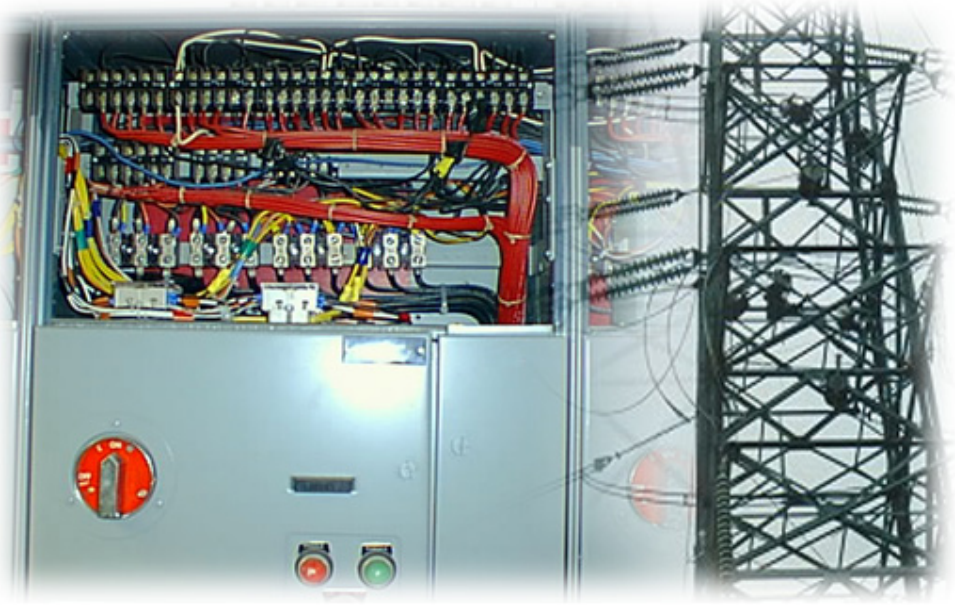
المملكة العربية السعودية
المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني
الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج

قوى كهربائية

حماية النظم الكهربائية

٢٥٥ 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 " حماية النظم الكهربائية " لمتدربي قسم" قوى 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

حماية النظم الكهربائية

أساسيات الحماية الكهربائية

جميع الحقوق محفوظة للمؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني

إن استمرارية الطاقة الكهربية وتوفرها بشكل سليم وبسعر مناسب لهو قياس على تقدم البلاد. وإن منظومة القوى الكهربية والتي تتكون من وحدات توليد وشبكات لنقل وتوزيع القدرة تحتاج إلى مجهودات هائلة وتجهيزات كبيرة ومتنوعة وذلك لإيصال التيار الكهربي إلى المستهلك بشكل صحيح ومستمر.

ومنظومة القوى الكهربية بما تحتويه من عناصر مثل المولدات والمحولات وخطوط هوائية وكابلات لنقل وتوزيع القدرة الكهربية تتعرض لبعض الأعطال والتي قد تؤدي إلى توقف المنظومة عن العمل بسبب عطل أو إتلاف أحد عناصر هذه المنظومة وبالتالي انقطاع التيار الكهربي إذا لم تتخذ الأمور الوقائية اللازمة.

وعلى هذا فإن دراسة مقرر حماية النظم الكهربية يعتبر من الأشياء المهمة جدا وذلك للذين سيعملون في مجال التقنية الكهربية من مهندسين وفنيين. حيث يتعرض هذا المقرر للأجهزة والمعدات التي تستخدم في دوائر حماية المكونات الرئيسية لمنظومة القوى الكهربية.

وسنتناول في هذا المقرر دراسة أساسيات و مبادئ تشغيل دوائر حماية القوى الكهربية وكذلك التعرف على المصطلحات المستخدمة في هذا المجال وهو مجال الحماية الكهربية. كذلك نتعرض لدراسة العناصر الأساسية والمستخدمة في منظومات الحماية الكهربية وهي المصهرات بأنواعها وكيفية عملها وكذلك القواطع الكهربية بأنواعها وكيفية عملها وكذلك نستعرض الأنواع المختلفة للمرحلات ونظرية عملها.

كذلك من خلال هذا المقرر نتعرض لكيفية حماية بعض الوحدات الأساسية المستخدمة في منظومة القوى الكهربية مثل حماية المحولات الكهربية وحماية المولدات الكهربية وكذلك حماية المحركات الكهربية.

وفي النهاية نتمني أن نكون قد وفقنا في تناول الموضوعات المقترحة من خلال هذا المقرر. ونتمنى من الله أن ينفع به أبنائنا الطلاب ومن يعملون في هذا المجال.

والله نسأل أن يوفقنا جميعا لما يحب ويرضى .....

وصف المقرر :

يصف المقرر طرق حماية النظم الكهربائية من الأخطاء حيث يتعرض المقرر إلى دراسة المصهرات والقواطع والمرحلات المختلفة وإلي الطرق المهمة التي تستعمل في حماية التركيبات والآلات الكهربية.

الهدف العام :

يهدف المقرر إلى تعريف المتدرب بطرق حماية النظم الكهربائية من الأخطاء وبخاصة طرق حماية التركيبات والآلات الكهربية كما يهدف إلى تعريفه بالمصهرات والقواطع والمرحلات المختلفة المستعملة لهذه الأغراض.

الأهداف الموضوعية :

دراسة هذا المقرر تمكن المتدرب من :

- الإلمام بأساسيات حماية النظم الكهربية وبالمصطلحات المستعملة في هذه الحماية.
- الإلمام بمبدأ تشغيل المصهرات وبأنواعها.
- الإلمام بمبدأ تشغيل القواطع الكهربائية وبالأنواع المختلفة لهذه القواطع
- الإلمام بالأنواع المختلفة للمرحلات حسب التركيب وحسب الوظيفة.
- الإلمام بالطرق المختلفة لحماية التركيبات الكهربية.
- الإلمام بالطرق المختلفة لحماية المحولات الكهربائية حسب أنواع الأخطاء.
- الإلمام بالطرق المختلفة لحماية المولدات الكهربية حسب أنواع الأخطاء.
- الإلمام بالطرق المختلفة لحماية المحركات الكهربية.

مقرر	:	حماية النظم الكهربائية
رمز المقرر	:	٢٥٥ كهر
متطلب سابق	:	شبكات كهربائية
الفصل الدراسي	:	الرابع
ساعات معتمدة (ساعة / أسبوع)	:	٣ ساعات
ساعات اتصال	:	٤ ساعات (٢ نظرية + ٢ عملية)

الجدارة : فهم أساسيات الحماية الكهربائية

الأهداف :

عند إتمام دراسة هذا الفصل يتمكن المتدرب من :

١. معرفة أساسيات نظم الحماية الكهربية.
٢. فهم التعاريف والمصطلحات المستعملة في حماية نظم القوى الكهربية.
٣. التعرف على الحماية المركبة لعناصر المنظومة الكهربية.

مستوي الأداء المطلوب : أن لا تقل نسبة إتقان هذه الجدارة عن ٩٠٪.

الوقت المتوقع للتدريب : ساعتان أو أسبوع (ساعتان/أسبوع)

الوسائل المساعدة :

استخدام الوسائل التعليمية المختلفة.

متطلبات الجدارة :

يجب أن يكون المتدرب ملما بتقنية التوزيع الكهربي وكذلك الشبكات الكهربية.

١.١ المقدمة

إن توليد ونقل وتوزيع القدرة الكهربية يحتاج إلى جهود هائلة وتجهيزات كثيرة ومتنوعة وباهظة التكاليف بالإضافة إلى الجهود المبذولة أثناء الدراسات والتنفيذ والاستثمار لإيصال التيار الكهربي إلى المستهلك بشكل سليم.

ومنظومة القدرة الكهربية بما تحتويه من مولدات ومحولات وخطوط هوائية وكابلات لنقل وتوزيع القدرة الكهربية يتعرض لحوادث غير طبيعية نسميها بالأعطال تؤدي إلى تلف هذه التجهيزات وبالتالي انقطاع التيار الكهربي إذ لم تتخذ الاحتياطات الوقائية المناسبة. وإذا لم يتم اتخاذ الاحتياطات الوقائية المناسبة فإن التجهيزات الكهربية المعرضة للأعطال تتلف ويكون إصلاحها أو استبدالها مكلفا جدا بالإضافة إلى الخسائر الناتجة عن انقطاع التيار الكهربي من المعامل والمنشآت الصناعية ذات الحيوية الاقتصادية مما يؤدي إلى توقف الإنتاج وتوقف هذه المعامل كما يؤدي إلى خسائر كبيرة لاقتصاد وإيرادات البلد مثل (مصافي البترول ومعامل الأسمدة ومعامل الأدوية).

والأعطال التي تحدث نتيجة لأسباب داخلية تكون بسبب انهيار العازلية أو سوء التصنيع أما الأسباب الخارجية فتكون إما نتيجة لضربات البرق التي تؤدي إلى وجود جهود عالية جدا لا يمكن لنظام القدرة تحمله أو لحدوث قصر في الدائرة. ويمكن التخفيف من هذه الأعطال ونتائجها بحيث تصبح نادرة الحدوث وذلك بالتصميم الجيد وتطوير الأجهزة المستخدمة في نظام القدرة مثل المحولات ومجموعات التوليد والخطوط الهوائية والكابلات وأجهزة القطع وأجهزة الحماية والمراقبة والتحكم المناسبة. وقد أدى التقدم في مجال الحمايات والتحكم إلى تحسين مردود التشغيل والاستمرار في تطوير أنظمة التغذية الكهربية بشكل عام.

ويقدم هذا الفصل التعاريف والمصطلحات المستعملة في حماية أنظمة القوى الكهربية.

٢.١ المصطلحات المستعملة في مجال حماية النظم الكهربية

سنحاول هنا ذكر بعض التعاريف لعبارات ومصطلحات ستواجهنا اثنا دراستنا لهذا المقرر.

- كلمة (**Normal**) تشير إلى الحالة السليمة أو حالة اللاعطل في الدائرة المحمية ولكن عندما تستخدم في مجال التوصيلات لملامس المرحل فإنها تعني أن المرحل غير مهيج.

- كلمة (**Relays**) وهي المرحلات أي الأجهزة التي تعمل عمل المراقب الذي لا يتعب فهي تقيس وباستمرار الكميات الكهربية للدائرة المحمية، وجاهزة لإعطاء الأمر للقاطع ليفصل الدائرة حالا عندما يصبح أحد تلك الكميات أكبر من العادي أي Abnormal (حالة العطل للدائرة المحمية).

- إن اصطلاح **Normally Open Contact (NOC)** يعني أن الملامس للمرحل مفتوح في الحالة الطبيعية أي عندما يكون المرحل غير مهيج. كما تشير إلى أن الملامس يقوم بإغلاق الدائرة عندما يعمل المرحل ويسمى هذا الملامس بملامس وصل أو ملامس عامل. وهذا النوع من الملامسات مستخدم في المرحلات المصممة لتعمل في ظروف حالة ارتفاع الكميات العاملة مثل مرحل زيادة التيار أو المرحل الذي يعمل عند زيادة الجهد أو زيادة التردد.

- إن مصطلح **Normally Closed Contact (NCC)** يعني أن ملامسات المرحل مغلق في الحالة الطبيعية عندما يكون المرحل غير مثار أو غير مهيج. وعند إثارته فإن الملامسات تفتح ويعرف أيضا بأنه ملامس يفتح الدائرة أو ملامس عكسي. ويمكن أن يتضمن المرحل على ملامسات عاملة (مفتوحة في الحالة الطبيعية) أو ملامسات عكسية (مغلقة في الحالة الطبيعية) أو مجموعة منهما. وفي جميع الأحوال يكون للملامس إحدى موضعين إما وضعية الوصل أو وضعية الفصل. وعندما يكون الملامس موصلا فإنه يمر فيه تيار تحدد قيمة عناصر الدائرة التي يشكل جزءاً منها. بينما عندما يكون الملامس في وضعية الفصل فإنه لا يمر فيه تيار.

- المرحلات الأولية **Primary Relays**

وهي المرحلات التي توصل بشكل مباشر في الدائرة المحمية.

المرحلات الثانوية Secondary Relays

وهي المرحلات التي توصل إلى الدائرة المحمية عبر محولات التيار أو الجهد أو كليهما معا.

- **المرحلات الكهرومغناطيسية Electromagnetic Relays**

وهي المرحلات التي تعمل بمبدأ الجذب أو التحريض وتحتوي على ملامسات يقوم المرحل بوصلها أو فصلها حسب نوع أو مجال العمل.

- **المرحلات الإستاتيكية Static Relays**

وهي المرحلات التي تتكون من أشباه الموصلات (semi-conductors) أو من بعض الدوائر المغناطيسية الخاصة وهي لا تحتوي على ملامسات متحركة على عكس المرحلات الكهرومغناطيسية. وهي تعطي أوامر الفصل باستخدام مرحلات مساعدة تسمى المواليات (slave devices) وأغلبها من المرحلات ذات الجذب الكهرومغناطيسي.

- **المرحلات الرئيسية Main Relays**

وهي المرحلات التي تكون مخصصة لحماية قسم محدد بشكل أساسي.

- **المرحلات الداعمة أو الاحتياطية Back-Up Relays**

وهي المرحلات التي تقوم بالعمل بعد تأخير زمني عندما تفشل المرحلات الرئيسية بفصل القسم المتعطل وهي إما أن تكون محلية في نفس مكان المرحلات الأساسية أو بعيدة في مناطق أخرى.

- **الانتقائية Selectivity**

وهي مقدرة أجهزة الحماية (المرحلات) على التمييز بين العطل في المنطقة المحمية والحالات الطبيعية أو العطل في مكان آخر في المنظومة الكهربية، وذلك من أجل عزل المنطقة المتعطلة فقط عن باقي المنظومة واستمرار الخدمة في باقي الشبكة الكهربية.

الحســـاسية Sensitivity

وهي مقدرة المرحل على التجاوب مع الأعطال التي تظهر في المنطقة المحمية.

- **المتانة Consistency**

وهي قدرة المرحل على إمكانية إعادة خواصه الكهربائية والزمنية.

- **زمن التشغيل Operating Time**

يعتبر زمن التشغيل هو الفترة الزمنية اللازمة للحماية كي توصل دائرتها وتكمل مهمتها وذلك اعتبارا من وصول كمية التشغيل إلى قيمة الجذب وحتى تعمل الحماية وتغلق ملامستها.

- **المرحلات اللحظية Instantaneous Relays**

المرحلات اللحظية هي المرحلات التي تعمل (تعطي أمر الفصل) بشكل فوري وبدون أي تأخير زمني وعلي الغالب فإنها تعمل في أقل من ١و٠ ثانية.

- **مرحلات التأخير الزمني Time-delay Relay**

هن المرحلات اللاتي تعمل بعد تأخير زمني وذلك بوسائل تأخير مختلفة.

- **مرحلات زيادة التيار Over Current Relays**

وهي المرحلات التي تعمل عندما يرتفع التيار في الدائرة المحمية فوق قيمة محددة وتنقسم هذه المرحلات إلى عدة أنواع منها :

١. **مرحلات زيادة التيار ذات التأخير الزمني Definite time-Current Relay**

وهي مرحلات زيادة التيار التي لا تعمل إلا بعد تأخير زمني وهذا التأخير الزمني مستقل عن تيار العطل.

٢. **مرحلات زيادة التيار ذات الزمن العكسي Inverse-time-Current Relays**

وهي مرحلات زيادة التيار التي لا تعمل إلا بعد تأخير زمني وهذا التأخير الزمني يتناسب عكسيا مع تيار العطل حسب العلاقة ($I \cdot t = k$) أي أنه كلما كان تيار العطل أكبر كان زمن الفصل أسرع.

٣. مرحل زيادة التيار ذات الزمن العكسي وذات زمن أصغر محدود

Inverse-definite time Relay

وهذه المرحلات هي نفس النوع السابق باستثناء أن الزمن يصل إلى قيمة صغرى لا يمكن تجاوزها مهما ازداد تيار العطل.

١. ٣ دور أجهزة الحماية (المرحلات)

إن أجهزة الحماية الكهربية هي أجهزة تستجيب للحالات غير النظامية (حالة الأعطال) في الشبكة الكهربية وتتحكم بالقواطع الآلية وذلك من أجل عزل الجزء المتعطل فقط من النظام المحمي دون بقية الأجزاء السليمة.

ومن أجل أن تكون أجهزة الحماية قادرة على فعل ذلك، فإنها يجب أن تكون قادرة وبدون أي تأخير على تقرير أي من القواطع الآلية يجب فصله لعزل الجزء المتعطل فقط من الشبكة المراد حمايتها. كما تعتبر أجهزة الحماية شكلا من أشكال التأمين من وجهة النظر الاقتصادية. فهي تحمي نظام القدرة ذو المنفعة العامة من ضياع الموارد المالية بسبب تلف وانهيار التجهيزات وانقطاع التغذية في حالة عدم استخدامها. وتقدر تكلفة أجهزة الحماية في نظام القدرة بين (١: ٢ ٪) من التكلفة الكلية لمنظومة القدرة.

بالإضافة إلى عمل أجهزة الحماية الرئيسية وهي تحديد الأعطال بسرعة وعزل الأجزاء المتضررة فقط فإنها تحمي الأشخاص وتساعد على الحد من تضرر الأجهزة وتعطل الإنتاج فهي تدعى بالحارس الصامت والعقل الكهربي "Electric Brain" . وتتعرض الشبكات الكهربية إلى بعض الحالات غير العادية (الأعطال) وأهم مايتضمنه العطل زيادة التيار وهبوط الجهد وتحدث الأعطال في أغلب الأحيان نتيجة حدوث دائرة قصر أو انهيار في العوازل أو التعرض لصدمات البرق أو نتيجة عمليات خاطئة في الدائرة.

وينجم عن زيادة التيار انتشار حرارة تتناسب مع تيار العطل وتغير بالأجزاء الحاملة لهذا التيار وربما بالأجزاء المجاورة لها أيضا. وأما هبوط الجهد فإنه يسبب اضطرابا في عمل الآلات وفي استقرار المولدات التي تعمل على التوازي واستقرار مجموعات القدرة بشكل عام. وقد يرافق الأعطال في الدائرة هبوط في التردد والذي يقارب في نتائجه هبوط الجهد. وبالإضافة إلى مهمة أجهزة الحماية بفصل الأجزاء المتعطلة فإنها تعمل على إعطاء التنبيه أو الإنذار عند ظهور حالات غير نظامية في عمل المنشأة أو أنها تعمل على إزالة الأحوال غير النظامية من أصلها. ومن مهام أجهزة الحماية ما يلي:

١. مراقبة ظروف العمل لكل عنصر من عناصر منظومة القوى الكهربية.
٢. كشف الأعطال وتحديد حالة المنظومة.
٣. عزل الجزء المتعطل من الشبكة بواسطة القواطع الآلية.
٤. القيام بالتصحيح اللازم لاستفادة العمل النظامي باستخدام أجهزة تحكم مناسبة.
٥. التنبيه أو الإنذار لكي يتدخل العنصر البشري ليقوم بالتصحيح اللازم.

وتشتمل أجهزة الحماية على

- **المصهرات Fuses**
- **القواطع الآلية Circuit Breakers**
- **المرحلات Relays**
- **مانعات الصواعق Lightning Arrestors**

وتستخدم هذه الأجهزة لحماية التجهيزات والآلات الكهربية كالمولدات والمحركات والمحولات والقضبان المجمعة والخطوط الهوائية والكابلات الأرضية من كافة الأعطال التي تحدث على منظومة القدرة الكهربية.

ويجب أن تركب أجهزة الحماية في الأماكن المناسبة التي تلائم عملها وذلك لضمان موثقية العمل ولإبعاد إمكانية إصابتها بالأضرار الميكانيكية ولتجنب العاملين من مخاطر الصدمات الكهربية. وتصمم أجهزة الحماية بحيث تستجيب لعملها عند اختلاف الكميات الكهربية أثناء الحالات الطبيعية والحالات غير الطبيعية (الأعطال). وتعتبر الكميات الكهربية الأساسية التي يمكن أن تتغير أثناء التحول من الحالة السليمة إلى حالة العطل هي التيار والجهد والاتجاه والتردد وعامل القدرة (زاوية الطور). ومن الضروري أن تكون الحماية من أجل الاستجابة لأكثر من كمية من هذه الكميات الكهربية وذلك بسبب أن تيار العطل أثناء حالة التوليد الصغرى يمكن أن يكون أقل من تيار الحمولة العادية أثناء حالة التوليد القصوى.

١. ٤ وظيفة وأسلوب عمل أجهزة الحماية

يلاحظ مما تقدم أن المرحلات تعمل عمل المراقب الذي لا يتعب فهي تقيس باستمرار الكميات الكهربية للدائرة المحمية ، وجاهزة لتفصل الدائرة حالا عندما يصبح أحد هذه الكميات غير عادي (حالة العطل). فمثلا المرحلات المسافية نوع المفاعلة (Distance Relay type reactance) من أجل حماية خط نقل فإنها تفصل الخط من القضبان المجمعة إذا حدث العطل ضمن المنطقة المحمية ولا تفصله إذا حدث العطل خارج تلك المنطقة المحمية وليتم تحقيق ذلك فإنها تقيس التيار والجهد ومعامل القدرة (Cos Φ) وتحسب المقدار ($\left|\frac{V}{I}\right| \text{Sin}\,\varphi$) بشكل صحيح بدقة تصل إلى ٢٪ وتغلق ملامساتها أو لا تغلقها ويعتمد ذلك على موقع العطل ضمن المنطقة المحمية أو خارجها.

ومن أجل المحافظة على حجم وتكاليف أجهزة الحماية إلى قيم مقبولة فإن التيارات العالية والجهود للدائرة الأولية لا تطبق مباشرة على أجهزة الحماية وإنما تنقص إلى قيم صغيرة نسبيا باستخدام محولات القياس ـ وهي محول الجهد (Potential Transformer) ومحول التيار (Current Transformer) . والتي يكون مهمتها ما يلي :-

١. إنقاص تيارات وجهود نظام القدرة المستخدمة إلى قيم صغيرة تكون مناسبة لسلامة الأجهزة المستخدمة.
٢. عزل دائرة الأجهزة المستخدمة عن الدائرة الأولية والتي تكون غير مناسبة في الجهد والتيار.
٣. تحويل قيم التيار والجهد في الدائرة الأساسية إلى قيم نظامية عالمية مستخدمة لكافة الأجهزة .

وتؤخذ تيارات الحماية من الدائرة الثانوية لمحولات التيار كما تؤخذ جهود الحماية من الدائرة الثانوية لمحولات الجهد أو من عناصر جهد سعوية. وتكفي مجموعة واحدة من محولات الجهد مربوطة إلى القضبان المجمعة لتأمين تغذية الحمايات بالجهد لكافة الدوائر المرطبة بهذه القضبان وتعتمد الدقة والموثقية لخطط الحماية بشكل كبير على دقة محولات القياس المستخدمة وخصوصا محولات التيار عندما تمر فيها تيارات كبيرة ناتجة عن دوائر القصر.

ويمكن تقسيم كل مرحل إلى عنصرين أساسيين أحدهما عنصر للتحسس (Sensing element) والآخر للتحكم (Control element) . وعنصر التحسس في المرحلات الكهرومغناطيسية أو التحريضية عبارة عن وشيعة تتغذى من تيار أو جهد الجزء المحمي من الشبكة عن طريق الدائرة الثانوية لمحولات القياس وذلك حسب نوع الاستعمال. وتزود الحمايات المسافية أو حمايات القدرة بوشيعتين وشيعة للتيار ووشيعة للجهد ومن خلالهما تتحسس الحماية لتغيرات الكميات الكهربية وتستجيب لها. ويتكون عنصر التحكم في المرحل من مجموعة من الملامسات تتحرك بتأثير القوة الكهرومغناطيسية الناتجة عن

عنصر التحسس فينتج عن ذلك وصل أو فصل ملامسات المرحل ومن ثم يعطي أمر الفصل للقاطع الآلي مما يؤدي إلى فصل ميكانيكي مباشر للقاطع الآلي.

١.٥ المبادىء الأساسية لعمل دائرة الحماية

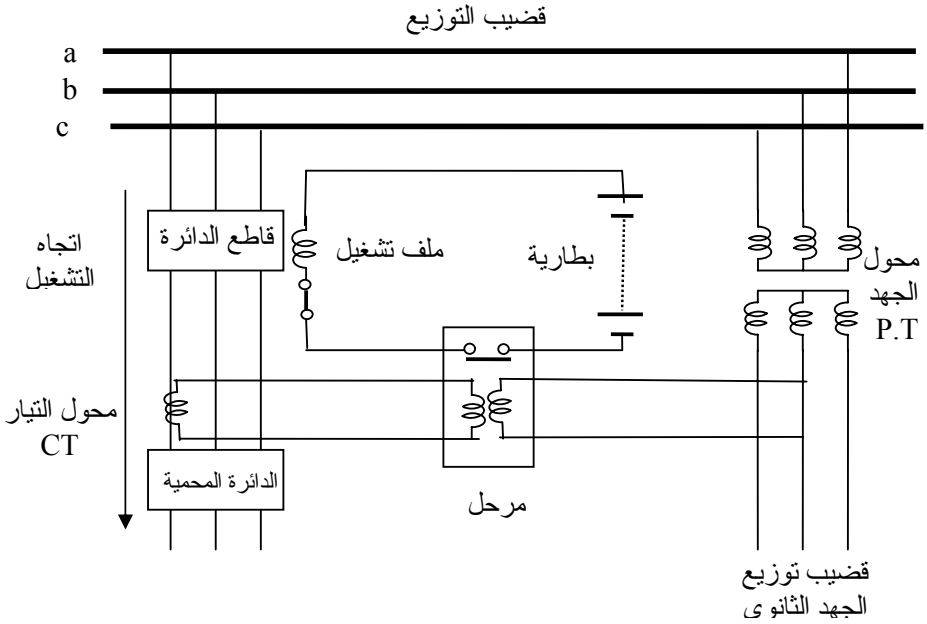
إن لجميع مرحلات الحماية (Protective Relays) وضعيتين الوضع الأول وهو الوضع النظامي ويكون الملامس عادة مفتوح الدائرة والوضع الثاني وهو وضع العطل ويكون الملامس مغلق الدائرة وتتغير وضعية الملامس في الحماية إلى الوضعية المغلقة (وضعية العطل) عندم تزيد كميات العطل غير النظامية (زيادة التيار مثلا) على الكميات النظامية.

ويبين الشكل (١.١) التوصيلات الأساسية لمرحل حماية من الأعطال التي تحدث على القسم المراد حمايته. ويوضح الشكل القضبان المجمعة (Bus-Bars) لمحطة توزيع وأحد المغذيات (Feeders) ومحولات الجهد لأغراض القياس والحماية. كما يبين موقع أحد محولات التيار في الدائرة المراد حمايتها. ويجب أن تتضمن الدائرة المراد حمايتها ثلاث محولات تيار من أجل نظام الحماية الفعال وتغذي الدائرة الثانوية لمحولات التيار ملف التيار في جهاز الحماية (المرحل) ويتغذى ملف الجهد في المرحل من الدائرة الثانوية لمحولات الجهد. وقد مثل المرحل بأحد ملفات التيار وملف الجهد وأحد ملامس التحكم، ووجد ملف للجهد دلالة على أن المرحل يفصل بشكل اتجاهي حسب السهم في الشكل الموضح كما يتضح في الدائرة وشيعة الفصل للقاطع الآلي (Trip Coil t.c.) والملامس المساعد (auxiliary switch) للقاطع الآلي. كما توصل في الدائرة مجموعة من البطاريات حسب الشكل من أجل تغذية أجهزة الحمايات والقاطع الآلي. ويمكن شرح عملية فصل القاطع الآلي عند حصول عطل في الدائرة المحمية بالشكل التالي:

عند حصول عطل ما في الدائرة المحمية يرتفع التيار في الدائرة الأولية وبالتالي يرتفع التيار في الدائرة الثانوية لمحولات التيار والذي يغذي ملفات التيار في المرحل. وهذا التيار يكون أكبر من التيار الطبيعي والذي يكون المرحل معاير من أجله وتنشأ قوة كهرومغناطيسية كافية لعملية جذب الحافظة التي تحمل الملامسات أو تدوير القرص التحريضي وبالتالي تغلق ملامسات المرحل الذي يؤدي إلى اكتمال دائرة وشيعة الفصل للقاطع الآلي حيث يطبق جهد البطاريات عليها ومن ثم ينتج فصل ميكانيكي للقاطع الآلي وتنفصل التغذية عن المخرج ويعود المرحل إلى وضعه الأساسي.

كما يجب أن نذكر أنه عندما تغلق ملامس المرحل فإن النسبة العالية (L/R) لوشيعة الفصل للقاطع الآلي تؤخر تعاظم التيار، وهكذا فإن القاطع السريع يفصل قبل أن يصل التيار إلى القيمة الثابتة.

وبعد أن يفصل القاطع الآلي فإن الملامس المساعد (a) يفتح ومن ثم فإن دائرة وشيعة الفصل تصبح غير مهيجة ويفتح المرحل ملامساته وتعود إلى وضعها الأساسي (rest) . ومن الأمور المهمة المطلوبة من ملامس المرحل ألا يتذبذب بسرعة أثناء استمرار تيار الفصل و إلا فإن الملامسات سوف تحترق وتصبح سيئة.



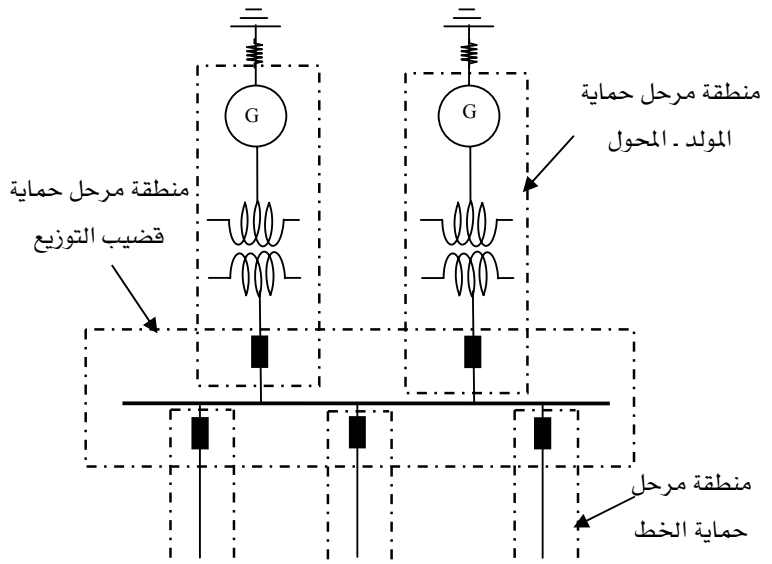
الشكل (١ -١) مباديء عمل دائرة الحماية

١ . ٦ المتطلبات العامة لأجهزة الحماية

إن القواطع الآلية غير كافية لوحدها لعزل الأعطال التي يمكن أن تحدث على تجهيزات نظام القدرة المراد حمايتها. ويجب أن تدعم القواطع الآلية بأجهزة حماية مناسبة مثل المرحلات للكشف على وجود الأعطال وعزل الجزء المتعطل عن بقية أجزاء نظام القدرة السليمة، وبذلك تعمل على الحد من انتشار التلف الذي يمكن أن يحدث بسبب حدوث الأعطال. وجميع أجهزة الحماية المستخدمة مهما كانت نوعيتها واستعمالها يجب أن تتصف بعدة صفات أساسية. ومن هذه الصفات: الانتقائية و الموثوقية وسرعة العمل والحساسية و الاستقرار. وسنقدم بعض الإيضاح لهذه الصفات:

١ . ٦ . ١ الإنتقائية Selectivity

إن صفة الانتقائية لجهاز الحماية هو قدرته على عزل الجزء المتعطل من الشبكة دون بقية الأجزاء السليمة واستمرار التغذية في بقية الشبكة الكهربية. وفي هذه الحالة فإن الحماية لها القدرة على اكتشاف وجود الأعطال في النظام المراد حمايته وتحديد القواطع الآلية التي تعمل لعزل العطل. ويبين الشكل (١ ـ ٢) محطة توليد صغيرة مكونة من مجموعتي توليد كل مجموعة مكونة من مولد ومحول تغذي قضبان مجمعة، يخرج منها عدة مخارج أو مغذيات خارجية.

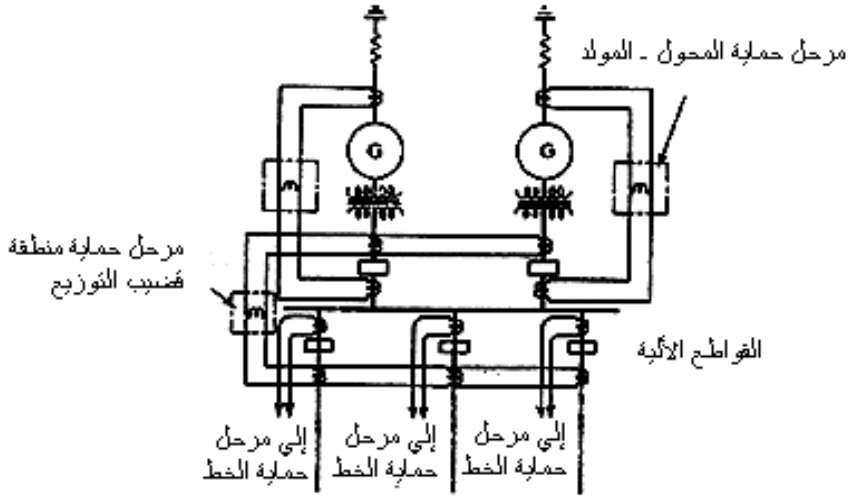


شكل (١ ـ ٢) تأمين مناطق الحماية المتراكبة لتفادي المناطق الميتة بدون حماية

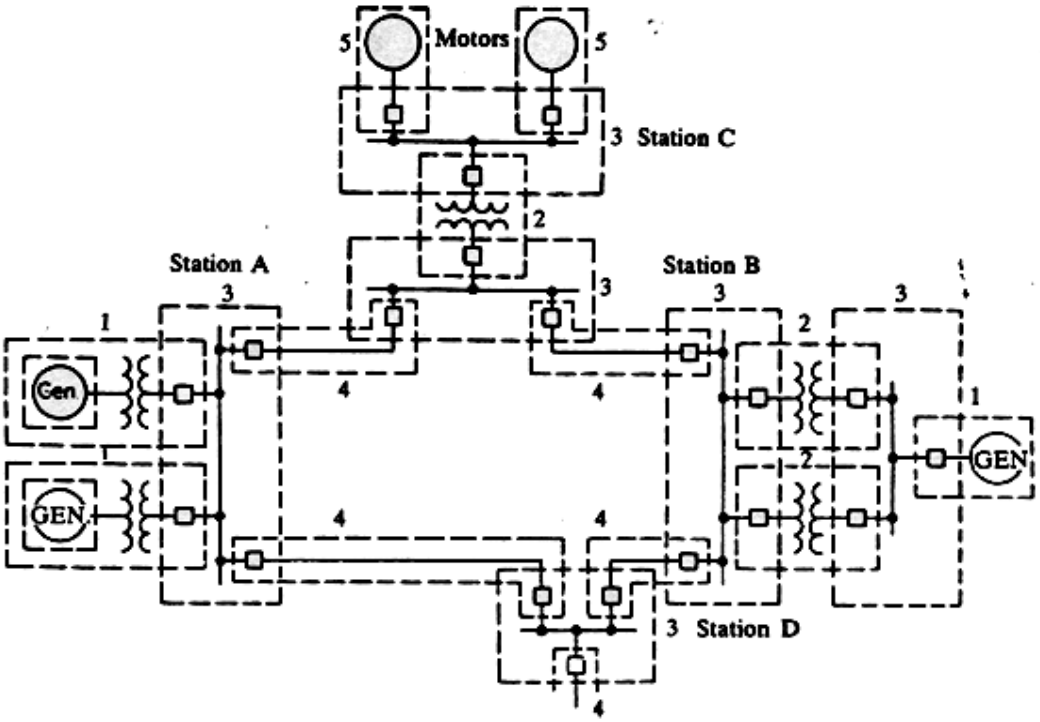
فعند حدوث عطل على أحد المغذيات الخارجية فإن الحماية الخاصة بهذا المغذي تعطي أمر الفصل للقاطع الآلي لهذا المغذي فقط وتبقى التغذية في بقية أقسام المنشأة. وكذلك الأمر عند حدوث عطل على القضبان المجمعة فإن الحماية تعطي أمر الفصل لفصل التغذية عن منطقة العطل.

أما إذا حدث العطل ضمن منطقة مجموعة (المولد ـ المحول) فإن الحماية لهذه المنطقة تعطي أمر الفصل فقط للقاطع الآلي الخاص بهذه المنطقة. و يلاحظ أن المنشأة مقسمة إلى عدة مناطق محمية، كل منطقة لها حماية مستقلة. كما يلاحظ أن مناطق الحماية تتراكب (over lapping) وذلك من أجل الحماية الكاملة وعدم وجود مناطق ميتة بدون حماية.

ويلاحظ أن منطقة حماية القضبان المجمعة تتراكب مع حماية المغذيات الخارجية و كذلك مع منطقة الحماية لمجموعة المولد ـ المحول. ويبين الشكل (١ ـ ٣) موقع محولات التيار لتأمين الحماية المتراكبة لمناطق الحماية الخاصة بالشكل (١ ـ ٢). ويلاحظ من الشكل (١ ـ ٣) أن القاطع الآلي للمغذيات يقع ضمن منطقتي حماية لأنه تم تركيب محولات التيار على جانبي القاطع ويعتبر هذا الترتيب مكلفا ولا يمكن تحقيقه في الخلايا المعدنية الجاهزة Metal clad type والتي تكون إما للاستعمال الداخلي أو للاستعمال الخارجي وإذا تم تركيب محولات التيار بعد القاطع الآلي فإن القاطع الآلي ترك بدون حماية إلا إذا وجدت حماية للقضبان المجمعة. كما يبين الشكل (١ ـ ٤) نظام قدرة نموذجي أشد تعقيدا مكون من مجموعات توليد تغذي عدة محطات تحويل مع ارتباطها بخطوط نقل القدرة. وقد تم تقسيم هذا النظام إلى عدة مناطق حماية مع تأكيد أن تكون هذه المناطق متراكبة. فإذا حدث عطل على أحد هذه المناطق فإن كافة القواطع الآلية الواقعة بين تلك المنطقة وبين بقية المناطق يجب أن تفصل. ويظهر في الشكل أن الرقم ١ يشير إلى منطقة الحماية لمجموعة المولد ـ المحول والرقم ٢ يشير إلى منطقة حماية محول الاستطاعة والرقم ٣ يشير إلى حماية قضبان مجمعة و٤ إلى حماية الخطوط و ٥ إلى حماية المحركات.



شكل (١ ـ ٣) موقع محولات التيار لتحقيق الحماية المتراكبة



شكل (١ ـ ٤) نظام قدرة نموذجي مع مناطق الحماية المتراكبة

٢.٦.١ سرعة العمل Speed of operation

إن المطلب الثاني الذي يجب تحقيقه من أجهزة الحماية هو سرعة العمل، فعند حدوث عطل في منطقة ما فإن الحماية في هذه المنطقة يجب أن تقرر دون تأخير إذا كان هذا العطل ضمن منطقة الحماية أو خارجها وكلما طالت فترة بقاء العطل استمر تيار العطل مما يؤدي إلى تلف الأجهزة. وإذا كان العطل ضمن المنطقة المحمية فإن الحماية يجب أن تفصل القاطع الآلي مباشرة ولكن الحماية لا يمكنها التأكد بشكل لحظي فيما إذا كان العطل ضمن منطقة الحماية أو خارجها.

وتعتبر خاصية السرعة ضرورية لأنها تفصل القسم المتعطل خلال فترة زمنية قصيرة مما يؤدي إلى التخفيف أو الحد من التلف والدمار للتجهيزات كما يتم تجنب فقدان الاستقرار في عمل مجموعات التوليد ومجموعات القدرة، ويتحدد زمن عزل العطل بعدة أمور منها مواصفات وجودة أجهزة الحماية ونوعيتها، كما يعتمد على استطاعة وجهد وتكاليف نظام القدرة، كما يعتمد أيضا على نوعية العطل. وحتى تحافظ مجموعات القدرة على استقرارها يجب إزالة العطل ضمن زمن معين وسنتعرف على بعض الأزمنة التقريبية للفصل.

فمثلا لخطوط النقل ذات الجهد الفائق فإن زمن الفصل للخط المتعطل يتراوح بين (٠,١ وحتى ٠,١٢) من الثانية. وبالنسبة خطوط نقل الجهد العالي فإن زمن الفصل يتراوح بين ٠,١٥ حتى ٠,٣ من الثانية أما في شبكات الجهد المتوسط فإن زمن الفصل للعطل يتراوح بين ١,٥ حتى ٣ ثوانٍ.

ويمكن أن تعدل هذه الأزمنة حسب بقية العوامل المحددة للزمن المسموح به وإن الأزمنة المعطاه تحدد بحسابات خاصة لاستقرار مجموعات القدرة وإن زمن عزل العطل عبارة عن مجموع زمنين هما زمن عمل المرحل وزمن عمل القاطع الآلي، وحتى يعزل العطل بسرعة يجب تسريع عمل المرحلات والقواطع الآلية، وأن معظم القواطع الآلية المستعملة يقع زمن عملها بين (٠,٠٦ حتى ٠,١٥) من الثانية ، ولعزل عطل خلال ٠,٢ ثانية مثلا فإن المرحل يجب أن يعمل في المجال ٠,٠٥ وحتى ٠,١٤ من الثانية

وإذا كان زمن العطل ٠,١٢ ثانية وزمن عمل القاطع ٠,٠٨ ثانية فإن زمن عمل الحماية يجب ألا يزيد على ٠,٠٤ ثانية وتعتبر المرحلات التي تعمل ضمن مجال ٠,١ إلى ٠,٢ ثانية سريعة العمل ولكن هناك مرحلات حديثة سريعة جدا يمكنها العمل خلال ٠,٠٢ وحتى ٠,٠٤ من الثانية. وإن عملية تطوير وإنتاج المرحلات السريعة جدا تعتبر هامة وصعبة ومثل هذه المرحلات تكون مكلفة ومعقدة لذلك يجب ألا تستعمل إلا للتجهيزات ذات الأهمية الكبيرة.

١.٦.٣ الحساسية Sensitivity

وتعرف الحساسية بأنها مستوى قيمة تيار العطل الذي تعمل عنده المرحلات. ويعبر عنه بالأمبير في الدوائر الفعلية (التيار الأولي) أو كنسبة مئوية من تيار الدوائر الثانوية لمحولات التيار. أي أن الحساسية هي تجاوب المرحلات مع الأعطال التي تظهر في المنطقة المحمية ويجب أن تفصل المرحلات أدنى قيمة لتيار العطل في القسم المراد حمايته. وعند عدم تجاوب المرحلات فإن العطل يمتد إلى الأقسام السليمة من الشبكة إذا لم نعمل الحمايات الاحتياطية (Back – up protection) .

١.٦.٤ الموثوقية Reliability

إن صفة الموثوقية لعمل المرحلات أو ضمان العمل تتحقق عندما تعمل المرحلات بشكل سليم ومناسب وكاف لعزل جميع أنواع الأعطال التي تحدث. ويعتبر أغلب حوادث فصل الدوائر نتيجة العمل الخاطىء للمرحلات نفسها.

ويجب أن تعمل المرحلات بدون أي خلل عند حدوث عطل في المنطقة المحمية وعندما تفشل المرحلات في العمل لسبب ما من الأسباب فإنها تسبب اضطرابا في التغذية واضطرابا في المنشآت وكذلك عندما تعمل المرحلات بدون حدوث أي عطل فإنها تسبب أيضا اضطرابا في التغذية نتيجة العمليات الخاطئة.

لذلك تعتبر صفة الانتقائية والحساسية هي الصفتان الرئيسيتان اللتان تعطيان صفة الموثوقية للمرحل. كما تعتبر صفة الحساسية والسرعة والعمل الإيجابي من الأمور الضرورية والهامة لعملية تصميم أجهزة الحماية.

١.٦.٥ الاستقرار Stability

تعرف صفة استقرار الحماية بأنها قدرة أجهزة الحماية بأن تكون غير عاملة (مقالة) بالنسبة للأعطال التي تحدث خارج منطقة الحماية والتي تسمى بالأعطال الخارجية. وتكون عاملة بالنسبة للأعطال التي تحدث ضمن منطقة الحماية والتي تسمى بالأعطال الداخلية.

١. ٧ الحماية الرئيسية والحماية الاحتياطية Main and Back-up Protection

إن وضع أجهزة حماية احتياطية لأجهزة الحماية الرئيسية مطلب مهم ورئيسي للحماية باستخدام المرحلات ففي حالة فشل أحد القواطع الآلية أو المرحلات بفصل القسم المتعطل يجب أن تعمل أجهزة الحماية الاحتياطية الخاصة بهذا الجزء المتعطل بعد فترة زمنية كافية لإعطاء الفرصة الكافية للمرحل والقاطع الرئيسي ليقوم بفصل العطل أولا. وشكل (١ ـ ٤) يمثل منظومة قوى نموذجية مجهزة بحماية متراكبة.

