تجاوز الجهد(كابح الجهد) ووضعه بالقرب من المحول لكي يحمي المحول من الموجات الراحلة والإرتفاعات في الجهد نتيجة عمليات الفتح والتوصيل.

كما يزود المحول بأجهزة الحماية التالية:

٧ -٧ -١جهاز الحماية عند ارتفاع ضغط الزيت

عند حدوث قصر شديد داخل المحول يرتفع ضغط الزيت بداخلها لدرجة قد تؤدي إلى حدوث انفجار ولتلافي ذلك يزود المحول بجهاز يعمل على مخرج للزيت عندما يزداد الضغط فيندفع بعض الزيت إلى خارج المحول فينخفض الضغط داخل المحول وفي نفس الوقت يصدر إشارات فصل لجميع قواطع المحول لفصله وعزله عن الشبكة. والجهاز كان في السابق عبارة عن غشاء أو قرص سهل الكسر عند قيم معينة من الضغط يركب على فتحة أعلى المحول فإذا زاد الضغط تمزق الغشاء وسمح للزيت بالخروج. ومن عيوب ذلك النظام أنه عندما يفتح يظل مفتوحا ويعرض زيت المحول للهواء والرطوبة.

أما النوع الجديد فهو عبارة عن صمام يضبط ليفتح على ضغط معين فإذا انخفض الضغط قفل ثانية وبذلك يمنع تعرض الزيت للهواء والرطوبة.

٧ -٧ -٢ جهاز الحماية عند ارتفاع درجة حرارة الزيت

يعمل هذا الجهاز على قياس درجة حرارة الزيت. ويتكون هذا الجهاز من انتفاخ مغمور في الزيت به غاز له معامل تمدد كبير والغاز يصل من الانتفاخ إلى الجهاز الذي به المؤشر ونقاط التلامس بواسطة أنبوبة ويتحكم الجهاز في مجموعتين من نقاط التلامس الزئبقية ويتم تغييره على درجتي حرارة الأولى للإنذار وتكون حوالي ٦٥ درجة مئوية والثانية حوالي ٩٥ درجة مئوية وتكون لفصل المحول.

كما يجب الأخذ في الاعتبار المشاكل التالية:

١ - انخفاض مستوى الزيت داخل المحول والتي يجب حمايته بواسطة مبين مستوى الزيت والذي يعطي إنذار عند انخفاض مستوى الزيت عن حد معين.

٢ - عطل في طلمبة الزيت أو في مروحة التهوية .

٣ - انخفاض عزل الشرائح المكونة للقلب الحديدي للمحول.

٤ - التوصيلات الكهربائية غير الجيدة.

٥ - انهيار عزل الملفات للمحول.

٦ - عطل في صمام تصريف الضغط.

٧ - عطل في ترمومترات الزيت أو ترمومتر الملفات.

٨ - عطل في حجرة التحكم للمحول.

يتم تجهيز المحول بمبين للأعطال السابقة وكذلك بدائرة إنذار للتحذير عندما تكون تلك الأعطال لها تأثير ضار على عمل المحول كما أن الصيانة الدورية ومراقبة درجة الحرارة لجسم المحول تسبب في تلاشي حدوث أضرار نتيجة لتلك الأعطال.

المراجع:

[١] "الحماية والتنسيق في المنشآت الصناعية والتجارية"عبد المنعم موسي، دار الراتب الجامعية

محطات التوليد وطرق الحماية

حماية المحرك

جميع الحقوق محفوظة للمؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني

حماية المحرك

يوجد في حياتنا مدى واسع لتطبيقات المحركات وذلك في أغراض متعددة. المشاكل الأساسية التي تؤثر على اختيار الحماية لا تعتمد على نوع المحرك ونوع الحمل الموصل به. المحركات التي بصدد مناقشتها وهي إما أن تكون محركات تزامنية أو حثيه.