وتختلف الإجراءات المتخذة لتأمين الحماية الاحتياطية من المضاعفة التامة للمرحلات والقواطع الآلية وباقي تجهيزات الحماية من جهة، وبين عدم تأمين أية حماية إضافية مطلقا من جهة أخرى ولتأمين حماية احتياطية مناسبة يجب دراسة الأسس التالية :

١. الوسائل الفنية الممكنة لتأمين الحماية الاحتياطية.
٢. أهمية الجزء المحمي حماية احتياطية.
٣. تكاليف الطرق المختلفة لتأمين الحماية الاحتياطية.
٤. احتمالات الأعطال واحتمالات فشل أجهزة الحماية الأساسية.
٥. تأثير انقطاع التيار على العمليات الصناعية أو المحولات المختلفة بصورة مؤقتة.

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

حماية النظم الكهربائية

المصهرات و القواطع الكهربائية و المرحلات

جميع الحقوق محفوظة للمؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني

الجدارة: معرفة تركيب وكيفية عمل المصهرات والقواطع الكهربائية وكذلك المرحلات.

الأهداف:

عند إتمام دراسة هذا الفصل يتمكن المتدرب من :

١. فهم الأنواع المختلفة للمصهرات وخصائصها
٢. الإلمام بالقواطع الآلية المختلفة من حيث تركيبها وطريق استعمالها.
٣. الإلمام بالمرحلات والأنواع المختلفة لها من حيث تركيبها وطرق تشغيلها.
٤. الإلمام بطرق التنسيق بين المصهرات والقواطع الآلية.
٥. التعرف على كيفية عمل منظومة الحماية الكهربية من خلال المرحلات والقواطع.

مستوى الأداء المطلوب :

أن يكون المتدرب قد ألم بأساسيات ومفاهيم الحماية الكهربية بنسبة لاتقل عن ٩٠٪.

الوقت المتوقع للتدريب : عشر ساعات أو خمسة أسابيع (ساعتان/أسبوع).

الوسائل المساعدة:

استخدام الوسائل التعليمية المختلفة مثل الشفافيات وجهاز عرض الشفافيات وذلك لعرض صور لمقاطع مختلفة لكل من المصهرات والقواطع الآلية وكذلك لدوائر حماية متكاملة حتى يتسنى للطالب فهم موضوع المصهرات والقواطع والمرحلات.

متطلبات الجدارة :

يجب أن يكون المتدرب ملما بأساسيات الحماية الكهربائية.

١ . ٢ مقدمة عامة

إن عزل الأعطال التي تحدث على منظومة القوى الكهربية يؤدي إلى التقليل من فقدان التغذية للمنشآت والمعامل الاقتصادية كما يؤدي أيضا إلى الحد من التلف الذي يحصل على التجهيزات الخاصة بمنظومة القوى الكهربية. ولتحقيق ذلك فإن من الضروري تأمين مطلبين أساسيين وهما :

١. يجب أن يزود نظام القدرة بعدد مناسب من القواطع الآلية أو أجهزة قطع أخرى موضوعة بشكل صحيح في الشبكة ومناسبة لظروف التشغيل المطبقة على منظومة القوى الكهربية.
٢. كل من هذه الأجهزة يجب أن يملك وسيلة تحكم بامكانها تمييز الحالات غير الطبيعية (حالة العطل) ضمن المنطقة المحمية أو خارجها وبالتالي تستطيع أن تعزل الأقسام المتعطلة فقط من الشبكة.

٢ . ٢ الأجهزة المستخدمة في نظام الحماية Components of Protective System

تشتمل أجهزة الحماية الكهربية على ما يلي :

١. المصهرات Fuses
٢. القواطع الآلية Circuits Breakers (C.B.)
٣. المرحلات Relays
٤. محولات التيار Current Transformers (C.T.)
٥. محولات الجهد Potential Transformers (P.T. or V.T.)
٦. مانعات الصواعق Lightning or Surge Arrestors

وسنتناول في هذا الباب شرحاً مفصلاً لكل من المصهرات والقواطع الآلية وكذلك المرحلات.

الجزء الأول: المصهرات Fuses

٢.٣ المصهرات Fuses

٢.٣.١ مقدمة

يعرف المصهر بأنه جهاز حماية للدوائر الكهربية من زيادة التيار الناتجة عن دوائر القصر أو الحمولة الزائدة، وتفتح الدائرة عند هذه الزيادة نتيجة انصهار عنصر قابل للانصهار عند زيادة التيار عن قيمة محددة وخلال زمن مناسب.

ويستخدم المنصهر منذ زمن طويل كجهاز بسيط يحمي نظم القوى الكهربية ضد زيادة التيار وهو أكثر أجهزة الحماية استخداما لحماية نظم القوى الكهربية الحديثة وذلك لسببين : السبب الأول هو رخص ثمنه والسبب الثاني هو أن المصهر يعتبر أكثر هذه الأجهزة عمرا حيث إنه يستطيع أن يؤدي وظيفته على أتم وجه بعد مضي فترة تتراوح بين ١٥ و٢٠ سنة بدون الحاجة إلى صيانة لأنه - على عكس مفاتيح القطع - لا يحتوي على أجزاء متحركة.

وتحدد مقننات أي مصهر بناء على قيم الجهد وتيار الحمل وتيار القصر عند موقع المنصهر في الشبكة الكهربية. ومقننات المنصهر - وهي جهد التشغيل والتيار المقنن وسعة القطع - يجب أن يساوي هذه القيم أو أن تتجاوزها. ويجب على المنصهرات أن تتحمل ١١٠٪ من تيارها المقنن باستمرار وبدون أي تغيير في خصائصها كما يجب عليها، عند قطع التيار أن تتحمل الارتفاع العابر في الجهد المستعاد (Transient Recovery Voltage) الذي يظهر بين طرفي المنصهر. وسعة القطع (Interruption Capacity) للمنصهر هي أعلى قيمة فعالة للتيار يستطيع المنصهر أن يقطعه بنجاح وإذا زاد تيار القصر عن سعة القطع فإن ذلك قد يؤدي إلى انفجار المصهر ونشوب حريق.

ويتكون المصهر بشكل عام من الأجزاء التالية

- حامل المصهر Fuse holder
- قاعدة المصهر Fuse base
- ممسك المصهر Fuse carrier
- عنصر المصهر Fuse link

وبعض أجزاء الحماية الأخرى للمصهر وذلك لتشكيل جهاز حماية كامل. وسنتعرف فيما يلي على بعض التعريفات المهمة الخاصة بالمصهرات.

١. **عنصر المصهر** Fuse link

عنصر المصهر يتضمن عنصراً أو عدة عناصر توصل على التوازي ضمن خرطوشة أو أسطوانة احتراق (Cartridge) وتكون هذه الأسطوانة مملوءة بمادة خامدة للقوس الكهربي (Arc Extinction) ويتصل العنصر المصهر بنهايات الأسطوانة. كما يعرف عنصر المصهر أيضا بأنه الجزء من المنصهر الذي يتم تبديله بعد أن يعمل المصهر . كما يسمى الجزء الداخلي من عنصر المصهر والذي ينصهر نتيجة مرور تيار العطل خلاله بالعنصر element . أي أننا نقصد بالعنصر هو العنصر القابل للانصهار.

٣. **التيار النظامي أو المقنن** Current Rating

وهو التيار الذي يتحمله عنصر الصهر بشكل دائم بدون أي تلف أو ارتفاع درجة الحرارة بشكل غير مقبول. ويكون مكتوب على المنصهر من قبل الشركة الصانعة ويرمز له بالرمز (I_n) وهذا التيار يكون أقل من تيار الصهر الأصغر.

٤. **تيار الصهر الأصغر** (Minimum Fusing Current)

وهو أصغر قيمة للتيار تجعل العنصر المصهر ينصهر. وهو القيمة المقاربة للتيار المبين على مخطط خصائص الزمن / التيار للمصهر.

٥. **عامل الصهر** (Fusing Factor)

وهو عبارة عن حاصل قسمة قيمة تيار الصهر الأصغر على قيمة تيار المصهر المقنن وهو أكبر من الواحد ويعطي بالعلاقة التالية :

عامل الصهر = (تيار الصهر الأصغر / التيار المقنن) أكبر من الواحد

٦. **زمن قبل حدوث القوس** Pre – Arcing Time

وهو الزمن بين ابتداء زيادة التيار بشكل كاف ليسبب انصهار العنصر المصهر ولحظة بداية القوس الكهربي.

٧. **زمن القوس** Arcing Time

وهو الزمن بين لحظة انقطاع العنصر المصهر والفصل النهائي للدائرة.

٨. **زمن عمل المصهر**

إن زمن الفصل الكلي للمصهر هو أكبر من الزمن قبل حدوث القوس والذي يظهر في خصائص الزمن/التيار لأن العنصر المنصهر يستمر القوس بين نهايتيه المصهوريين حتى ينقص التيار إلى الصفر. لذلك فإن زمن عمل المنصهر هو مجموع زمنين وهما زمن قبل حدوث القوس وزمن حدوث القوس أي أن :

الزمن الكلي لعمل المصهر = زمن قبل حدوث القوس + زمن القوس

٢.٣.٢ أهم المتطلبات من المصهرات

تنحصر متطلبات عمل المصهر فيما يلي :

١. يجب أن يعمل المصهر بسرعة عالية للحد من التلف الذي قد يحدث للأجهزة المراد حمايتها لأن تيار العطل يمكن أن يكون عاليا جدا.
٢. يجب حماية الأجهزة المحيطة من تيار العطل ومن القدرة الحرارية المنشرة عند عمل المصهر.
٣. بعد عمل المصهر من الضروري وجود عازلية عالية لتحمل جهد الاستعادة (Recovery voltage) .
٤. يجب أن يعمل المصهر تحت جميع الحالات العملية الممكنة.
٥. يجب أن تحافظ المصهرات على موثوقية عملها ولا تتغير خصائصها.

٢.٣.٣ تصنيف المصهرات

تصنف المصهرات إلى أنواع كثيرة ومتنوعة وسنذكر الأنواع الرئيسية والمهمة منها :

١.المصهرات المملوءة بالمسحوق Powder Filled Fuses

وهي من أهم الأنواع المتطورة للعنصر المصهر وهي تتميز بفاعلية عالية للحد من تيارات دائرة القصر كما تتميز باستطاعة قطع عالية.

٢. **المصهرات الصغيرة** Miniature Fuses

والمصهرات الصغيرة تستخدم لحماية الأجهزة الالكترونية أو دوائر التحكم أو الأجهزة المشابه الأخرى.

٣. **المصهرات نصف المغلقة** Semi-enclosed Fuses

وهي تستخدم لحماية دوائر التوزيع.

٤. **مصهرات الانفجار** Expulsion Fuses

٥. **مصهرات القدرة** Power Fuses

وهي التي تكون على شكل قاطع أو تستعمل مع قاطع وتغمر في الزيت ضمن وعاء وتسمى أحيانا بالمصهرات ذات الزيت الخامد للقوس الكهربي (Liquid quenched fuses)

٦. **مصهرات قواطع التوزيع** Distribution break Fuses

وهي عبارة عن مصهرات مصممة على شكل قاطع يدوي يستعمل لفتح وإغلاق الدائرة ولحمايتها من الأعطال في مركز التحويل.

وتنقسم المصهرات من وجهة نظر الجهد إلى نوعين هما

- مصهرات جهد منخفض لايزيد عن ٦٦٠ فولت.
- ومصهرات جهد عال للجهود الأكبر من ذلك.

وكذلك تنقسم المنصهرات بصفة عامة إلى قسمين رئيسين بالنسبة لتعاملها مع التيار وهما :

أ. المصهرات التي لاتحد من التيار(Non-Current Limiting Fuses)

ب. المصهرات التي تحد من التيار (Current Limiting Fuses)

أ . المصهرات التي لاتحد من التيار (Non-Current Limiting Fuses)

في هذه المصهرات ينقطع التيار عند مروره بالصفر خلال الدورة الأولي أي بعد مروره بقيمته العظمى. ويوجد نوعان من هذه المصهرات :

١. **مصهرات الطرد** (Expulsion Fuses)

تتكون هذه المصهرات من عنصر صهور داخل أنبوبة مصنوعة من الفبر أو مسحوق حامض البوريك المضغوط، ولها نهاية مفتوحة. وعند انصهار العنصر يمتد القوس الكهربي بين طرفي المصهر. ونتيجة لدرجة الحرارة العالية لهذا القوس (^{o}K ٥٠٠٠ – ٤٠٠٠) تتولد من المادة المصنوعة منها الأنبوبة كمية كبيرة من الغازات ترفع الضغط داخل الأنبوبة وتساعد على تخفيض درجة التأين في مسار القوس الكهربي مما يؤدي إلى ارتفاع سريع في جهد انهيار الوسط بحيث يتحمل الجهد المستعاد العابر ويمنع

إعادة إشعال القوس بعد انقطاعه عند مرور التيار بالصفر. ويتم طرد الغازات بشدة إلى الجو من الطرف الأعلى للأنبوبة.

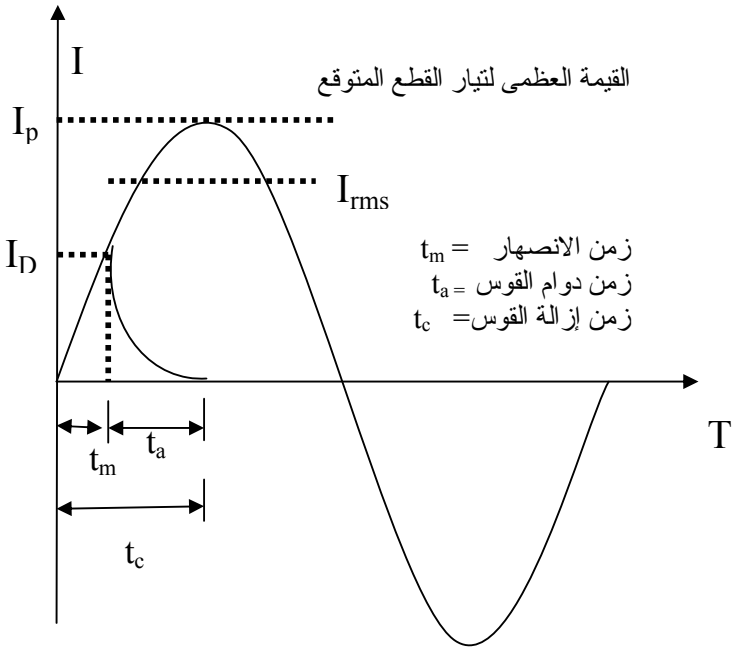
ويستخدم هذا النوع من المصهرات في الأماكن الخارجية وخاصة لحماية الخطوط الهوائية والمحولات المركبة على الأعمدة (Pole – Mounted Transformers) بشرط ألا يزيد تيار القصر عن ٣٠٠٠ أمبير. ومن أهم مزايا هذه المصهرات هي سهولة استبدال أنبوبة الانصهار ورخص ثمنها وإمكانية استخدام أنواع مختلفة من الأنابيب على نفس الحامل. ومن مزاياها أيضا إمكانية استغلال انصهار العنصر وشدة اندفاع الغازات في إسقاط المصهر بأكمله إلى أسفل بحيث تصبح أطراف المصهر معزولة تماما عن جهد الخط ويعطي المصهر في وضعه هذا دليلا مرئيا واضحا لانصهاره مما يسهل مهمة تحديد مكان الفصل.

٢. المصهرات المفرغة (Vacuum Fuses)

لا تختلف هذه المصهرات في تصميمها وتشغيلها عن مصهرات الطرد إلا في أنها محكمة تماما ولا يعتمد قطع التيار على طرد الغازات وإنما يعتمد على العزل الكهربي الممتاز للفراغ الذي يمنع إعادة إشعال القوس الكهربي بعد مرور التيار بالصفر. وتصمم أقطاب هذه المصهرات بنفس الطريقة التي تصمم بها أقطاب القواطع المفرغة بحيث يمكن تحريك القوس الكهربي على سطحها . والميزة الأساسية لهذا النوع من المصهرات هي صغر حجمها وإمكانية استخدامها في الأماكن المغلقة.

ب . المصهرات التي تحد من التيار (Current Limiting Fuses)

يتميز هذا النوع من المصهرات بخاصية الحد من قيمة تيار القصر وذلك بفتح الدائرة قبل أن يصل هذا التيار إلى قيمته العظمى المتوقعة (Prospective Peak Current) خلال النصف دورة الأول شكل (١.٢). وأقصى تيار (I_D) يسمح المصهر بمروره يعرف بتيار القطع (Cut - Off Current) أو بتيار الذروة المسموح مروره. والحد من قيمة تيار القصر يقي المعدات من التلف نتيجة للإجهادات الحرارية والكهروميكانيكية. فمعيار الطاقة الحرارية المولدة في الشبكة أثناء فترة الخطأ هو حاصل ضرب مربع القيمة الفعالة للتيار المار في المصهر والزمن المنصرف حتى إزالة القصر ($I^2 t$) .



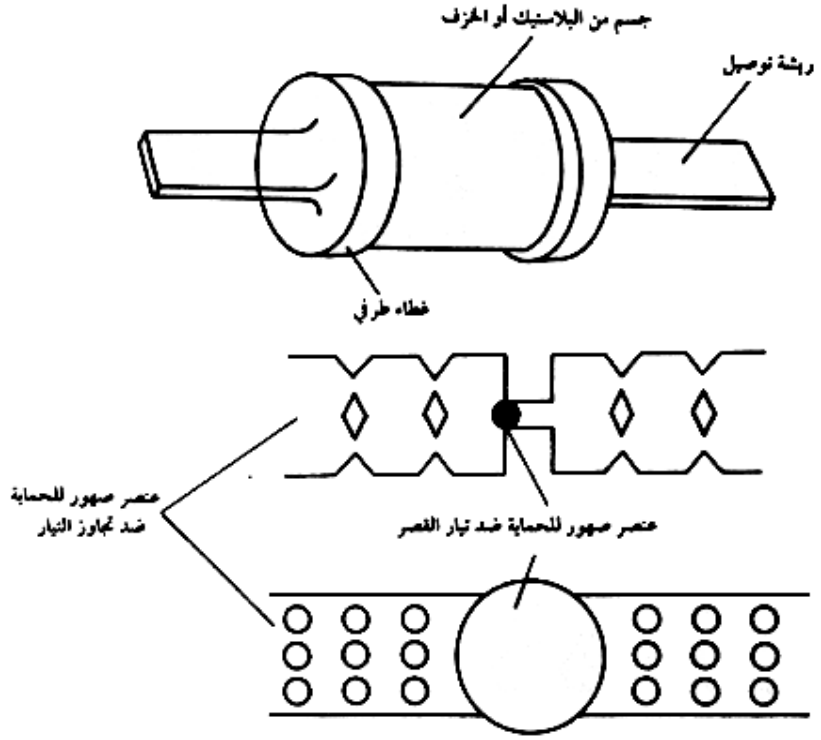
شكل(٢ ـ ١) مبدأ الحد من تيار القصر للمصهرات المحددة للتيار

وتستخدم هذه المصهرات في حماية المحولات والمكثفات والكابلات والقضبان ومحولات الجهد الخاصة بأجهزة القياس بحيث يصبح القصر الذي يجب أن تتحمله هذه المعدات أصغر بكثير من تيار القصر الفعلي. وجدير بالذكر أن هذه المصهرات تعرف أيضا بمصهرات ذات سعة قطع عالية (High Rupturing Capacity – HRC- Fuses) .

تتكون هذه المصهرات أساسا من جسم قد يكون من البلاستك أو من الخزف يحتوي على عنصر معدني (واحد أو أكثر) له خصائص خاصة وكل طرف منه موصل بغطاء معدني محكم. ويملأ الجسم بمسحوق من الكوارتز، وقد يختلف تصميم عنصر الصهور في مصهرات الجهد المنخفض عنه في مصهرات الجهد العالي ولكن مبدأ التشغيل الذي يؤدي إلى الحد من قيمة تيار القصر هو نفسه.

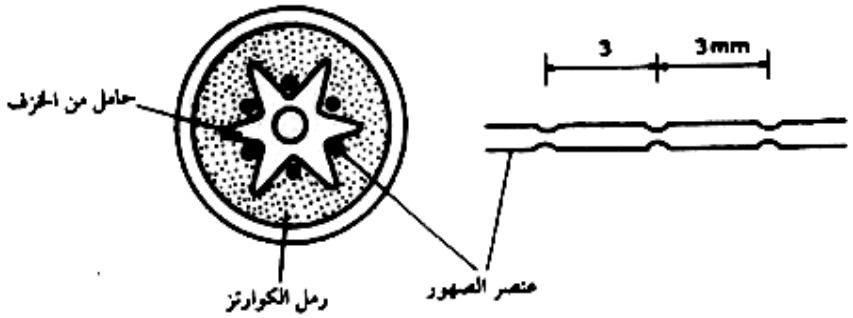
تحتوي أغلب مصهرات الجهد المنخفض الحديثة على عنصر صهور مزدوج (Dual Element) . ويتكون هذا العنصر من شريط من النحاس منقسم إلى جزئين. كل جزء به عدد من المناطق ذات مقطع منخفض كما في الشكل (٢ ـ٢) وذلك للحماية ضد تيارات القصر. والجزآن موصلان على التوالي بواسطة سبيكة معدنية خاصة لها درجة حرارة انصهار منخفضة لحماية الدائرة ضد تيارات تجاوز الحمل

المداومة. فهي تسمح بمرور مثل هذه التيارات لفترة تتناسب عكسيا وقيمة التيار. وأهم استخدام لهذا النوع من المصهرات هو لحماية الدوائر التي بها محركات مباشرة البدء.



الشكل (٢ ـ٢) مصهر جهد منخفض وعنصر الصهور المزدوج

أما مصهرات الجهد العالي فهي توضع على الناحية الأولية من المحولات وغير مطلوب منها حماية المحول ضد تيارات تجاوز الحمل حيث يقوم بذلك المصهر أو القاطع الموصل على الناحية الثانوية. ولذلك فإن عنصر الصهر ليس مزدوجا ويتكون من عدد من الأسلاك من الفضة أو النحاس المطلي بالفضة موصلة على التوازي وموضوعة في ثقوب حول أسطوانة من الخزف كما هو مبين في الشكل (٢ ـ ٣). وكل سلك به ضيق في المقطع كل ثلاثة مليمترات تقريبا على مدى طوله. وتوضع الأسطوانة داخل أنبوبة من الصيني لها طبقة خارجية زجاجية ومملوءة بمسحوق الكوارتز.



الشكل (٢ ـ ٣) مكونات مصهر الجهد العالي

عند مرور تيار القصر، سواء بالنسبة لمصهرات الجهد المنخفض أو الجهد العالي، ينصهر العنصر عند المناطق ذات المقطع المنخفض ويتبخر المعدن ليترسب بعيدا على جسيمات رمل الكوارتز الباردة نسبيا. وتمتد أقواس كهربية عند أماكن الانصهار ولكن نتيجة لعدم وجود البخار المعدني ولعدم نشوء أي غازات من رمل الكوارتز فإن عملية الانصهار تؤدي إلى إدخال مقاومة عالية جدا في الدائرة وذلك خلال زمن قصير للغاية وبالتالي إلى :

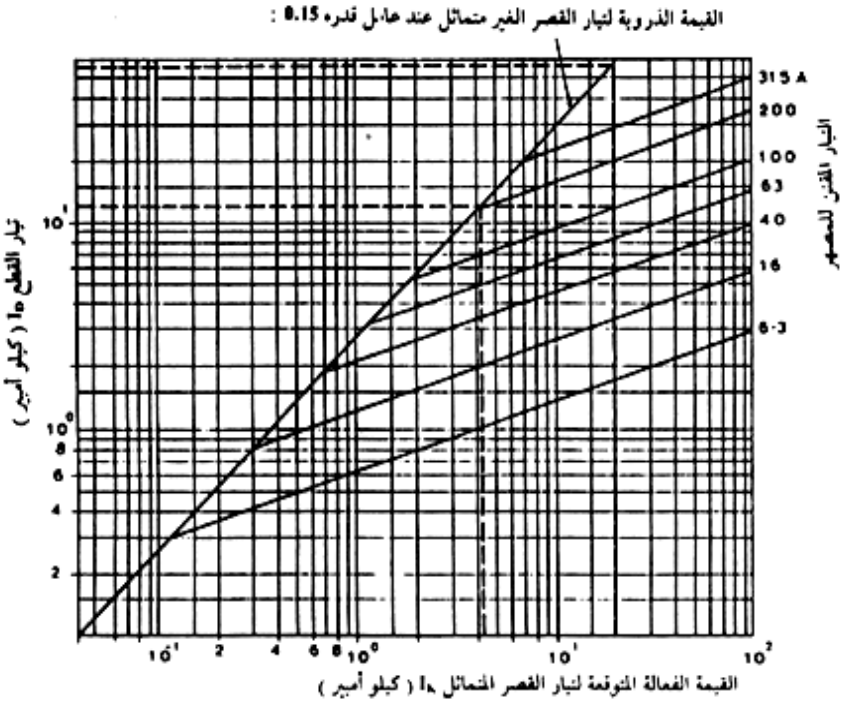
- الحد من ارتفاع التيار بل إلى إقلاله.
- ارتفاع كبير في عامل القدرة للدائرة بحيث يصل التيار إلى الصفر مع جهد التشغيل الطبيعي ولذلك فإن قيمة الجهد العابر المستعاد صغير جدا وليست ذات أهمية في هذا النوع من المصهرات.
- ارتفاع في الجهد عبر المصهر (وهو الجهد عبر القوس) وهذا هو رد فعل محاثة الدائرة عند محاولة اقلال التيار المار بها. وتعطي المواصفات الدولية ٢٨٢ – IEC القيم القصوى المسموح بها لهذا الجهد.
- انصهار جزيئات الرمل تحت تأثير حرارة القوس وتحول الرمل إلى كتلة زجاجية جيدة العزل بحيث تمنع إعادة اشتعال القوس.

ولاتستغرق العملية بأكملها من لحظة حدوث القصر حتى انقطاع التيار أكثر من ربع دورة.

٢. ٣. ٤ المنحنيات الخصائصية للمصهرات المحددة للتيار

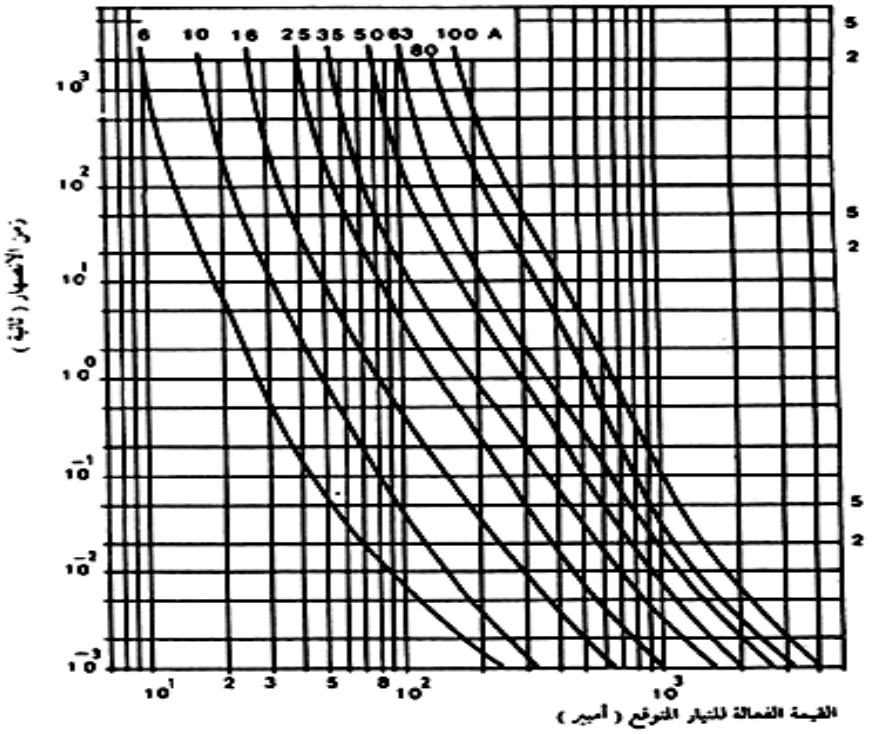
تعطي المنحنيات الخصائصية للمصهرات العلاقة بين قيمة تيار القطع I_D والقيمة الفعالة لتيار القصر المتماثل لمجموعة من المصهرات لها تيارات مقننة مختلفة كما بالشكل (٢ ـ ٤). ويمثل الخط المستقيم المائل العلاقة بين القيمة الذروية لتيار القصر الغير المتماثل (الذي يمر في الدائرة في حالة عدم وجود المصهر) والقيمة الفعالة لتيار القصر المتماثل. فمثلا إذا افترضنا أن القيمة الفعالة لتيار القصر المتماثل هي ٢٠ kA وأن التيار المقنن للمصهر هو ١٠٠ A ، نجد من الشكل (٢ ـ ٤) أن المصهر سيحد القيمة

القصوى لتيار القصر إلى ١١,٥ kA بدلا من ٥٣,٨ kA في حالة عدم وجود المصهر . ويتضح من الشكل أيضا أن تيار القطع يناظره تيار قصر متماثل ظاهري قيمته ٤,٢ kA .

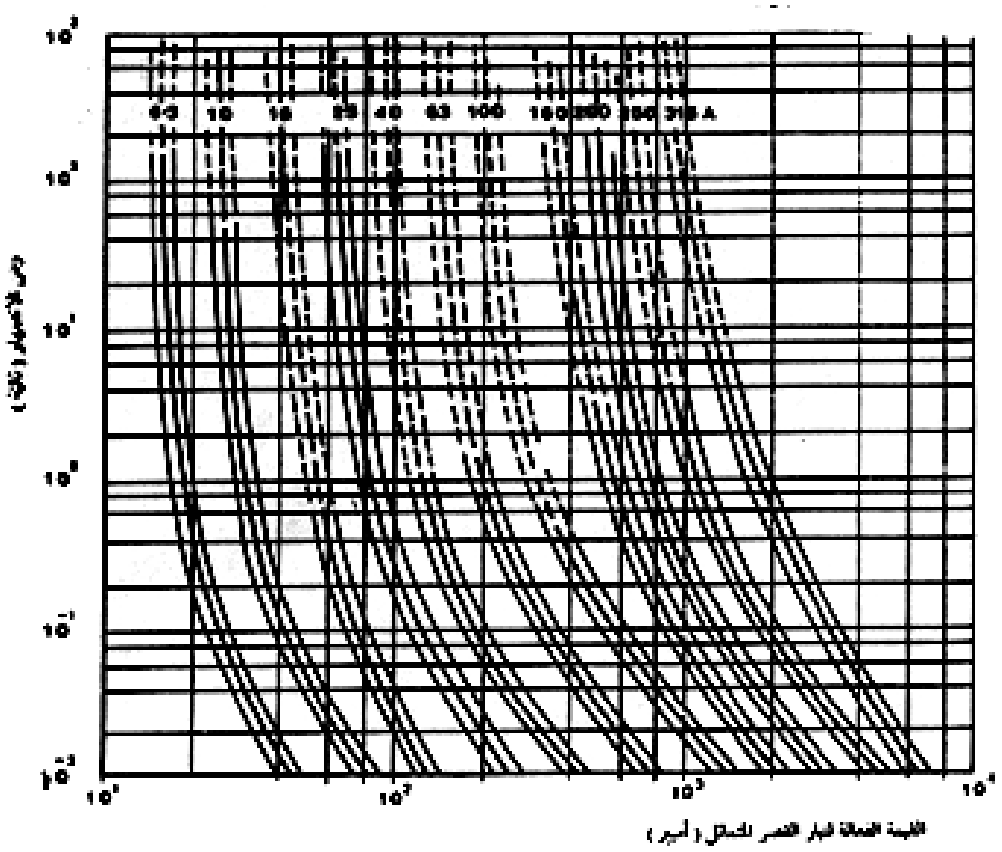


الشكل (٢ ـ ٤) المنحنيات الخصائصية للمصهرات المحددة للتيار

وتعطي الأشكال (٢ ـ٥) و (٢ ـ ٦) نموذجا للعلاقة بين تيار القصر المتوقع وزمن الانصهار لمجموعة من المصهرات ذات الجهد المنخفض ومجموعة ذات الجهد العالي من صنع شركة سيمنز. وفي هذه المنحنيات يجب ملاحظة النقطتين :



الشكل (٢ ـ ٥) المنحنيات الخصائصية لمجموعة من مصهرات الجهد المنخفض (٦٦٠ فولت)



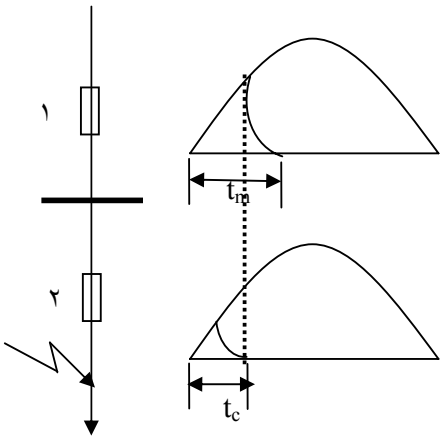
الشكل (٢ ـ ٦) المنحنيات الخصائصية لمجموعة من مصهرات الجهد العالي (kV ١١)

أولا : يجب الأخذ في الاعتبار التفاوت المسموح به في التصنيع وهو عادة في حدود تتراوح بين ١٠ to ٥ ±) (%بالنسبة للتيار. وهذه الحدود أما تعطي على شكل منحنيات على جانبي المنحنى المتوسط أو تذكر في أسفل الشكل.

ثانيا : تمثل الخطوط المتقطعة من كل منحنى نطاق التيار الذي لايمكن الاعتماد عليه من حيث ضمان تشغيل المصهر فكل مصهر له قيمة دنيا لتيار (I_{min}) تتراوح بين (٣,٠ to ٢,٥) أضعاف التيار المقنن.

٢. ٣. ٥ التنسيق بين المصهرات وبعضها

إذا أردنا أن نحصل على تنسيق في الحماية بين مصهرين (أو أكثر) على التوالي كما هو مبين في الشكل (٢ ـ ٧) ، يجب أن تكون طاقة الإزالة (I^2t_c) للمصهر ٢ الموصل بمغذي الحمل أقل من طاقة الانصهار (I^2t_m) للمصهر ١ الموصل بمغذي المنبع. إذ يجب أن يتحمل المصهر ١ تيار القصر منذ لحظة وقوع القصر حتى ازالته بواسطة المصهر ٢ وذلك دون حدوث أي تغيير في خصائصه.



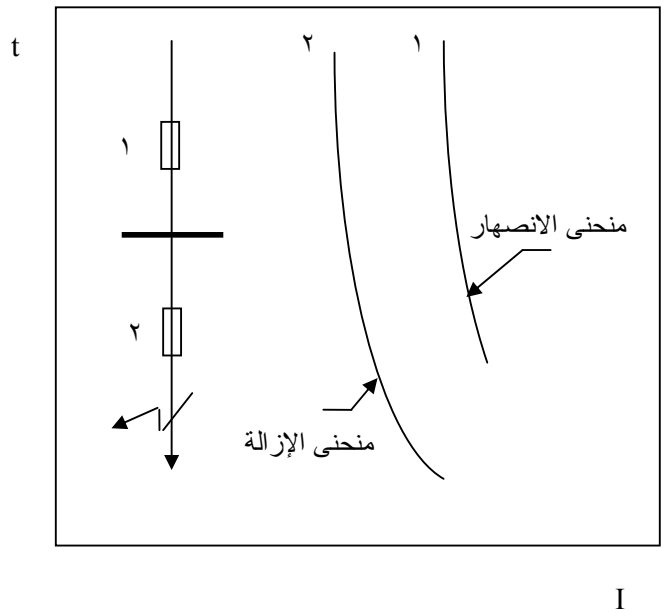
الشكل (٢ ـ ٧) التنسيق بين مصهرين على التوالي

وهناك ثلاث طرق للوصول إلى تنسيق بين المصهرات :

١. الحصول من صانع المصهرات على ما يسمى بجداول النسبة الانتقائية (Selectivity Ratio Tables) للتباديل المختلفة للمصهرات. وتمثل هذه النسبة بين التيار المقنن للمصهر ١ والتيار المقنن للمصهر ٢ وتتراوح قيمتها عادة بين ٣ : ١ and ١,٢٥ : ١ . وتستخدم هذه النسبة فقط في الحالة التي تكون فيها المصهرات المراد التنسيق بينها من نفس المصنع.

٢. استخدام المنحنيات الخصائصية التي تعطي العلاقة بين التيار وزمن الانصهار (منحنيات الانصهار) وبين التيار والزمن الكلي لإزالة الخطأ (منحنيات الإزالة) ويتم رسم المنحني الخاص بكل مصهر على نفس الورقة الشفافة والتأكد من أن منحني الانصهار للمصهر ١ يقع بأكمله فوق منحني الإزالة

للمصهر ٢ كما هو مبين في الشكل (٢ ـ ٨). ولا يجوز إطلاقا الخلط بين منحنيات المصهرات المصنعة من قبل صانعين مختلفين.



الشكل (٢ ـ ٨) استخدام المنحنيات الخصائصية للتنسيق بين مصهرين على التوالي

٣. استخدام جداول انتقاء خاصة تعطيها الشركة المصنعة. فلنأخذ على سبيل المثال نموذجا من الجداول الخاصة لانتقاء المصهرات المناسبة والمتناسقة لحماية المحولات والمعدة من إحدى كبري شركات التصنيع (سيمنز). يعطي العمود الأول من الجدول (٢ ـ١) خصائص المحول أما العمود الثاني فيعطي القيمة الصغرى للتيار المقنن (I_{Nmin}) للمصهر بحيث يستطيع أن يتحمل التيار المغنط المندفع (Magnitizing Inrush Current) الخاص بالمحول وأيضا القيمة القصوى للتيار المقنن (I_{Nmax}) تعطى في العمود الثالث بحيث يستطيع المصهر فصل تيار القصر بوثوق كما ذكرنا في الفقرة السابقة. ويمكن اختيار أي مصهر له تيار مقنن يقع بين هذين التيارين.

ويبين الجدول (٢ ـ ٢) التيارات المقننة لمصهرات ذات جهد منخفض(٤٠٠ V) والتيارات المقننة لمصهرات الجهد العالي (١٢ kV – ١٠) المناظرة لها والمتناسقة معها.

جدول (٢ ـ ١)

حدود التيار المقنن لمصهرات الجهد العالي (١٢ kV – ١٠) المستخدمة لحماية المحولات

سعة المحول (kVA)	I_{Nmin} (أمبير)	I_{Nmax} (أمبير)
٥٠	١٦	١٦
١٠٠	٢٥	٤٠
٢٠٠	٤٠	٦٣
٢٥٠	٢٥	٦٣
٤٠٠	٦٣	١٠٠
٥٠٠	٦٣	١٠٠
٦٣٠	٦٣	١٦٠
٨٠٠	١٠٠	٢٠٠
١٠٠٠	١٠٠	٢٠٠

جدول (٢ ـ٢)

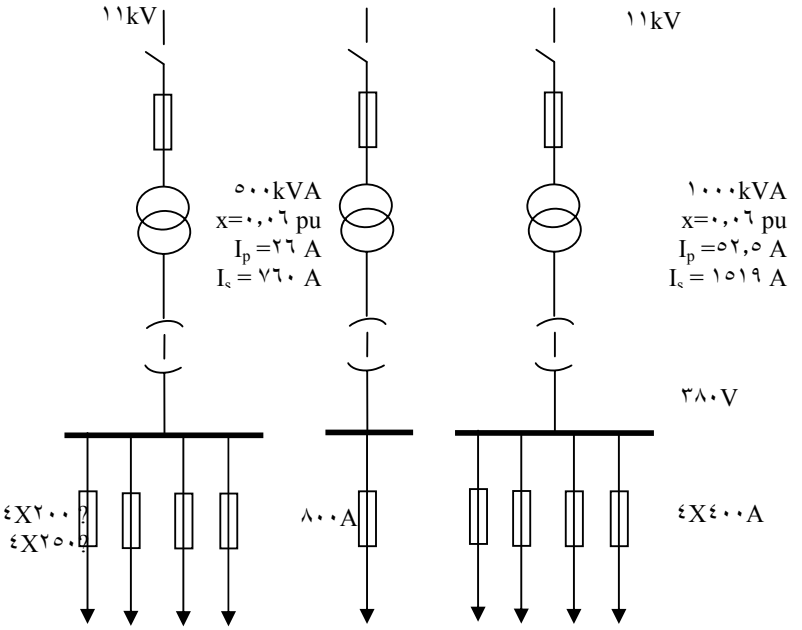
القيم المتناسقة للتيار المقنن لمصهرات الجهد المنخفض (٤٠٠ V) والجهد العالي (١٢ kV – ١٠)

سعة مصهر جهد منخفض (أمبير)	٨٠	١٢٥	١٦٠	٢٠٠	٢٥٠	٤٠٠	٥٠٠	?	٨٠٠	١٠٠٠
سعة مصهر جهد عالي (أمبير)	٦٠	٢٥	٢٥	٤٠	٦٣	١٠٠	١٠٠	١٦٠	١٦٠	٢٠٠

وفيما يلي بعض الأمثلة لاستخدام الجداول.

- في شكل (٢ ـ ٩ a) : من الجدول (٢ ـ ٢) نجد أن سعة مصهر الجهد العالي المناظر لمصهر جهد منخفض سعته ٤٠٠ أمبير يجب أن تكون ١٠٠ أمبير . وبالرجوع إلى الجدول (٢ ـ ١) نجد أن هذه السعة في الحدود المسموح بها.

- في شكل (٢ ـ ٩ b) : ومن الجدول (٢ ـ ٢) نجد أن سعة مصهر الجهد العالي يجب أن تكون ١٦٠ أمبير . ولكننا نجد من الجدول (٢ ـ١) أن ١٦٠ أمبير أكبر من القيمة القصوى (١٠٠ أمبير) المسموح بها ولذلك لايمكن في هذه الدائرة التنسيق بين المصهرين.
- في الشكل (٢ ـ ٩ c) : إذا افترضنا أن سعة مصهرات الجهد المنخفض ٢٠٠ أمبير . نجد أن سعة مصهر الجهد العالي يجب أن تكون ٤٠ أمبير ولكن يتضح من الجدول (٢ ـ١) أن هذه القيمة أصغر من القيمة الدنيا المسموح بها (٦٣ أمبير). أما إذا كانت سعة مصهرات الجهد المنخفض ٢٥٠ أمبير فالسعة المناظرة لمصهر الجهد العالي هي ٦٣ أمبير وتقع داخل الحدود المسموح بها بالنسبة للمحول.



الشكل (٢ ـ ٩)

٢. ٣. ٦ التنسيق بين المصهرات والقواطع

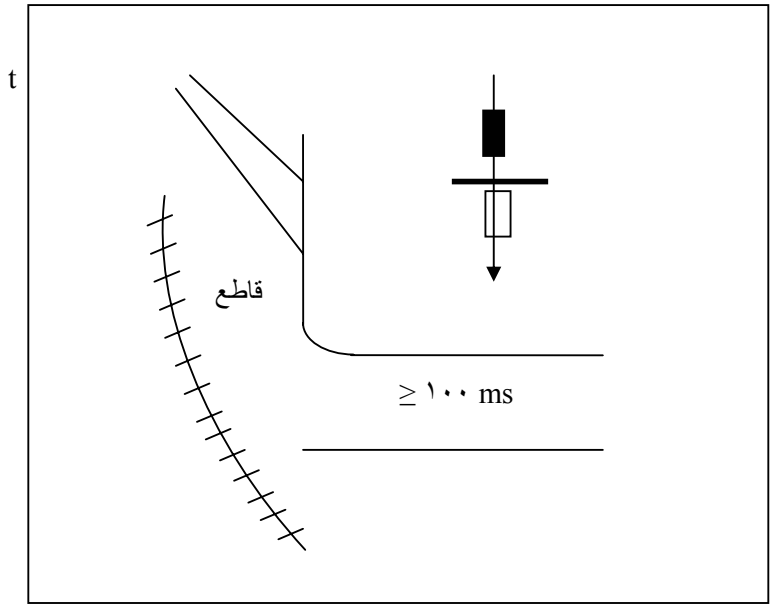
هوامش الأمان :

١. قاطع يليه مصهر كما بالشكل (٢ ـ ١٠) نلاحظ من هذا الشكل هوامش الأمان التالية
   - عدم تقاطع المنحنيات الخصائصية في نطاق تجاوز الحمل (حراري).

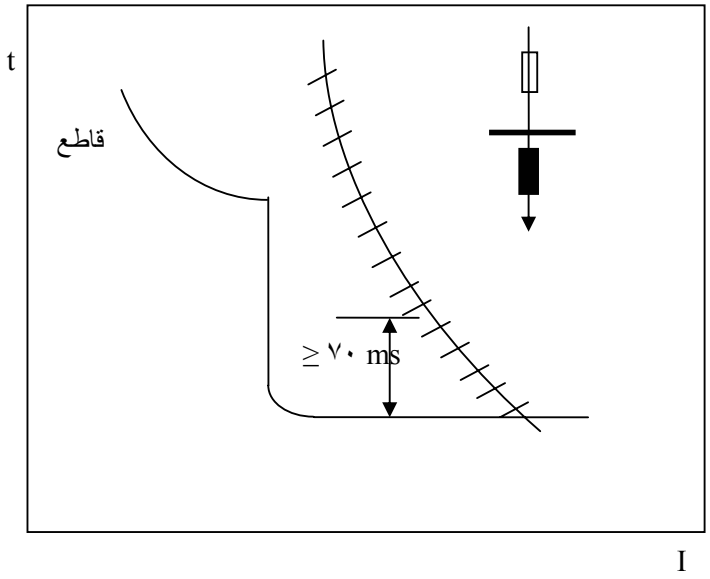
- زمن مقداره لايقل عن ١٠٠ مللي ثانية بين المنحنيات في نطاق تيار القصر.

٢. مصهر يليه قاطع كما بالشكل (٢ ـ ١١) ومن هذا الشكل نلاحظ الآتي :

- عدم تجاوز المنحنيات الخصائصية في نطاق تجاوز الحمل.
- زمن مقداره لايقل عن ٧٠ مللي ثانية بين المنحنيات في نطاق تيار القصر.

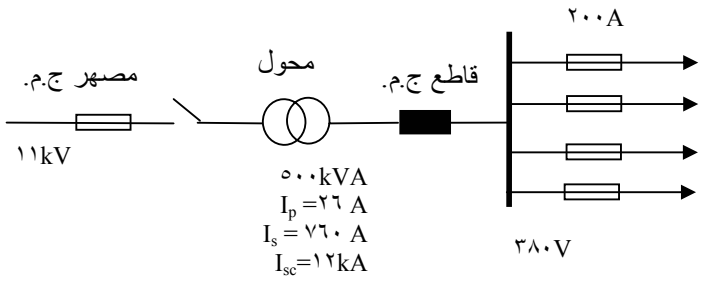


الشكل (٢ ـ ١٠) التنسيق بين قاطع ومصهر على التوالي



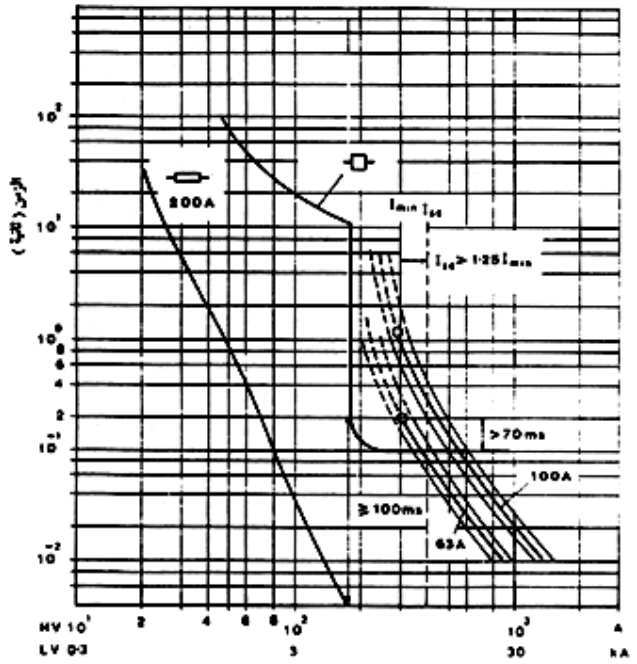
الشكل (٢ ـ ١١) التنسيق بين مصهر وقاطع على التوالي

مثال : المطلوب اختيار نظام وقاية انتقائي للدائرة المبينة في الشكل (٢ ـ ١٢).



الشكل (٢ ـ ١٢)

لحل هذا المثال ترسم المنحنيات الخصائصية للمصهرات وللقاطع على ورق لوغاريتمي مزدوج كما هو مبين في الشكل (٢ ـ ١٣) . ويلاحظ أن المحور الأفقي له مقياسان أحدهما منسوب إلى التيار الأولي والثاني إلى التيار الثانوي. وفي هذا المثال النسبة بين التيارين هي حوالي ٣٠.



شكل (٢ ـ ١٣) التنسيق بين المصهر والقواطع المبينة في شكل ٢ ـ ١٢

من الجدول (٢ ـ ١) نجد أن التيار المقنن لمصهر الجهد العالي يجب أن يقع بين ١٠٠ ,٦٣ أمبير.

يتم اختيار قيمة تيار الإعتاق الكهرومغناطيسي للقاطع وزمن الإعتاق بحيث تتحقق هوامش الأمان المختلفة كما هو مبين في الشكل. ولتحقيق جميع هوامش الأمان نجد أن التيار المقنن لمصهر الجهد العالي يجب ألا يقل عن ١٠٠ أمبير وأن زمن إعتاق القاطع يجب أن يكون ١٠٠ مللي ثانية.

الجزء الثاني : القواطع الكهربائية

٢. ٤ القواطع الكهربائية

٢. ٤. ١مقدمة

من المسلم به أن أي دائرة كهربية تحتاج إلى مجموعة من المفاتيح الكهربية (Switchgear) يمكن من خلالها التحكم في الدائرة وخاصة فتحها أو قفلها تحت ظروف تشغيل عادية أو غير عادية. وتختلف أحجام هذه المفاتيح على حسب نوع الدائرة الكهربية التي قد تكون دائرة اضاءة بسيطة أو شبكة قوى مترابطة. والمفاتيح الكهربية يمكن تقسيمها إلى نوعين أساسين :

١. مفاتيح قفل أو فتح دائرة تحت ظروف تشغيل عادية وهي على نوعين:

a) مفاتيح قفل أو فتح دائرة كهربية غير محملة وتعرف بمفاتيح فصل (Disconnect Switches)
b) مفاتيح قفل أو فتح دائرة محملة وتعرف بمفاتيح قطع حمل (Load – Break Switches).

٢. مفاتيح تقوم بفتح أو قفل دائرة تحت ظروف تشغيل غير عادية وتعرف بالقواطع (Circuit Breaker).

وقد جرى العرف على إدراج المصهرات ضمن هذا التصنيف رغم أنها ليست مفاتيح بمعنى الكلمة وإنما وظيفتها هي فصل الدائرة فقط.

وظروف التشغيل غير العادية تتلخص في الحالات الآتية :

a) حالة تجاوز حمل والتي إذا استمرت تؤدي إلى تجاوز الحد الأقصى لدرجة الحرارة المسموح بها بالنسبة للمحولات والمكائن والكابلات والأجهزة الأخرى.
b) حالة حدوث انهيار في العزل الكهربي يؤدي إلى قصر بين موصل والأرض أو بين الموصلات وبعضها.
c) حالة هبوط خطير في الجهد قد يؤدي إلى توقف المحركات.

وجدير بالذكر أن قيمة التيار وحدها لاتكفي للتفرقة بين مفتاح قطع حمل ومفتاح قاطع. فقد تتغير قيمة تيار الحمل من عدة مئات إلى عدة آلاف أمبير في حين تتراوح تيارات القصر من عدة آلاف إلى عدة مئات من الآلاف من الأمبيرات. ولذلك نجد أن تيار القصر المطلوب فصله بواسطة قاطع صغير يمكن أن يكون أصغر من تيار الحمل المطلوب فصله بواسطة مفاتيح قطع حمل في شبكة كبيرة.

و حيث إن الوظيفة الأساسية للقاطع هي حماية الشبكة الكهربية ومعداتها ، فإن سرعة الفصل بالنسبة للقواطع أهم بكثير من سرعة الفصل بالنسبة لمفاتيح قطع الحمل. وحيث أنه يجب أيضا فصل ذلك الجزء فقط من الدائرة التي يقع فيها القصر فإن التنسيق بين القواطع المختلفة في الشبكة له أهمية كبيرة. ونظرا لهذه المتطلبات فإن تصميم القواطع أكثر تعقيدا من تصميم المفاتيح الأخرى.

المفتاح الكهربي (أيا كان نوعه) يتكون أساسا من تلامسين أحدهما ثابت والآخر متحرك. والجهاز الخاص بتحريك التلامسين المتحرك (لقفل أو فتح الدائرة) يمكن أن يتكون من ملف كهرمغناطيسي بسيط أو من نظام يعمل بزنبرك أو من نظام هيدرولكي أو نظام يعمل بالهواء أو بالغاز المضغوط.

٢. ٤. ٢ مواصفات القواطع

قبل أن ندرس القواطع وأنواعها المختلفة يجب أن نتعرف أولا على المواصفات المختلفة للقواطع وهي :

١.الجهد المقنن Rated Voltage

وهو الجهد الذي تنسب إليه سعة الفتح والقفل للقاطع (جهد الخط في حالة نظام ثلاثي الأطوار). وقد تختلف هذه السعة لنفس القاطع على حسب قيمة جهد التشغيل. والجهد المقنن يمثل عادة أقصى قيمة لجهد التشغيل المسموح به.

٢.التردد المقنن Rated Frequency

وهو التردد الذي يتم على أساسه تصميم القاطع ونبائط الإعتاق المختلفة الخاصة به.

٣.الجهد المقنن للعزل Rated Insulation Voltage

وهو الجهد القياسي الذي يتم على أساسه تصميم الأجزاء العازلة في القاطع. وهو يعين أساسا لقواطع الجهد المنخفض نظرا لاختلافه عن الجهد المقنن بينما في قواطع الجهود المتوسطة والعالية تكون قيمته تقريبا هي نفس قيمة الجهد المقنن.

٤. جهد الصمود المقنن عند تردد القدره Rated Power Frequency Withstand Voltage

يمثل هذا الجهد القيمة الفعالة لأقصي جهد له تردد (٥٠ or ٦٠ Hz) يمكن أن يتحمله العزل. وهو مقياس لمدى تحمل العزل للجهود المرتفعة العابرة التي قد تظهر في الشبكة نتيجة لعمليات التحويل أو لحدوث أخطاء. ويعين هذا الجهد لقواطع الجهد المتوسط والجهد العالي، ويكون عادة ضعف الجهد المقنن تقريبا.

٥. جهد الصمود الدفعي المقنن Rated Impulse Withstand Voltage

ويمثل هذا الجهد القيمة الذروية لموجة الجهد الدفعي التي يمكن أن يتجماها العزل. وهو مقياس لتحمل العزل للجهود المرتفعة العابرة التي قد تظهر في الشبكة نتيجة للصواعق. ويعين هذا الجهد لقواطع الجهد المتوسط والجهد العالي، ويكون عادة بين أربعة إلى ستة أضعاف الجهد المقنن.

٦.التيار المقنن المتواصل Rated Continuous Current

وهو التيار الذي يمكن أن يمر بالقاطع بدون أي انقطاع أثناء ظروف تشغيل وظروف محيطة طبيعية وذلك لزمن غير محدد بدون أن ترتفع درجة الحرارة عن القيمة القصوي المقننة للقاطع وبدون الحاجة إلى أي نوع من أنواع الصيانة (مثل تنظيف التلامسات).

٧. تيار الفتح المقنن Rated Breaking Current

وهو يمثل القيمة الفعالة لتيار القصر المتماثل الذي يستطيع القاطع فصله. وتعطي قيم لهذا التيار عند جهود التشغيل المختلفة المسموح بها وكذا عند عامل قدرة يتراوح بين (٠,٢٥ and ٠,٢) وهو يمثل عامل القدرة في الشبكة أثناء وجود القصر.

٨. تيار القفل المقنن Rated Making Current

وهو يمثل القيمة العظمى للتيار الذي يمكن أن يمر بالقاطع عند قفله. وهذه القيمة ذات أهمية حيث إنه من الجائز أن يتم قفل القاطع أثناء وجود قصر في الدائرة. وعادة يكون أكبر من تيار الفتح المقنن.

٩. التيار المقنن لزمن قصير Rated Short – Time Current

وهو يمثل القيمة الفعالة القصوى للتيار المتماثل الذي يمكن أن يتحمله القاطع لفترة زمنية تتراوح بين ثانية واحدة لقواطع الجهد المنخفض ومن ثانيتين إلى ثلاث ثوان لقواطع الجهد المتوسط. وهذا التيار يعتبر مقياسا للتحمل الحراري للقاطع تحت ظروف القصر وله أهمية كبيرة بالنسبة للقواطع المزودة بتأخير زمني في نظام الاعتاق.

٢. ٣.٤ إخماد القوس الكهربي

عندما يراد قطع التيار الكهربي المار في دائرة، نتيجة لحدوث خطاء في جزء منها، تبدأ آلية القاطع في إبعاد التلامسين عن بعض. وعند انفصالهما يستمر مرور التيار بينهما على شكل قوس كهربي. وأهم وظيفة للقاطع هي إطفاء أو إخماد القوس الكهربي نهائيا وعندئذ فقط يتم الفصل الفعلي للدائرة الكهربية.

والقوس الكهربي هو أساسا عمود من غاز شديد التأين (بلازما) له درجة حرارة مرتفعة (١٠,٠٠٠ to ٢٠,٠٠٠ C^o) ومقاومته في حدود مقاومة الجرافيت (10^{-5} $\Omega.m$) . ومن خصائص القوس الكهربي أن مقاومته الكهربية لكل وحدة طول تنخفض مع زيادة التيار والسبب في ذلك هو أن التوصيل الكهربي في الوسط المؤين (القوس) يزداد كلما ارتفعت درجة حرارته وازدياد التيار يؤدي إلى ارتفاع في درجة الحرارة. وللقوس الكهربي خاصية أخرى هامة تستخدم في المساعدة على إخماده وهي الهبوط في الجهد عبر القوس. فإلي جانب اعتماد هذا الهبوط على قيمة التيار ومعدل التبريد فهو يعتمد أيضا على طول القوس. فإذا أطيل القوس عن طريق زيادة المسافة بين التلامسين زاد الهبوط في الجهد. وقيمة هذا الهبوط، في الهواء وبدون أي تبريد خاص ، هي حوالي (٢٠ V/cm) بالنسبة للتيارات الأكبر من ١٠٠ أمبير فإنه يمكن سحب القوس حتى يصل طوله إلى حوالي ١٠ سم ثم ينطفىء بعد ذلك.

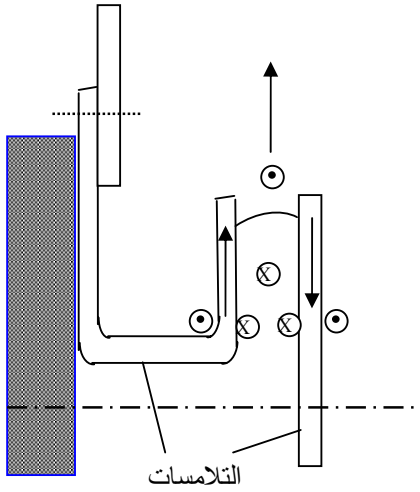
وينتقل التيار في القوس بواسطة تحرك الأيونات الموجبة والسالبة تحت تأثير المجال الكهربي. ولإخماد التيار يجب أن يكون معدل تعادل هذه الايونات أكبر من معدل تكاثرها ، ويمكن التوصل إلى ذلك عن طريق التبريد المركز للقوس أو عن طريق رفع جهد الهبوط عبر القوس (إطالة القوس) أو عن طريق تقسيم القوس إلى عدة أقواس على التوالي.

ويمكن منع إعادة إشعال القوس إما عن طريق تقسيه أو عن طريق الاستبدال السريع للغاز الحار المؤين بوسط عازل بارد له مقاومة عالية وجهد انهيار مرتفع بحيث يتحمل الجهد المستعاد العابر. الطريقة الأولى تستخدم أساسا في القواطع الهوائية ذات الضغط المنخفض والطريقة الثانية تستخدم في قواطع الجهد المتوسط والجهد العالي.

ويتضح أنه في حالة عدم إمكانية الصفر الطبيعي للتيار كما في حالة قطع التيار المستمر أو ضرورة قطع التيار المتردد عند قيمة محددة (كما في القواطع والمصهرات المحددة للتيار) فإن عملية إخماد القوس الكهربي تصبح أصعب وهي في هذه الحالات تعتمد أساسا على رفع جهد الهبوط عبر القوس عن طريق إطالة القوس وتقسيمه.

(أ) إطالة القوس الكهربي

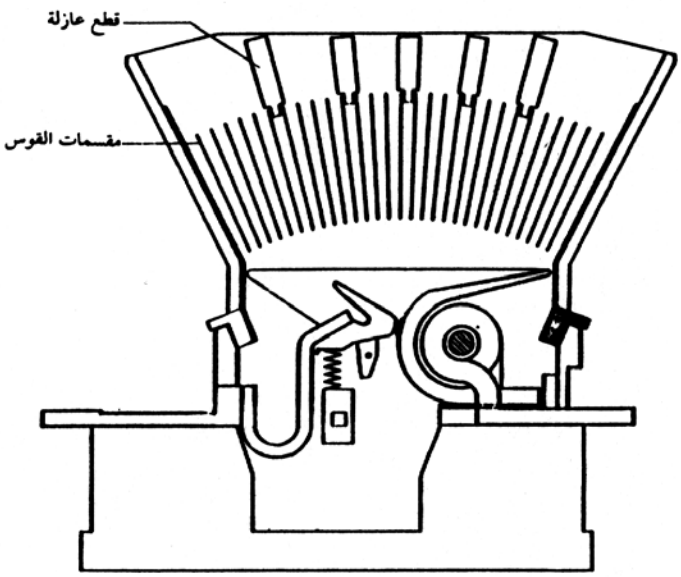
يبين الشكل (٢- ١٤) القوة التي تؤثر على قوس كهربي ممتد بين تلامسين. ومصدر هذه القوة هو المجال المغناطيس الناتج عن مرور التيار في الموصلين. وتقوم هذه القوة بتحريك القوس إلى اليسار ثم إطالته عند وصوله إلى أطراف الموصلين. وفي القواطع يمكن زيادة قيمة هذه القوة بزيادة شدة المجال المغناطيسي وذلك باستخدام ملف يسمى بملف الإطفاء (Blow-Out Coil)



شكل (٢- ١٤) القوة الكهرومغناطيسية المؤثرة على القوس الكهربي

(ب) تقسيم القوس الكهربي

يتم تقسيم القوس الكهربي باستخدام ما تسمى بمقسمات القوس (Arc Splitters) . وهذه المقسمات عبارة عن مجموعة من الألواح المعدنية موضوعة في الحجرة القوسية كما هو مبين في الشكل (٢ - ١٥). فعندما ينتقل القوس الكهربي تحت تأثير القوة المغناطيسية إلى الألواح ينقسم إلى عدة أقواس على التوالي. وبالإضافة إلى تقسيم القوس فإن الألواح تقوم بتبريده حيث إن موصليتها الحرارية أكبر بكثير من موصلية الغازات. ويمكن أيضا وضع قطع من مادة عازلة بين الألواح تقوم بابتعاث كمية كبيرة من الغازات نتيجة لارتفاع درجة حرارتها وتساعد هذه الغازات على إزالة التأين وعلى إخماد القوس الكهربي.



الشكل (٢ ـ ١٥) قاطع به مقسمات للقوس

٢.٤.٤ تصنيف القواطع

تصنف القواطع من حيث الطراز على حسب نوع الوسط الذي يتم فيه إطفاء القوس الكهربي إلى :

١. قواطع هوائية **Air Circuit Breakers**
٢. قواطع ذات حجم زيت صغير **Minimum – Oil Circuit Breakers**
٣. قواطع مفرغة **Vacuum Circuit Breakers**
٤. قواطع سادس فلوريد الكبريت **Sulpher Hexafluoride (SF_6) C. B.**
٥. قواطع دفع هوائي **Air – Blast Circuit Breakers**

وكذلك يتم تقسيم القواطع من حيث جهد التشغيل إلى أربع أنواع هي :

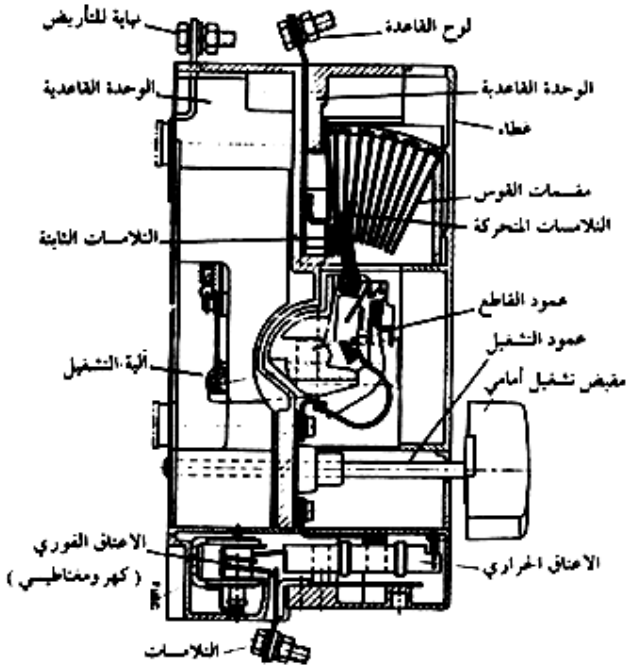
a) قواطع جهد منخفض (حتى ١٠٠٠ V) Low Voltage C.B.
b) قواطع الجهد المتوسط (أكبر من ١kV حتى ٣٣kV) Medium Voltage C.B.
c) قواطع الجهد العالي (أكبر من ٣٣kV حتى ٢٤٠kV) High-Voltage C..B
d) قواطع الجهد الفائق (أكبر من ٢٤٠ kV) Extra High Voltage C.B.

٢. ٤. ٥ قواطع الجهد المنخفض

إن جميع قواطع الجهد المنخفض هي قواطع هوائية. ويتم إخماد القوس الكهربي في هذه القواطع الهوائية عن طريق إطالة القوس وتقسيمه إلى عدة أجزاء على التوالي كما سبق أن وضحنا. ويوجد نوعان من قواطع الجهد المنخفض هما :

١. **قواطع ذات صندوق مشكل** (Moulded -Case Circuit Breakers)

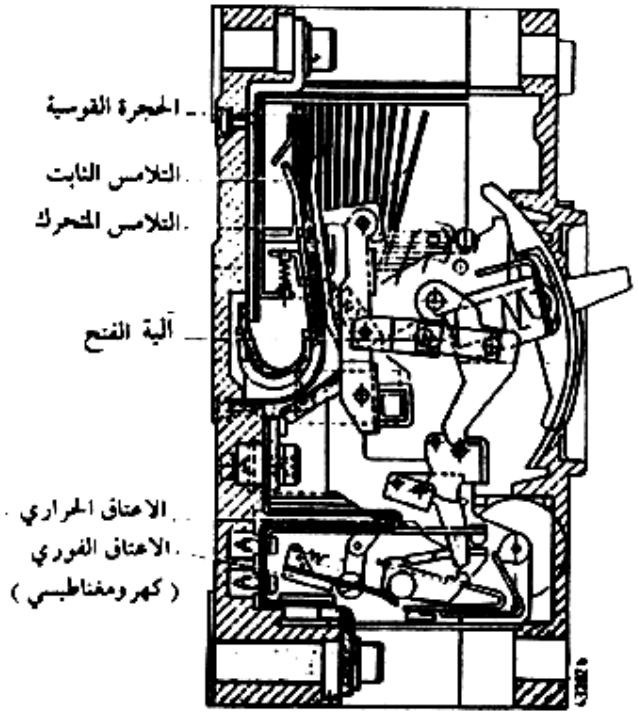
تتكون هذه القواطع أساسا من وحدة متكاملة مغلقة داخل صندوق محكم مصنوع من مادة عازلة. وأغلب هذه القواطع غير قابلة للفك بحيث لايمكن صيانتها أو استبدال التلامسات. ويجب استبدال القاطع بأكمله في حالة إصابته بأي عطل. وأقصى قيمة لتيار التشغيل المتواصل هي A ١٢٠٠ ولتيار القصر A ١٠,٠٠٠ إلا أن هذه القيم قابلة للزيادة مع التطور التكنولوجي. ويبين الشكل (٢. ١٦) مقطعا لهذا النوع من القواطع من صنع شركة سيمنز.



شكل (٢ ـ ١٦) مقطع لقاطع هوائي (سيمنز)

٢. **قواطع قوى ذات جهد منخفض** (Low Voltage Power Circuit Breakers)

تتكون هذه القواطع من مجموعة من الوحدات القياسية (Modular Design) يمكن استبدالها أو الإضافة إليها في أي وقت كما يمكن أيضا صيانتها وتغيير التلامسات لها. وأقصى قيمة لتيار التشغيل المتواصل هي ٤٠٠٠ أمبير ولتيار القطع ١٣٠,٠٠٠ أمبير إلا أن هذه القيم قابلة للزيادة مع التطور التكنولوجي. ويبين الشكل (٢ ـ ١٧) مقطعا لهذا النوع من القواطع من صنع شركة سيمنز



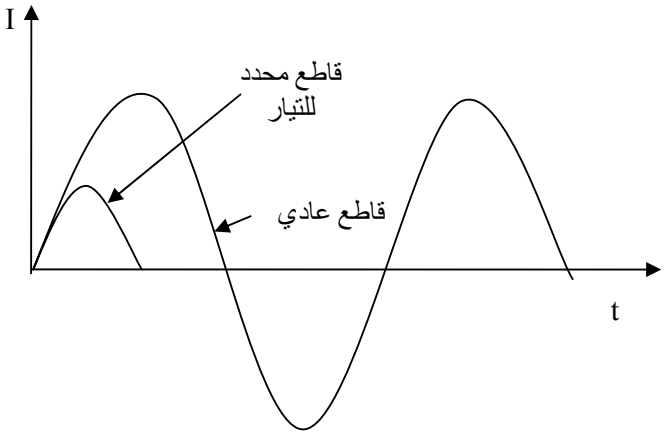
شكل (٢ ـ ١٧) مقطع لقاطع هوائي مكون من وحدات قياسية (سيمنز)

وتنقسم قواطع الجهد المنخفض إلى نوعين : قواطع غير محددة للتيار وهي وقواطع محددة للتيار.

a) **القواطع المحددة للتيار** (Current – Limiting Breakers)

في هذا النوع من القواطع لا يعتمد إخماد القوس الكهربي على مرور التيار بالصفر، وإنما يتم إخماده قبل أن يصل تيار القصر إلى قيمته العظمى في أول دورة له (شكل ٢ ـ ١٨). وتصمم هذه القواطع بحيث إنه عند زيادة مقدار تيار القصر عن قيمة محددة I_c تعرف بتيار القطع (Cut - off Current)

تصبح قوة التنافر بين التلامسين أكبر من القوة الضاغطة للزنبركات. والزمن الكلي لقطع التيار في هذا النوع من القواطع لا يتعدى ١٠ مللي ثانية. ونظرا لقصر هذا الزمن فإنها تستخدم كحماية مباشرة للأحمال (أي عند نهايات الدوائر الفرعية) وأيضا في تلك المواقع من الشبكة التي يكون عندها تيار القصر أكبر من تيار القصر الذي يمكن أن يتحمله قاطع عادي له نفس التيار المقنن المتواصل.



شكل (٢ ـ ١٨) مبدأ الحد من تيار القصر

b) **القواطع غير المحددة للتيار** (Non-Current Limiting Breakers)

وهي التي يتم فيها إخماد القوس الكهربي عند مروره بالصفر. وجدير بالذكر أنه إذا لم تزد قيمة تيار القصر عن ٥٠ كيلو أمبير فيفضل استخدام قواطع غير محددة للتيار.

ويتكون الزمن الكلي (T_b) Total Breaking Time لقطع التيار نهائيا في جميع الأقطاب بالنسبة للقاطع من ثلاثة أجزاء هي :

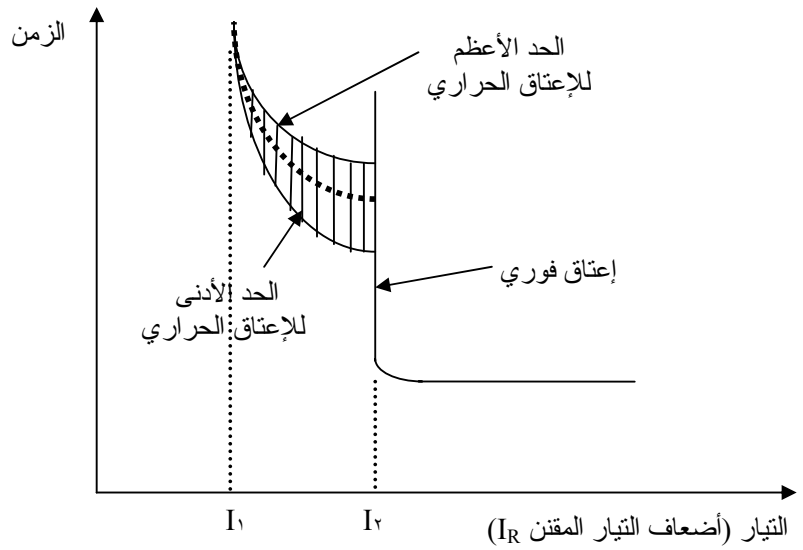
١. زمن الإعتاق (T_t) Tripping Time وهو الزمن المنقضي بين لحظة حدوث الخطأ ولحظة إعتاق السقاطة. ويتضمن هذا الزمن أي تأخير في الوقت ناتجة عن عمل المرحلات.
٢. زمن التشغيل (t_o) Operating Time وهو الزمن بين لحظة إعتاق السقاطة ولحظة بدء عمل آخر التلامسات.
٣. زمن دوام القوس الكهربي (t_a) Arcing Time وهو الزمن المنقضي بين لحظة فتح التلامسين ولحظة انطفاء القوس في جميع الأقطاب.

إن الوظيفة الأساسية لنظام الإعتاق هي إطلاق سقاطة خاصة تسمح بعمل آلية فتح تلامسات القاطع مما يؤدي إلى فصل الدائرة التي بها العطل. ويتكون نظام الإعتاق من جزأين هما:

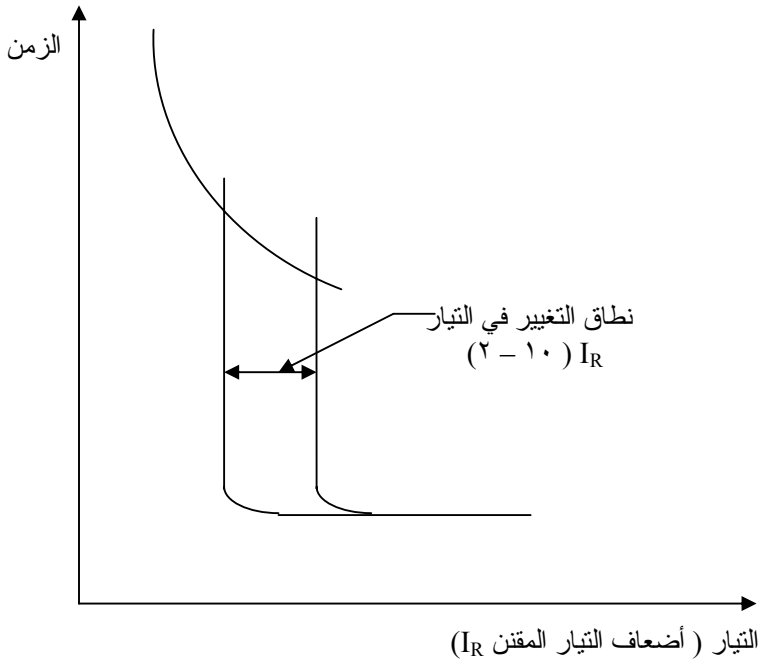
١. جزء حراري بطيء العمل نسبيا (Delayed Thermal Release) وهو يحمي الدائرة ضد تجاوز الحمل.
٢. جزء كهرومغناطيسي يعمل إما فوريا(Instantaneous) أو بعد تأخير قصير (Short – Time Delay) .

ويمكن تزويد القواطع الهوائية بآلية إعتاق خاصة بانخفاض الجهد وهي تقوم بفتح القاطع عندما ينخفض الجهد إلى قيمة تتراوح بين (٧٠ – ٣٠ %) من الجهد المقنن. ويكون الإعتاق فوريا إلا أنه في بعض الحالات يتم تزويد آلية الإعتاق بجهاز زمني يؤخر الفصل لفترة تقترب من الثانية الواحدة وذلك لمنع الفصل الفوري في حالة الهبوط اللحظي للجهد.

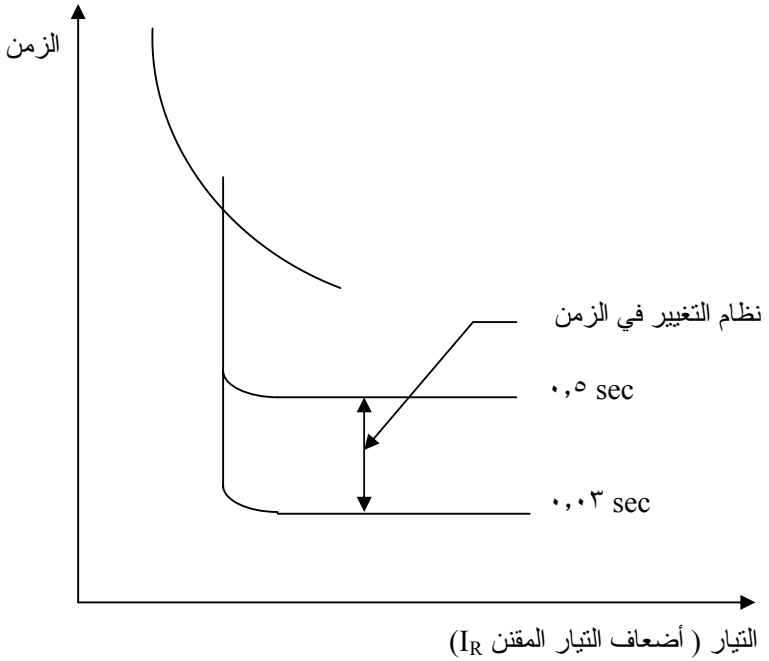
وتبين الأشكال (٢ ـ ١٩) إلى (٢ ـ ٢٣) منحنيات الإعتاق الخصائصية (tripping Characteristics) لنظم الإعتاق المختلفة. وجدير بالذكر أن هذه المنحنيات تقوم بتقديمها الشركة المصنعة كجزء متكامل من مواصفات القاطع.



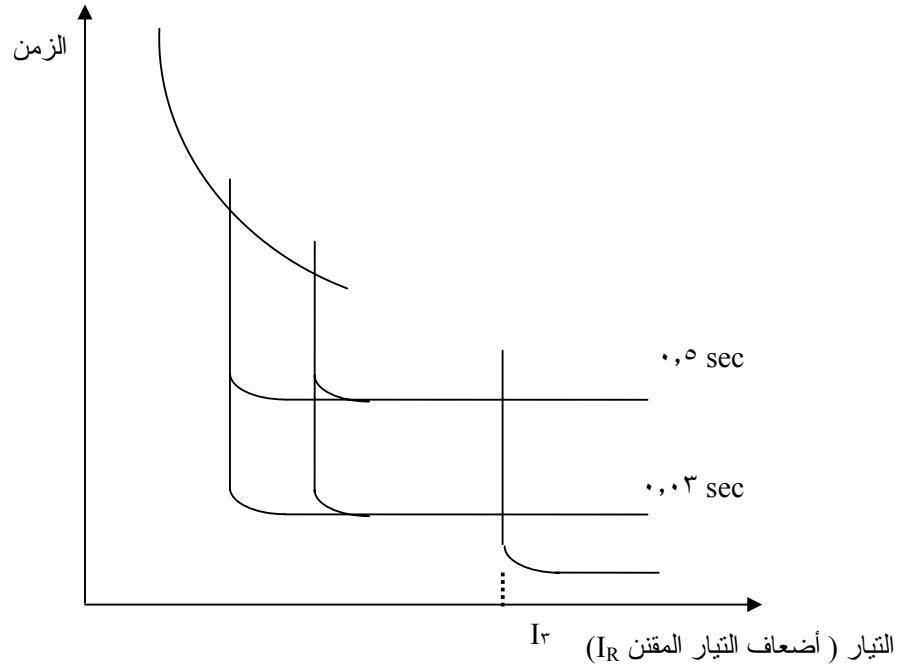
الشكل (٢ ـ ١٩) إعتاق حراري قابل للانضباط + إعتاق كهرمغناطيسي فوري



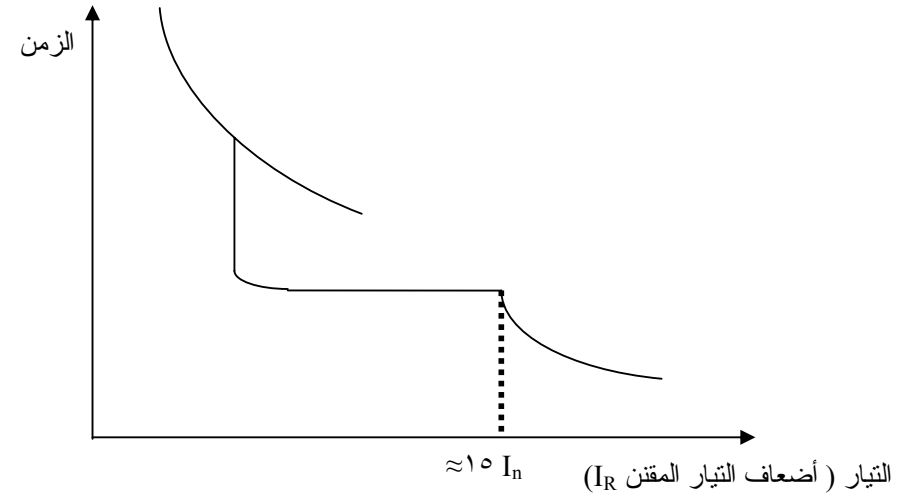
الشكل (٢ ـ ٢٠) إعتاق حراري + إعتاق كهرمغناطيسي فوري قابل للانضباط



الشكل (٢ ـ ٢١) إعتاق حراري + إعتاق كهرمغناطيسي فوري ذات تأخير قصير



الشكل (٢ ـ ٢٢) إعتاق حراري + إعتاق كهرمغناطيسي ذات تأخير قصير + إعتاق فوري ثابت



الشكل (٢ ـ ٢٣) إعتاق حراري + إعتاق كهرمغناطيسي + فتح كهروديناميكي (خاص بالقواطع المحددة للتيار)

٢. ٤. ٦ التنسيق بين القواطع

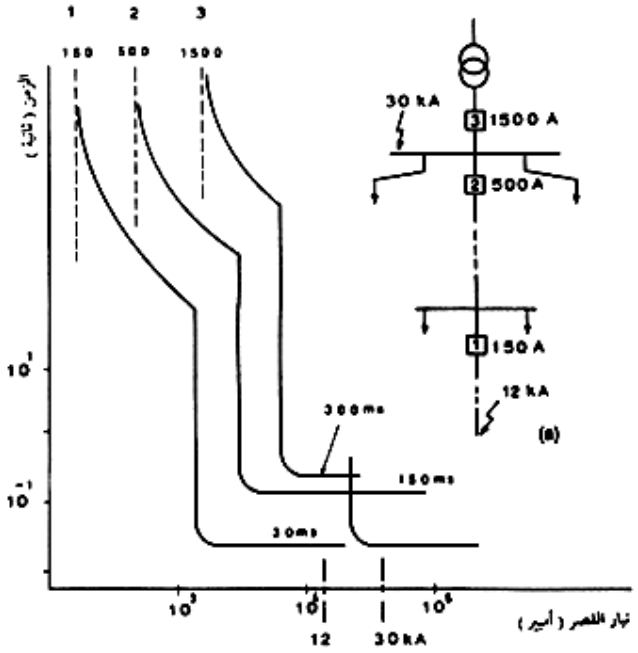
يتضح مماسبق أنه في حالة وجود عدد من القواطع على التوالي يجب أن يزداد زمن الإعتاق في اتجاه منبع القوي. ولكن من ناحية أخرى فإن قيمة تيار القصر تزداد كلما اقترب من موقع القصر من المنبع لذلك فإن زمن الإعتاق يجب أن يقل كلما زادت قيمة تيار القصر. ويمكن تحقيق ذلك باختيار نظم إعتاق مناسبة ثم التنسيق بين منحنيات الإعتاق الخصائصية للقواطع. وتوضح الأمثلة الآتية الطريقة المتبعة لاجراء عملية التنسيق بين عدد من القواطع.

قواطع على التوالي (شكل ٢ ـ ٢٤)

يبين الشكل (٢ ـ ٢٤) جزءاً من نظام توزيع به ثلاثة قواطع على التوالي وقد بينا على الشكل قيم تيارات القصر وتيارات الحمل في كل قاطع. كما يوضح الشكل كيفية التنسيق بين منحنيات الإعتاق الخصائصية لكل قاطع مع تباين نظم الإعتاق المستخدمة بكل قاطع في الجدول المدرج بأسفل الشكل.

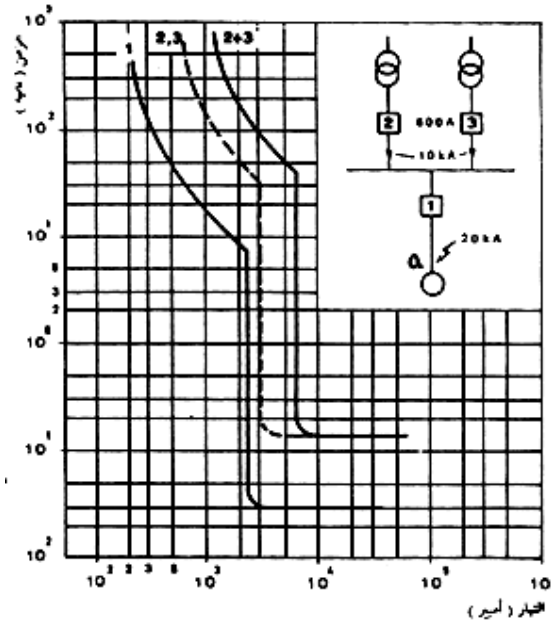
مغذيان متشابهان على التوازي (شكل ٢ـ٢٥)

فلنفرض أن قيمة تيار القصر عند النقطة (a) هي ٢٠ كيلو أمبير و حيث إن هذا التيار ينقسم بالتساوي بين المغذيين فلذلك قد رحلت منحنيات الإعتاق الخصائصية للقواطع ٣ and ٢ إلى اليمين بعامل مقداره ٢ بالنسبة لمحور التيار.



رقم القاطع	نظام الاعتاق		
	حراري	ذات تأخير قصير	فوري
١	X		X
٢	X	X	
٣	X	X	X

الشكل (٢ ـ ٢٤) التنسيق بين قواطع على التوالي



الشكل (٢ ـ ٢٥) مغذيان متشابهان على التوازي

٢. ٤. ٧ قواطع الجهد المتوسط

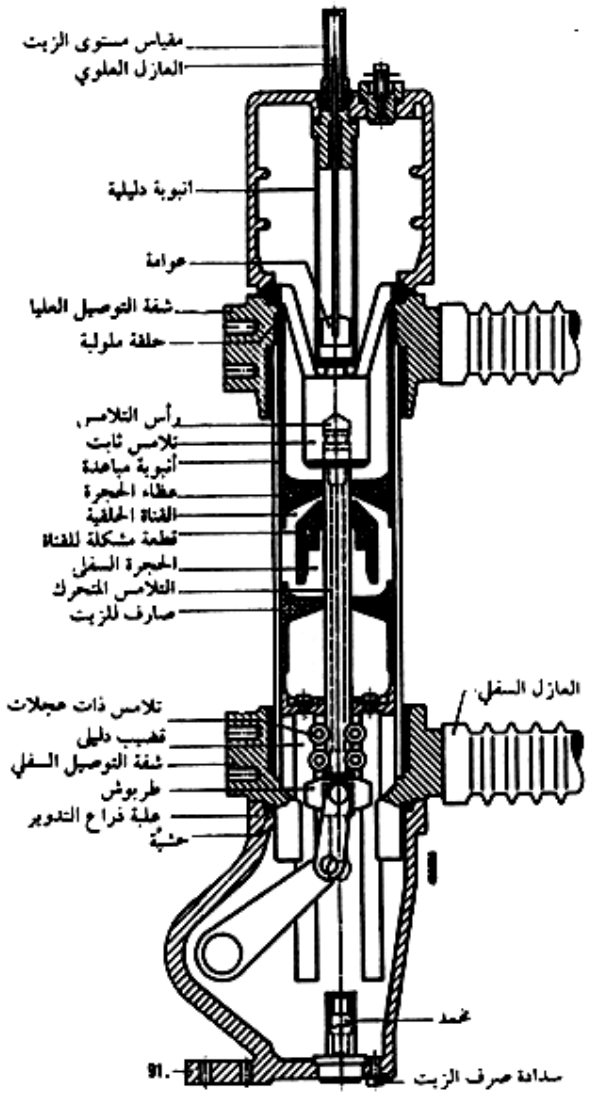
تنقسم قواطع الجهد المتوسط حسب الوسط المستعمل بها لإطفاء الشرارة وكعازل إلى :

(أ) **القواطع الزيتية** Oil Circuit Breakers

تنقسم القواطع الزيتية إلى قسمين هما :

- قواطع ذات حجم زيت كبير Bulk Oil Circuit Breakers
- وقواطع ذات حجم زيت صغير Minimum Oil Circuit Breakers

فالقواطع الزيتية ذات حجم زيت كبير مشاكلها كثيرة وخاصة لأنها تستعمل كميات ضخمة من الزيت ولذا أصبحت غير عملية وسوف نتحدث هنا عن أكثر أنواع القواطع الزيتية استعمالا وهي القواطع الزيتية ذات حجم زيت صغير. ويبين الشكل (٢ ـ ٢٦) مقطعا كاملا لأحد الأقطاب لقاطع ذات حجم زيت صغير من صنع شركة سيمنز.