أنواع الأعطال

الأعطال الكهربية في المحركات تقريبا هي نفس أنواع الأعطال في المولدات. عموما يمكن حماية المحركات ضد الأعطال الآتية:

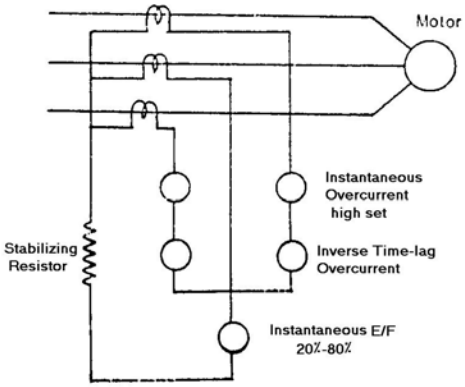
- أعطال العضو الثابت
- أعطال العضو الدوار
- زيادة الحمل
- عدم اتزان الأوجه
- انخفاض الجهد
- عكس الحركة أو فتح أحد الأوجه
- فقد التزامن (في حالة المحركات المتزامنة فقط)

الحماية ضد أعطال العضو الثابت

دوائر قصر العضو الثابت إما أن تكون أرضية أو بين الأوجه. تتم الحماية ضد هذه الأعطال بمساعدة أجهزة فصل ضد زيادة التيار من النوع الحراري ذو خواص عكسية بين التيار والزمن وفى الغالب تزود بوسيلة فصل لحظي في حالة التيارات العالية. تتم توصيل مرحلات زيادة التيار اللحظية بمحولات تيار في حالة المحركات ذو القدرة العالية والتي يمكن أن تكون أكبر من ٥٠ حصان.

تتم حماية أعطال الأوجه باستخدام عنصريين لمرحل لحظي ذو قيمة ضبط عالية ويجب أن تكون عملية الضبط أعلى من تيار البدء Starting Current.

كما تتم حماية أعطال الأرضي بالنسبة لمحرك يعمل على نظام ذو نقطة تعادل مؤرضة بمرحل لحظي وقد يتم ضبطه بحوالي ٣٠٪ من حمل المحرك في دائرة محولات التيار الثلاثة المتبقية Residual Circuit of 3-CTs. شكل ١ يوضح تفاصيل الحمايات السابقة على محرك حثي. في حالة عدم وجود نقطة تعادل مؤرضة. يجب أن نذكر بأن لا فائدة في وضع مرحل ضد أعطال الأرضي في حالة الأنظمة غير المؤرضة. ويجب أن نشير بأنه في حالة المحركات كبيرة القدرة يستخدم الحماية التفاضلية.



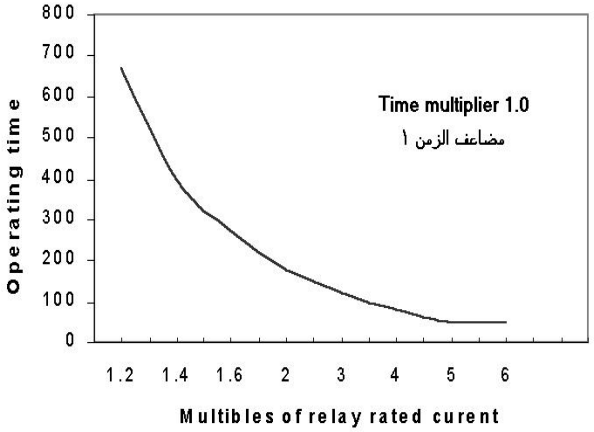
شكل ١ مرحل حماية محرك حثي.