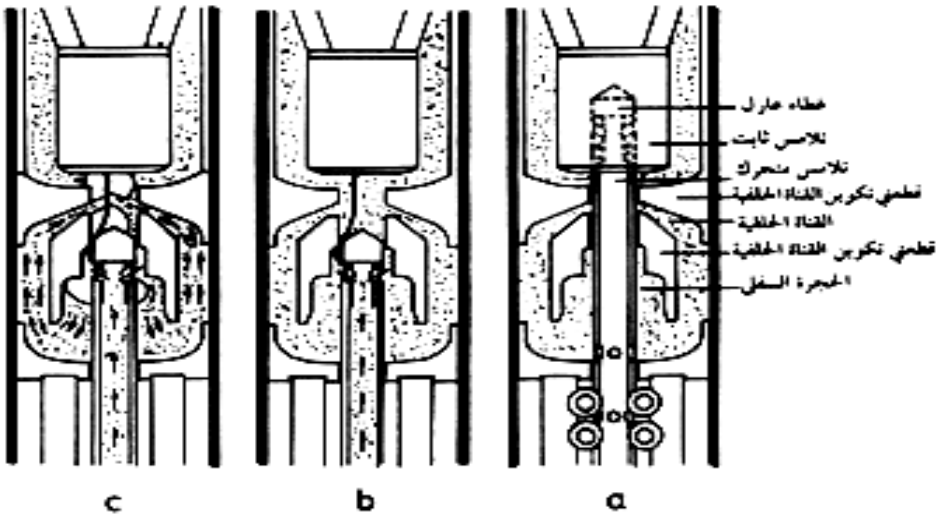
الشكل (٢ ـ ٢٦) مقطع لقاطع ذات حجم زيت صغير (سيمنز)

كما يبين الشكل (٢ ـ ٢٧) a مقطعا للجزء الخاص بإخماد القوس الكهربي لقاطع زيت صغير من صنع شركة سيمنز. ويتكون القاطع من تلامسين أحدهما ثابت والآخر متحرك. فالتلامس المتحرك مكون من قضيب أجوف مزود بغطاء عازل. وعندما يفترق التلامسان يحدث القوس الكهربي بينهما ويتم سحب طرفه الأسفل إلى داخل الحجرة السفلى نظرا لوجود الغطاء العازل على القضيب المتحرك. وكما سبق أن ذكرنا ينطفىء القوس تلقائيا عند مرور التيار بالصفر ولكنه يجب في نفس الوقت إزالة آثار التأين ورفع جهد الانهيار للوسط المتواجد بين التلامسين وذلك لضمان عدم إعادة إشعال القوس الكهربي نتيجة

للجهد العابر المستعاد الذي يظهر بين التلامسين. ويتم ذلك عن طريق تحريك الزيت في المنطقة التي تحيط بالتلامسين. وللزيت حركتان : حركة لا تعتمد على شدة التيار وحركة تعتمد على شدة التيار.

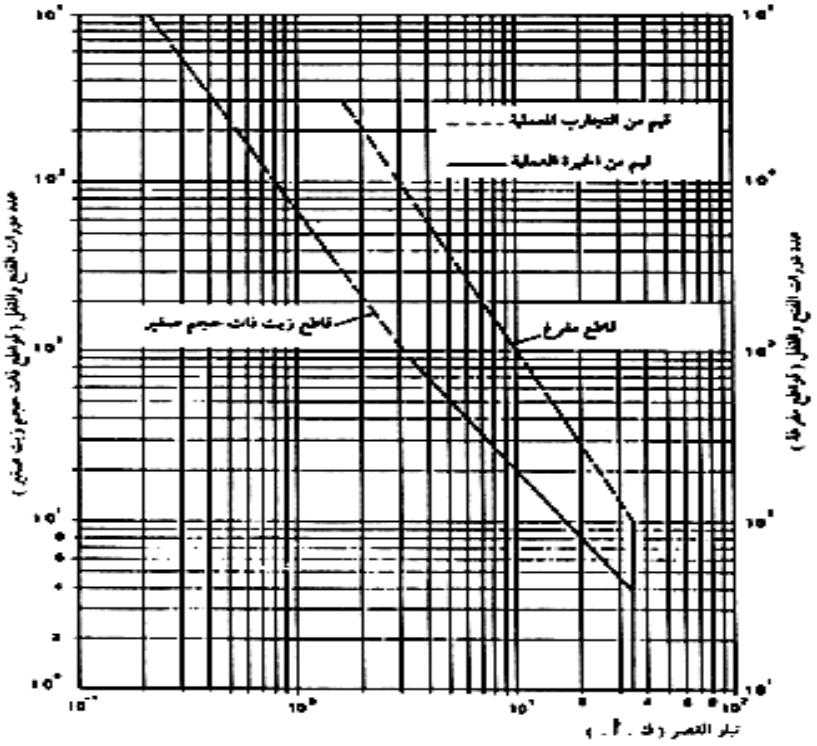
عندما يتحرك القضيب الأجوف إلى أسفل أثناء عملية الفتح، يتدفق الزيت بداخله إلى أعلى ثم ينطلق من الفتحات التي بأعلى القضيب حيث يؤثر تأثيرا مباشرا على الطرف الأسفل للقوس الكهربي (شكل (٢ ـ ٢٧ b). وحركة تدفق الزيت هذه كافية لضمان إخماد القوس نهائيا في حالة قطع التيارات الصغيرة.

أما في حالة قطع تيارات قصر كبيرة، فيتم الإخماد النهائي للقوس الكهربي بواسطة حركة تدفق للزيت يولدها القوس الكهربي نفسه. فبمجرد دخول الطرف الأسفل للقوس إلى الحجرة السفلى تتولد فيها فقاعة غازية لا تستطيع التمدد إلا إلى أسفل (شكل ٢ ـ ٢٧ C) فتدفع الزيت عبر القناة الحلقية (٥) المكونة من القطعتين ٤,٦ . ويقوم الزيت المندفع بإزالة آثار التأين من مسار القوس ورفع جهد الانهيار الكهربي للثغرة بين التلامسين.



شكل (٢ ـ ٢٧) إخماد القوس في قاطع ذات حجم زيت صغير

وجدير بالذكر أن هذه القواطع تحتاج إلى صيانة دورية حيث إن عمر التلامسات يقدر بعدد المرات التي يفتح ويقفل فيها القاطع. ويعتمد هذا العدد على حجم تيار القطع. ويبين الشكل (٢ ـ ٢٨) العلاقة النموذجية بين أقصى عدد لعمليات الفتح والقفل المسموح به وقيمة تيار القطع وذلك لقاطع ١٢ kV, ٣١,٥ kA وفي العادة يوصي الصانع بتغيير التلامسات بعد حوالي ١٠,٠٠٠ دورة فتح وقفل حتى إذا تمت تحت ظروف اللاحمل.

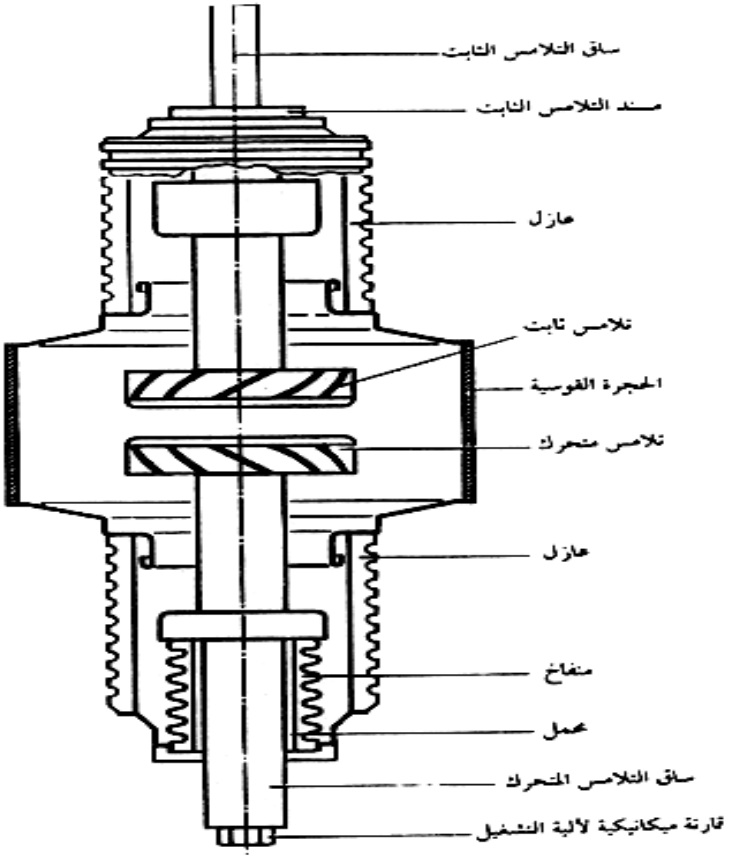


شكل (٢ ـ ٢٨) عدد دورات الفتح والقفل لقاطع فراغي وآخر زيتي

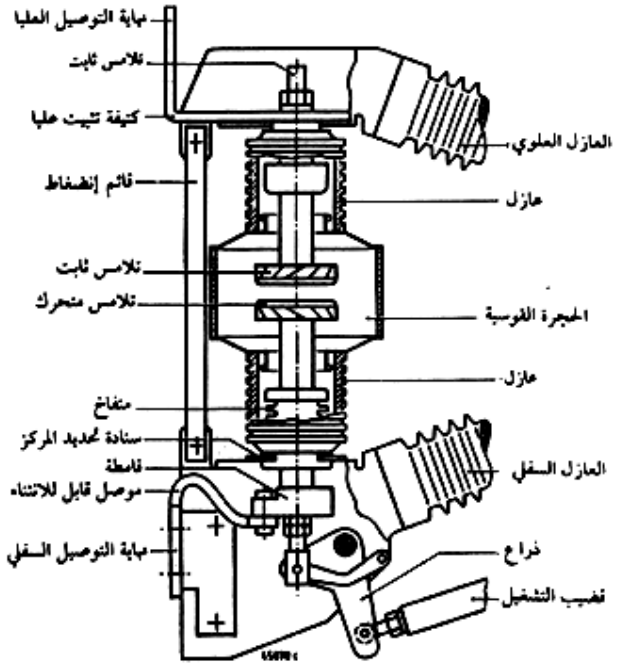
(ب) القواطع الفراغية Vacuum Circuit Breakers

يبين الشكل (٢ ـ ٢٩) مقطعا للجزء الخاص بإطفاء القوس الكهربي لقاطع فراغي. ويتكون أساسا من غرفة مفرغة تصل فيها درجة التفريغ إلى أقل من 10^{-7} مم زئبق، وتحتوي على تلامسين أحدهما ثابت والآخر متحرك. ويتم الآحكام بين قضيب التلامس المتحرك وجسم الحجرة بواسطة منفاخ من الفولاذ غير القابل للصدأ. وعند فتح التلامسين يمتد القوس الكهربي بينهما في مسار شديد التأين مكون من بخار معدني. وعند مرور التيار بالصفر وانطفأ القوس يتكثف هذا البخار الموصل على الأجزاء المعدنية في زمن لايتجاوز بضعة ميكروثواني . ويؤدي ذلك إلى ارتفاع سريع جدا لمتانة العزل الكهربي للثغرة بين التلامسين ومن ثم إلى عدم إعادة إشعال القوس الكهربي.

ولتفادي تجاوز حد التسخين المسموح به للتلامسات عند قطع تيارات كبيرة، فقد تشكل أجسام التلامسات وبها عدة شقوق مائلة (شكل ٢ ـ ٢٩) لجعل اتجاه التيار المار بها لا محورياً بحيث تتولد قوة مغناطيسية على القوس الكهربي الممتد بين التلامسين تجعله يتحرك على سطحيها. ويبين شكل (٢ ـ ٣٠) مقطعا كاملا لإحدى الأقطاب لقاطع فراغي من صنع شركة سيمنز.



شكل (٢ ـ ٢٩) مقطع للغرفة القوسية لقاطع فراغي (سيمنز)



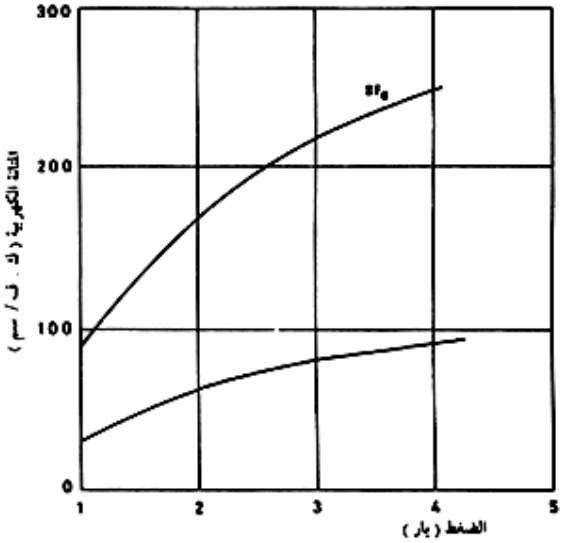
شكل (٢ ـ ٣٠) مقطع لقاطع فراغي (سيمنز)

ولعل أهم ميزة للقواطع المفرغة هي عدم احتياجها لأي أعمال صيانة تذكر. والعمر الافتراضي للتلامسات هي حوالي ١٠٠ عملية فتح عند تيار القصر المقنن وحوالي ٢٠,٠٠٠ عملية فتح عند التيار المقنن المتواصل. وفي أي حال من الأحوال يجب تغيير الحجرة المفرغة التي تحتوي على التلامسات بعد حوالي ٣٠,٠٠٠ دورة فتح وقفل حتى إذا تمت تحت ظروف اللاحمل. ويبين الشكل (٢ ـ ٢٨) العلاقة النموذجية بين أقصى عدد لعمليات الفتح والقفل المسموح به وقيمة تيار القطع وذلك لقاطع ١٢ kV, ٣١,٥ kA.

والمميزات الأخرى للقواطع المفرغة هي عدم احتوائها على سوائل قابلة للاشتعال (مثل الزيت) أو على غازات قد يصعب التعامل معها (مثل سادس فلوريد الكبريت (SF_6) Sulphur Hexafluoride وأيضا خفة الوزن وهدوء التشغيل.

٨.٤.٢ قواطع سادس فلوريد الكبريت (SF_6 Circuit Breakers)

من خواص غاز سادس فلوريد الكبريت أنه غاز اصطناعي عديم اللون والرائحة، وغير سام لايتفاعل كيميائيا وغير قابل للاشتعال. وكثافته عند الضغط الجوي ودرجة حرارة C^o ٢٠ هي ٦,٠٧ جم/لتر وتمثل خمسة أضعاف كثافة الهواء وهو يعتبر من أثقل الغازات المعروفة. ويبين الشكل (٢ ـ ٣١) العلاقة بين المتانة الكهربية والضغط لهذا الغاز وللهواء حيث تتضح أفضلية الـ SF_6 .



شكل (٢ ـ ٣١) العلاقة بين المتانة الكهربية و الضغط لغاز SF_6 والهواء

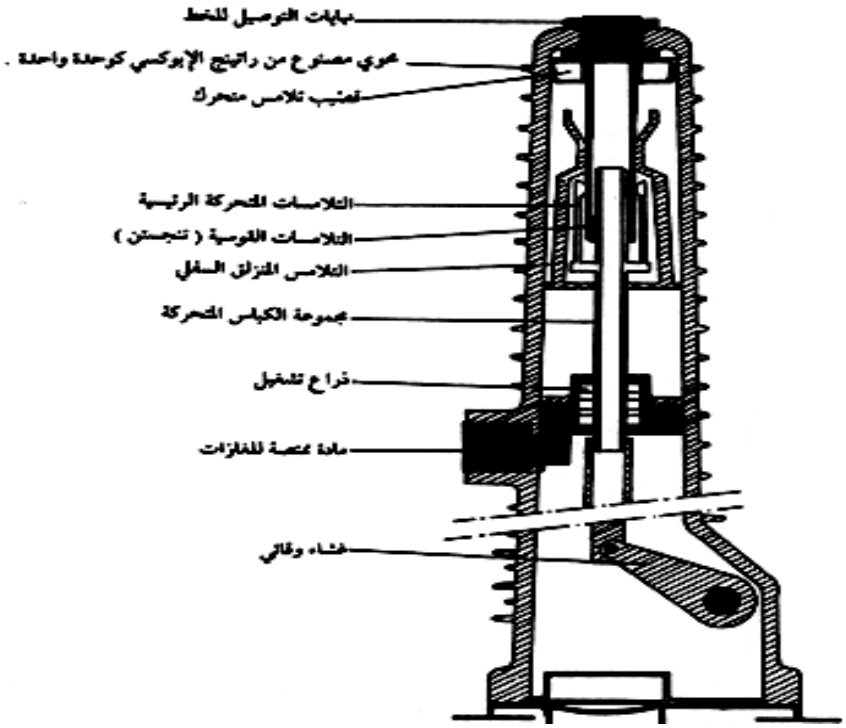
والغاز له خصائص حرارية ممتازة وقابلية عالية للتأين السالب أي جذب الإلكترونات الحرة (electro- negativity) مما يجعله وسطا مثاليا لإخماد القوس الكهربي. وارتفاع حرارته النوعية تساعد على سرعة إزالة الحرارة المتولدة من القوس في حين أن القابلية العالية للتأين السالب يساعد على استيعاد سريع لمتانة العزل الكهربي بين التلامسين.

وقد وجد أيضا أن استخدام هذا الغاز كوسط لإخماد القوس الكهربي يجعل عملية قطع التيار غير حساسة لقيمة عامل القدرة مما يؤدي إلى كفاءة عالية في الأداء عند قطع التيارات الحثية والسعوية.

وجدير بالذكر أنه رغم أن سادس فلوريد الكبريت نفسه غير فعال كيميائيا لا أن منتجات انحلاله تحت تأثير القوس الكهربي (..... , SF_2 , SF_2 , SF_4) حساسة للغاية خاصة في وجود الرطوبة مما يحد من أنواع المواد التي يمكن استخدامها داخل القاطع. وفي جميع الأحوال قواطع الـ SF_6 توضع مادة مثل اكسيد الألومنيوم ذات قدرة عالية لامتصاص الغازات لإزالة هذه المنتجات.

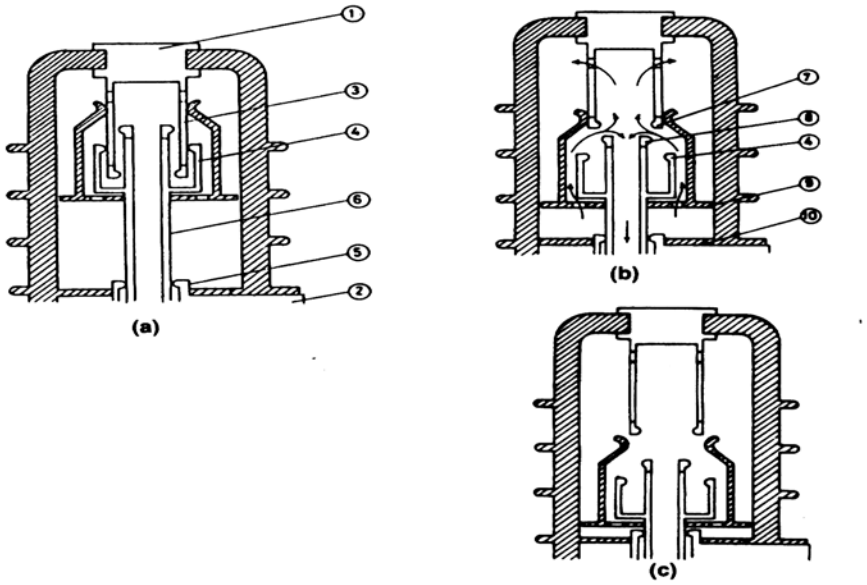
قاطع سادس فلوريد الكبريت (SF_6)

يبين الشكل (٢ ـ ٣٢) مقطعا لقاطع SF_6 مع توضيح لأجزائه المختلفة. وضغط الغاز داخل القاطع هو حوالي ٣,٥ بار. ويقوم الغشاء الوقائي في أسفل القاطع بدور صمام أمان حيث إنه ينفجر في حالة ارتفاع غير عادي للضغط الداخلي.



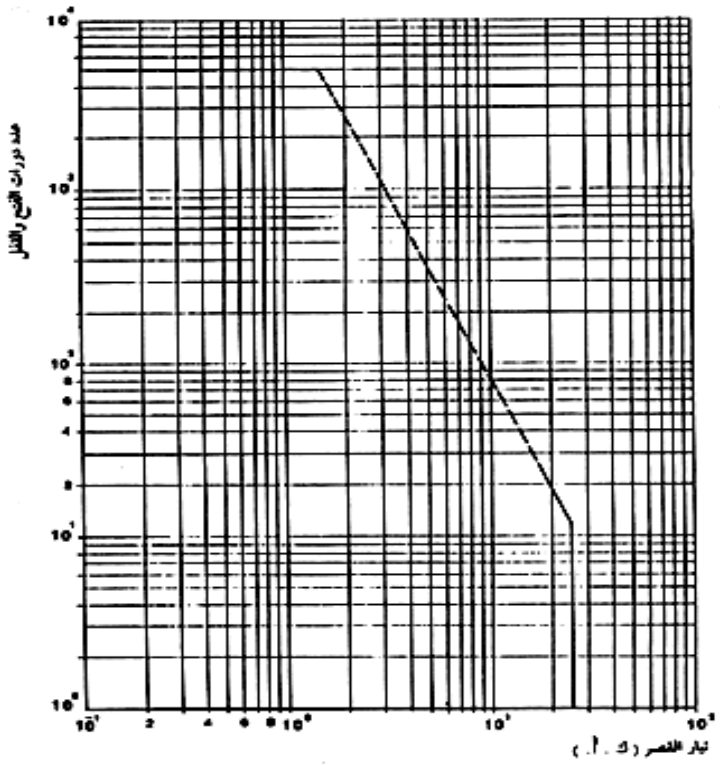
شكل (٢ ـ ٣٢) مقطع لقاطع سادس فلوريد الكبريت

ويبين الشكل (٢ ـ ٣٣) مبدأ قطع التيار. يمثل الشكل (a) التلامسات في وضع القفل حيث يمر التيار بين النهايات (٢),(١) عبر التلامس الثابت (٣) والتلامسات المنزلقة (٥),(٤) والقضيب المتحرك (٦) . أما الشكل (b) فهو يمثل التلامسات أثناء الفتح. فعند افتراق التلامسين (٤),(٣) يتكون القوس الكهربي بين الأطراف (٨),(٧) وينضغط غاز الـ SF_6 بين الكباس المتحرك (٩) ورأس الأسطوانة (١٠) ويندفع خلال الفتحات المبينة ليدفع القوس في اتجاهين مضادين ويعمل على إخماده.



شكل (٢ ـ ٣٣) إخماد القوس في قاطع سادس فلوريد الكبريت
(a) وضع القفل ، (b) أثناء الفتح ، (c) وضع الفتح

ويتراوح العمر الافتراضي للتلامسات بين ٢٠ – ١٠ عملية فتح تيار القصر المقنن وبين ٤٠٠٠ – ٢٠٠٠ عملية فتح التيار المقنن المتواصل. ويبين الشكل (٢ ـ ٣٤) العلاقة النموذجية بين أقصى عدد لعمليات الفتح والقفل المسموح بها وقيمة تيار القطع وذلك لقاطع ١٢ kV, ٢٥ kA .



شكل (٢ ـ ٣٤) عدد دورات الفتح والقفل بالنسبة لتيار القصر لقاطع SF_6

الجزء الثالث: المـــرحـــــلات

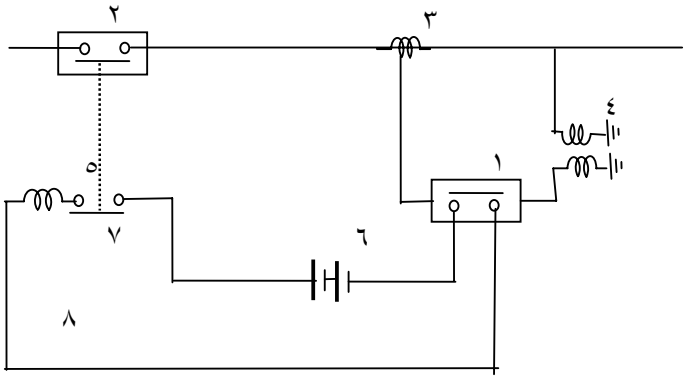
٢. ٥ المرحلات

٢. ٥. ١ مقدمة

يعرف المرحل بصفة عامة بأنه جهاز يستقبل إشارة تحكم معينة من الدائرة المركب عليها، وتبعا لتلك الإشارة فإنه يجري تغييرا أو أكثر في تلك الدائرة. ومرحلات الحماية هي مرحلات تستجيب لحالات التشغيل غير العادية في منظومات القوى الكهربية كالأخطاء وتجاوز الحمل. ويعطي المرحل تبعا لذلك الإشارة المناسبة لقاطع الدائرة الذي يفصل بدوره الجزء الخاطىء أو المعيب من المنظومة في أقل زمن ممكن. يبين الشكل (٢ ـ٣٥) المبدأ الأساسي الذي يعمل عليه المرحل مع القاطع.

تتألف منظومة الحماية التقليدية كما بالشكل (٢ ـ ٣٥) من الأجزاء الأساسية الآتية:

١. مرحل الحماية.
٢. قاطع الدائرة.
٣. محول التيار.
٤. محول الجهد.
٥. ملف إعتاق القاطع.
٦. بطارية.
٧. مفتاح مساعد.
٨. دائرة إعتاق القاطع.



شكل (٢ ـ ٣٥) منظومة حماية تقليدية

٢. ٥. ٢ الطريقة العامة لعمل منظومة الحماية

يستقبل المرحل باستمرار إشارة تحكم من منظومة القوى المراد حمايتها. ويعتمد مقدار هذه الإشارة عادة إما على التيار في المنظومة أو على جهد المنظومة أو عليهما معا. يتم تغذية المرحل بإشارة التحكم عن طريق محول تيار أو محول جهد تبعا لنوع الكمية المغذاة.

والغرض من استعمال محولي الجهد والتيار هو ما يلي :

١. ضمان عزل كهربي عن باقي المنظومة.

٢.تحويل القيم العالية للتيارات والجهود التي تظهر تحت ظروف تشغيل غير عادية إلى قيم تتلائم مع مقنن المرحل ثم تغذية المرحل بها.

ويتم عادة قطع دائرة إعتاق القاطع عن طريق المفتاح المساعد ٧ وليس عن طريق تلامسات المرحل حيث أنها رقيقة ولاتتحمل عملية قطع الدائرة والتي تكون مصحوبة بشرارة كهربية. ويتم عادة تواشج (interlock) المفتاح المساعد ميكانيكيا مع قاطع الدائرة بحيث يتم فتح دائرة الإعتاق مع تشغيل القاطع.

كميات التشغيل

يعتمد المرحل في التمييز بين الحالة العادية وغير العادية على قياس كمية التشغيل له. وتكون هذه الكمية إما تيارا أو جهدا أو الاثنين معا. وتنقسم الكمية المقاسة في معظم المرحلات إلى ما يأتي :

١.قياس للمقدار ، كزيادة التيار وزيادة الجهد ونقص الجهد.

٢.قياس حاصل ضرب، كقياس القدرة ($VI \cos\Phi$) .

٣.قياس النسبة، كما في مرحلات المعاوقة التي تقيس النسبة بين V/I

٤.قياس الفرق، كما في المرحلات الفرقية التي تقيس الفرق بين كميتين من نفس النوع (تيار أو جهد).

٢. ٥. ٣ أنواع المرحلات

يمكن تصنيف المرحلات حسب مبدأ عملها أو تركيبها إلى أنواع كثيرة منها :

١.المرحلات الحرارية Thermal Relays

٢.المرحلات الكهرومغناطيسية ذات مبدأ الجذب Electromagnetic - Attracted - Relays

٣.المرحلات الكهرومغناطيسية ذات المبدأ الحثي Electromagnetic Induction Relays

٤.المرحلات الإستاتيكية Static Relays

وسوف نقتصر هنا على شرح النوعيين الأخيرين وهما المرحلات الكهرومغناطيسية ذات المبدأ الحثي والمرحلات الإستاتيكية حيث أنهما أكثر المرحلات استخداما في منظومات الحماية في الآونة الأخيرة.

(أ) المرحلات الحثية Induction relays

إن المرحلات الحثية هي أكثر المرحلات استخداما في منظومات الحماية نظرا لأن التنوع الكبير في خصائصها الزمنية يعطيها مرونة كبيرة في إمكانية التنسيق بين مرحلات مستخدمة للعمل على التوالي، أو التنسيق بين مرحلات وقواطع أو مصهرات.

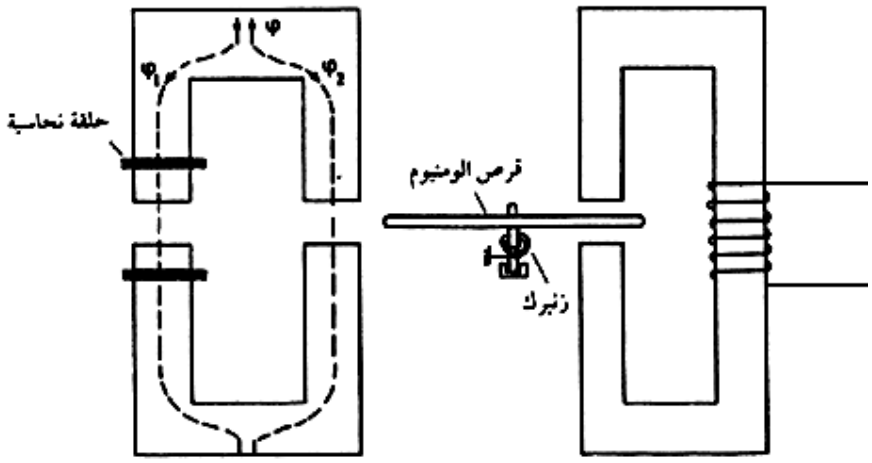
تعتمد المرحلات الحثية في نظرية تشغيلها على الفعل المتبادل بين فيضين مغناطيسين Φ_1 و Φ_2 وبين التيارات الدوامية المستحثة في الجزء المتحرك من الرحل. ويمكن إثبات أن عزم التدوير الكهرومغناطيسي T يتناسب طرديا مع كل من Φ_1 و Φ_2 وجيب الزاوية بينهما α أي أن :

$$T \alpha \ \Phi_1 \Phi_1 \sin \alpha$$

هناك طريقتان للحصول على فيضين مغناطيسيين بينهما زاوية α.

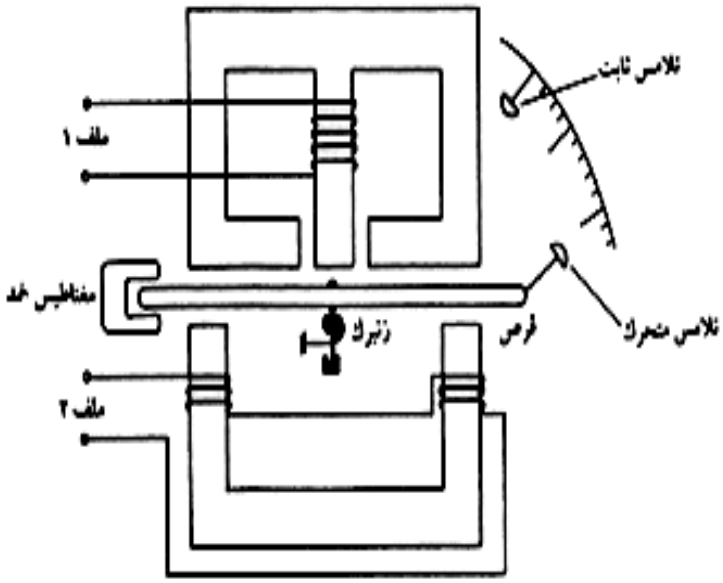
الطريقة الأولى : يستخدم فيها ملف إثارة واحد ودائرة مغناطيسية واحدة لها قطب محجب (shaded – Pole) . **والطريقة الثانية** ويستخدم فيها ملفين للإثارة ودائرتين مغناطيسين.

ويبين الشكل (٢ ـ ٣٦) مكونات المرحل الحثي ذي القطب المحجب. وهو يتكون من قرص من النحاس أو الألومنيوم مزود بمحاور ارتكاز وطليقة الدوران في الثغرة بين قطبي المغناطيس الكهربي. وكل قطب منشق إلى جزأين أحدهما محوط بحلقة ثقلية من النحاس. وتقوم هذه الحلقة _ نتيجة للتيارات المستحثة فيها. بتأخير مرحلي للفيض المار في الشق المحجب من القطب بالنسبة للفيض المار في الشق غير المحجب بزاوية α تتراوح بين ° ٤٥ – ٤٠° .

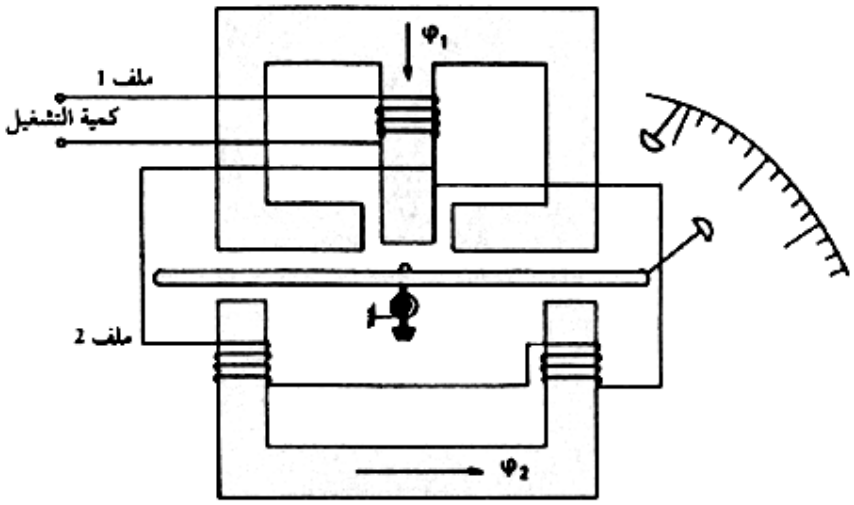


الشكل (٢ ـ ٣٦) مرحل حثي ذو قطب محجب

ويبين الشكل (٢ ـ ٣٧) مكونات مرحل حثي ذي ملفي إثارة يعملان بكميتي تشغيل، كما يبين الشكل (٢ ـ ٣٨) طريقة توصيل الملفين في حالة استخدام المرحل كمرحل تجاوز حمل. ويمتاز هذا المرحل بإمكانية الحصول على قيم للزاوية α أكبر من تلك التي نحصل عليها من المرحل ذي القطب المحجب. وعلي العموم، فإن غالبية المرحلات الحثية هي من النوع ذي الملفين بحيث يتولد في القرص مجالان مغناطيسيان.



شكل (٢ ـ ٣٧) مرحل حثي ذو ملفي إثارة



شكل (٢ ـ ٣٨) مرحل تجاوز حمل حثي

نظرية الأداء

العزوم المتولدة في المرحل هي :

١. عزم التشغيل T_1 ، وهو يتناسب مع مربع التيار $T_1 = k_1 I^2$

٢.عزم مقاومة الزنبرك T_2 ، وهو ثابت $T_2 = k_1 I_.^2$

حيث $I_.$ هو تيار اللقط.

٣.عزم الخمد T_3 وهو يتناسب مع سرعة القرص $T_3 = k_2 (d/t)$

حيث (d) هي المسافة التي يتحركها القرص قبل أن يتلامس طرفاه و (t) هو زمن حركة القرص (على فرض أن سرعة القرص ثابتة).

ولذلك فإن العزم الكلي المؤثر على القرص هو :

$$T = k_1 I^2 - k_1 I_.^2 - k_2 (d / t)$$

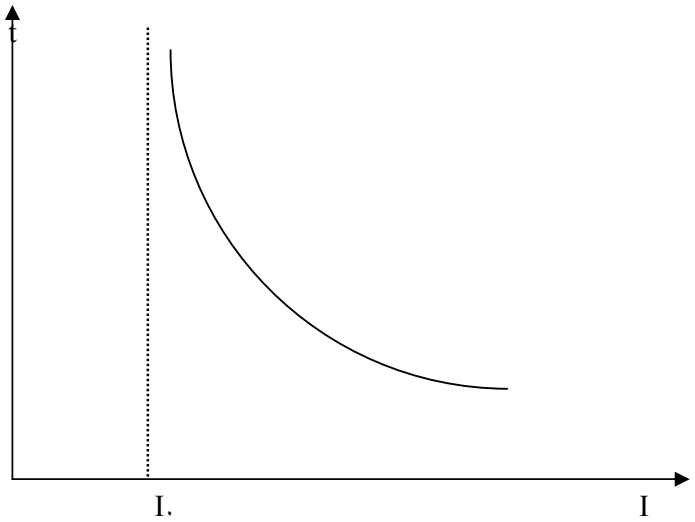
ويبدأ القرص في الحركة عندما يكون $T = 0$ ، أي :

$$K_1 (I^2 - I_.^2) = k_2 (d / t)$$

أي أن :

$$T = k\, d (I^2 - I_.^2)$$

ويتضح من هذه العلاقة الأخيرة أنه لقيمة معينة لكل من $I_.$ and d فإن زمن تشغيل المرحل يتناسب عكسيا مع مربع التيار المار به كما هو مبين بالشكل (٢ ـ ٣٩). ولهذا فإن هذه المرحلات تعرف بالمرحلات ذات الزمن العكسي (Inverse – Time Relays) .



شكل (٢ ـ ٣٩) المنحني الخصائصي لمرحل حثي ذي كمية تشغيل واحدة

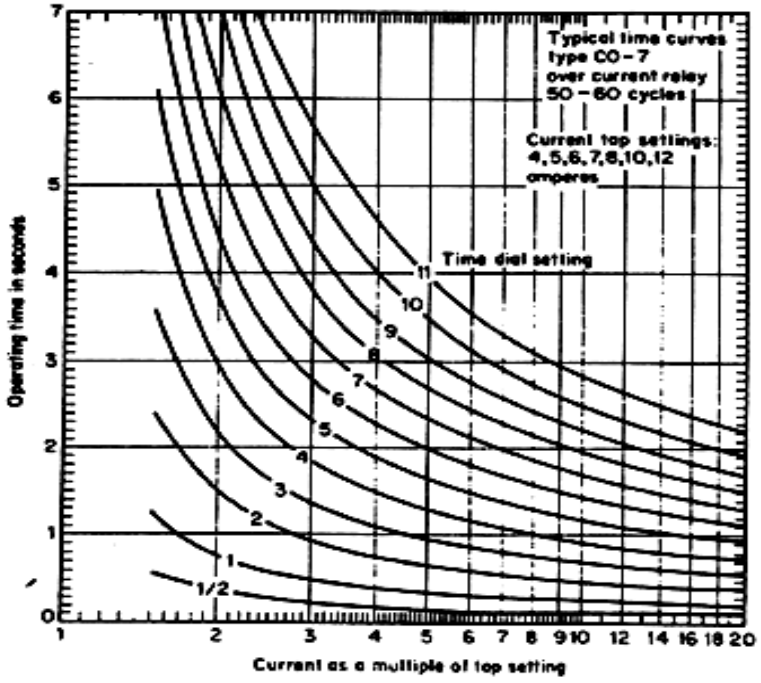
الخواص

يتضح من الشرح السابق أنه يمكن التحكم في زمن تشغيل المرحل المناظر لنفس قيمة التيار وذلك عن طريق التحكم في المسافة التي يدورها القرص. ويمكن بالإضافة إلى ذلك تغيير قيمة تيار اللقط عن طريق تغيير عدد لفات ملف مغناطيسي المرحل نظرا لأن عزم الدوران يعتمد على الفيض المغناطيسي وعدد اللفات التي يمر فها هذا الفيض. وعلى هذا يزود المرحل الحثي بوسيلتي ضبط هما :

١. ضبط للزمن عن ضبط المسافة التي يدورها القرص قبل أن يتلامس طرفا المرحل. ويبين ذلك على المرحل باختيار معامل معين يسمى المضروب الزمني (Time Multiplier Setting) تتراوح قيمته بين ١١ & ٠,٥ عادة. وكلما قل المضروب الزمني قل زمن تشغيل المرحل لنفس قيمة التيار.

٢. ضبط لتيار اللقط عن طريق تغيير وضع قابس التيار. ويتغير تبعا لذلك عدد اللفات التي يمر فيها التيار. وبذلك يمكن تحديد قيمة تيار بدء عمل المرحل.

وللاستفادة من هاتين الوسيلتين يزود المرحل من الشركة الصانعة له بمجموعة منحنيات خصائصية تربط بين زمن تشغيل المرحل والتيار المار به، ويناظر كل منحني مضروبا زمنيا معينا. ويمكن بذلك اختيار المنحني المناسب عند ضبط المرحل بحيث يتناسق مع المرحلات المجاورة ووسائل الحماية الأخرى في الشبكة بغرض الحصول على التمييز المطلوب. ويبين الشكل (٢ ـ ٤٠) مجموعة من هذه المنحنيات التي ترسم عادة على مقياس لوغاريتمي للزمن والتيار بحيث يمثل المحور الأفقي النسبة بين التيار الفعلي المار في المرحل وتيار اللقط المناظر لوضع القابس.



شكل(٢ ـ ٤٠) المنحنيات الخصائصية لمرحل حثي ذي كمية تشغيل واحدة ومضروبات زمنية مختلفة (صنع وستنجهاوس)

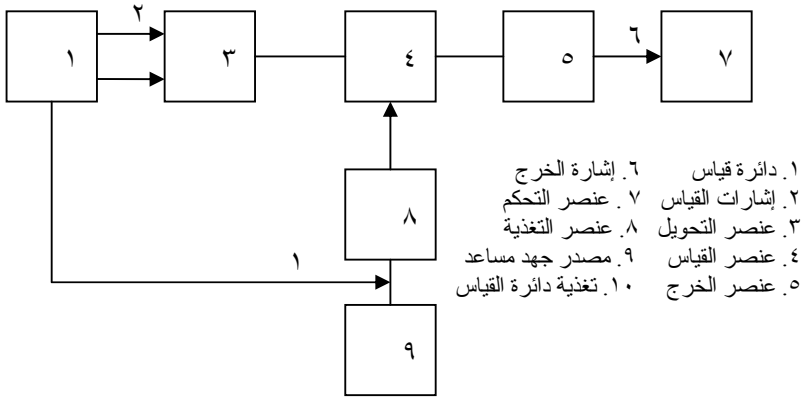
(ب) المرحلات الإستاتيكية

يعرف المرحل الإستاتيكي بأنه مرحل تنشأ فيه الاستجابة المطلوبة عن طريق مكونات الكترونية أو مغناطيسية أو أية مكونات أخرى دون حدوث حركة.

إن التطور السريع الذي تحقق في صناعة أشباه الموصلات خلال العقود الثلاثة الماضية قد ساهم بدرجة كبيرة في إمكانية صناعة واستخدام المرحلات الإستاتيكية على نطاق واسع. ويمكن القول بأن جميع وظائف وخصائص المرحلات الكهروميكانيكية قد أمكن تحقيقها الأن بالمرحلات الإستاتيكية بصورة اقتصادية وأداء أفضل. وجدير بالذكر أن المرحلات الإستاتيكية تتفوق في أدائها على المرحلات الكهروميكانيكية في حالات المرحلات المعقدة نسبيا كمرحلات المعاوقة والمرحلات الفرقية. وعلى العكس ، فإن مرحلات تجاوز الحمل الكهروميكانيكي لاتزال أبسط وأنسب في أدائها من المرحلات الإستاتيكية.