الحماية ضد زيادة التحميل

زيادة التحميل تؤدي إلى زيادة في التيار مما يؤدي إلى ارتفاع في درجة الحرارة التي بدورها تسبب ضرر في العمر الزمني للآلة. وبالتالي صممت حماية ضد زيادة التحميل بحيث تتطابق بقدر الإمكان مع المنحنى الحراري لأغلبية المحركات. ويجب أن يقع منحنى خواص الحماية تحت المنحنى الحراري للمحرك. ويفضل أن يكون المرحل ذا مرونة في تغير قيمة خواص المنحنى بما يتلاءم مع مختلف المحركات. ويراعى أيضا على جهاز الحماية ألا يسمح بإعادة تشغيل المحرك بعد الفصل حيث ما زالت درجة الحرارة للملفات عالية مما لها من أثر بالغ الخطورة. ويجب أيضا ألا يعمل المرحل في فترة بدء تيار التشغيل العالي التي ممكن أن يصل قيمة التيار إلى ٦ مرات تيار الحمل المقنن. وأيضا يجب أن يراعى الفترة الزمنية لتيار بدء التشغيل.

عند إعاقة العضو الدوار، يتدفق تيار مساوي إلى تيار بدء التشغيل. لو زاد هذا التيار لفترة زمنية أطول من تيار بدء التشغيل ممكن يسبب ضرر كبير. وكلما كان خواص مرحل زيادة الحمل تتلاءم مع منحنى بدء التشغيل كلما كان أفضل لحماية المحرك ضد الأضرار. شكل ٢ يبين أحد منحنيات المرحلات المناسب لهذه الحماية. وكمثال لضبط هذه الحماية كما هو مبين بالشكل أن ١٢٠٪ من الحمل المقنن، وتيار البدء حوالي ٦ مرات التيار المقنن ولمدة ٣٠ ثانية والذي لا يسبب فصل للمحرك أثناء بدء التشغيل. باستخدام ضبط مضاعف الزمن يمكن التحكم في زمن التشغيل عند قيم كبيرة لزيادة التيار لتتناسب مع خواص بدء للمحرك بدون الرجوع إلى قيم ضبط التيار.

يجب أن نشير هنا أنه في حالة المحركات المتوسطة القدرة والصغيرة يستخدم مرحل وقاية حراري ومصهرات أو وقاية حراري وقواطع أو وقاية حراري مع مصهرات وقواطع مع بعضهما، شكل ٣ يوضح مقارنة وظائف الحماية بين المصهرات، القواطع والوقاية الحرارية.



شكل ٢ : منحنى زمن التشغيل لمتمم ذو منحنى عكسي.

Protection الحماية	with fuses مع مصهرات		without fuses بدون مصهرات
	1	2 3	4 5
	مصهرات	قواطع مع مرحل حرارى	قواطع
حماية تيار القصر بواسطة	مصهرات	قواطع مع مصهرات / مصهرات	قواطع
المسموح به لغاية	100 kA at 660 V		r.b.c. = f (I_N, U, cos φ, c.b. type)
القطع 2 قطب / 1 قطب	لا / نعم	نعم / لا	نعم / لا

شكل ٣ : مقارنة وظائف الحماية بين المصهرات، القواطع والوقاية الحرارية.

الحماية ضد عدم الاتزان وسقوط وجه واحد

عدم اتزان المصدر يسبب تدفق تيار تعاقبي سالب في المحرك وبالتالي يؤدي إلى ارتفاع درجة حرارة في ملفات الآلة. بالنسبة لعدم اتزان الأحمال أو سقوط أحد أوجه المصدر يعتمد على طبيعة الحمل الذي يجعل المحرك في حالة تشغيل، أيضا مثل هذه الظروف تسبب مرور تيار تعاقبي سالب.