التركيب الأساسي لمرحل الحماية الإستاتيكي

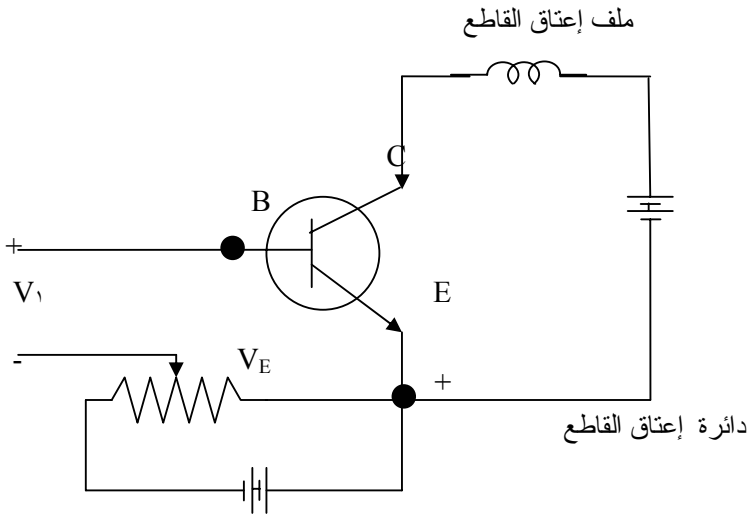
يبين شكل (٢ ـ ٤١) المكونات الأساسية للمرحل الإستاتيكي. يتم فيه تغذية عنصر التحويل بإشارة التغذية عن طريق دائرة القياس (١) والتي تكون عبارة عن محول جهد أو محول تيار أو الاثنين معا. يتم بذلك تحويل إشارة التغذية داخل عنصر التحويل (٣) إلى كميات يمكن التعامل معها بسهولة بواسطة عنصر القياس(٤). يبدأ عنصر القياس في العمل عندما تصل قيمة إشارة التغذية إلى حد معين حيث يعطي حينئذ إشارة القفل. يستقبل عنصر الخرج (٥) هذه الإشارة ويقوم بتكبيرها وتقويتها ثم نقلها إلى عنصر التحكم (٧) الذي يعطي بدوره الإشارة النهائية لدائرة إعتاق قاطع الدائرة. ويتم تغذية عنصري القياس والخرج عن طريق عنصر التغذية (٨). ويحصل عنصر التغذية على الطاقة اللازمة إما من مصدر جهد مساعد (٩) أو من دائرة القياس نفسها.



شكل(٢ ـ ٤١) رسم تخطيطي لمرحل استاتيكي

مرحل الترانزستور

يبين شكل (٢ ـ ٤٢) مرحل ترانزستور يكافئ في طريقة أدائه المرحل ذا الذراع المنجذب. يتناسب جهد الدخل V_1 (وهو جهد قاعدة الترانزستور B) مع مقدار تيار أو جهد منظومة القوى المركب عليها المرحل. عندما يكون V_1 أقل من جهد الباعث V_E فإن ملتقى القاعدة ـ الباعث يكون في حالة انحياز عكسي وبذلك لايمر تيار في دائرة الباعث E ـ المجمع C . إذا زاد V_1 عن V_E يصبح انحياز القاعدة ـ الباعث أمامي مما يؤدي إلى مرور تيار في دائرة حمل المرحل ةالتي تكون هي دائرة إعتاق القاطع.



شكل (٢ ـ ٤٢) مرحل ترانزستور فوري

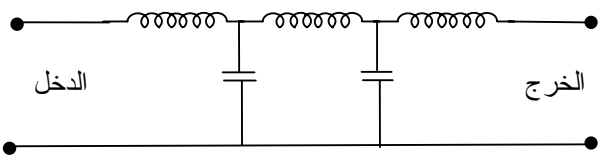
(ج) دوائر التأخير الزمني

للحصول على التأخير الزمني المطلوب تستخدم دوائر التأخير الزمني على النحو التالي :

١. تستخدم كابلات أو خطوط التأخير المستعملة عادة في منظومات الاتصالات وذلك للحصول على تأخير زمني في نطاق الميكروثواني. ويمثل كابل أو خط التأخير عادة بدائرة مكافئة كالمبينة بالشكل (٢ ـ ٤٣).

٢. للحصول على تأخير زمني في حدود الميللي ثانية تستخدم دوائر رنينية من مفاعلات ومكثفات (دوائر $L - C$).

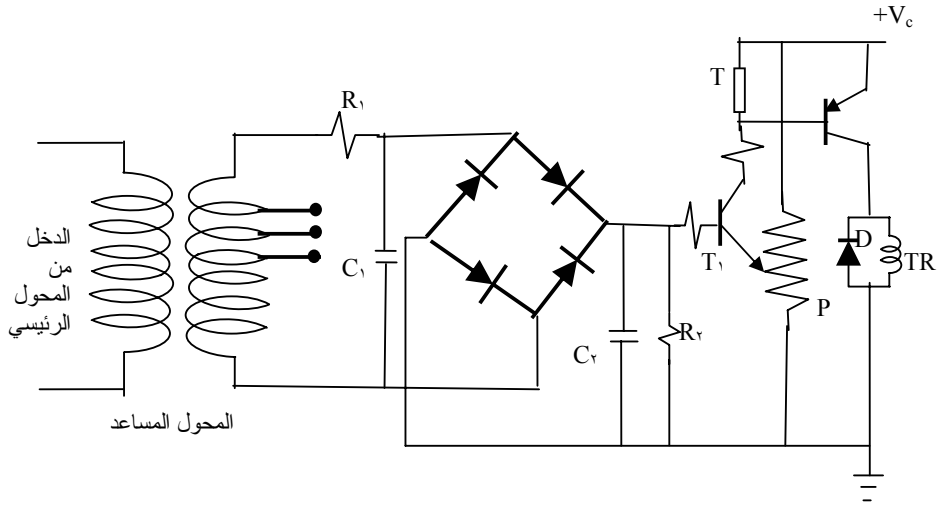
٣. للحصول على تأخير زمني أكبر مما سبق تستخدم دوائر من مقاومات ومكثفات (دوائر $C - R$).



شكل (٢ ـ ٤٣) الدائرة المكافئة لخط التأخير الزمني

(د) مرحل تجاوز التيار الترانزستور

يبين الشكل (٢ ـ ٤٤) إحدى دوائر مرحل تجاوز الحمل الترانزستور ويستقبل محول التيار المساعد إشارة الدخل من محول التيار الرئيسي حيث يغذي بها قنطرة تقويم كاملة الموجة (يتم حماية قنطرة التقويم ضد الجهود العابرة العالية بواسطة الدائرة المكونة من $R_١$ & $C_١$). تغذي إشارة خرج قنطرة التقويم قاعدة الترانزستور $T_١$ على المقاومة $R_٢$ ويتم تنعيم هذا الخرج بواسطة المكثف $C_٢$. عندما يتعدى جهد قاعدة $T_١$ قيمة محددة بواسطة مقسم الجهد P ونسبة تحويل محول التيار المساعد يبدأ الترانزستور $T_١$ في العمل حيث يؤدي هذا إلى عمل الترانزستور $T_٢$ وقفل دائرة الإعتاق TR . يتم ضبط درجة الحرارة بواسطة المنظم الحراري Th بينما يعمل الصمام الثنائي D على حماية ملف المرحل. يزود الملف الثانوي للمحول المساعد بمخارج مختلفة لضبط نسة التحويل.

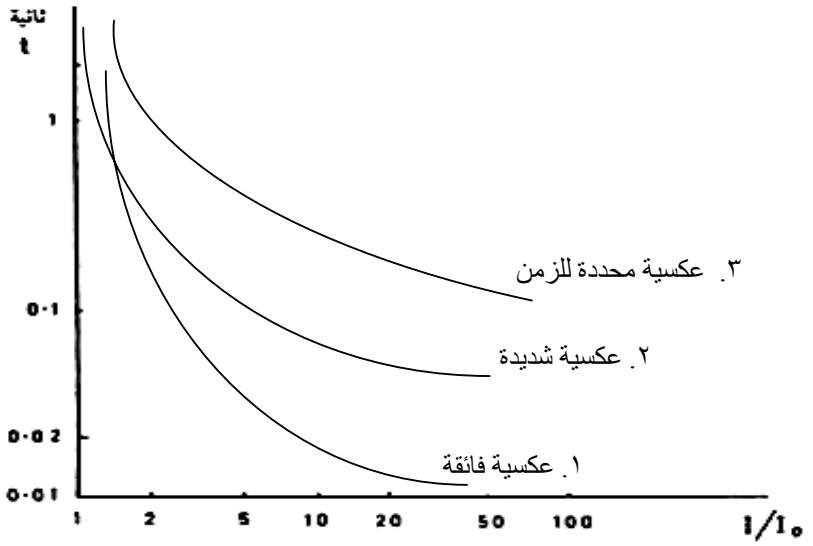


شكل (٢ ـ ٤٤) دائرة مرحل تجاوز تيار ترانزستور فوري

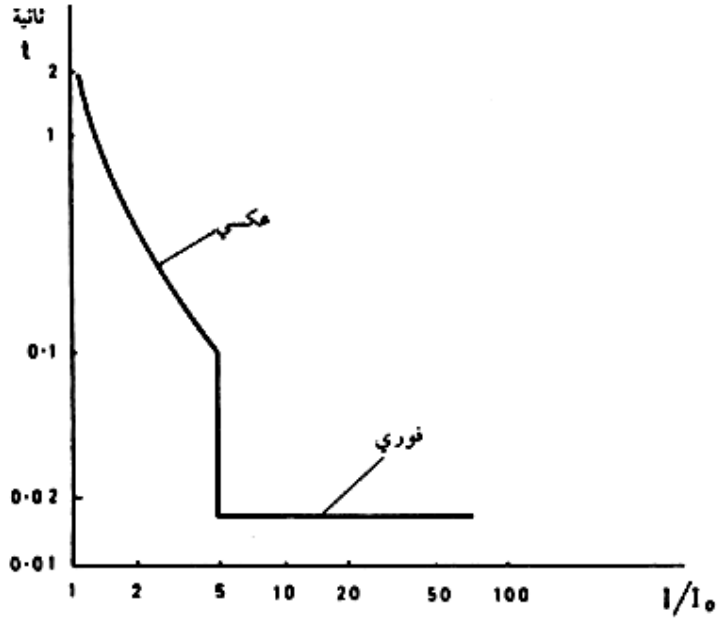
٢. ٥. ٤ الحماية ضد زيادة التيار Over Current (O/C) Protection

إن نظام الحماية ضد زيادة التيار هو أكثر النظم شيوعا واستخداما في حماية منظومات التوزيع. يعتمد هذا النوع من الحماية أساسا على مرحلات تجاوز التيار. وتكون هذه المرحلات عادة إما مرحلات الذراع المنجذب أو مرحلات حثية ذات كمية تشغيل واحدة.

تستخدم مرحلات الذراع المنجذب في حالات التشغيل الفوري للحصول على علاقة خصائصية ذات أقل محدد زمني. بينما تستخدم المرحلات الحثية للحصول على علاقة عكسية بين الزمن والتيار . وفي هذه الحالة يقل زمن التشغيل بسرعة كبيرة مع إزدياد التيار بحيث يكاد أن يكون التشغيل فوريا بالنسبة لتيارات القصر. وهذه الخاصية غير مرغوبة إذا أردنا التنسيق بين مرحلين أو أكثر على التوالي حيث يصعب التمييز بينهم في حالات الخطأ. ولذلك فإن التصميم الحديث لهذه المرحلات يستخدم ظاهرة التشبع المغناطيسي في دائرة المغناطيس الكهربي للحصول على منحني خصائصي يصل إلى قيمة دنيا محددة لزمن التشغيل كما هو مبين بالشكل (٢ ـ ٤٥ a). ويعرف هذا النوع من المرحلات بمرحل عكسي ذي قيمة صغرى محددة الزمن (Inverse – Definite – Minimum Time Relay; IDMT) . ويبين الشكل (٢ ـ ٤٥ b)المنحنيات الخصائصية لثلاثة أنواع من المرحلات العكسية. ويمكن في بعض الأحيان الحصول على المنحني الخصائصي المبين بالشكل (٢ ـ ٤٥ b) عن طريق استخدام مرحل له عنصران، أحدهما حثي له علاقة عكسية والآخر كهرومغناطيسي يعمل فوريا. ويتم اختبار نوع المرحل على أساس متطلبات التنسيق بحيث يمكن التوصل إلى التنسيق الأمثل بين المرحلات وبعضها أو بين المرحلات وأجهزة الحماية الأخرى مثل القواطع والمصهرات.



(a) مرحلات ذات علاقات عكسية

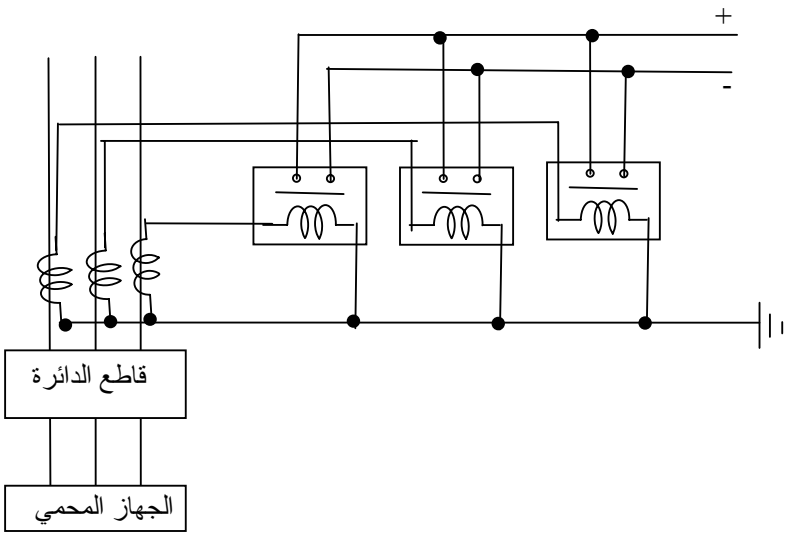


(b) مرحل ذو علاقة عكسية بيمة صغرى محددة للزمن

شكل(٢ ـ ٤٥) خصائص مرحلات تجاوز التيار

طريقة التوصيل

توجد عدة طرق مختلفة لتوصيل مرحلات تجاوز التيار. أكثر هذه الطرق شيوعا تلك التي تستخدم ثلاثة محولات للتيار وثلاثة مرحلات توصل كما هو مبين بالشكل (٢ ـ ٤٦).



شكل (٢ ـ ٤٦) منظومة حماية باستخدام ثلاثة محولات تيار وثلاثة مرحلات تجاوز التيار

استخدامات مرحلات زيادة التيار

تستخدم مرحلات تجاوز التيار على نطاق واسع في حماية منظومات القوى الكهربية. ومن هذه الاستخدامات ما يأتي :

١. حماية المحركات ذات المقننات الكبيرة (أعلى من ١٠٠٠ حصان).
٢. حماية المحولات ذات المقننات الكبيرة (أعلى من ٥٠٠ kVA) حيث تستخدم مرحلات تجاوز التيار كحماية ثانوية للحماية التفاضلية (differential Protection) .
٣. حماية المغذيات وخطوط النقل بالإضافة إلى نظام حماية المعاوقة (Impedance Protection) .
٤. حماية بعض الأجهزة الخاصة كالأفران الكهربية الصناعية.

ضبط مرحلات زيادة التيار

١.يجب اختيار مرحل زيادة التيار بحيث تتلاءم منحنيات تشغيله الخصائصية مع خطة الحماية المطلوبة.

٢.يجب التنسيق بين المرحل والمرحلات وأجهزة الحماية والقطع الأخرى المجاورة. ويتم عمل التنسيق بين المرحلات بإحدى الطرق التالية:

أ. التدرج الزمني Time grading

ب.تدرج التيار Current grading

ج.التدرج بواسطة التيار والزمن وذلك باستخدام مرحلات ذات خواص عكسية مناسبة (IDMT Relays) .

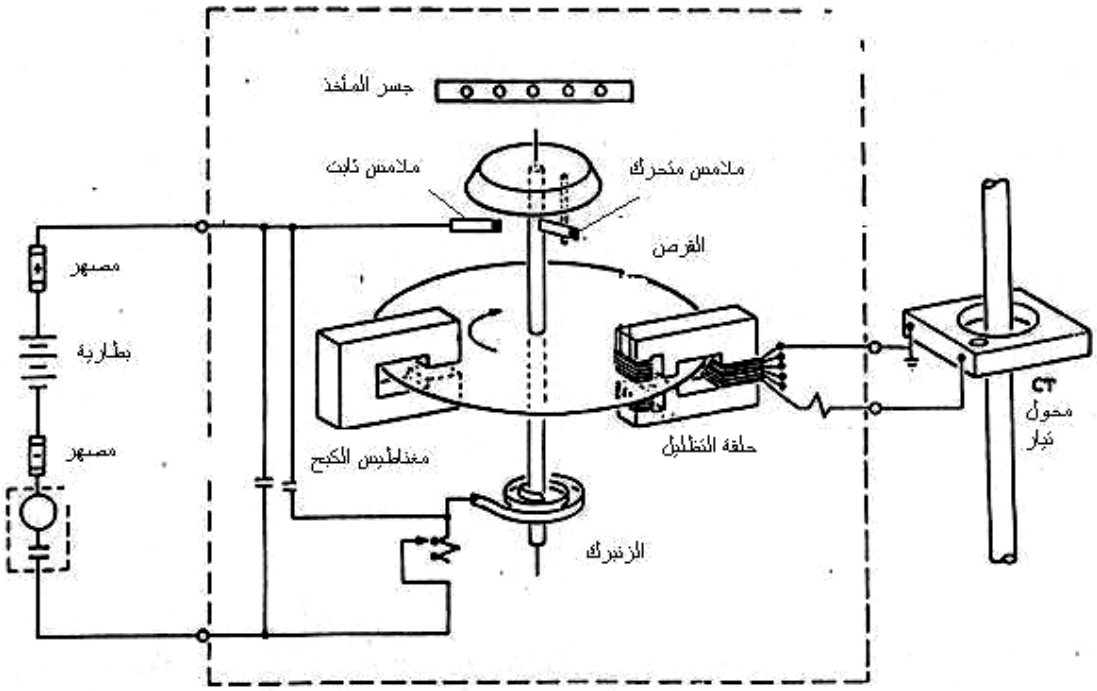
مكونات مرحل زيادة التيار من النوع الحثي Components of Induction Type O/C Relay

يمثل الشكل (٢ ـ ٤٧) الرسم التفصيلي لمرحل زيادة التيار من النوع الحثي الذي سبق شرحه. وسوف نستعرض باختصار وظيفة الأجزاء الرئيسية لهذا المرحل :-

- جسر الآخذ Tap Block : وظيفة جسر الآخذ هي التحكم في قيمة التيار الذي يبدأ المرحل بالعمل عنده (تيار اللقط). هذا يتم عن طريق اختيار وضعية مأخذ التيار المناسبة.
- حلقة التظليل Shading Ring : وظيفة هذه الحلقة هي شطر (تقسيم) المجال المغناطيسي الناتج عن التيار المار في ملف التشغيل إلى مجالين بينهما زاوية في الطور. وبدون هذه الحلقة لن يدور القرص مهما كان تيار القصر كبيرا.
- مغناطيس الكبح أو التخميد Damping Magnet : لهذا المغناطيس وظيفتان رئيسيتان هما سرعة القرص وضمان عدم عمل المرحل نتيجة القصور الذاتي للقرص (أي بعد فصل تيار الخطأ من الجزء المتعطل من الشبكة بواسطة مرحل آخر).
- القرص الزمني Time Dial : وظيفته التحكم في زمن عمل المرحل .
- الزنبرك Spring : وظيفة الزنبرك تنقسم إلى قسمين هما ، الأول هي توليد عزم مضاد لعزم دوران القرصكافي لمنع القرص من الدوران تحت ظروف التحميل العادية. أما السم الثاني فهو أن يضمن الزنبرك رجوع الملامسات المتحركة أوتوماتيكيا إلى وضعها الأساسي بعد فصل تيار الخطأ.
- محول التيار .C.T : حيث إن تغذية مرحل التيار تتم عن طريق محول التيار فلابد من ذكر وظيفة محول التيار وهي:

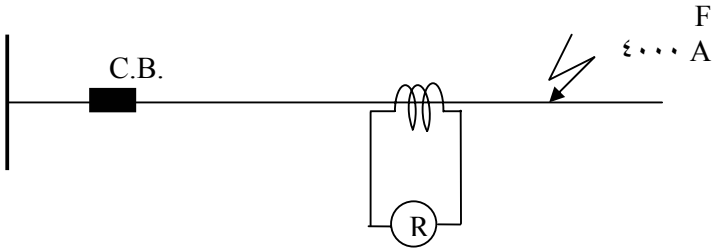
١.تخفيض تيار الشبكة المطلوب حمايتها إلى تيار مناسب لعمل المرحل. مقنن التيار للمرحل عادة ١A or ٥A .

٢.عزل دائرة المرحل عن الجهد العالي للشبكة وذلك لضمان سلامتة الذين يعملون في غرفة التحكم والمراقبة.



شكل (٢ ـ ٤٧) رسم تفصيلي لمرحل زيادة التيار من النوع الحثي

مثال : مرحل زيادة تيار حثي وله مقنن تيار A ١ ومضبوط عند وضعية مأخذ تيار % ١٢٥ من التيار المقنن ومضاعف زمن T.M.S = ٠,٦ . يتغذى المرحل من محول تيار ١ : ٤٠٠ وتيار العطل A ٤٠٠٠ كما هو موضح في شكل (٢ ـ ٤٨) . المطلوب حساب زمن عمل المرحل.



شكل (٢ ـ ٤٨)

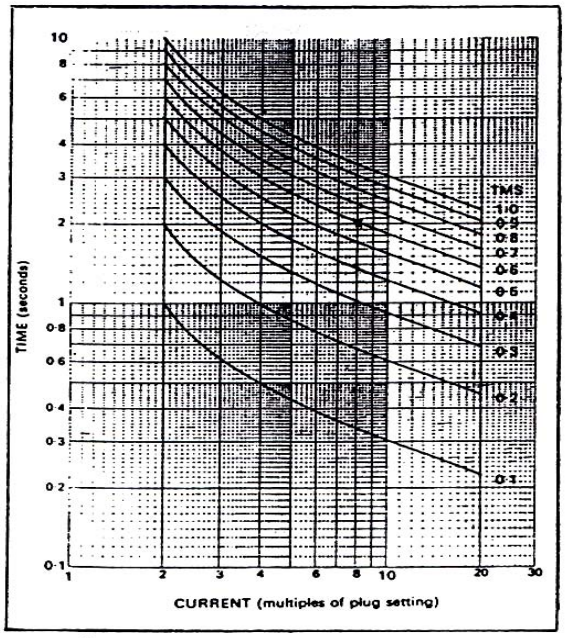
الحل :

التيار المار بالمرحل $I = ٤٠٠٠ / ٤٠٠ = ١٠ A$

التيار المضبوط عنده المرحل هو $I_s = ١ * (١٢٥ / ١٠٠) = ١,٢٥ A$

النسبة بين التيار المار في المرحل إلى التيار المضبوط عنده المرحل $I / I_s = (١٠ / ١,٢٥) = ٨$

ومن الشكل (٢ ـ ٤٩) يكون زمن التشغيل للمرحل $t = ٢ Seconds$



شكل (٢ ـ ٤٩)

٢. ٥. ٥ المرحلات المسافية Distance Relays

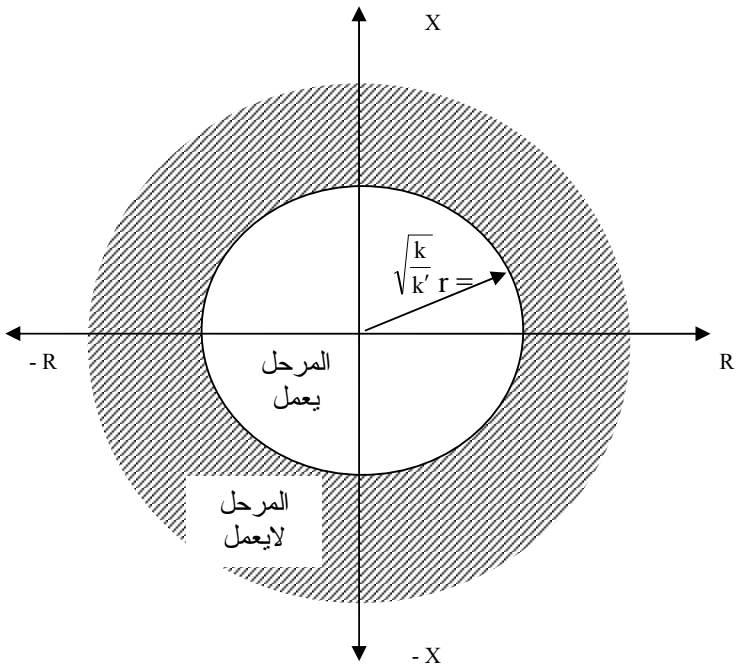
عندما يكون طول الخط المراد حمايته طويلا فإن الحماية بواسطة أسلاك البيلوت تصبح مكلفة وغير اقتصادية. وتتم الحماية في هذه الحالة باستخدام مرحلات الممانعة أو المسافة حيث يتم فيها مقارنة التيار المحلي مع الجهد المحلي في طور محدد. ففي المرحلات الكهرومغناطيسية فإن مغناطيس التيار يخلق قوة أو عزماً ($k I^٢$) يحاول إغلاق ملامس المرحل ومغناطيس الجهد يخلق قوة أو عزماً مقاوماً ($k' V^٢$)يحاول أن يبقي الملامس مفتوحاً. ويحدث العمل في المرحل عندما يتغلب عزم التيار على عزم الجهد.

$$k\,|I|^2 \succ k'\,|V^2|$$

$$\left|\frac{V}{I}\right|^2 \prec \frac{k}{k'}$$

$$|Z| \prec \sqrt{\frac{k}{k'}}$$

ويظهر في المعادلة الأخير أن مميزات التشغيل على مخطط الممانعة دائرة نصف قطرها $\sqrt{\frac{k}{k'}}$ ومركزها في مركز الإحداثيات ويبين الشكل (٢ ـ ٥٠) هذه الحالة. ويعمل المرحل عندما تنخفض الممانعة عن قيمة محددة. وبما أن ممانعة الخطوط تتناسب مع الطول لذلك تستعمل هذه الحماية للحماية من عطل ضمن منطقة معينة. ويعير المرحل بحيث تصبح ممانعة الجزء المحمي مساوية $\sqrt{\frac{k}{k'}}$ حيث k , k' ثوابت.



شكل (٢ ـ ٥٠) خصائص الحماية المسافية

٢. ٥. ٦ المرحلات الاتجاهية Directional Relays

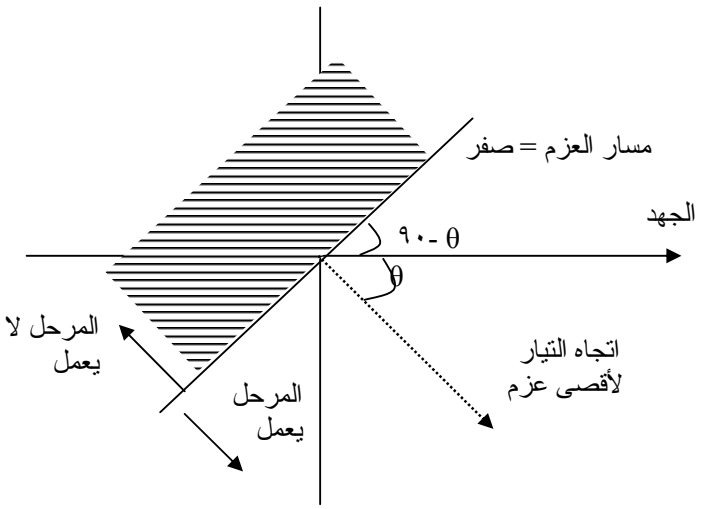
إن المرحلات مثل زيادة التيار والممانعة تستجيب للأعطال في أي اتجاه كما في الشكل (٢ ـ ٥٠). ولمنع هذه المرحلات من فصل الخطوط السليمة فإنه يتم مراقبتها بالمرحلات الاتجاهية كما بالشكل (٢ ـ ٥١) وتستجيب فقط لسريان التيار من القضبان المجمعة إلى الخط.

إن عزم المرحل يكون :

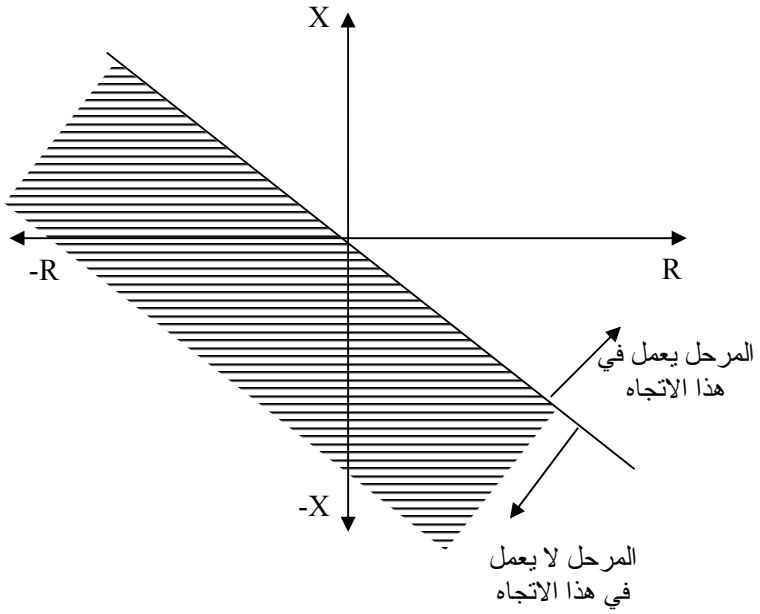
$$T = |V|\ |I| \cos(\varphi - \theta)$$

حيث إن φ هي الزاوية بين التيار I والجهد V

و θ هي قيمة الزاوية φ التي يكون للمرحل أكبر عزم.



(أ) مخطط التيار للمرحل الاتجاهي



(ب) مخطط الممانعة

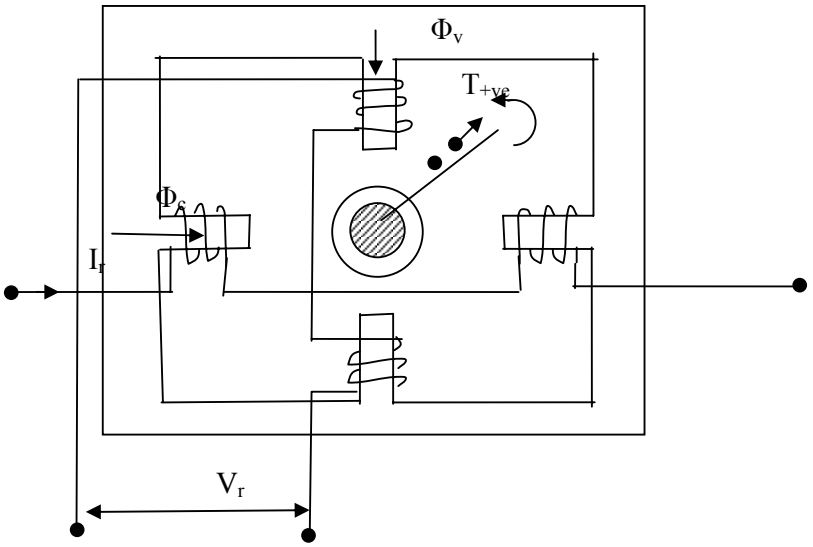
شكل (٢ ـ ٥١) مميزات المرحلات الاتجاهية

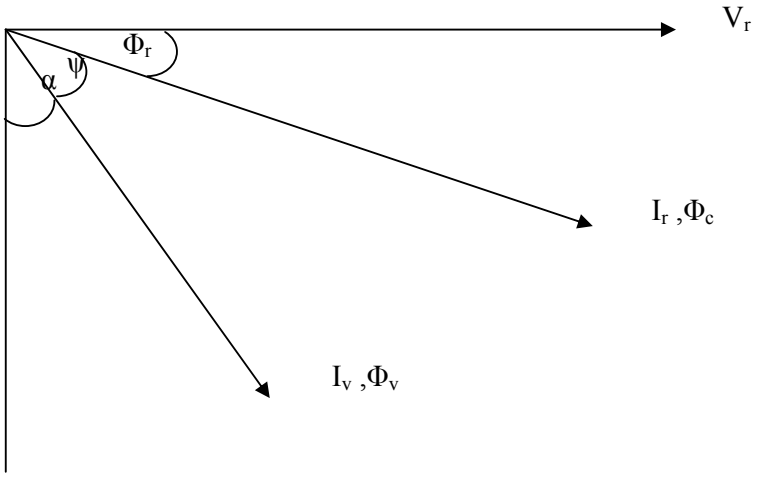
حماية زيادة التيار الاتجاهية Directional Over Current Protection

تستخدم الحمايات الاتجاهية في أنظمة القدرة والشبكات الكهربية التي تتغذى من مصدرين أو في الشبكات الحلقية أو الدوائر المتوازية وليس من الضروري استخدام هذه الحمايات في الدوائر الشعاعية المفردة والمغذاة من مصدر واحد. ويعتمد مبدأ عمل الحماية الاتجاهية على الاستجابة لسريان التيار باتجاه واحد محدد ولاتستجيب لسريان التيار بالاتجاه المعاكس مهما كانت قيمته.

طريقة عمل المرحلات الاتجاهية Method of Operation for Directional Relays

معظم المرحلات الاتجاهية هي مرحل حثي Induction Relay مزود بملفين (ملف للتيار وملف للجهد) وشكل (٢ ـ ٥٠) يوضح طريقة توصيل مرحل حثي اتجاهي.





شكل (٢ ـ ٥٠) مرحل حثي اتجاهي

فلو فرضنا أن الجهد V_r يعطي فيضا مغناطيسيا φ_v والتيار I_r يعطي فيضا مغناطيسيا φ_c فإن يمكن كتابة معادلة العزم الناتج كما يلي :

$$T = k_1 \varphi_v . \varphi_c . Sin (\varphi_v, \varphi_c)$$

$$T = k_1 \varphi_v . \varphi_c . Sin (\varphi)$$

حيث إن φ هي الزاوية بين تيار ملف التيار وتيار ملف الجهد وتعتمد على معاوقة ملف الجهد وعلى ذلك فإن معادلة العزم تصبح كما يلي:

$$T = k_1 \ \varphi_v \ . \ \varphi_c . \ Sin \ (٩٠ - (\varphi_r + \alpha)$$

حيث إن φ_r هي الزاوية بين التيار والجهد للدائرة المحمية وعلى ذلك فإن معادلة العزم تكون :

$$T = k_1 \ \varphi_v \ . \ \varphi_c . \ Cos \ (\ \varphi_r + \alpha)$$

$$So, \ T = k_2 \ Vr \ . \ Ir . \ Cos \ (\ \varphi_r + \alpha)$$

حيث إن (α) هي الزاوية الداخلية للمرحل. وهناك حالات خاصة لهذا المرحل منها :

- مرحل لقياس القدرة غير الفعالة ويصبح فيها معادلة العزم كما يلي :

$$\alpha \ = ٩٠^o \ , So; \ T = k_2 \ Vr \ . \ Ir . \ Sin \ \ \varphi_r$$

- مرحل لقياس القدرة الفعالة Active Power Relay ويصبح فيها معادلة العزم كما يلي :

$$\alpha \ = ٠^o \ , So; \ T = k_2 \ Vr \ . \ Ir . \ Cos \ \varphi_r$$

وعليه فإنه وبشكل عام فإن معادلة العزم تكون :

$$T = k_2 \ Vr \ . \ Ir . \ Cos \ (\ \varphi_r + \alpha)$$

فإذا كانت φ_r حادة فإن العزم يكون موجبا ويستجيب المرحل ويعمل.

أما إذا كانت الزاوية φ_r منفرجة فإن العزم يكون سالبا ولايستجيب المرحل مهما كانت قيمة التيار. وعلي هذا فإن هذا المرحل يعمل في اتجاه واحد فقط ولايعمل في الاتجاه الآخر للتيار ولذلك سمي مرحل زيادة تيار اتجاهي.

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

حماية النظم الكهربائية

حماية التركيبات الكهربائية

جميع الحقوق محفوظة للمؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني

الجدارة : فهم كيفية حماية التركيبات الكهربائية

الأهداف :

عند إتمام دراسة هذا الفصل يتمكن المتدرب من :

١. معرفة طرق حماية المغذيات المستعملة في التوزيع بالجهدين المتوسط والمنخفض.
٢. معرفة كيفية التنسيق بين الموصلات ووسائل الحماية.
٣. الإلمام بكيفية حماية دوائر التوزيع الأولية والثانوية للجهد المتوسط.
٤. الإلمام بكيفية حماية دوائر التوزيع ضد الخطأ الأرضي.

مستوى الأداء المطلوب : أن لا تقل نسبة إتقان هذه الجدارة عن ٨٠٪.

الوقت المتوقع للتدريب : ٤ ساعات أو أسبوعان (ساعتان/أسبوع)

الوسائل المساعدة :

١. استخدام الوسائل التعليمية المختلفة.
٢. استخدام المختبر.

متطلبات الجدارة :

يجب أن يكون المتدرب ملما بأساس عمل المصهرات والقواطع والمرحلات حتى يتسني له تحقيق هذه الجدارة

الفصل الثـــــالـــث : حماية التركيبات الكهربائية

٣. ١ مقدمة

تستخدم الحمايات الاتجاهية في أنظمة القدرة والشبكات الكهربية التي تتغذى من مصدرين أو في الشبكات الحلقية (Ring Systems) أو الدوائر المتوازية(Parallel Circuits) وليس من الضروري استخدام هذه الحمايات في الدوائر الشعاعية المفردة والمغذاة من مصدر واحد Single Source) (Radial Circuits. ويعتمد مبدأ عمل الحماية الاتجاهية على الاستجابة لسريان التيار باتجاه واحد محدد ولا تستجيب لسريان التيار بالاتجاه المعاكس مهما كانت قيمته.

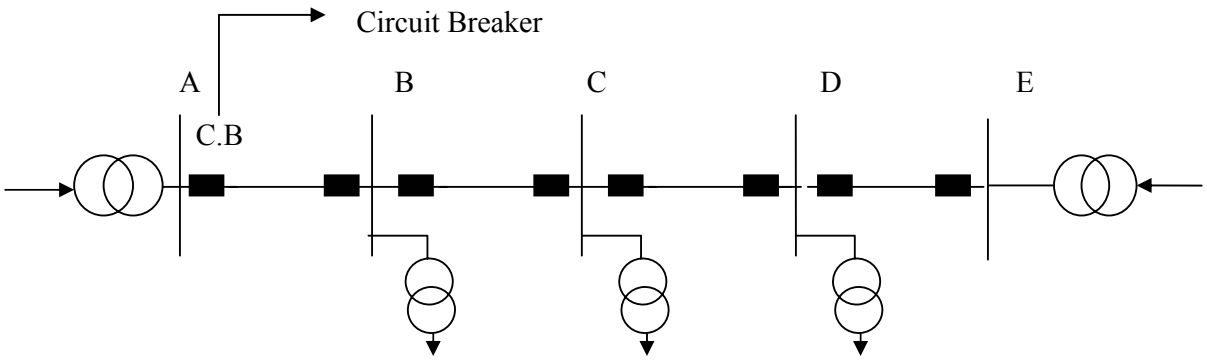
٣. ٢ حماية المغذيات

هناك ثلاثة أنواع من الحماية على المغذيات هي كالتالي: -

٣. ٢. ١ حماية الخطوط الشعاعية المغذاة من مصدرين

Protection of Double Source Radial Networks

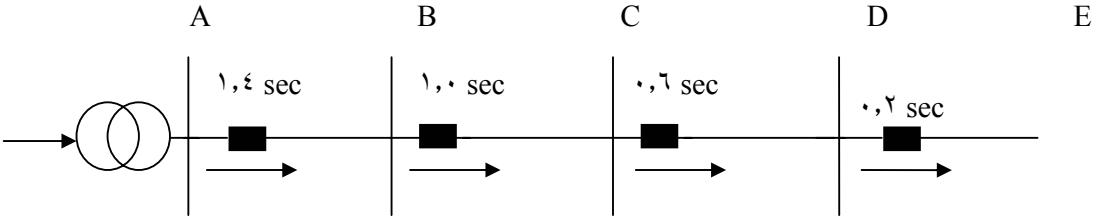
يوضح الشكل (٣ ـ ١) نظام قدرة نموذجياً مكوناً من عدة خطوط شعاعية موصلة على التتالي عبر قضبان ربط ومغذ من الطرفين A & E بالإضافة إلى وجود أحمال مغذاة من محولات توزيع مرتبطة مع قضبان ربط في D, C, B في هذه الحالة من الضروري وجود قواطع آلية عند نهاية كل قسم من الخط بحيث إذا حصل عطل ما تقوم القواطع الآلية بعزل العطل فقط ويبقى بقية نظام الخدمة دون حدوث أي انقطاع. وليتحقق ذلك لابد من تعيير المرحلات بشكل سليم.



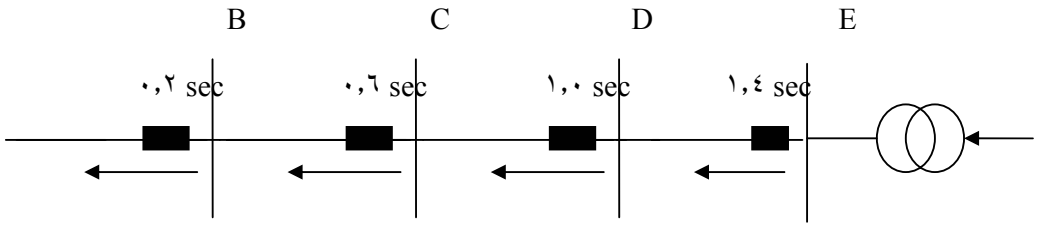
شكل (٣ ـ ١) رسم توضيحي على استخدام المرحلات الإتجاهية

بإتباع نفس المبدأ المستخدم في حماية الخطوط الشعاعية نجد صعوبة الحصول على العمل الانتقائي السليم وعلى استمرارية التغذية عند حدوث عطل ما في هذا النظام. لذلك لابد من اتباع أسلوب آخر للحماية وذلك بتصنيف القواطع الآلية والمرحلات إلى نظامين متعاكسين بالاتجاه في نظام تدريجهما.

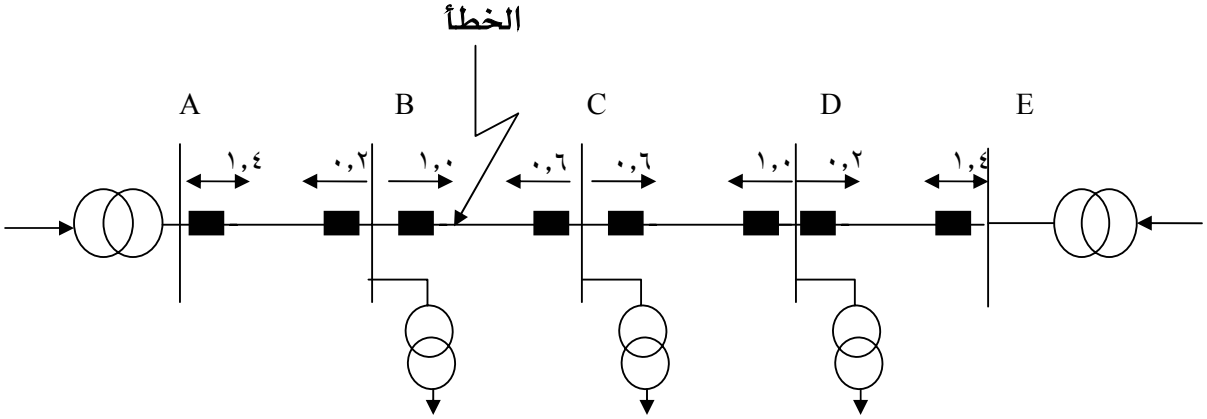
ولتسهيل معالجة الموضوع نقدم الشكل رقم (٣ ـ ٢ a) حيث يوضح هذا الشكل التدرج الزمني للحمايات عند تغذية الخط من المنطقة A . ويلاحظ أن التدرج الزمني يكون متزايدا كلما اقتربا من المنبع A وزمن الحماية عند النقطة A هو ١,٤ sec بينما عند النقطة D يكون ٠,٢ sec . وبنفس الأسلوب يعالج الموضوع عند تغذية الخط من النقطة E حيث يكون زمن عمل الحماية عند E يساوي ١,٤ sec وفي B يكون ٠,٢ sec وذلك باعتبار هامش زمني بين كل مرحلتين متتاليين ٠,٤ sec كما بالشكل (٣ ـ ٢ b). كما يوضح شكل (٣ ـ ٢ c) دمج الشكلين السابقين مع بعض حيث يصبح الخط مغذى من الطرفين A & E . وقد تم هنا استخدام مرحلات الزمن المحدود وهامش زمني ٠,٤ sec بين كل مرحليين متتاليين ، كما يمكن استخدام مرحلات الزمن العكسي.



شكل (٣ ـ ٢ a) مركبة التغذية الشعاعية من اليسار إلى اليمين



شكل (٣ ـ ٢ b) مركبة التغذية الشعاعية من اليمين إلى اليسار



شكل (٣ـ ٢ c) الشكل النهائي لحماية خط مغذى من مصدرين

مثال : عند حدوث عطل كما هو موضح بالشكل (٢ ـ ٣ c) اذكر مع التوضيح بالشرح المرحلات التي يجب أن تعمل في الحالات الآتية :

١. عند استخدام مبدأ التدرج الزمني في مرحلات زيادة التيار العادية لحماية الخطوط.

٢.عند استخدام مرحلات زيادة التيار الاتجاهية بالتعيير الزمني المذكور أمام كل منها.

الحل :

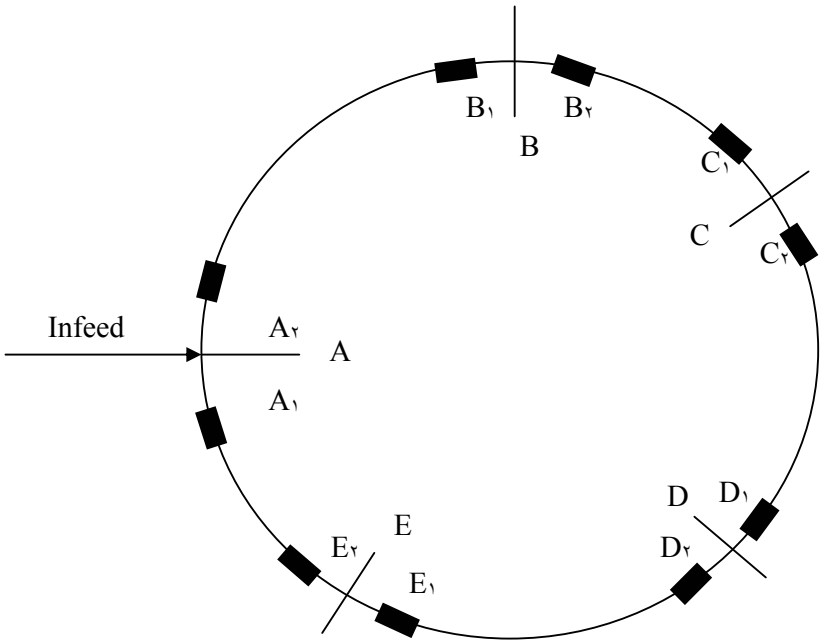
١. عند حدوث عطل ما مثل المبين في شكل (٢ ـ ٣ c) فإن المرحلات على يسار القضبان المجمعة B وعلى يمين القضبان المجمعة D تفصل قواطعها وبالتالي تعزل منطقة العمل وتصبح الأحمال المغذاة من القضبان B , C, D خارج الخدمة. ويلاحظ أن استخدام مبدأ التدرج الزمني في مرحلات زيادة التيار العادية لحماية الخطوط المغذاة من الطرفين لم يؤد الغاية المطلوبة. وتظهر ضرورة استخدام مرحلات زيادة التيار الاتجاهية والتي تأخذ بعين الاعتبار اتجاه التيار عند الفصل.

٢. يوضح الشكل (٢ ـ ٣ c) استخدام مرحلات زيادة التيار الاتجاهية مع التعيير الزمني لكل منها وتشير الأسهم جانب كل مرحلة إلى اتجاه الفصل. ويلاحظ عدم الحاجة لاستخدام المرحلات الاتجاهية عند مصادر التغذية. وعند حصول نفس العطل في المنطقة BC فإن المرحل المركب على يمين B يفصل بعد ١ sec والمرحل المركب على يسار C تفصل قاطعها بعد ٠,٦ sec . وتصبح المنطقة بين القاطعين المفصولين معزولة عن التغذية الكهربية مع الحفاظ على باقي المناطق السليمة في الخدمة.

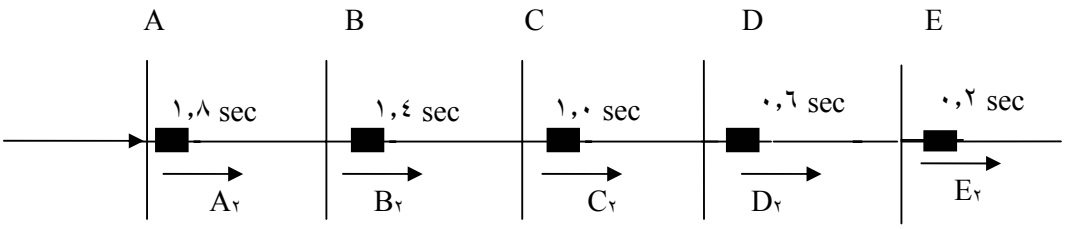
والمرحلة على يسار B والمعيرة على ٠,٢ sec لا تفصل بالرغم من صغر زمن فصلها لأن اتجاه تيار فصلها يكون باتجاه معاكس للمرحل المركب على يمين B وهذا الكلام ينطبق على باقي المرحلات.

٣. ٢. ٢ حماية الخطوط الحلقية المغذاة من مصدر واحد
Protection of Single In-feed Ring Systems

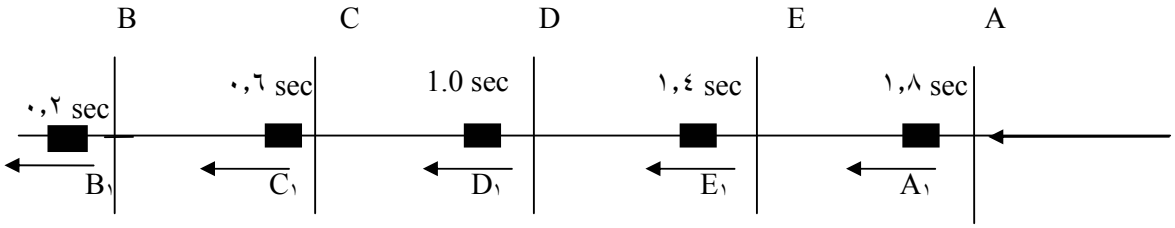
يبين شكل (٣ ـ٣) خطة حماية متدرجة باستخدام المرحلات الاتجاهية لحماية الحلقة المبينة والمغذاة من مصدر تغذية واحد. تركب القواطع الآلية على نهايتي كل قسم من الخط، ويمكن اعتبار هذا النظام كنظام خطي تغذية شعاعين كما هو موضح في شكل (٣ ـ ٣ a) و شكل (٣ ـ ٣ b).



شكل (٣ ـ ٣) حماية منظومة تغذية حلقية

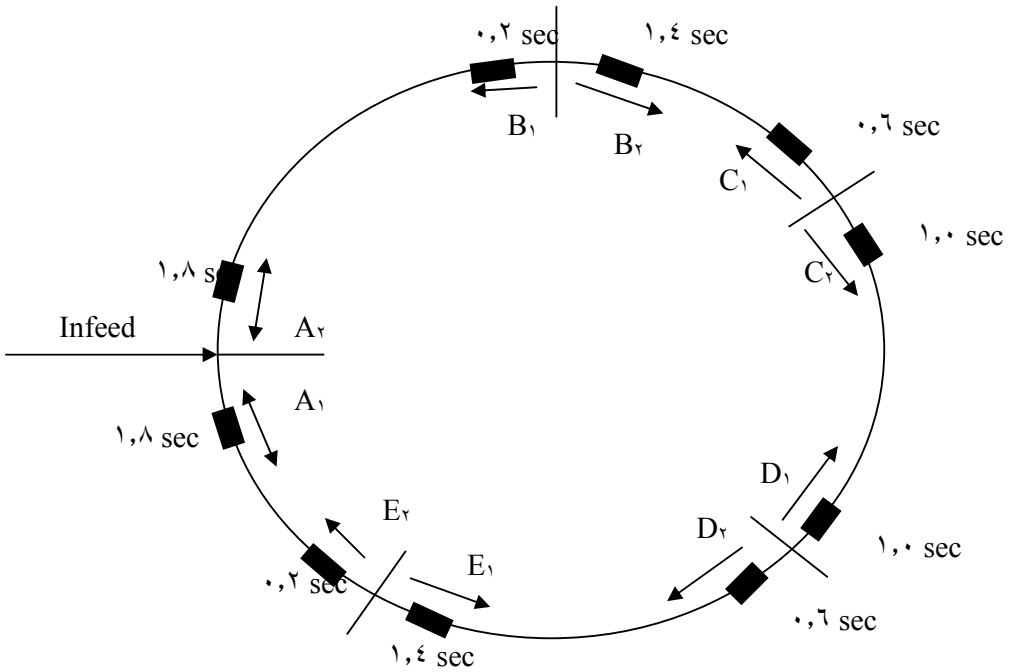


شكل (٣ ـ ٣ a) مركبة التغذية الشعاعية من اليسار إلى اليمين



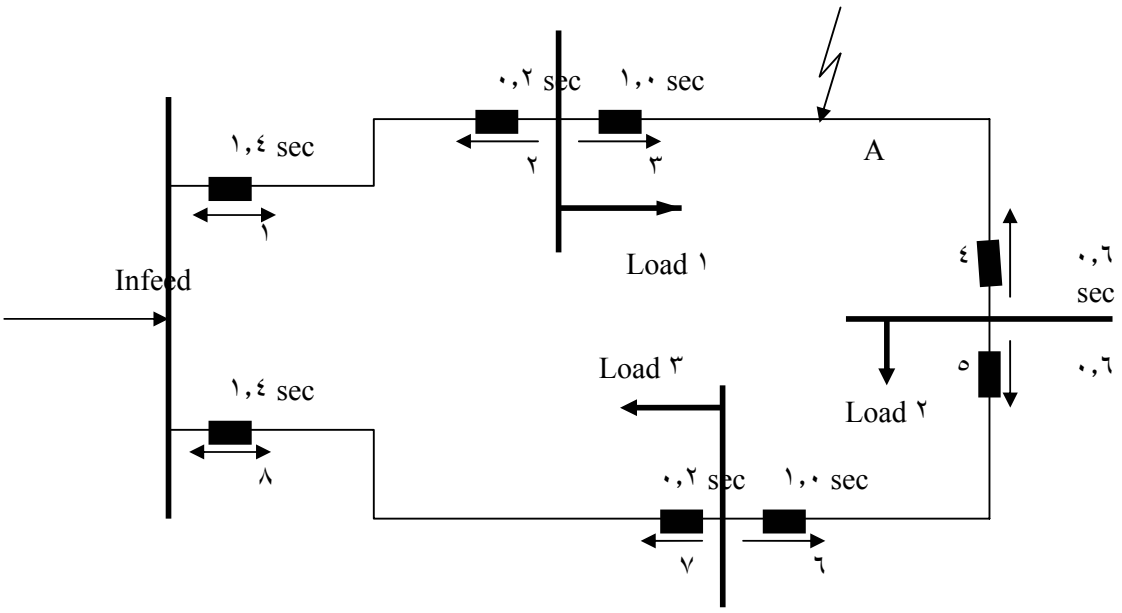
شكل (٣ ـ ٣ b) مركبة التغذية الشعاعية من اليمين إلى اليسار

وباستخدام هامش زمني مقداره ٠,٤ sec بين المرحلات المستخدمة تكون قيم التدرج الزمني هي ٠,٢, ٠,٦, ١,٠, ١,٤, and ١,٨ sec وتشير الأسهم على جانب كل مرحل إلى اتجاه الفصل وذلك في شكل (٣ ـ ٣ c). أما المنبع عند نقطة A فإن القدرة تسري باتجاه واحد (من المحطة) لذلك فلاحاجة لاستخدام المرحلات الاتجاهية عند $A_١$ & $A_٢$. أما في المرحلات المستخدمة في النقاط الأخري من الدائرة فيركب في كل محطة مرحلتين ذواتي اتجاه متعاكس ويمكن أن يكون لها تأخير زمني مختلف.



شكل (٣ ـ ٣ c) خطة التدرج النهائية لمنظومة حلقية مغذاة من مصدر واحد

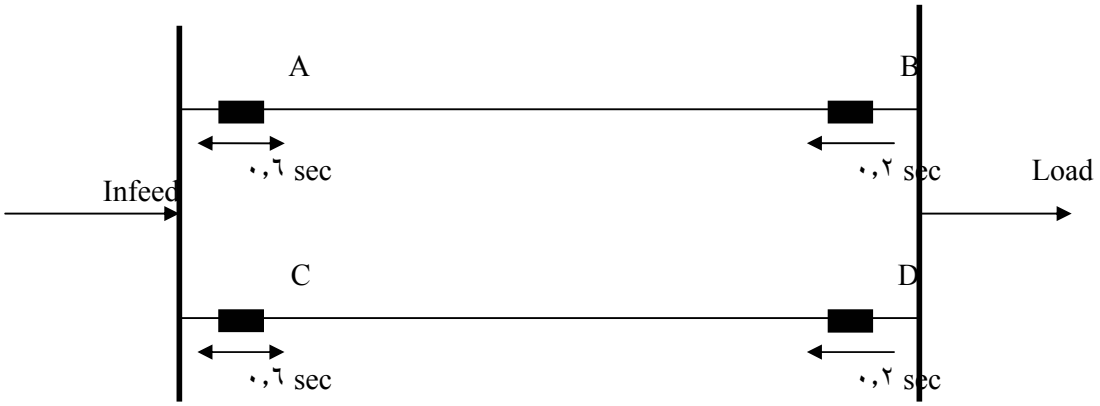
كما يبين الشكل (٣ ـ ٤) مثالا على حماية خط نقل حلقي مغذى من مصدر واحد. فعند حدوث عطل في المنطقة A فإن تيار العطل يسري إلى نقطة العطل عبر طريقين. الطريق الأول عبر القواطع الآلية (١ ٢ ٣) والطريق الثاني عبر القواطع الآلية (٤ ٥ ٦ ٧ ٨) وعند كل قاطع يوجد مرحل وتشير الأسهم المبينة على الشكل إلى اتجاه تشغيل المرحلات الاتجاهية. فمثلا عند حصول عطل عند A تتهيج جميع المرحلات ولكن تنفصل نقطة المرحل رقم ٤ بتأخير زمني ٠,٦ sec والمرحل ٣ بتأخير زمني ١,٠ sec وتعزل منطقة العطل دون أي انقطاع في التغذية في بقية المناطق.



شكل (٣ ـ ٤) حماية خط نقل حلقي مغذى من مصدر واحد

٣.٢.٣ حماية الخطوط المربوطة على التوازي Protection of Parallel Lines

يبين شكل (٣ ـ ٥) حماية خطين مربوطين على التوازي ومغذين من مصدر واحد. وهذه الحالة هي حالة خاصة للخط الحلقي. ويتم تركيب مرحلات زيادة تيار اتجاهية في نهاية الخطين عند B,D . ويشير السهم المبين على هذين المرحلين إلى اتجاه الفصل. كما تركب مرحلات زيادة تيار غير اتجاهية في بداية الخطين A, C . ويجب أن يدرج المرحل A مع المرحل B وكذلك يجب أن يدرج المرحل C مع المرحل D بالنسبة للزمن وذلك بواسطة استخدام هامش زمني ٠,٤ sec .



شكل (٣ ـ ٥) حماية الخطوط المتوازية

٣. ٣ التنسيق بين الموصلات ووسائل الحماية

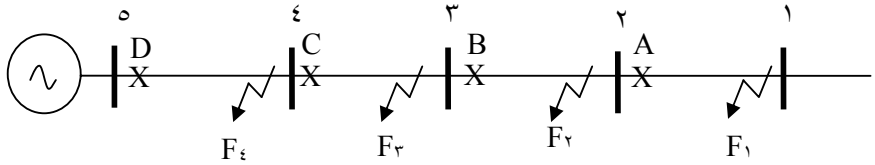
مثال ١ : اعتبر منظومة القوى المبينة في شكل (٣ ـ ٦) . والمطلوب التنسيق بين المرحلات الأربعة (A, B, C & D) باستخدام التدرج الزمني وذلك للحصول على التمييز الصحيح.

الحل :

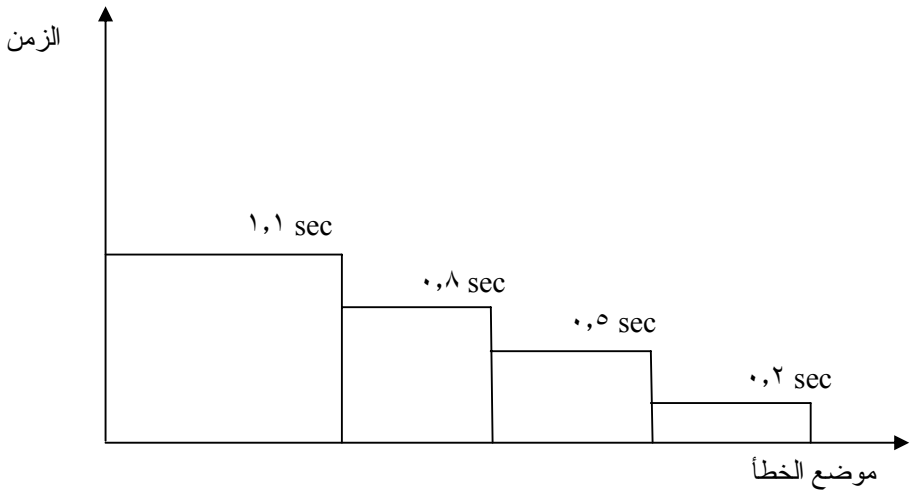
يمكن التوصل إلى التنسيق المطلوب عن طريق إعطاء كل مرحل تأخير زمني محدد بحيث يكون أسرع المرحلات في العمل هو أبعدها عن مصدر التيار (المرحل A) . ويعطي هذا التأخير الزمني التمييز المطلوب. ويسمح عادة بفترة زمنية حوالي ٠,٤ sec to ٠,٣ بين زمن تشغيل كل مرحل والذي يليه وذلك للسماح لأجهزة الحماية والقطع بالعمل.

عند حدوث خطأ عند F_1 يعمل المرحل A بعد ٠,٢ sec فيعزل الخطأ ولاتعمل باقي المرحلات. وبالمثل فعند حدوث خطأ عند F_2 يعمل المرحل B بعد ٠,٥ sec ..... وهكذا لباقي المرحلات. ويبين الشكل (٣ ـ ٧) عملية التنسيق باستخدام التدرج الزمني.

يتضح مما سبق أن لهذه الطريقة عيبا ذاتيا أساسيا وهو زيادة زمن فصل الخطأ كلما اقترب موضع الخطأ من مصدر التيار. أي كلما زادت قيمة تيار القصر. وهذه الخاصية غير مرغوبة في خطة الحماية حيث إنه من المفروض أن يقل زمن فصل الخطأ كلما اقترب من مصدر التيار.



شكل (٣ ـ ٦) منظومة القوى للمثال



شكل (٣ ـ٧) طريقة التدرج الزمني

إن عملية التنسيق عن طريق التدرج الزمني لا تستخدم إلا في الخطوط والمغذيات ذات الأطوال القصيرة نسبيا أو عندما يكون عدد المرحلات قليلا بحيث لا يؤدي إلى زيادة زمن الفصل بدرجة كبيرة قرب مصدر التيار.

مثال ٢ :

بالرجوع إلى منظومة القوى المعطاة في المثال السابق شكل (٣ ـ ٦). اعتبر جهد المنظومة ٦٦ kV والمفاعلات بالأوم كالآتي :

$X_{١٢} = ٠,٠٥$ $X_G = ٠,٨$ $X_{٢٣} = ٠,٠٥$

$X_{٣٤} = ٠,١٢٥$ $X_{٤٥} = ٠,٢$

استخدم طريقة التدرج التياري بين المرحلات للحصول على التمييز المطلوب

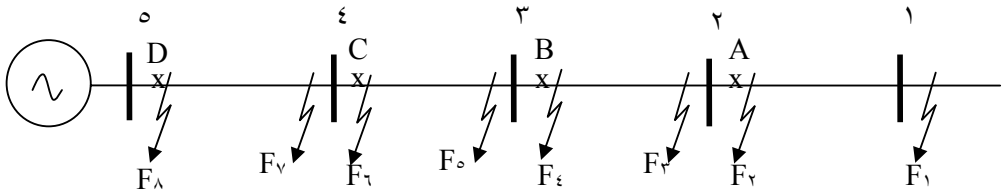
الحل

يمكن الحصول على تيار الخطأ عند أي موضع من العلاقة :

$$I_F = (V / \sqrt{٣}) * X_F$$

حيث X_F هي المفاعلة بين المولد وموضع الخطأ

سوف نعتبر الأخطاء المبينة في شكل (٣ ـ ٨) مع ملاحظة أن $F_٢$ هو خطأ بعد المرحل A مباشرة و $F_٣$ قبله مباشرة. وكذلك بالنسبة للأخطاء $F_٧$, $F_٦$, $F_٥$, $F_٤$.



شكل (٣ ـ ٨) منظومة القوى للمثال ٢

$$I_{F٨} = ٦٦٠٠٠ / (\sqrt{٣} *(٠,٨)) = ٤٧٦٣٣ \text{ A.}$$

$$I_{F٧} \approx I_{F٦} = ٦٦٠٠٠ / (\sqrt{٣} *(٠,٨ + ٠,٢)) = ٣٨١٠٦ \text{ A.}$$

$$I_{F٥} \approx I_{F٤} = ٦٦٠٠٠ / (\sqrt{٣} *(٠,٨ + ٠,٢ + ٠,١٢٥)) = ٣٣٨٧٢ \text{ A.}$$

$$I_{F٣} \approx I_{F٢} = ٦٦٠٠٠ / (\sqrt{٣} *(٠,٨ + ٠,٢ + ٠,١٢٥ + ٠,٠٥)) = ٣٢٤٣١ \text{ A.}$$

$I_{F_1} = ٦٦٠٠٠ / (\sqrt{٣} * (٠,٨ + ٠,٢ + ٠,١٢٥ + ٠,٠٥ + ٠,٠٥)) = ٣١١٠٧$ A.

ويتم ضبط المرحلات كالآتي:

- المرحل A يستجيب للخطأ عند كل من F_1 & F_2 ويضبط بذلك على قيمة لقط تناظر تيار خطأ مقداره ($I_A = I_{F1}$ = ٣١١٠٧ A) .
- المرحل B يستجيب للخطأ عند كل من F_3 & F_4 ويضبط بذلك على قيمة لقط تناظر تيار خطأ مقداره ($I_B = I_{F3}$ = ٣٢٤٣٢ A) .
- المرحل C يستجيب للخطأ عند كل من F_5 & F_6 ويضبط بذلك على قيمة لقط تناظر تيار خطأ مقداره ($I_C = I_{F5}$ = ٣٣٨٧٢ A) .
- المرحل D يستجيب للخطأ عند كل من F_7 & F_8 ويضبط بذلك على قيمة لقط تناظر تيار خطأ مقداره ($I_D = I_{F7}$ = ٣٨١٠٦ A) .

نلاحظ مما سبق أن هناك عيبا واضحا في هذه الطريقة. فلو حدث خطأ مثل F_2 قريب جدا من المرحل A بحيث يتساوى بالفعل كل من I_{F2} & I_{F3} فإن ذلك قد يؤدي إلى عمل المرحل B دون ضرورة. وكذلك بالنسبة لخطأ F_4 قريب جدا من المرحل B فقد يؤدي إلى عمل المرحل C دون ضرورة.

وخلاصة القول أن عملية التمييز بالتدرج التياري عملية حساسة جدا ويصعب التحكم فيها بالدقة المطلوبة إذ أن موضع الخطأ قد يؤثر على صحة عملية التمييز.

٤.٣ حماية الشبكات الكهربية

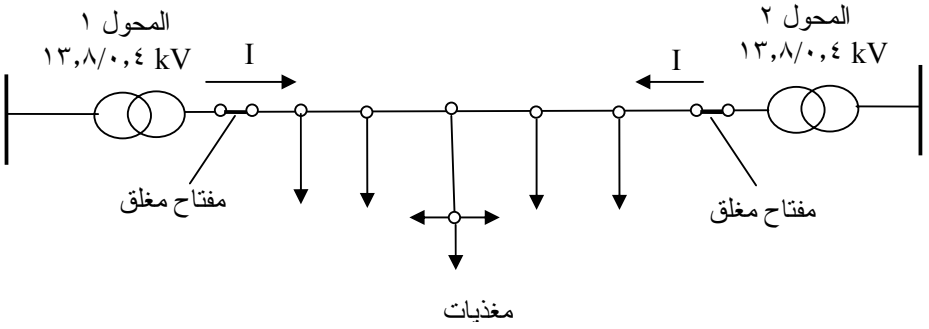
أمان الشبكة الكهربية يتضح عند تشغيلها. ويمكن التفرقة بين نوعي تشغيل وهما التشغيل العادي وتشغيل الشبكة عند وجود عطل. والتشغيل العادي عادة يكون بدون مشاكل. ولكي تعمل الشبكة عند حدوث خلل ما بحيث لا يعاني المستهلك من انقطاع التيار الكهربي تشغل شركات الكهرباء تجهيزات لحماية الشبكة أثناء هذه الحالات.

يمكن أن تتعرض الشبكات الكهربائية للأعطال التالية : تيار كبير جدا نتيجة التحميل الزائد أو جهود زائدة أو دائرة قصر أو تماس أرضي. ويمكن أيضا أن تحدث عدة أعطال في نفس الوقت.

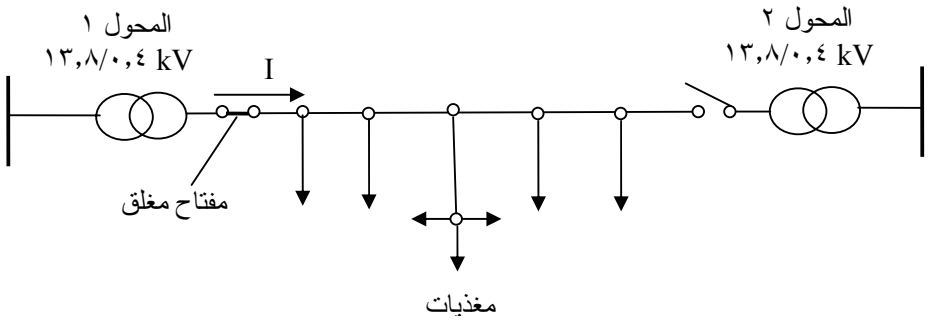
خلل في الشبكة بسبب تيارات كبيرة جدا ناتجة عن التحميل الزائد يمكن أن يحدث التحميل الزائد للشبكة عندما تمر تيارات أكبر من المسموح به في الموصلات نتيجة التوصيل المتزايد للمستهلكين على أحد أو كل المغذيات.

يبين الشكل (٣ ـ ٩) شبكة جهد منخفض يتغذى عن طريق محولين من شبكة الجهد المتوسط. فإذا وجب فصل محول لصيانة مثلا فصحيح أن جميع المغذيات عليها جهد وتعمل . لكن من الممكن أن يصير

التحميل زائدا على المحول الآخر فيفصل هذا المحول عن طريق مفتاح الحماية من التيار الزائد وتصبح الشبكة في هذه الحالة معطلة.



(أ) عند التشغيل العادي



(ب) التشغيل تحت ظروف صعبة: المحول ٢ مفصول وبذا قد يكون المحول ١ محملا تحميلا زائدا

شكل (٣ ـ ٩)

التحميل الزائد لموصل خارجي يمكن أن يحصل عند تعرض أحد الأطوار في الشبكة ثلاثية الأطوار بالصدفة أو بسبب خطأ في التركيبات إلى أحمال أعلى من الازم. فمثلا عندما يقوم فني الكهرباء يوصل في شبكة الجهد المنخفض قرص الصبخ السريع لفرن المطبخ على طور واحد من الثلاثة أطوار. وحسب التجربة تستخدم ربات البيوت عند تجهيز الطعام قرص الطبخ السريع أولا، وبذلك يحصل تحميل زائد على أحد الأطوار عند الظهيرة. ويمر نتيجة لذلك تيار كبير في الموصل المحايد وفي هذه الحالة يقال إن هناك حملا غير متماثل. وإذا زاد الحمل على أحد الأطوار بسبب التحميل غير التماثل غير الحد الذي يفصل عنده هذا الطور. فستبقي مغذيات التيار الثلاثي الأطوار موصلة بطورين فقط على الشبكة وهذه الحالة قد تؤدي إلى تلف هذه الأجهزة.

خلل في الشبكة نتيجة الجهود الزائدة

الجهود الزائدة على الشبكات الكهربية تنتج في العادة عن طريق مسببين أحدهما خارجي وذلك نتيجة تشويشات جوية (صواعق) والأخرى داخلية نتيجة الفصل والتوصيل بالشبكة.

وقاية شبكات الجهد المنخفض

في شبكات الجهد المنخفض، الوقاية تقتصر عادة على الوقاية من الجهد الزائد والوقاية من التيار الزائد. فأجهزة الوقاية من الجهد الزائد هي :

- ثغرات الشرر
- المفرغات الأنبوبية
- المفرغات التي تعمل بهبوط الجهد في الكاثود أو المفرغات ذات المقاومة اللاخطية.

بالنسبة لثغرات الشرر ، يكون أحد الأقطاب واقعا على جهد والآخر على الأرض. يتم اختيار طور ثغرة الشرر بحيث يقفز الشرر عند جهد زائد محدد فقط.

أما بالنسبة للمفرغ الأنبوبي فهي تطوير لثغرة الشرر المألوفة. القوس الكهربي يوجه إلى داخل ماسورة معزولة. الغاز المتكون يبرد القوس الكهربي بشدة بحيث يطفأ الأخير.

المفرغ ١و المقاومة اللاخطية يتكون من ثغرة شرر موصل بعدها مقاومة معتمدة على الجهد. هذه المقاومة تحد من التيار بعد الانهيار بحيث يخمد القوس الكهربي في الثغرة.

أجهزة الوقاية من الجهد الزائد تركب مثلا قبل المحولات. وفي نهاية الموصلات الفرعية الطويلة. وعند مواضع الإدخال إلى المنازل. وعند الانتقال من الموصلات العلوية إلى الكابلات. الوقاية من الجهد الزائد توصل بين الموصل المراد حمايته وتجهيزة التأريض.

أما بالنسبة لتجهيزات الوقاية من التيار الزائد فهي :

- المصهرات
- القاطع عند التيار الزائد المؤخر حراريا
- المرحلات الكهرومغناطيسية عند التيار الزائد
- ومفاتيح الوقاية.

٣. ٥ حماية دوائر التوزيع ضد الخطأ الأرضي

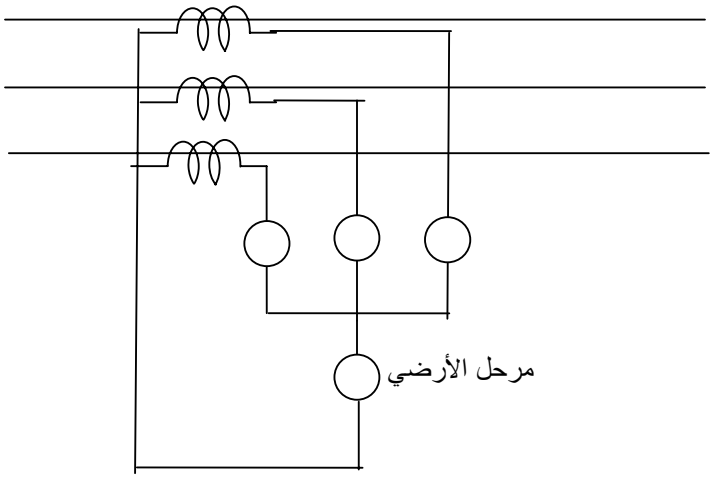
يسمى الخطأ أرضيا إذا كان مسار رجوع تيار الخطأ هو الأرض. وتدل الإحصائيات أنه بالنسبة لشبكات التوزيع فإن أغلب الأخطاء هي أخطاء أرضية. و حتى تلك الأخطاء التي تبدأ بين الأطوار تمتد في كثير من الأحيان بسرعة إلى الأجزاء المعدنية المجاورة والمؤرضة لتصبح أخطاء أرضية.

إن السبب الرئيسي الذي يؤدي إلى حدوث أخطاء أرضية هو الانهيار في العزل الكهربي. وجدير بالذكر أنه في كثير من الأحيان يتخذ الخطأ الأرضي شكل قوس كهربي يمتد بين الموصل والأرض أو الجسم المؤرض عبر الهواء أو عبر سطح عازل. وتعرف هذه الأخطاء بالأخطاء القوسية (Arcing Faults) وهذه الأخطاء لها عدة مخاطر منها :

١. خطورة على العاملين
٢. خطورة بالغة من حيث إشعال حريق
٣. إتلافات حتمية في المعدات
٤. انقطاعات ممتدة في القوي
٥. احتمال ظهور جهود عابرة مرتفعة.

٣. ٥. ١ نظم حماية دوائر التوزيع الأولية (جهود متوسطة)

يبين الشكل (٣ ـ ١٠) الدائرة المستخدمة في حماية نظم التوزيع الأولية المؤرضة مباشرة أو عن طريق مقاومة للحد من قيمة تيار الخطأ. ويتم توصيل مرحا الخطأ الأرضي بين النقطة المشتركة لمرحلات تجاوز التيار والنقطة المشتركة لمحولات التيار بحيث لا يمر في مرحل الأرضي إلا التيار المتبقي من مجموع التيارات في الأطوار الثلاثة. ومن الواضح أنه تحت الظروف العادية لا يمر أي تيار في مرحل الأرضي حيث إن مجموع التيار هو صفر. ولا يمر تيار في مرحل الأرضي أيضا عند حدوث قصر بين خطين. أما عند حدوث خطأ بين أي طور والأرض فإن مرحل الأرضي يحمل تيارا يتناسب مع تيار الخطأ.

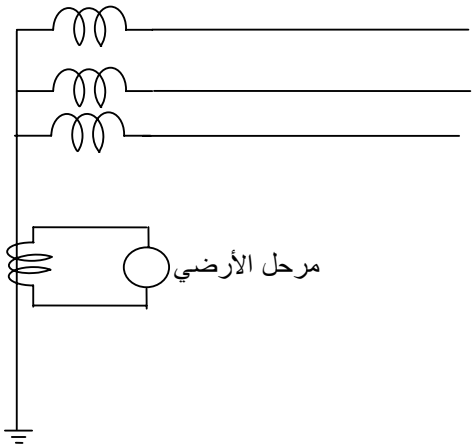


شكل (٣ ـ ١٠) منظومة حماية باستخدام ثلاثة مرحلات تجاوز حمل ومرحل أرضي

إن حساسية مرحل الأرضي في هذا النظام ليست عالية وذلك لسببين أحدهما هو التشبع المغناطيسي والآخر احتمال عدم قفل تلامسات القواطع للأطوار الثلاثة في آن واحد.

ويبين الشكل (٣ ـ ١١ توصيل المرحل الأرضي بمحول للتيار الموضوع في الموصل المستخدم في تأريض نقطة التعادل والذي يحمل تيار العودة عند حدوث أي خطأ أرضي.

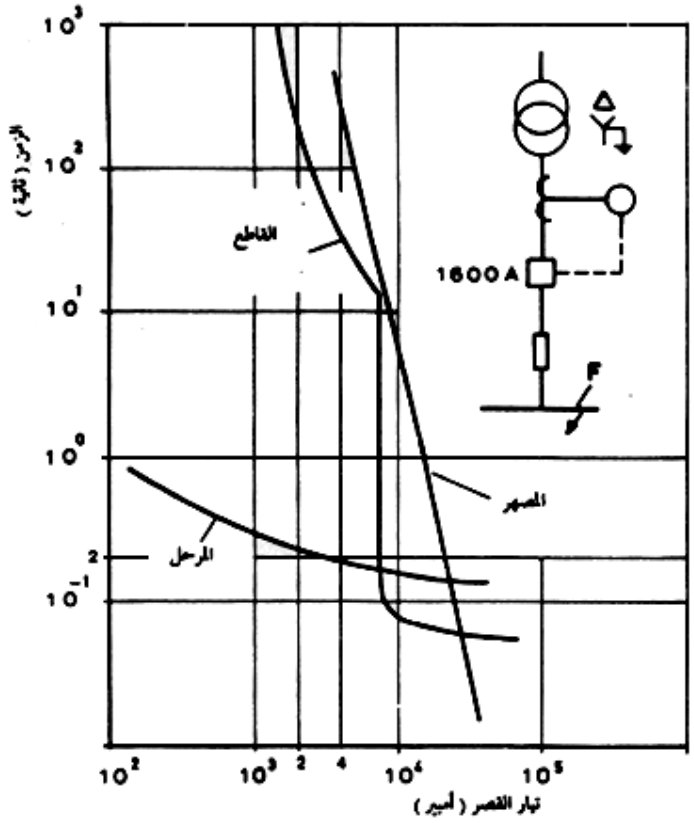
ونلاحظ في النظامين السابقين أن المنطقة المحمية ليست محددة حيث إن مرحل الأرضي سوف يشعر بالخطأ عند حدوثه في أي مكان بالدائرة. ولذلك فعند استخدام هذين النظامين لحماية منظومة كهربية يجب مراعاة التنسيق الزمني بين المرحلات وبعضها.



شكل (٣ ـ ١١) المرحل الأرضي مركب على موصل التأريض

٣. ٥. ٢ نظم حماية دوائر التوزيع الثانوية

لقد زاد الاهتمام بتطبيق الحماية ضد الخطأ الأرضي في دوائر التوزيع الثانوية نظرا للخسائر المادية الطائلة الناتجة عن هذه الأخطاء ولا سيما الأخطاء القوسية. وحماية الدوائر الثانوية تتم عن طريق قواطع هوائية تحتوي على نبائط إعتاق للحماية ضد تيارات تجاوز الحمل وتيارات القصر أو عن طريق المصهرات. ولكن في كثير من الأحيان تكون قيمة التيار في حالة حدوث خطأ للأرضي صغيرة جدا ولا تكفي لتشغيل القاطع أو المصهر الأمر الذي قد يؤدي إلى الأخطار الكثيرة كما ذكرنا. ويمكن توضيح ذلك بالمثال المبين في شكل (٣ ـ ١٢) . فإذا فرضنا أن تيار الخطأ الأرضي عند النقطة F هو ١٥٠٠ أمبير فإن هذا التيار لن يشعر به القاطع أو المصهر في حين أن مرحل أرضي له تأخير زمني ٠,٢ ثانية عند ٤٠٠٠ أمبير يؤدي إلى فتح القاطع في خلال ٠,٣٣ ثانية. وفي حالة ما إذا كان تيار الخطأ ٤٠٠٠ أمبير فإن القاطع يحتاج إلى ٣٣ ثانية لإزالة الخطأ بينما يحتاج المصهر إلى ٥ دقائق.



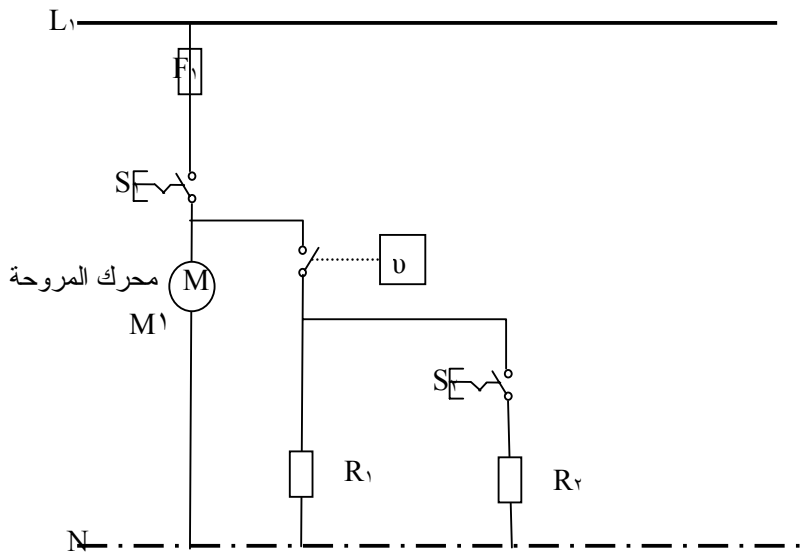
شكل(٣ ـ ١٢) خطة حماية بمصهر وقاطع ومرحل أرضي

ويستخدم محول تيار خاص في نظام الحماية ضد أخطأ الأرضي في دوائر الجهد المنخفض يعرف بمحول اتزان القلب (Core Balance Transformer) . والمبدأ الأساسي الذي يعمل عليه هذا المحول أن تمر

جميع الموصلات بما فيها موصل التعادل عبر قلب حلقي تحت ظروف التشغيل المشتملة على الحالات المتزنة وغير المتزنة وحالات القصر بين الأطوار فإن مجموع التيارات الخارجة من القلب تكون دائما مساوية لمجموع التيارات الداخلة إليه. أي أن محصلة الفيض في القلب تساوي صفرا وبذلك لا يمر أي تيار في المرحل. وعند حدوث خطأ للأرضي فإن التيار الذي يمر بالأرضي لا يرجع عن طريق الموصلات المارة عبر قلب المحول وبذلك يتناسب الفيض المغناطيسي في القلب مع التيار المار في الأرض. ويولد هذا الفيض تيارا في دائرة مرحل الأرضي. ويتميز هذا النوع من المحولات بحساسية عالية بحيث يمكنه أن يكتشف تيارات صغيرة في حدود المللي أمبير. أما المرحل نفسه فيمكن ضبطه بالنسبة لزمن التشغيل وبالنسبة لتيارات التشغيل وقد يكون المرحل من النوع التقليدي أو من النوع الإلكتروني.

٣. ٦ حماية الأجهزة الكهربية المستعملة في التسخين

في الأجهزة التي تنتج حرارة يجب توفر وسيلة حماية لفصل الجهاز عند درجة الحرارة الزائدة عن حد معين. والشكل (٣ ـ ١٣) يبين الدائرة الكهربية لمسخن هواء مروحي. المفتاح S_1 يوصل المسخن R_1 والمروحة بالشبكة. وبستعمال المفتاح S_2 يمكن أن يوصل المسخن R_2 إضافة إليهما. وعند زيادة درجة الحرارة تفصل المسخنات لكن المروحة تبقى على الشبكة لتصرف الحرارة.



شكل (٣ ـ ١٣) التحكم في مسخن هواء مروحي

حماية النظم الكهربائية

حماية المحولات الكهربائية

جميع الحقوق محفوظة للمؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني

الجدارة : فهم طرق حماية المحولات من الأخطاء الداخلية والخارجية.

الأهداف :

عند إتمام دراسة هذا الفصل يتمكن المتدرب من :

١. فهم الحماية التفاضلية وكيفية استخدامها لحماية المحولات..
٢. معرفة حماية المحولات ضد زيادة الحمل.
٣. التعرف على جهاز البوخولز لحماية المحول

مستوى الأداء المطلوب: أن لا تقل نسبة إتقان هذه الجدارة عن ٨٠٪.

الوقت المتوقع للتدريب: ٤ ساعات أو أسبوعان (ساعتان/أسبوع)

الوسائل المساعدة:

٣. استخدام الوسائل التعليمية المختلفة.
٤. استخدام المختبر.

متطلبات الجدارة :

١. يجب أن يكون المتدرب ملما بأساس عمل المصهرات والقواطع والمرحلات حتى يتسنى له تحقيق هذه الجدارة.
٢. أن يكون على معرفة بأساس عمل المحولات وأنواع الأخطاء التي يتعرض لها.

الفصل الرابع : حماية المحولات الكهربائية Transformers Protection

٤.١ مقدمة

طريقة حماية المحولات الكهربية تعتمد اعتمادا كليا على وظيفة وموقع المحول في الشبكة بالإضافة إلى مقنن المحول. فمثلا محولات التوزيع ذات مقنن أقل من MVA ٢,٥ يتم حمايتها بواسطة المصهرات أما المحولات التي يتراوح مقنن قدرتها الظاهرية من MVA ٥ to MVA ٢,٥ فإن حمايتها تتم باستخدام واحدة من الطريقتين التاليتين :-

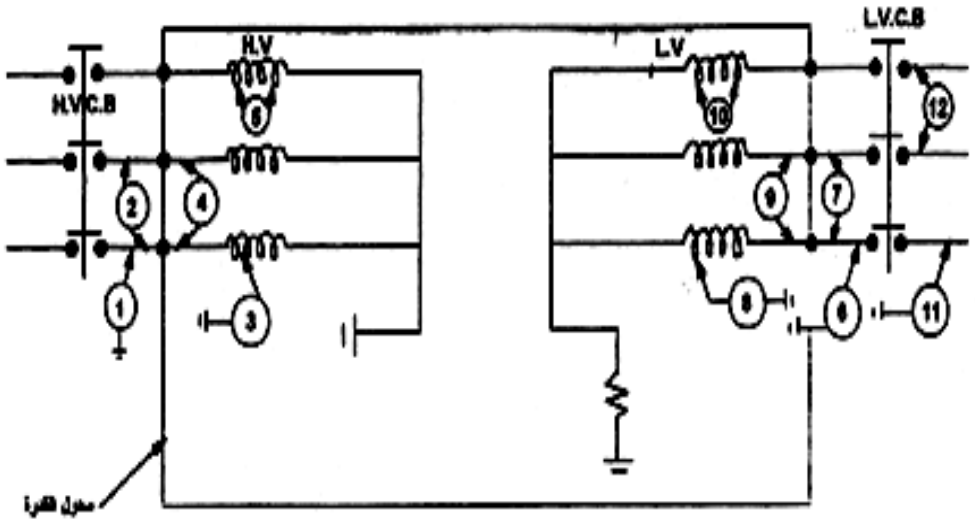
١. الحماية التفاضلية ذات المعاوقة العالية ونوع المرحل المستخدم يكون عادة مرحل الحافظة المنجذبة الذي يتمتع بسرعة فصل عالية.