كما أشير سابقا بأن المحركات الموصلة نجمة، تزود حماية سقوط أحد الأوجه وزيادة الحمل باستخدام عنصريين زيادة الحمل (شكل ١). لكشف ظروف سقوط أحد الأوجه يفضل أن تزود بمرحل اتزان الأوجه أو بمرحلات ثنائية المعدن Bimetal Relays. شكل ٤ يبين مرحل ثنائي المعدن بشريحتين S١ و S٢ بحيث أن الشريحة S١ تتحرك بانحراف القطع المعدنية، بينما الشريحة S٢ تظل في مكانها نتيجة

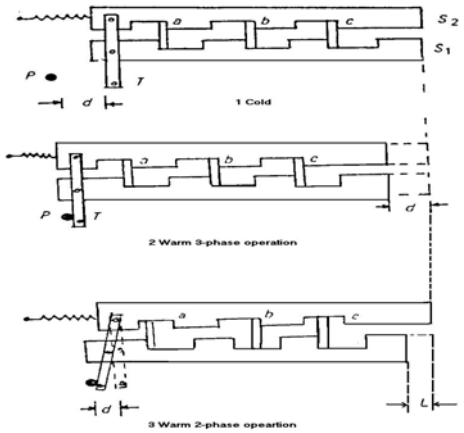
إلى عدم ثني القطع المعدنية. في حالة الأحمال المتماثلة كل القطع ثنائية المعدن a,b,c تنحني بالتساوي وكلا من الشريحتين S١ و S٢ تتحركان في نفس الاتجاه بمسافة تقدر d وتلامس النقطة P مسببة فصل للدائرة، انظر الشكل ٤ -(٢).

في حالة سقوط أحد الأوجه، تنحني كل من القطعتين a,c فقط بينما تبقى القطعة الثالثة b باردة. شكل ٤ -(٣) يوضح حالة التشغيل في حالة سقوط أحد الأوجه.

أحيانا في بعض الحركات الكبيرة والتي تكون ذو أهمية كبيرة يتم حمايتها بثرمستور (المقاوم الحراري). عند حدوث حرارة زائدة نتيجة التحميل الزائد أو سقوط أحد الأوجه، المقاوم الحراري يتم دفنه في أماكن مختلفة من العضو الثابت متصلا بجهاز فصل يعمل نتيجة اختلاف في المقاومة.

الحماية ضد انخفاض الجهد

تشغيل المحرك في حالة انخفاض الجهد يسبب زيادة في التيار وبالتالي ممكن حمايته بأجهزة زيادة الحمل أو أجهزة استشعار درجة الحرارة. من ناحية أخرى مرحل انخفاض الجهد والذي سبق شرحة بالتفصيل سابقا ممكن استخدامه مع تغذيته بجهد أحد الأوجه مع الأرضي أو وجه وذلك لحماية المحرك في حالة حدوث انخفاض في الجهد في الأوجه الثلاثة. غالبا مؤخر زمني يستخدم حتى لا يحدث فصل في حالة انخفاض الجهد العابر.



شكل ٤: مرحل ثنائي المعدن مع سمة سقوط أحد الأوجه.

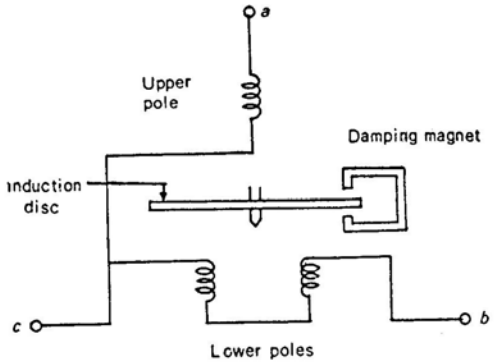
الحماية ضد انعكاس الأوجه

يتغير اتجاه دوران المحرك في حالة تغير تتابع الأوجه. في بعض التطبيقات لا يسمح بانعكاس دوران الحركة في المحرك ولذلك تعتبر هذه الخاصية مهمة جدا ويجب حمايتها. يوجد أنواع متعددة من