٢.الحماية التفاضلية الانحيازية التوافقية (Harmonic Biased Differential Protection) ونوع المرحل المستخدم يكون في معظم الأحيان مرحلاً من النوع الحثي القرصي (Induction Disc Relay) .

٤.٢ أنواع الأخطاء وتأثيرها Fault Types and their Effects

لتصميم نظام حماية مناسب لمحولات القدرة لابد من الإلمام بمعظم الأخطاء التي يتعرض لها المحول. الشكل (٤ - ١) يبين أنواع الأخطاء المتوقع حدوثها على المحول وهي :

١. قصر خارجي (أرضي) على أطراف كابلات ملفات الجهد العالي.
٢. قصر خارجي (بين وجهين) على أطراف كابلات توصيل ملفات الجهد العالي.
٣. قصر داخلي (أرضي) على أحد ملفات الجهد العالي.
٤. قصر داخلي (بين وجهين) ناحية الجهد العالي.
٥. دائرة قصر بين لفات ملف الجهد العالي.
٦. خطأ خارجي (أرضي) على أطراف أحد كابلات توصيل ملفات الجهد المنخفض.
٧. قصر خارجي (بين وجهين) على أطراف كابلات توصيل ملفات الجهد المنخفض.
٨. قصر داخلي (أرضي) على أحد ملفات الجهد المنخفض.
٩. قصر داخلي (بين وجهين) ناحية ملفات الجهد المنخفض.
١٠. دائرة قصر بين لفات ملف الجهد المنخفض.
١١. قصر أرضي ناحية المولد.
١٢. قصر بين وجهين ناحية المولد.



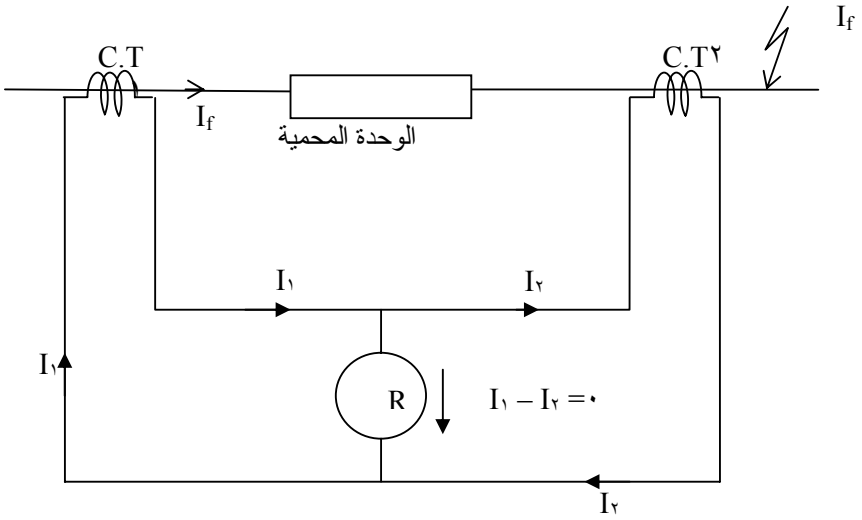
شكل (٤ ـ ١) الأعطال الشائعة في محول القدرة

٤.٣ الحماية التفاضلية Differential Protection

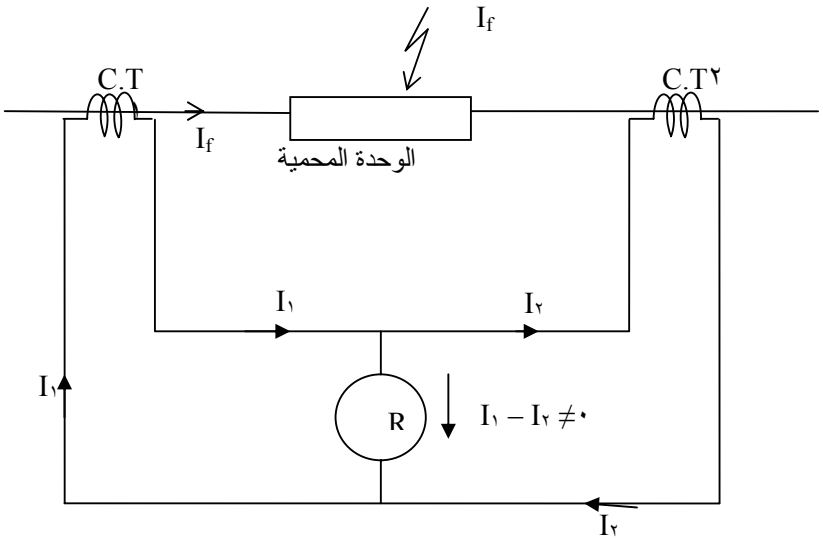
إن استخدام مرحلات زيادة التيار لايفي بجميع الشروط الوقائية اللازمة في منظومة القدرة الكهربية. فقد لاحظنا بأن زمن الفصل يزيد دائما باتجاه المصدر بغض النظر عن طريقة التدرج المستخدمة. وهذا بدوره قد يشكل خطرا على محطات التوليد وكذلك على محطات التحويل بالإضافة إلى التأثير المباشر على اتزان الشبكة. لذلك فإن طريقة حماية الوحدة Unit protection أو الحماية التفاضلية Differential protection تستخدم لحماية المولدات والمحولات والمحركات وقضبان الربط Bus bars .

٤. ٣. ١ نظرية عمل الحماية التفاضلية Operation Theory

نظرية عمل المرحلات التفاضلية تعتمد على مبدأ Merz – Price . ببساطة إذا كان التيار الداخل إلى الوحدة المحمية يساوي التيار الخارج منها فإن هذا يعني عدم وجود عطل في المنطقة المحمية والحماية لا تعمل. من ناحية أخرى فإن وجود فرق بين التيار الداخل إلى والخارج من المنطقة المحمية يدل على وجود عطل والحماية في هذه الحالة تعمل لفصل تيار العطل بأسرع ما يمكن. شكل (٤ ـ ٢) وشكل (٤ ـ ٣)



شكل (٤ ـ ٢) حماية تفاضلية والخطأ خارج منطقة الحماية (المرحل يجب أن لا يعمل)



شكل (٤ ـ ٣) حماية تفاضلية والخطأ داخل منطقة الحماية (المرحل يجب أن يعمل)

ويوضح الشكل (٤ ـ ٢) أن المرحل لا يعمل إذا حدث عطل خارج المنطقة المحمية لأن التيار الذي يمر في المرحل يساوي صفر وهذا هو المطلوب. ولكن في الحقيقة نجد أن التيار المار في المرحل في هذه الحالة يساوي الفرق بين تيارات المغنطة Magnetising currents المارة في محولات التيار CT_2 , CT_1 . وحتى لو استخدمنا محولات تيار متشابهة تماما من حيث التيار المقنن والشركة المصنعة ونسبة التحويل فإننا لا نضمن بأن يكون لهما نفس تيارات المغنطة. بمعنى آخر فإنه من الناحية العملية سيكون هنالك فرق في الخواص المغناطيسية للمحولات. هذا الفرق مهما كان طفيفا سيؤدي إلى عدم اتزان في عمل المرحل وخصوصا نتيجة الأعطال خارج منطقة الحماية. وعمليا تحل هذه المشكلة بإحدى الطريقتين:

١.استخدام مرحلات تفاضلية عالية المعاوقة High impedance differential relays

٢.استخدام مرحلات تفاضلية انحيازية Biased differential relays

٤.٤ حماية محولات القدرة باستخدام الحماية التفاضلية
Differential Protection of Power Transformer

لحماية المحولات نتيجة أخطاء داخلية نستخدم إحدى الطريقتين التاليتين :-

١. الحماية التفاضلية المنفصلة **Separate winding differential protection**

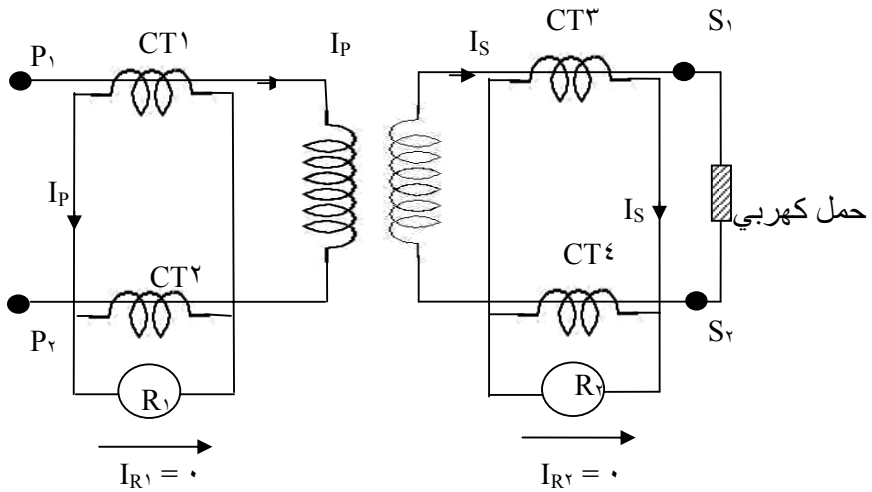
٢. الحماية التفاضلية المتكاملة **Overall winding differential protection**

٤.٤.١ الحماية التفاضلية المنفصلة Separate winding differential protection

في هذه الحالة يتم حماية ملفات الابتدائي والثانوي كل على حدة. مبدأ عمل هذه الوقاية يمكن فهمه من خلال محول أحادي الوجه . تعتمد نظرية الحماية التفاضلية على التوازن بين التيار الداخل إلى والخارج من ملفات المحول كما هو مبين في شكل (٤ ـ ٤). في هذا النوع من الحماية نستخدم محولي تيار مع مرحل واحد في كل ناحية من الابتدائي والثانوي. ولكي يكون نظام الحماية متزنا يجب أن يتحقق الشروط التالية :

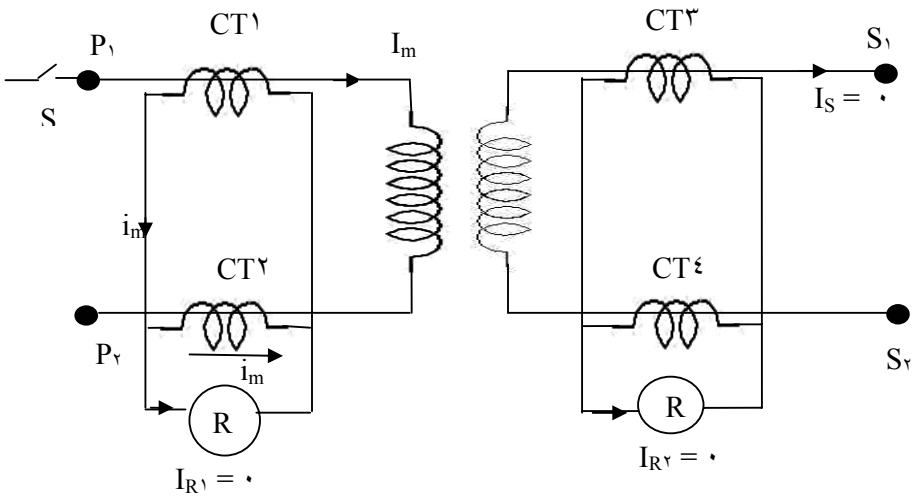
- يجب ألا تعمل الحماية تحت ظروف التشغيل العادية.
- يجب ألا تعمل الحماية نتيجة تيار المغنطة اللحظي المار في محول القدرة لحظة إدخاله إلى الشبكة.
- يجب ألا تعمل الحماية نتيجة خطأ خارجي.
- يجب أن تعمل الحماية نتيجة الخطأ الواقع خلال منطقة الحماية.

شكل (٤ ـ ٤) يمثل المحول في حالة تحميل عادية. ولذلك فإن التيارات في محول التيارات $C.T_{١}$, $C.T_{٢}$ متساوية القيمة ومتضادة في الاتجاه وبالتالي فإن المرحل $R_{١}$ لا يعمل وكذلك الحال بالنسبة للمرحل $R_{٢}$



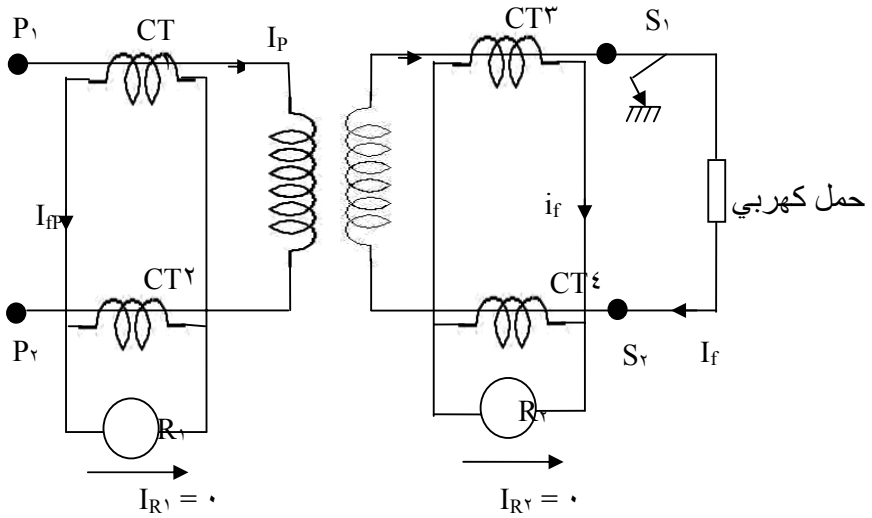
شكل (٤ ـ ٤) المحول في حالة تشغيل عادية

شكل (٤ ـ ٥) يمثل المحول لحظة توصيله إلى الشبكة وقبل أن يتم توصيل الحمل على أطراف الثانوي. تيار الثانوي (I_S) في هذه الحالة يساوي صفرا وبالتالي فإن المرحل $R_٢$ لا يعمل. أما التيار الابتدائي لحظة قفل المفتاح S يبدأ بقيمة كبيرة قد تصل إلى (١٠ – ٨) من مقنن تيار المحول. وهذا التيار يسمى تيار المغنطة اللحظي (Magnetising inrush current) وسيمر هذا التيار (i_m) في كل من محولي التيار $CT_١$ and $CT_٢$ وفي اتجاهات متعاكسة فتكون محصلة التيار المار في المرحل $R_١$ صفرا وبالتالي فإن المرحل لا يعمل وهذا هو المطلوب.



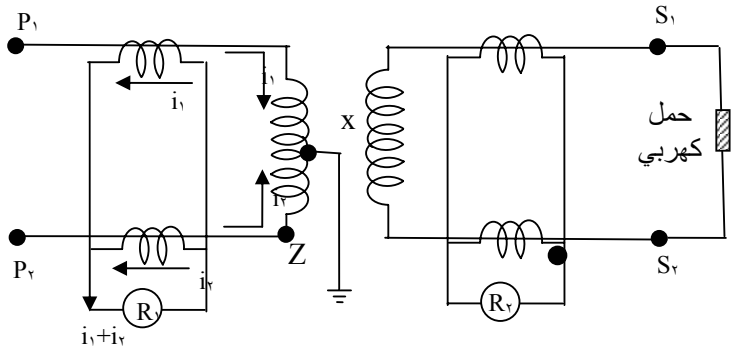
شكل (٤ ـ ٥) المحول في حالة إدخال إلى الشبكة

شكل (٤ ـ ٦) يمثل حالة قصر أرضي خارجي على أطراف الملف الثانوي وعليه فإن تيار القصر سوف يمر في محولات التيار $CT_٤$, $CT_٣$ وفي اتجاهين متضادين وبالتالي فإن التيار الذي يمر في المرحل $R_٢$ سيكون صفر ($I_{R٢} = ٠$) . والأمر نفسه ينطبق على المرحل $R_١$ وهذا هو المطلوب.



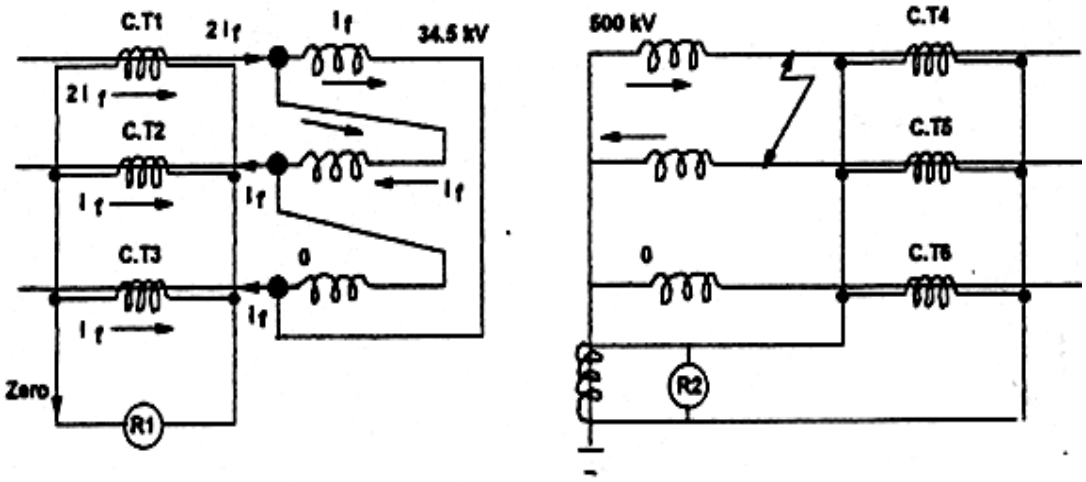
شكل (٤ ـ ٦) المحول في حالة خطأ أرضي خارجي

شكل (٤ ـ ٧) يمثل حالة قصر بين ملفات الابتدائي والأرضي عند النقطة X (خطأ داخلي). من الواضح أن التوازن بين التيارات المارة في محولات التيار $CT_١$, $CT_٢$ قد انعدم في هذه الحالة. وكلما اقتربت نقطة الخطأ من Z سيزيد $I_٢$ ويقل $I_١$ وسيعمل المحول في هذه الحالة كمحول ذاتي. ومحصلة التيارين $I_١$, $I_٢$ ستمر في المرحل $R_١$ وتكون كافية لعمل المرحل نتيجة خطأ داخلي.



شكل (٤ ـ ٧) المحول في حالة قصر بين ملفات الابتدائي والأرض

مما سبق يتضح أن شروط العمل الوقائي الصحيح متوفرة أي أن المرحل لا يعمل تحت ظروف التشغيل العادية أو مع الأخطاء الخارجية أو مع تيار المغنطة اللحظي ويعمل نتيجة الخطأ الداخلي فقط. وعلي ذلك فإنه بالإمكان استخدام هذه الطريقة لوقاية محولات القدرة ثلاثية الأوجه كما هو واضح في شكل (٤ ـ ٨).



شكل (٤ ـ ٨) الوقاية الأرضية لمحول نجمة / دلتا باستخدام وقاية تفاضلية منفصلة

المرحلات المستخدمة في حالة الحماية التفاضلية المنفصلة للمحولات تكون عادة من نوع مرحلات الحافظة المنجذبة ذات المعاوقة العالية. وميزة المعاوقة العالية هي ضمان عدم عمل أجهزة الوقاية نتيجة تشبع أحد محولات التيار بسبب خطأ خارجي.

مزايا الوقاية التفاضلية المنفصلة للمحولات يمكن تلخيصها كما يلي :

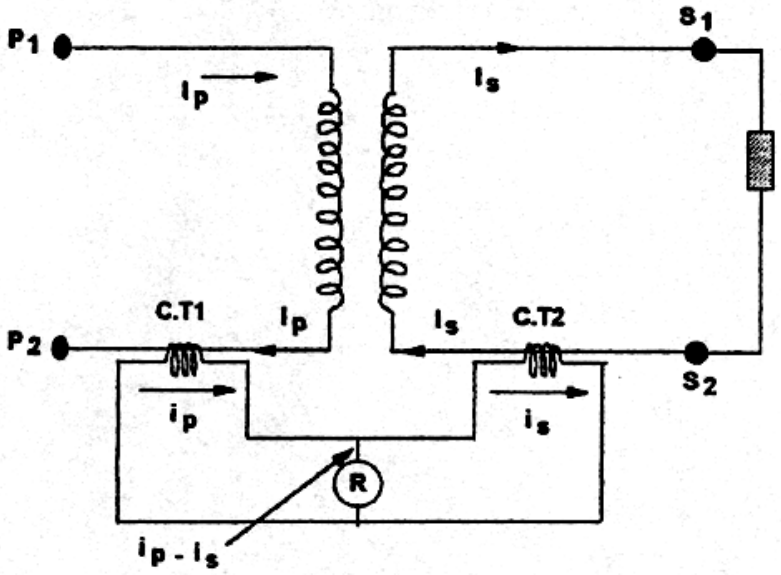
- لا تتأثر بتيار الحمل ولا الأخطاء الخارجية أو تيار المغنطة اللحظي.
- لا تتأثر بنسبة التحويل لمحول القدرة أو محولات التيار.
- تؤمن وقاية كاملة لملفات المحول إذا كانت نقطة تعادل النجمة مؤرضة تأريضا مباشرا.

أما عيوب هذه الطريقة من الوقاية فتتلخص فيما يلي:

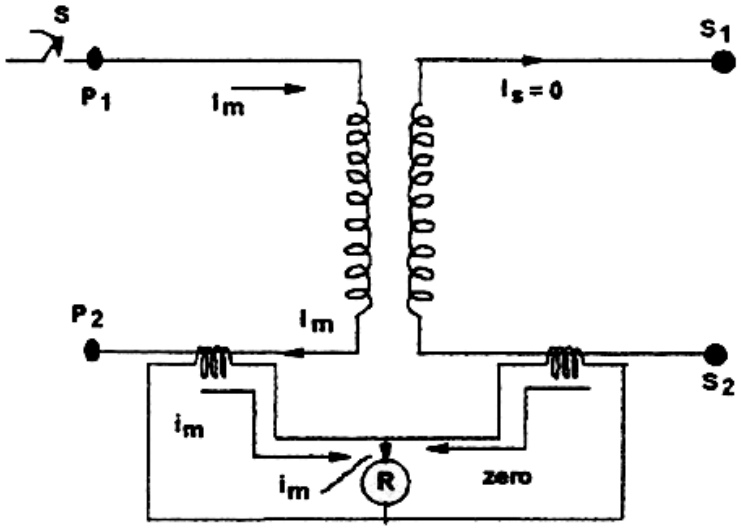
- لا يمكنها كشف حالة القصر الداخلية بين وجهين أو ثلاثة أوجه.
- لا تؤمن وقاية كاملة لملفات المحول إذا كانت نقطة التعادل النجمة مؤرضة من خلال معاوقة أو مقاومة عالية.

٤. ٤. ٢ الحماية التفاضلية المتكاملة Overall differential protection

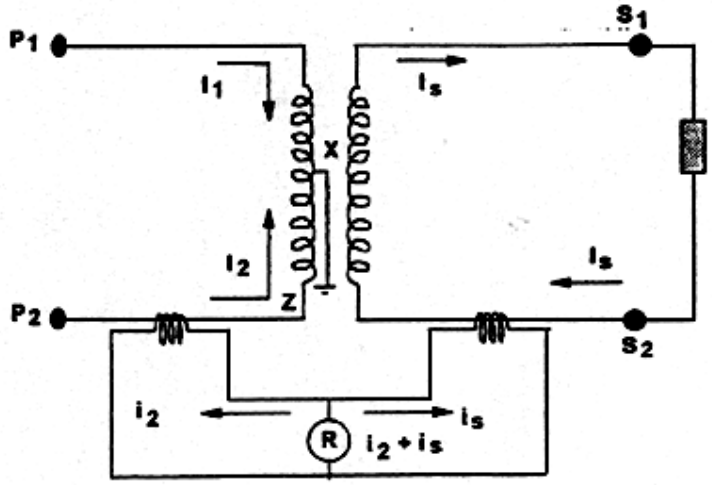
في هذه الحالة يتم وقاية المحول كوحدة متكاملة أي أن شروط التوازن يجب أن تتحقق بين تيار الابتدائي والثانوي كما هو مبين في شكل (٤ ـ ٩) ، شكل (٤ ـ ١٠) ، شكل (٤ ـ ١١) وكذلك (٤ ـ ١٢) .



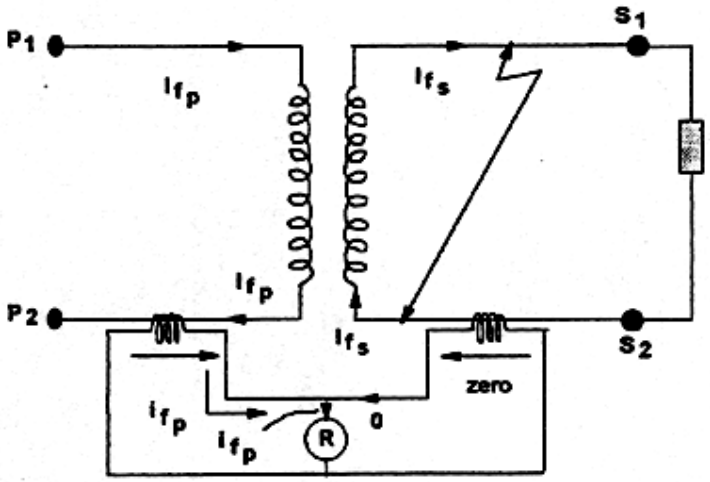
شكل (٤ ـ ٩) المحول في حالة تشغيل عادية



شكل (٤ ـ ١٠) المحول في حالة إدخال إلى الشبكة



شكل (٤ ـ ١١) المحول في حالة قصر بين ملفات الابتدائي والأرض



شكل (٤ ـ ١٢) المحول في حالة قصر بين ملفات الثانوي

بالنسبة للوقاية التفاضلية المتكاملة يتضح الآتي :

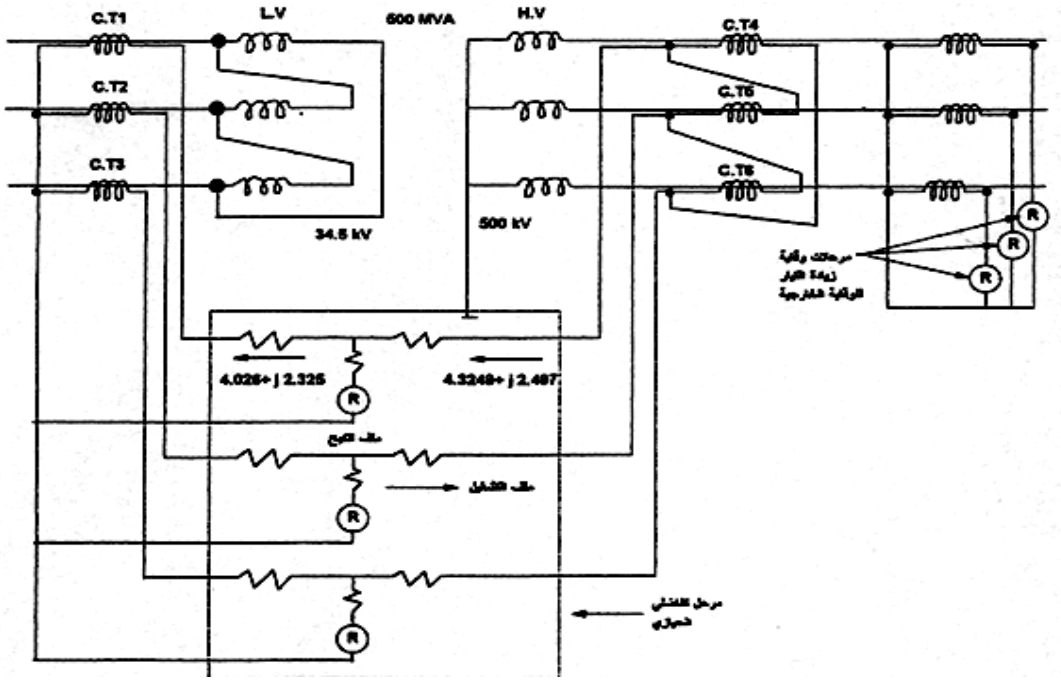
- من الواضح أن هذا النظام الوقائي يتأثر بتيار المغنطة اللحظي الذي يكون مصحوبا بتيارات توافقية عالية التردد من الدرجة الثانية والثالثة .....وهذا شيء غير مرغوب فيه.
- يتأثر هذا النظام من الحماية بالأخطاء الداخلية الأرضية والأخطاء الخارجية بين الأوجه وهذا مطلوب.
- يبقى متزنا تحت ظروف التشغيل العادية والأخطاء الخارجية بشرط أن يتحقق تطابق كلي بين CT_1 ، CT_2 وهذا يصعب تحقيقه عمليا.

- أي عدم تطابق بين CT_1 , CT_2 من ناحية نسبة التحويل أو تيار المغنطة قد يؤدي إلى عمل المرحل تحت ظروف التحميل العادية أو خارج منطقة الحماية أضف إلى ذلك العوامل التالية.

١.وضعية المأخذ وتأثيرها على تيارات الحمل وما قد تسببه من عدم توازن بين تيارات الثانوي في CT_1 , CT_2 تحت ظروف التشغيل العادي والأخطاء الخارجية.

٢. توصيلة $Y - \Delta$ في المحولات ثلاثية الوجه التي تسبب انحياز 30^o في زاوية الطور بين تيارات الخط ناحية الـ Δ وناحية Y .

وعلي ذلك فإنه لكي يعمل هذا النظام الوقائي بشكل سليم لابد من تطبيق الوقاية التفاضلية الانحيازية التوافقية. هذا من ناحية ومن ناحية أخرى يتم توصيل محولات التيار ناحية Y - بشكل Δ وناحية الـ Δ بشكل Y حتى نتخلص من ظاهرة الانحياز في زاوية الطور بين التيارات المارة في خطوط الـ Δ و الـ Y كما هو موضح في شكل (٤ - ١٣).



شكل (٤ - ١٣) الوقاية التفاضلية الانحيازية الكاملة لمحولات القدرة.

نوع المرحل المستخدم عادة في الوقاية التفاضلية الانحيازية هو المرحل الحثي ذو القرص المتحرك وزمن الفصل يكون قصير جدا. ولحماية المحول من الأخطاء الخارجية نستخدم عادة مرحلات زيادة التيار لكل وجه. هذه المرحلات تعمل كحماية احتياطية للوقاية التفاضلية لأن زمن فصلها عادة يكون أكبر بكثير من زمن فصل المرحلات التي تستخدم في الوقاية الداخلية للمحول.

مثال :

في الشكل (٤ ـ ١٣) اعتبر أن مقنن القدرة الظاهرية للمحول هي ٥٠٠ MVA والجهد ناحية الدلتا هو ٣٤,٥ kV والجهد ناحية النجمة ٥٠٠ kV . والمطلوب :

١. اختيار نسبة تحويل محولات التيار CT_1 , CT_4

٢. التيار المار في ملف التشغيل والكبح ونسبة الانحياز في الوجه A للمرحل الانحيازي التفاضلي.

الحل

نفرض أن المحول يحمل تيار الحمل الكامل :

$$I_a = \frac{500\ X10^6}{\sqrt{3}\ X\ 500\ X1000} = 577.35\angle 0$$

والتيار في خط الدلتا (الوجه A) هو

$$I_{a\Delta} = \frac{500\ X10^6}{\sqrt{3}\ X\ 34.5\ X1000} = 8367.165\angle 30^\circ$$

إذا نختار نسبة التحويل لمحول التيار CT_1 كما يلي : ٥ / ٩٠٠٠

وبالتالي فإن القيمة المطلقة لتيار الثانوي في CT_1 تساوي $\frac{8367.165}{1800} = 4.65\ A$

وعلي ذلك فإن القيمة الاتجاهية لتيار الثانوي في محول التيار CT_1 هي

$$4.65\angle 30^\circ = 4.026 + j2.325\ A$$

إذا حتى يكون تيار الكبح ن الجزء الثاني من ملف الكبح مساويا (٤,٦٥ A) يجب أن تكون نسبة تحويل CT_4 بحيث يكون تيار الثانوي المار فيه مساويا (٣√ / ٤,٦٥) .

و حيث إن I_a = ٥٧٧,٣٥ A

فإن نسبة التحويل لمحول التيار CT_4 = - (٥٧٧,٣٥ / ٢,٦٨) = ١٠٧٧,١٦ : ٥ وعلى ذلك نختار نسبة التحويل لمحول التيار CT_4 بنسبة ٥ : ١٠٠٠ .

التيار الذي يمر في ملف الثانوي لمحول التيار CT_4 $= -\frac{577.35}{200} = -2.88\ A$

وعلى ذلك فإن التيار المار في الجزء الثاني من ملف الكبح $= -2.88\sqrt{3}\angle 30^\circ = 4.3249 + j2.497$

وبالتالي فإن التيار المار في ملف التشغيل $= I_1 - I_2 = ٠,٢٩٨٩ + j٠,١٧٢$ A

$$So,\ K_1 = \left| I_1 - I_2 \right| = ٠,٣٤٤ \text{ A}$$

$$But,\quad [(I_1 + I_2) / ٢] = ٤,١٧٥٤٥ + j\ ٤,٨٢٢$$

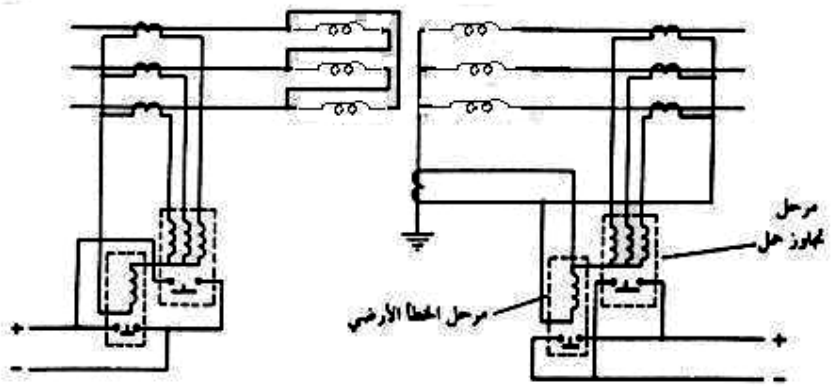
$$So,\ K_2 = \left| (I_1 + I_2) /٢ \right| = ٦,٣٧٤ \text{ A}$$

$$So,\ K_1 / K_2 = ٠,٣٤٤ / ٦,٣٧٤ = ٠,٠٥٤ = ٥,٤\ \%$$

وهذه النسبة كما ذكرنا سابقا سببها عدم التطابق الكلي بين محولات التيار ناحية ملفات الثانوي والابتدائي ، لذلك فإن المرحل يجب أن يضبط عند معامل انحياز K أكبر من ٥,٤ % أي عند K = ١٠ %.

٤. ٥ حماية المحول ضد زيادة الحمل

لحماية المحولات ضد زيادة الحمل يتم استخدام مرحل تجاوز حمل . ويبين الشكل (٤. ١٤) كيفية حماية محول ضد تجاوز التيار وضد الخطأ الأرضي



شكل(٤ ـ ١٤) حماية محول ضد تجاوز التيار وضد الخطأ الأرضي

٤. ٦ جهاز البوخولز Bucholoz Relay

يستخدم مرحل بوخولوز لحماية المحولات المغمورة بالزيت Oil – filled transformers ويبين شكل (٤ ـ ١٥) وضع الجهاز بالنسبة للمحول وخزان الزيت الإضافي conservator وكذلك أجزاء المرحل نفسه وطرق توصيله إلى جرس الدائرة Alarm أو القاطع الآلي .

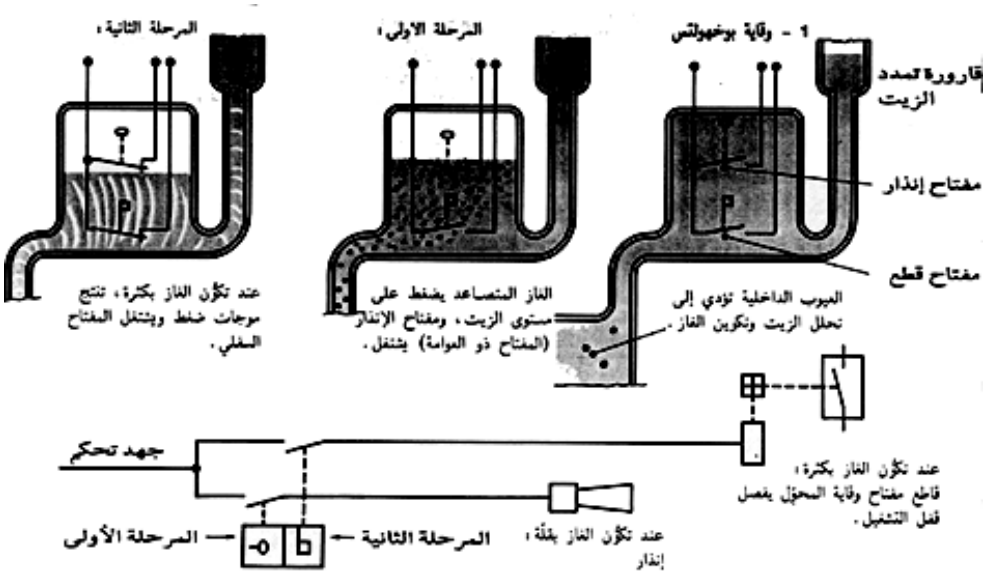
والميزة الأساسية وراء استخدام هذا المرحل ، بالإضافة إلى المرحل الحراري والتفاضلي لحماية المحولات هي مراقبة وكشف الأعطال داخل المحول في مرحلتها الأولى وقبل أن يسبب العطل إتلافا لملفات المحول أو انفجارا للمحول إذا زادت الغازات القابلة للاشتعال بداخل المحول. وبالنسبة لنظرية عمل هذا المرحل فهي كالتالي :

١. في حالة زيادة الحمل على المحول ترتفع درجة حرارة الزيت إلى درجات أعلى من المعدل المسموح به. وزيادة درجة حرارة الزيت تسبب تبخر للزيت وبالتالي إلى ظهور فقاقيع من غاز الهيدروجين H_2 وأول أكسيد الكربون CO . هذه الفقاقيع تشق طريقها إلى أعلى داخل المحول وتتجمع في أعلى جهاز البوخولز المليء بالزيت عادة. عندها تسقط عوامة مفتاح الإنذار مسببة عمل لهذا المفتاح وقفل

الملامسات المتصلة بجهاز الإنذار (المرحلة الأولى). أيضا يسبب المرحل عمل أجهزة الإنذار في حالة انخفاض مستوى الزيت بداخله نتيجة تسرب زيت الخزان الرئيسي.

٢. في حالة حصول خطأ شديد داخل المحول (قصر بين الملفات أو قصر بين الملفات والأرض مصحوبا بشرارة عالية) فإن تكوين فقاعات الغاز سيكون شديدا جدا وعلي شكل نافورة من الغازات مسببة تغيير وضعية العوامة الثانية والتي تقفل الملامسات المتصلة بالقاطع الآلي الرئيسي Main circuit breaker . في هذه الحالة يعمل مرحل البوخولز كحماية احتياطية للحماية التفاضلية (مرحل بوخولز أبطأ من المرحل التفاضلي في العمل وأسرع من مرحل زيادة التيار O/C relay). الشيء الجيد في هذا المرحل أنه مزود أيضا بصمام يمكن فتحه وأخذ عينات من الغازات المتجمعة لتحليلها.

ومن تحليل عينة الغازات المذابة بالزيت يمكن معرفة نوعية الغازات الموجودة بالزيت وبالتالي يمكن تشخيص نوعية العطل الذي تعرض له المحول وبالتالي عزل المحول عن الشبكة يدويا إذا لزم الأمر لذلك قبل أن يستفحل الخطأ وهذا ما يسمى بالصيانة الوقائية Preventive maintenance . والغازات المذابة داخل الزيت والتي تنتج عن الأخطاء داخل المحول هي غاز الهيدروجين H_2 واول أكسيد الكربون CO والميثان CH_4 والإيثان C_2H_6 والإسيتلين C_2H_2 وثاني أكسيد الكربون CO_2 . ويمكن استخدام هذه الغازات كأداة تشخيصية للأعطال .فمثلا وجود غاز الهيدروجين وغاز الإسيتلين يدل على وجود قوس كهربي داخل الزيت Arcing بين الأجزاء المعدنية. ووجود غازات مثل CH_2 , C_2H_4 , C_2H_6, CO_2 يدل على وجود بقعة ساخنة Hot spots داخل ملفات الزيت.



شكل (٤ ـ ١٥) رسم تفصيلي لمرحل بوخولز

حماية النظم الكهربائية

حماية المولدات الكهربائية

جميع الحقوق محفوظة للمؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني

الجدارة : معرفة الطرق المختلفة التي تستعمل في حماية المولدات الكهربائية

الأهداف :

عند إتمام دراسة هذا الفصل يتمكن المتدرب من :

١. معرفة كيفية حماية المولدات الكهربائية باستخدام الحماية التفاضلية.
٢. معرفة كيفية حماية المولدات الكهربائية ضد القصر بين اللفات.
٣. معرفة كيفية حماية المولدات الكهربائية ضد زيادة الحمل.

مستوى الأداء المطلوب : أن لا تقل نسبة إتقان هذه الجدارة عن ٨٠٪.

الوقت المتوقع للتدريب : ٤ ساعات أو أسبوعان (ساعتان/أسبوع)

الوسائل المساعدة :

١. استخدام الوسائل التعليمية المختلفة.
٢. استخدام المختبر.

متطلبات الجدارة :

١. أن يكون المتدرب على معرفة بتركيب وأسس عمل المولدات.
٢. أن يكون على معرفة تامة بالحماية التفاضلية.
٣. أن يكون على معرفة تامة بمرحلات زيادة التيار.

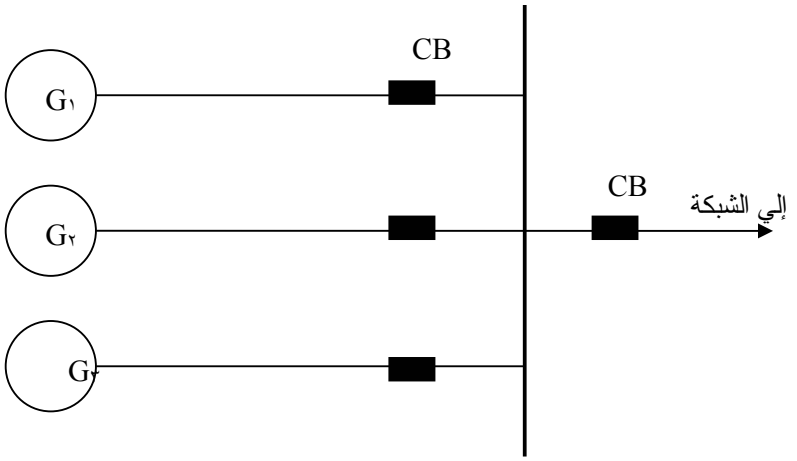
الفصل الخامس : حماية المولدات الكهربائية

٥. ١ مقدمة

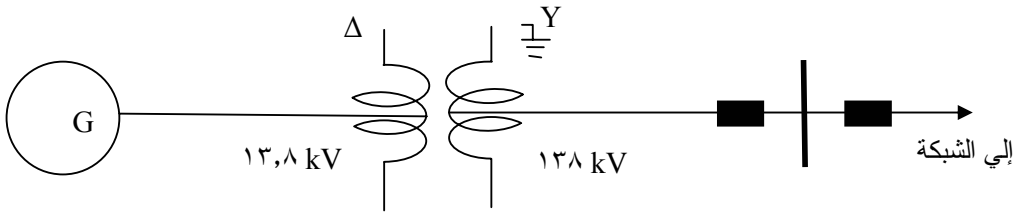
مقنن المولدات الكهربية يعتمد اعتمادا كليا على نوع المحرك الميكانيكي (prime Mover) والمقننات النموذجية للمولدات هي كما يلي :

- مولد يعمل بواسطة محرك ديزل ١٠kVA – ١,٧ MVA
- مولد يعمل بواسطة تربينة الغاز ١٠MVA – ١٥٠ MVA
- مولد يعمل بواسطة تربينة بخارية ١٠٠ MVA – ٦٠٠ MVA
- مولد يعمل بواسطة تربينة هيدروليكية ٥٠ MVA – ٣٠٠ MVA

المولدات الصغيرة يتم ربطها إلى الشبكة الكهربية مباشرة من خلال قاطع إلى كما هو موضح في شكل (٥ ـ ١) . أما بالنسبة للمولدات الكبيرة أو محطات التوليد الأساسية فإنه يتم ربطها إلى الشبكة من خلال محول لرفع الجهد والقاطع الآلي المسؤول عن حماية المولد يتم وضعه عادة بعد محول الرفع كما بالشكل (٥ ـ ٢).