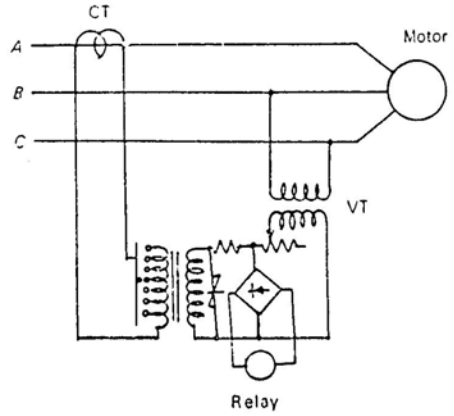
المرحلات نذكر منها مرحل الجهد متعدد الأوجه من نوع القرص الحثى من حماية المحرك ضد انعكاس الأوجه أو في حالة البدء وأحد الأوجه مفتوح. شكل ٥ يبين هذه الحماية.

الحماية ضد فقد التزامن

المحركات المتزامنة ممكن خروجها من التزامن نتيجة لحمل زائد كبير جداً أو نتيجة لتعرضها لانخفاض في الجهد. مثل هذه الحالة ممكن حمايتها بمرحل يستجيب إلى التغير في معامل القدرة . شكل ٦ يبين مرحل الحماية ضد فقد التزامن.



شكل ٥: مرحل انعكاس وفتح أحد الأوجه.



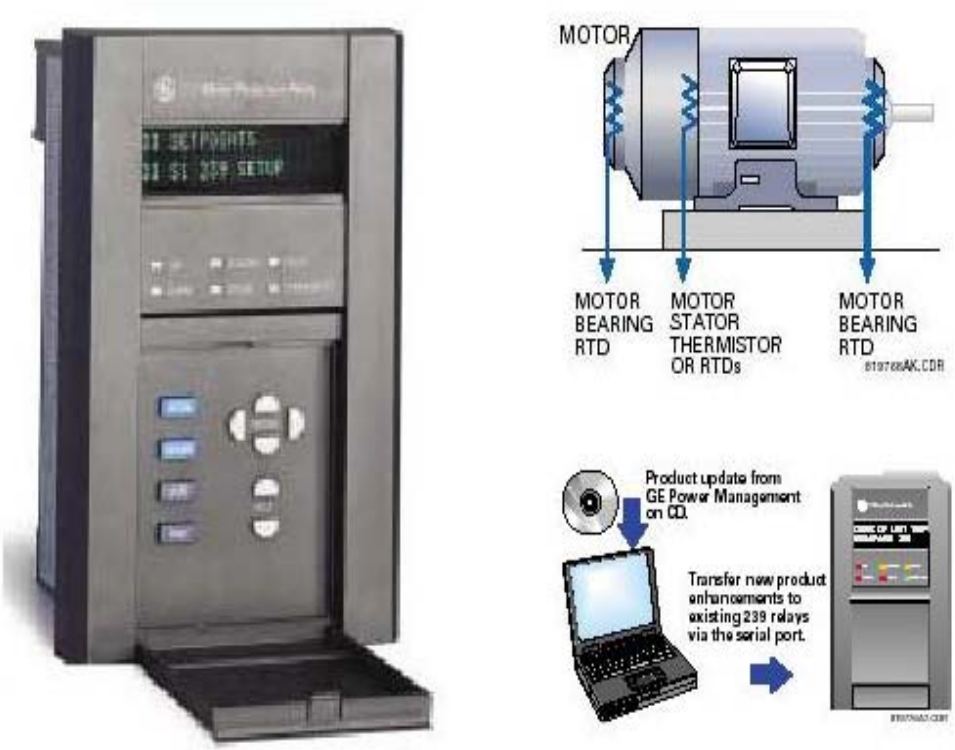
شكل ٦: مرحل حماية عدم التزامن.

الحماية الكلية الرقمية للمحرك

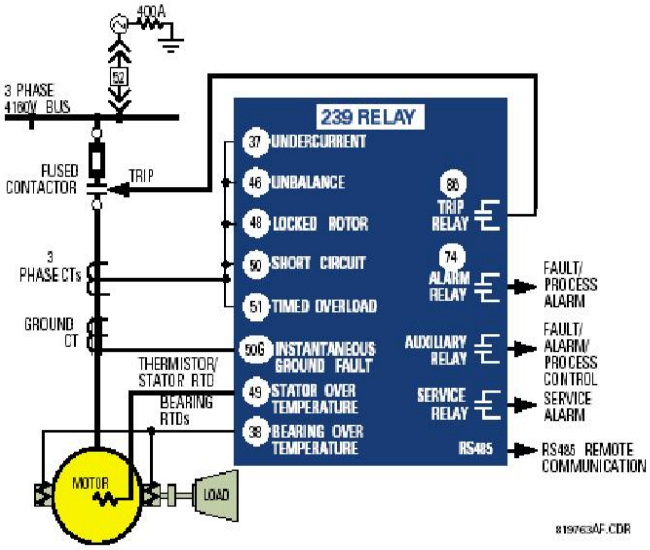
شكل ٧ يمثل إحدى الحمايات الرقمية الحديثة المستخدمة للمحرك وكيفية توصيله وضبطة باستخدام الحاسب. شكل ٨ يمثل الرسم التخطيطي للمرحل.

تطبيقات صناعية

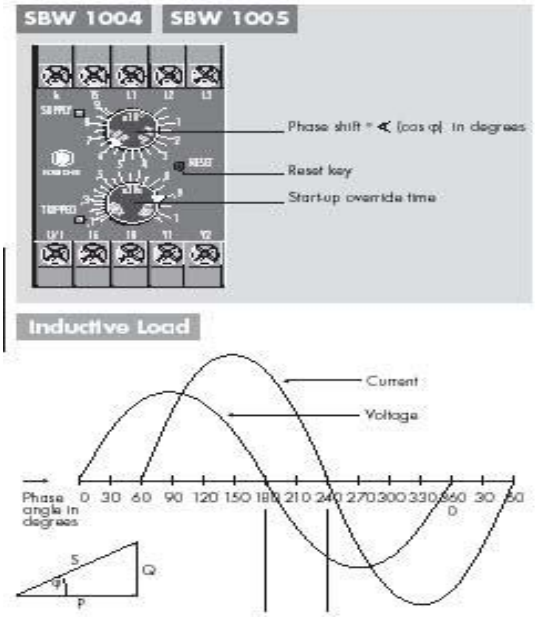
من أهم التطبيقات الصناعية الموجودة هي حماية المحرك في حالة نقصان الحمل التي تعتمد أساسا على قياس الزاوية بين الفولت والتيار. شكل ٩ يبين أحد هذه التطبيقات والرسم التوضيحي لكيفية التوصيل لمرحل موجود فعلا في الموقع.

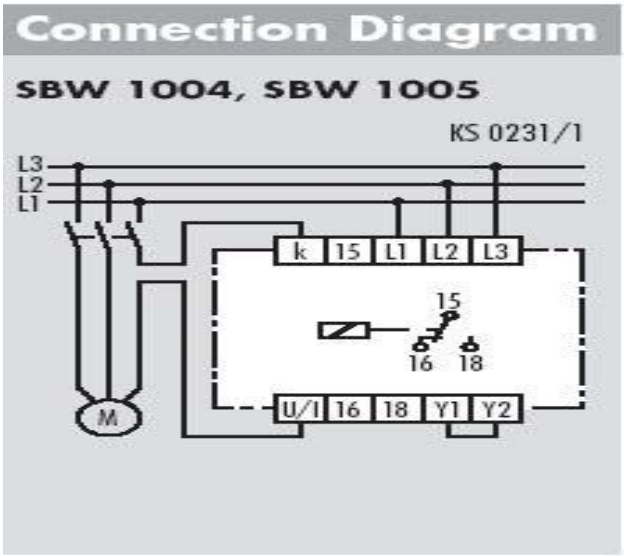


شكل ٧ : الحماية الرقمية الحديثة للمحرك.



شكل ٨ : الرسم التخطيطي للمرحل.





شكل ٩ : مرحل الحماية ضد نقصان الحمل والرسم التخطيطي له.

المراجع

١- Stanely H. Horowitz and Arung G. Phadke, "Power System Relaying" (book), Jon Wiley and Sons Inc, New York, ١٩٩٢.

٢- C.R. Mason, "The art and Science of Protective Relaying", book, John Wiley and Sons, Inc, ١٩٥٦.

٣- B. Ravindranath and M. Chander, "Power System Protection and Switchgear", (book), Wiley Eastern Limited, New Delhi, ١٩٨٧.

٤- J. L. Blackburn, "Protective Relaying", (book), Marcel Dekker, Inc, ١٩٨٧.

٥- مهندس.محمد حضير حمادى -موسوعة هندسة الحمايات الكهربية -بيروت

٦- د.كاميليا يوسف محمد - الوقاية في الشبكات الكهربية -مصر

٧- د. عبد المنعم موسى - الحماية والتنسيق في المنشآت الصناعية والتجارية -مصر

المحتويات

١.محطات توليد القدرة الكهربائية ١
الطاقة الكهربائية ٢
أنواع محطات التوليد ٣
محطات التوليد البخارية ٤
محطات التوليد الغازية ٩
محطات التوليد المائية ١٢
محطات توليد الديزل ١٦
٢.تشغيل مولدات القدرة ٢٠
الأنواع الرئيسية لمولدات القدرة التزامنية ٢١
الأجزاء الرئيسية لمولدات القدرة التزامنية ٢٢
مصادر تغذية الأقطاب ٢٤
توليد موجات القوة الدافعة الكهربية الخاصة بالعضو الثُابت ٢٥
الدائرة المكافئة للمولدات التزامنية ٢٨
٣.ربط محطة التوليد مع الشبكة الكهربائية ٣١
الشروط اللازمة لربط محطة المولد مع الشبكة الكهربائية ٣٢
ربط محطة المولد مع الشبكة الكهربائية بطريقة المصابيح المضيئة ٣٣
ربط محطة التوليد مع الشبكة الكهربائية بواسطة منظار التزامن ٣٥
دراسة سلوك المولدات التزامنية المتصلة بالقضبان اللانهائية ٣٦
الاختلاف في سلوك المولدات التزامنية المتصلة بالقضبان اللانهائية والمولدات الغير متصلة ٣٨
٤.التحكم في سريان القدرة المتولدة ٤٠
إنتاج القدرة في محطات التوليد ٤١
التحكم في القدرة الفعالة ٤٤
التحكم في القدرة الغير فعالة للمولد ٤٧
ملخص حالات التشغيل ٤٨
٥. أساسيات الحماية الكهربية ٥١
٦. حماية المولدات الكهربية ١٠٣

أعطال المولد ١٠٣
الحماية الكلية الرقمية للمولد ١١١
٧.حماية المحولات الكهربية ١١٢
العوامل الأساسية المؤثرة في حماية المحولات ١١٢
طبيعة الأعطال في المحولات ١١٢
الحماية ضد الأعطال في ملفات المحول وتوصيلاته ١١٧
الحماية ضد تجاوز التيار ١١٨
الحماية الفرقية للمحول ١٢١
الحماية الأرضية للمحول ١٢٤
الحماية ضد الأعطال في الأجهزة المساعدة ١٢٦
٨. حماية المحرك ١٢٩
أنواع الأعطال ١٢٩
الحماية الكلية الرقمية للمحرك ١٣٣
تطبيقات صناعية ١٣٤
المراجع ١٣٦

تقدر المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني الدعم

المالي المقدم من شركة بي آيه إي سيستمز (العمليات) المحدودة

GOTEVOT appreciates the financial support provided by BAE SYSTEMS