شكل (٥ ـ ١) ربط المولدات الصغيرة بالشبكة الكهربية



شكل (٥ ـ ٢) ربط المولدات الكبيرة بالشبكة الكهربية

٥. ٢ أعطال المولدات Generators Faults

٥. ٢. ١ الأعطال الميكانيكية Mechanical Faults

من الممكن تلخيص الأعطال الميكانيكية في المولدات كما يلي :

- أعطال ناتجة عن زيت التبريد.
- أعطال ناتجة عن الاهتزاز.
- فشل نظام تبريد الهيدروجين.
- فشل المحرك الميكانيكي نفسه أو بمعنى آخر التربينة.
- ارتفاع زائد في درجة حرارة الملفات نتيجة فشل جزئي للعزل.

وجميع هذه الأعطال يتم مراقبتها عادة بواسطة أجهزة قياس متصلة إلى أجهزة إنذار.

٥. ٢. ٢ الأعطال الكهربية Electrical Faults

أولا : أعطال العضو الثابت Stator Faults

معظم الأعطال الداخلية التي يتعرض لها المولد تكون ناتجة عن فشل العزل في ملفات العضو الثابت. وانهيار العزل يسبب قصر كهربائي بين الوجه والوجه أو بين الوجه والأرض. وتيار القصر نفسه قد يؤدي إلى تلف ملفات العضو الثابت أو صفائح حديد العضو الثابت. وبعض المسببات الرئيسية لانهيار عزل ملفات العضو الدوار هي :

- ارتفاع زائد في جهد التوليد.
- عدم توازن في التيارات المولدة في الأوجه الثلاثة وهذا بدوره يؤدي إلى ارتفاع زائد في درجة حرارة ملفات العضو الثابت وبالتالي انهيار مادة العزل.
- مشاكل فنية في نظام تهوية وتبريد المولد الكهربائي.

ثانيا : أعطال العضو الدوار Rotor Faults

بعض الأعطال التي يتعرض لها العضو الدوار هي :

- عطل الدائرة المفتوحة Open circuit
- ارتفاع زائد في درجة حرارة ملفات العضو الدوار نتيجة عدم توازن التيارات المتولدة في أوجه العضو الثابت.
- قصر بين ملفات العضو الدوار والأرض. وهذا النوع من الأعطال لا يستدعي الفصل الفوري للمولد عن الشبكة وذلك للأسباب التالية :

١.العضو الدوار يعمل عادة عند جهد ٥٠٠ V بينما يعمل العضو الثابت عند جهد يتراوح بين ١٣,٨ – ٢٣ kV .

٢.ملفات العضو الدوار غير مؤرضة وبالتالي فإن مسار الخطأ الأرضي معدوم في هذه الحالة.

٥. ٢. ٣ أعطال أخرى Other generators faults

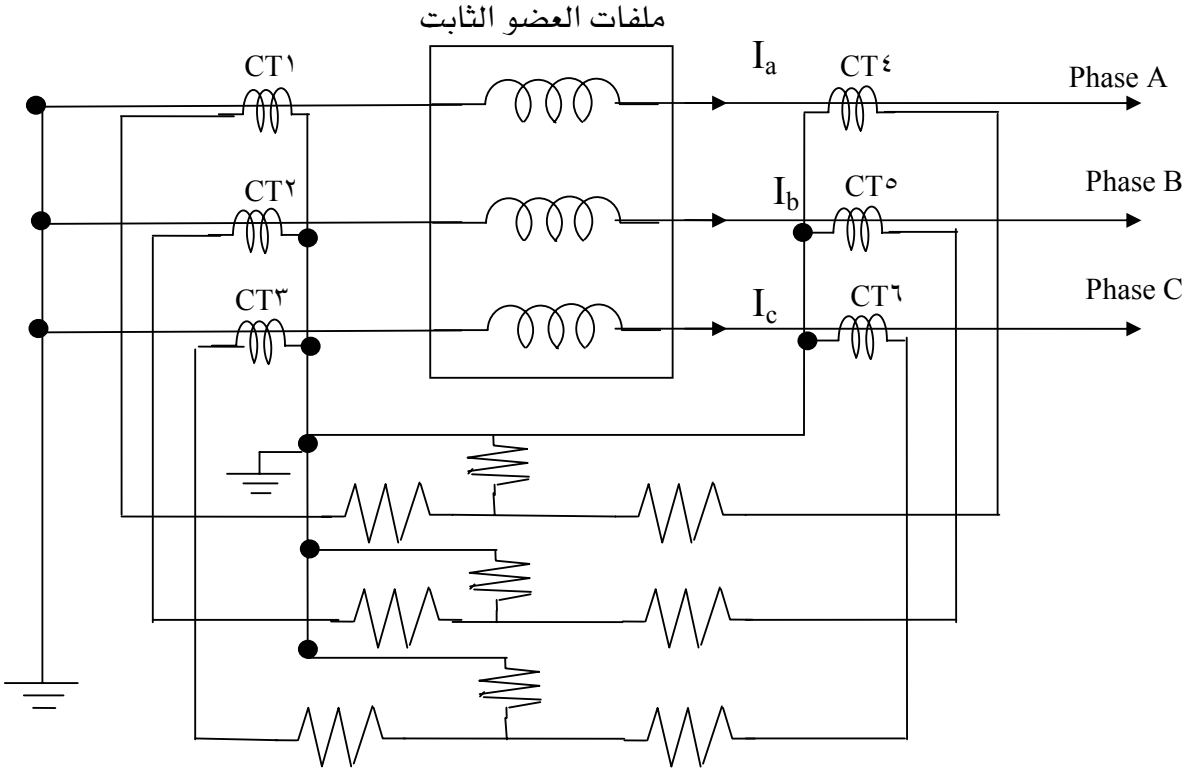
بعض الأعطال التي يتعرض لها المولد بشكل عام يمكن أن تتلخص فيما يلي :

- ارتفاع زائد في تيار العضو الثابت نتيجة زيادة التحميل Over load
- هبوط في قيمة التردد under frequency هذا قد يؤدي إلى تلف شفرات التربينة نتيجة الاهتزازات.
- عمل المولد كمحرك نتيجة توقف حركة التربينة لأي سبب من الأسباب. هذا قد يؤدي إلى تلف شفرات الضغط المنخفض للتربينة.
- توصيل المولد إلى الشبكة قبل التأكد من تواؤم تتابعية الأوجه هذا يؤدي إلى تلف ميكانيكي لملفات المولد والتربينة معا.

٥. ٣ الحماية الأساسية للعضو الثابت Stator Main Protection

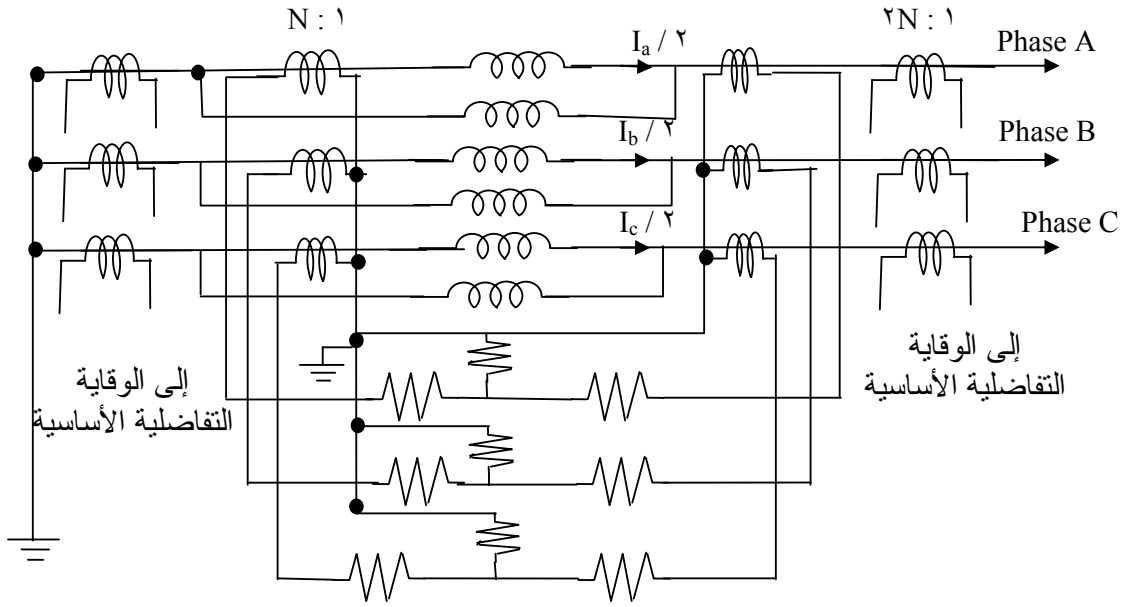
٥. ٣. ١ الحماية التفاضلية Differential Protection

الوقاية الأساسية لملفات العضو الثابت ضد الأخطاء الداخلية تتم عادة عن طريق استخدام الوقاية التفاضلية الانحيازية كما هو موضح في الشكل (٥ ـ ٣).



شكل (٥ ـ ٣) حماية ملفات العضو الثابت بواسطة الوقاية التفاضلية.

أما بالنسبة للمولدات الكبيرة (ذات مقنن تيار عال جدا) فإنه يتم تجزئة ملفات العضو الثابت إلى ملفان لكل وجه split winding . وبالتالي فإن الوقاية التفاضلية الموضحة في شكل (٥ ـ ٣) لايمكنها كشف عطل الدائرة المفتوحة. لذلك لابد من استخدام وقاية تفاضلية إضافية في هذه الحالة كما هو موضح في شكل (٥ ـ ٤).



شكل (٥ ـ ٤) حماية ملفات العضو الثابت المجزئة بواسطة الوقاية التفاضلية الانحيازية

٥. ٣. ٢ حماية ملفات العضو الثابت بواسطة مرحل الخطأ الأرضي

Stator Protection by Earth Fault Relays

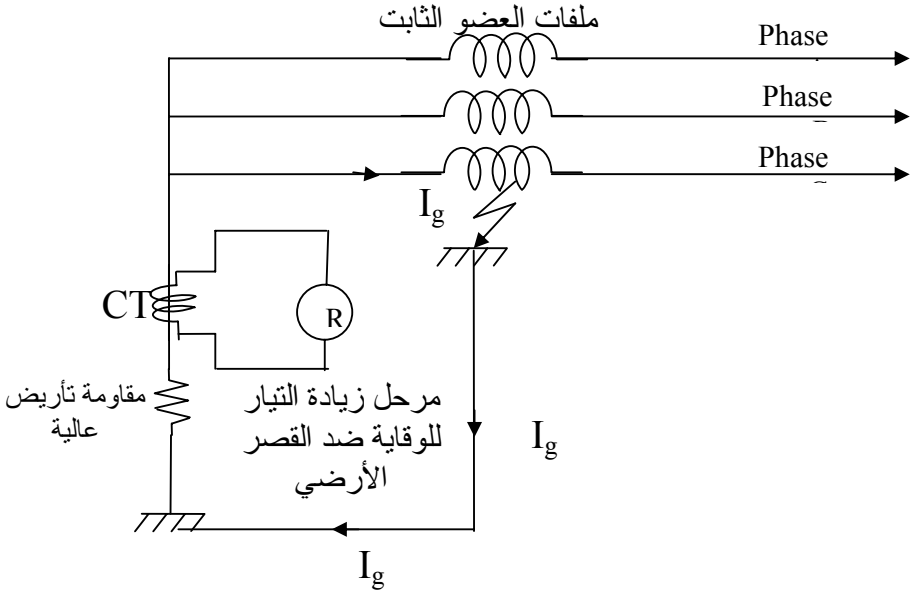
عملية تأريض حيادي لملفات العضو الثابت هي عملية مألوفة في جميع المولدات الكهربية وذلك لضمان مسار تيار القصر الأرضي وتسهيل عملية كشف هذا النوع من الأعطال.

في المولدات الصغيرة أو المتوسطة الحجم تتم عملية التأريض من خلال مقاومة عاليةHigh resistance . والهدف من وجود هذه المقاومة هو خفض تيار الخطأ الأرضي إلى قيمة مساوية للتيار المقنن للمولد، يتم توصيل محول التيار CT في دائرة الأرضي لمراقبة وقياس تيار الخطأ. ملفات الثانوي لمحول التيار توصل إلى مرحل زيادة التيار ذو الخصائص العكسية كما هو موضح في شكل (٥ ـ ٥).

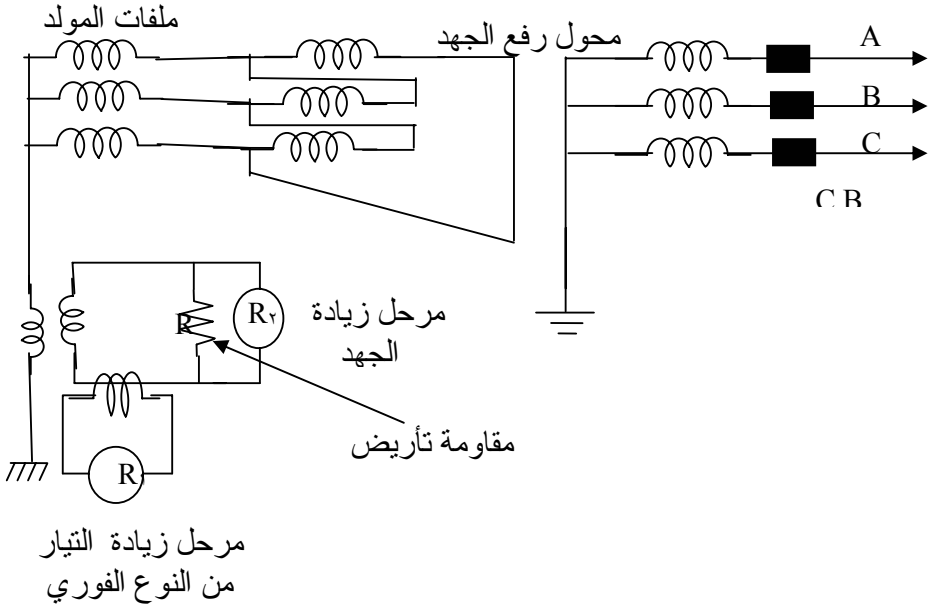
أما بالنسبة للمولدات الكبيرة التي يتم ربطها بالشبكة من خلال محول رفع جهد فإن تأريضها يتم من خلال محول جهد potential transformer . مقنن محول الجهد يتراوح بين ١٠ ,٥ kVA وجهد الثانوي يتراوح بين ٥٠٠ ,١٠٠ V . مقاومة التأريض نفسها يتم توصيلها على أطراف ملفات الثانوي لمحول الجهد وقيمتها تتراوح بين ٢٠٠ ,١٠٠ Ω . ويتم اختيار مقاومة التأريض بحيث لايزيد تيار القصر الأرضي المار في ملفات العضو الثابت عن ١٠ A .

أما بالنسبة لمرحل الوقاية فإنه يكون في هذه الحالة مرحل زيادة الجهد حيث يتم توصيله على التوازي مع مقاومة التأريض. ويتم ضبط هذا المرحل عادة عند جهد التقاط قيمته حوالي V ١٠ . شكل (٥ ـ ٦) يبين هذا النوع من الحماية.

ملاحظة : في بعض الأحيان يتم وضع مرحل زيادة التيار من النوع الفوري Instantaneous في دائرة ثانوي محول الجهد وذلك كحماية احتياطية لمرحل زيادة الجهد.



شكل (٥ ـ ٥) حماية المولدات الصغيرة أو متوسطة الحجم ضد التيار الأرضي

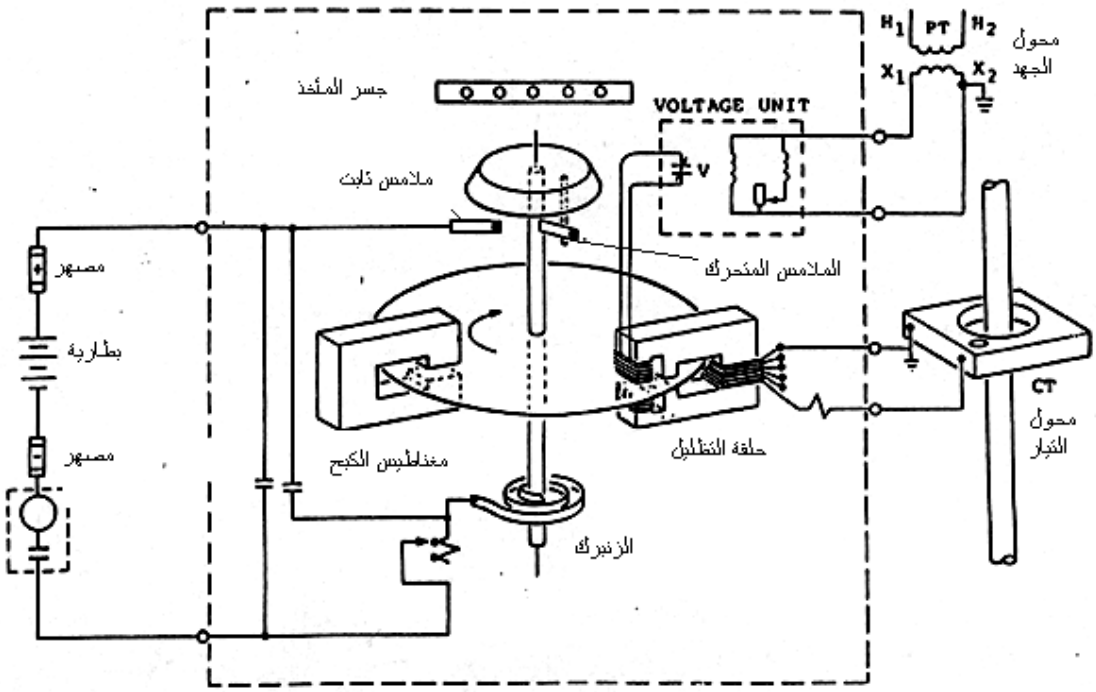


شكل (٥ ـ ٦) حماية المولدات الكبيرة ضد القصر الأرضي

٥. ٤ حماية المولدات ضد القصر بين اللفات

أكثر المرحلات التي تستخدم للعمل كوقاية احتياطية في حالة حصول خطأ داخلي في المولد هو مرحل زيادة التيار المحكوم بالجهد Voltage controlled O/C Relay . ونظرية عمل هذا المرحل تعتمد على فكرة هبوط الجهد على أطراف المولد نتيجة قصر داخلي بين اللفات. بمعنى آخر إذا حدث قصر داخل المولد فإن القصر الكهربائي يكون عادة مصحوبا بانخفاض مفاجئ في جهد التوليد. لذلك فإن مرحل زيادة التيار المحكوم بالجهد هو عبارة عن مرحلين معا مرحل زيادة التيار ومرحل نقص الجهد شكل (٥ ـ ٧).

وفي هذه الحالة تكون ملامسات مرحل نقص الجهد متصلة على التوالي مع ملف حلقة التظليل لمرحل زيادة التيار. وهذا بدوره سيمنع وحدة زيادة التيار من العمل إذا كان جهد المولد أعلى من الجهد المضبوط عنده مرحل نقص الجهد (عادة يكون ٨٠ % من جهد التوليد). ولكن بمجرد حصول خطأ داخل المولد وفشل الوقاية التفاضلية في العمل فإن جهد التوليد سينخفض إلى قيمة أقل من ٨٠ % من القيمة الأساسية لجهد التوليد. وهذا سيؤدي إلى قفل ملامسات مرحل نقص الجهد مما يؤدي إلى عمل مرحل زيادة التيار وفصل المولد عن الشبكة.



شكل (٥ ـ ٧) مرحل زيادة التيار المحكوم بالجهد

٥. ٥ حماية المولدات ضد زيادة الحمل

إن زيادة تيار الحمل إلى قيمة أعلى من قيمة تيار المولد ولفترة زمنية طويلة قد يؤدي إلى ارتفاع درجة حرارة ملفات العضو الثابت إلى قيمة أعلى من درجة الحرارة القصوى التي يتحملها عزل الملفات. و لابد في هذه الحالة من حماية المولد ضد زيادة الحمل بواسطة مرحل حراري Thermal Relay مجهز بتأخير زمني مناسب.

أما بالنسبة للمولدات الكبيرة فإنه بدل استخدام المرحل الحراري يتم وضع مزدوجات حرارية Thermo - Couples في فتحات العضو الثابت. وبهذا يمكن قياس درجة حرارة الملفات بواسطة أجهزة مسجلة Recording Devices مما يتيح للفني المختص قراءة درجة حرارة الملفات خلال فترة الخدمة. وفي حالة الاتفاع زائد في درجة الحرارة فإن هذا يؤدي إلى عمل أجهزة الإنذار وتدخل الفني لفصل بعض الأحمال عن المولد بدلا من فصل المولد كليا عن الشبكة.

حماية النظم الكهربائية

حماية المولدات الكهربائية

جميع الحقوق محفوظة للمؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني

الجدارة : معرفة الطرق المختلفة التي تستعمل في حماية المحركات الكهربائية

الأهداف :

عند إتمام دراسة هذا الفصل يتمكن المتدرب من :

١. معرفة كيفية حماية المحركات الكهربائية متوسطة الحجم.
٢. معرفة كيفية حماية المحركات الكهربائية من التيار المفرط.
٣. معرفة كيفية اختيار مرحلات الحمل الزائد.

مستوى الأداء المطلوب : أن لا تقل نسبة إتقان هذه الجدارة عن ٨٠٪.

الوقت المتوقع للتدريب: ٤ ساعات أو أسبوعان (ساعتان/أسبوع)

الوسائل المساعدة:

١. استخدام الوسائل التعليمية المختلفة.
٢. استخدام المختبر.

متطلبات الجدارة :

١. أن يكون المتدرب على معرفة بتركيب وأسس عمل المحركات.
٢. أن يكون على معرفة تامة بعمل المصهرات والمرحلات والقواطع الكهربية.

الفصل السادس : حماية المحركات الكهربائية

٦. ١ مقدمة

يعتمد نوع الحماية المستخدم بالنسبة للمحركات أولا وأخيرا على حجم المحرك نفسه وطبيعة الحمل الميكانيكي المتصل بعمود الإدارة. ولكن لكي نفهم نوع الحماية المطلوب لا بد من أن نلقي بعض الضوء على أهم خاصية من خواص المحرك الحثي أكثر الأنواع استخداما وهي بدء حركة المحرك.

إذا تأملنا في منحني بدء الحركة لأحد المحركات الحثية. نجد أنه لحظة توصيل أطراف ملفات العضو الثابت إلى مصدر التغذية يكون المحرك في حالة سكون وبالتالي فإن تيارا كبيرا سيمر في ملفات العضو الدوار. إذا فإن التيار المسحوب من مصدر التغذية لحظة البدء سيكون كبيرا جدا من ٨ – ٧ مرات من التيار المقنن للمحرك. وبمجرد أن يبدأ العضو الدوار بالحركة فإن التيار المسحوب من مصدر التغذية سيقل إلى ٦ – ٥ مرات من التيار المقنن ويبقى التيار ثابتا حتى يصل المحرك إلى ٨٠ % من سرعته التزامنية وبعد ذلك يقل الانزلاق وبالتالي فإن التيار المسحوب من خط التغذية يقل حتى يصل إلى قيمة مساوية لقيمة التيار المقنن عند السرعة العادية.

٦. ٢ الأخطاء المحتملة الحدوث في المحركات الكهربية Possible Motor Faults

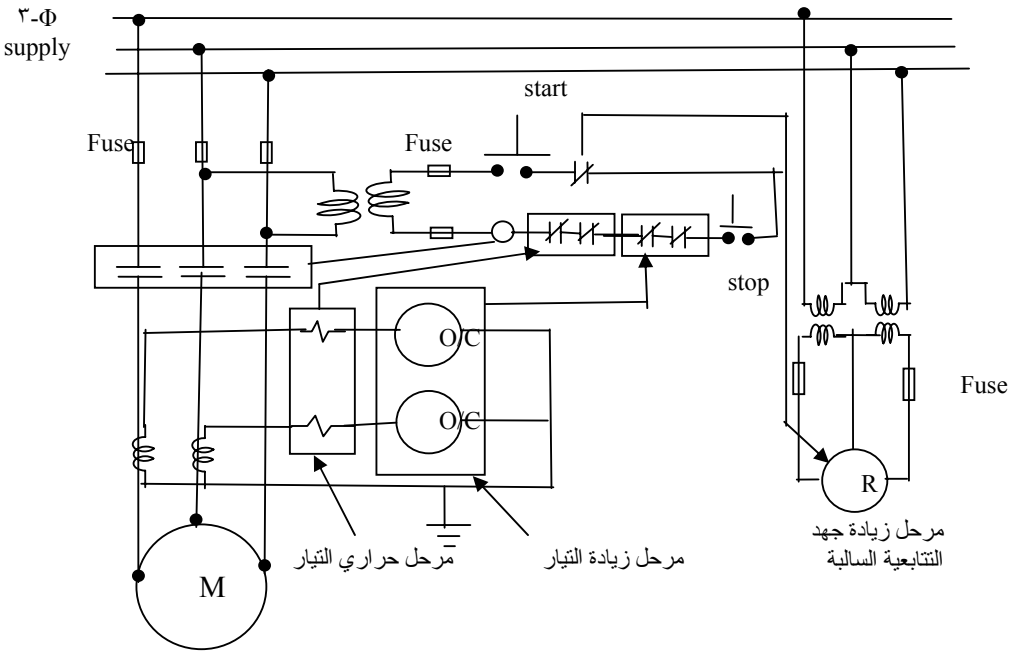
الأخطاء الشائعة الحدوث في المحركات الكهربية تتلخص فيما يلي :

١. فشل في عزل الملفات يؤدي في معظم الأحيان إلى قصر بين الأوجه أو قصر بين الوجه والأرض.
٢. زيادة في تيار الحمل يؤدي إلى زيادة تسخين أو ارتفاع زائد في درجة حرارة ملفات المحرك.
٣. زنق العضو الدوار Locked rotor
٤. عدم توازن في جهد التغذية Unbalanced power supply
٥. نقص جهد التغذية Under Voltage
٦. نقص التيار Under current

٦.٣ حماية المحركات متوسطة الحجم من التيار المفرط

Protection of medium size motors (٣٠٠ HP – ١٠٠٠ HP)

بشكل عام فإن المحركات الكهربية ذات مقنن خرج أقل أو يساوي ١٠٠٠ HP تعمل عند جهد ٦٠٠ V أو أقل بينما تعمل المحركات الكبيرة عند جهود عالية قد تصل إلى ١٣,٨ kV . وشكل (٦ ـ ١) يبين الحماية الأساسية لمحرك متوسط الحجم أقل من ١٠٠٠ HP .



شكل (٦ ـ ١) الحماية الأساسية لمحرك كهربائي ذي مقنن أقل من ١٠٠٠ HP

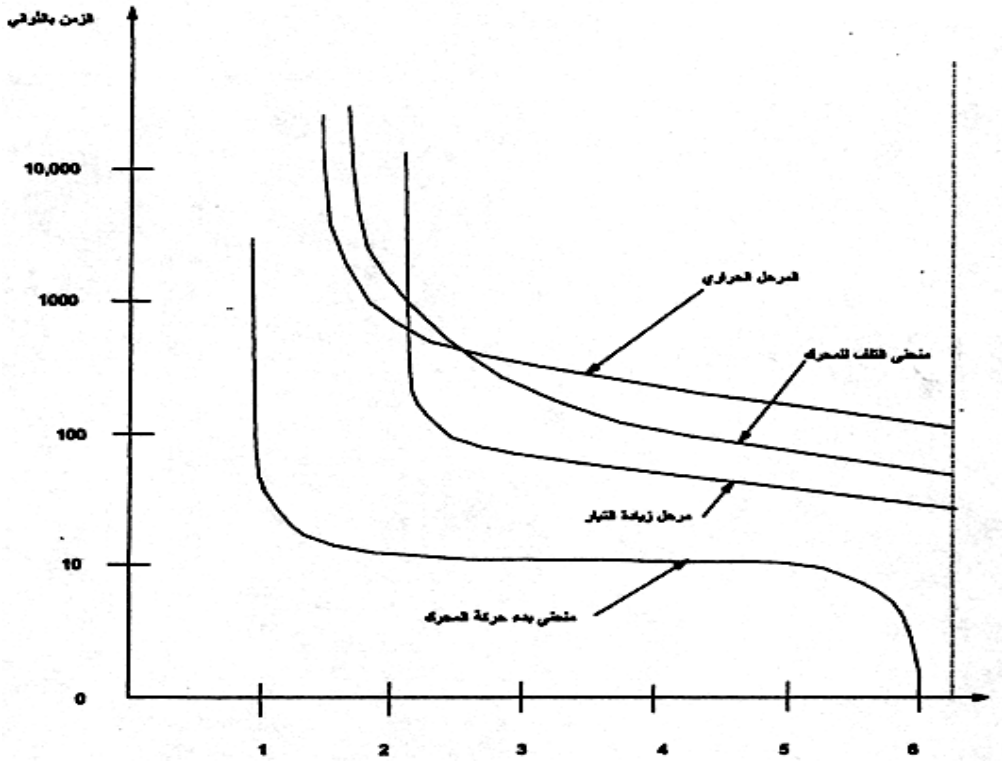
٦.٣.١ كيفية إختيار مرحلات الحمل الزائد

من الشكل (٦ ـ ١) نجد أن المرحل الحراري يستخدم للحماية ضد زيادة أو تجاوز الحمل (over load) وهذا المرحل يتكون من عنصر تسخين heating element يتم بواسطته تشغيل مفتاح ثنائي المعدن.

يتم اختيار المرحل الحراري بحيث يتطابق منحنى خصائص المرحل مع منحني التلف للمحرك نفسه كما بالشكل (٦ ـ ٢). ويتم ضبط المرحل عادة للبدء في العمل عند تيار أكبر أو يساوي ١٠٥ % من التيار المقنن للمحرك. من شكل (٦ ـ ٢) نرى أنه من المسموح مرور ضعف التيار المقنن في ملفات المحرك لمدة

Sec ١٠٠٠ أو ١٧ دقيقة تقريبا .بينما بمقدور المحرك تحمل ٦ أضعاف التيار المقنن لمدة ١٥ ثانية فقط. وعلى العموم لا يمكن الحصول عمليا على تطابق كلي بين منحنى التلف للمحرك ومنحنى خصائص المرحل. من شكل (٦ ـ ٢) نجد أن المرحل الحراري بطيء عند تيار أكبر أو يساوي ٢,٥ مرة من التيار المقنن لذا لابد من أن نستخدم مرحل زيادة التيار (over current O/C relay) إلى جانب المرحل الحراري. ويتم ضبط مرحل زيادة التيار عند تيار عال نوعا ما % ١٨٠ من مقنن تيار المحرك.

إذن وباختصار فإن المرحل الحراري يستخدم لحماية المحرك من الزيادات الطفيفة في تيار الحمل ومرحل زيادة التيار للحماية من زيادات عالية في التيار.



شكل (٦ ـ ٢) منحني الخصائص للمرحل الحراري ومرحل زيادة التيار

أما بالنسبة لمرحل زيادة جهد التتابعية السالبة فإن وظيفته فصل المحرك عن مصدر التغذية عندما تصل قيمة جهد التتابعية السالبة إلى ٤٪ من جهد التغذية. السبب وراء استخدام هذا النوع من المرحلات يرجع إلى أن عدم التوازن في الجهد يسبب تتابعية سالبة في الجهد والتيار إلى جانب التتابعية الموجبة. هذا بدوره سيؤدي إلى وجود مجال مغناطيسي في الثغرة الهوائية والذي بدوره يعكس اتجاه المجال المغناطيسي الناتج عن التتابعية الموجبة. هذا المجال المغناطيسي العكسي سيؤدي بدوره إلى نشوء تيار إضافي في ملفات

العضو الدوار عند تردد يساوي تقريبا ضعف تردد التغذية. هذا التيار سينتج عنه عزم مضاد للعزم الناتج عن التتابعية الموجبة وبالتالي فإن هذا قد يؤدي إلى تسخين زائد لملفات المحرك وتلف الماكينة.

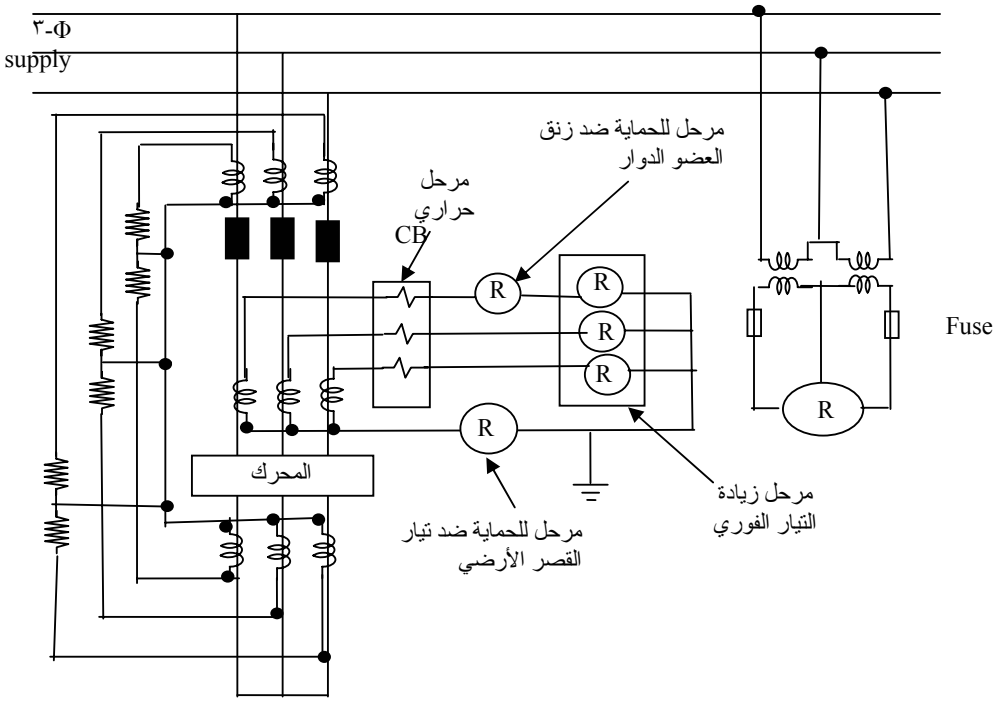
بشكل عام فإن الحالات الشائعة التي تؤدي إلى عدم توازن في جهد التغذية هي وجود أحمال أحادية الوجه بكثرة في الشبكة أو احتراق أحد المصهرات المستخدمة لحماية المحرك ضد تيارات القصر الكبيرة. وتعتبر حالة احتراق أحد المصهرات من أسواء حالات عدم التوازن لأن المحرك سيعمل في هذه الحالة بوجهين فقط $\Phi - ٢$. وبالتالي فإن التيار الذي سيمر في كل من الوجهين المتصلين بمصدر التغذية قد يصل إلى ٢٥٠ % من التيار المقنن للمحرك. إذن فإن مرحل زيادة جهد التتابعية السالبة يجب أن يعمل في هذه الحالة في وقت زمني أقل من الوقت اللازم لتشغيل المرحل الحراري.

أخيرا لحماية المحركات من تيارات القصر العالية فإننا نستخدم مصهرات (هذا ينطبق فقط على المحركات المتوسطة الحجم) . والأسباب الرئيسية وراء استخدام المصهرات لفصل تيارات القصر العالية هي :

١. زمن فصل المرحل الحراري ومرحل زيادة التيار كبير ويتم عند مستويات عالية من التيار. وتيار القصر يكون عادة كبير وهذا قد يؤدي إلى تلف ملفات المحرك.
٢. ملامسات contactors المرحل لا تمتلك القدرة الكافية لفصل تيارات القصر العالية ولذلك نستخدم المصهرات من نوع ((High rupture capacity fuse (HRC) .

٤.٦ حماية المحركات الكبيرة Large motor protection

وقاية المحركات الكبيرة تختلف نوعا ما عن وقاية المحركات المتوسطة الحجم (نقصد بالمحركات الكبيرة المحركات ذات مقنن أكبر من HP ١٠٠٠) وحماية هذه المحركات يوضحه شكل (٦ ـ ٣).



شكل (٦ ـ ٣) الحماية الأساسية لمحرك HP ٥٠٠٠

ومن هذا الشكل نلاحظ :

- بدلا من استخدام المصهرات لحماية المحركات متوسطة الحجم نستخدم هنا القواطع الآلية Circuit Breakers ومرحلات زيادة التيار الفورية Instantaneous O/C relays للوقاية ضد تيارات القصر العالية. يتم ضبط المرحلات عادة عند % ١٨٠ من تيار البدء للمحرك.
- وللوقاية ضد تيار القصر بين أحد أوجه المحرك والأرض نستخدم مرحل خطأ أرضي earth fault relay . ويتم ضبط هذا المرحل للعمل عند تيار يساوي % ٤٠ - % ١٠ من التيار المقنن للمحرك.
- بالإضافة إلى هذا فإننا نستخدم الوقاية التفاضلية لوقاية المحرك من تيارات القصر المنخفضة نسبيا بسبب خطأ داخلي.

- أيضا نستخدم في بعض الأحيان مرحل للحماية ضد زنق العضو الدوار Locked rotor relay .فمثلا المحركات التي تستخدم في مصانع الدلفنة Rolling plants والكسارات أو المحركات التي تدير النواقل Conveyors حيث يكون المحرك عرضة للزنق والعرقلة. كذلك نستخدم مرحل الحماية ضد زنق العضو الدوار في المحركات التي تدير مضخات مياه المجاري (الصرف) بسبب تعرضها للانسداد في بعض الأحيان.
- في بعض الحالات الخاصة جدا يتم استخدام مرحلات نقص التيار Under current relay . التطبيق المثالي هو حماية محرك يدير مضخة غاطسة. حيث يتم تبريد المحرك بواسطة الماء الذي تضخه المضخة. ففي حالة جفاف البئر مثلا واستمرار دوران المحرك (بدون ماء) فإن المحرك سيسخن بالرغم من أن تيار الحمل سيكون أقل من التيار المقنن. عادة يتم ضبط هذا المرحل عند ٤٠ % من التيار المقنن للمحرك.

- Electrical Machines Devices and Power Systems, ٣rd edition Prentice Hall, ١٩٩٧.
- Electrical Power Systems, J. M. Harison, Prentice Hall, ١٩٩٦.
- Application Guide for Industrial Generator Protection, GEC Company, ١٩٩٥.
- Transformer Protection Application Guide, Basler Electric Company, ١٩٩٦.
- Application Guide Lines for Protection of Industrial Three Phase Motor, GEC Company, ١٩٩٥.
- A.R.Van C. Warrington, Protective Relays; Their Theory and Practice, Volume Two, Third Edition, London, ١٩٧٧.

- كتاب حماية منظومات توزيع القوى الكهربية للدكتور عبد المنعم موسى والدكتور آسر زكي ، شركة منشورات دار الراتب الجامعية، بيروت، ١٩٨٧ .
- كتاب موسوعة هندسة الحماية الكهربية للمهندس محمد خضير حمادي ، دار الراتب الجامعية، بيروت، لبنان.
- مذكرة وقاية النظم الكهربية للدكتور محمد محمود عبد الغني،قسم التقنية الكهربية، الكلية التقنية بالدمام، ١٩٩٦.

الموضوع **رقم الصفحة**

الفصل الأول : أساسيات الحماية الكهربية

١. ١ مقدمة ٤

١. ٢ المصطلحات المستعملة في حماية النظم الكهربية ٥

١. ٣ دور أجهزة الحماية (المرحلات) ٨

١. ٤ وظيفة وأسلوب عمل أجهزة الحماية ١٠

١. ٥ المباديء الأساسية لعمل دائرة الحماية ١١

١. ٦ المتطلبات العامة لأجهزة الحماية ١٣

١. ٧ الحماية الرئيسية والحماية الاحتياطية ١٨

الفصل الثاني : المصهرات والقواطع الكهربائية والمرحلات

٢. ١ مقدمة عامة ٢٠

٢. ٢ الأجهزة المستخدمة في نظام الحماية ٢٠

الجزء الأول : المصهرات ٢١

٢. ٣ المصهرات ٢١

٢. ٣. ١ مقدمة ٢١

٢. ٣. ٢ أهم المتطلبات من المصهرات ٢٣

٢. ٣. ٣ تصنيف المصهرات ٢٨

٢. ٣. ٤ المنحنيات الخصائصية للمصهرات المحددة للتيار ٣٢

٢. ٣. ٥ التنسيق بين المصهرات وبعضها ٣٥

٢. ٣. ٦ التنسيق بين المصهرات والقواطع ٣٩

الجزء الثاني : القواطع الكهربائية ٣٩

٢. ٤ القواطع الكهربائية ٣٩

٢. ٤. ١ مقدمة ٣٩

٢. ٤. ٢ مواصفات القواطع ٤١

٢. ٤. ٣ إخماد القوس الكهربي ٤٢

٢. ٤. ٤ تصنيف القواطع ٤٥

٢. ٤. ٥ قواطع الجهد المنخفض ٤٦
٢. ٤. ٦ التنسيق بين القواطع ٥٢
٢. ٤. ٧ قواطع الجهد المتوسط ٥٤
- القواطع الزيتية ٥٤
- القواطع الفراغية ٥٧
٢. ٤. ٨ قواطع سادس فلوريد الكبريت ٦٠
الجزء الثالث : المرحلات ٦٤
٢. ٥ المرحلات ٦٤
٢. ٥. ١ مقدمة ٦٤
٢. ٥. ٢ الطريقة العامة لعمل منظومة الحماية ٦٤
٢. ٥. ٣ أنواع المرحلات ٦٦
٢. ٥. ٤ الحماية ضد زيادة التيار ٧٥
٢. ٥. ٥ المرحلات المسافية ٨٠
٢. ٥. ٦ المرحلات الاتجاهية ٨٢

الفصل الثالث: حماية التركيبات الكهربائية

٣. ١ مقدمة ٨٧
٣. ٢ حماية المغذيات ٨٧
٣. ٢. ١ حماية الخطوط الشعاعية المغذاة من مصدرين ٨٧
٣. ٢. ٢ حماية الخطوط الحلقية المغذاة من مصدر واحد ٩١
٣. ٢. ٣ حماية الخطوط المربوطة على التوازي ٩٣
٣. ٣ التنسيق بين الموصلات ووسائل الحماية ٩٤
٣. ٤ حماية الشبكات الكهربية ٩٧
٣. ٥ حماية دوائر التوزيع ضد الخطأ الأرضي ١٠٠
٣. ٥. ١ نظم حماية دوائر التوزيع الأولية (جهود متوسطة) ١٠٠
٣. ٥. ٢ نظم حماية دوائر التوزيع الثانوية ١٠٢
٣. ٦ حماية الأجهزة الكهربية المستعملة في التسخين ١٠٤

الفصل الرابع : حماية المحولات الكهربائية

٤. ١ مقدمة ١٠٥
٤. ٢ أنواع الأخطاء وتأثيرها ١٠٥
٤. ٣ الحماية التفاضلية ١٠٦
٤. ٣. ١ نظرية عمل الحماية التفاضلية ١٠٧
٤. ٤ حماية محولات القدرة باستخدام الحماية التفاضلية ١٠٩
٤. ٤. ١ الحماية التفاضلية المنفصلة ١٠٩
٤. ٤. ٢ الحماية التفاضلية المتكاملة ١١٢
٤. ٥ حماية المحول ضد زيادة الحمل ١١٨
٤. ٦ جهاز البوخولز ١١٨

الفصل الخامس : حماية المولدات الكهربائية

٥. ١ مقدمة ١٢٢
٥. ٢ أعطال المولدات ١٢٣
٥. ٢. ١ الأعطال الميكانيكية ١٢٣
٥. ٢. ٢ الأعطال الكهربية ١٢٣
٥. ٢. ٣ أعطال أخرى ١٢٤
٥. ٣ الحماية الأساسية للعضو الثابت ١٢٤
٥. ٣. ١ الحماية التفاضلية ١٢٤
٥. ٣. ٢ حماية ملفات العضو الثابت بواسطة مرحل الخطأ الأرضي ١٢٦
٥. ٤ حماية المولدات ضد القصر بين اللفات ١٢٨
٥. ٥ حماية المولدات ضد زيادة الحمل ١٢٩

الفصل السادس : حماية المحركات الكهربائية

٦. ١ مقدمة.....١٣٠
٦. ٢ الأخطاء المحتملة الحدوث في المحركات الكهربية.....١٣١
٦. ٣ حماية المحركات متوسطة الحجم من التيار المفرط.....١٣٢
٦. ٣. ١ كيفية اختيار مرحلات الحمل الزائد.....١٣٢
٦. ٤ حماية المحركات الكبيرة.....١٣٥

المراجع ١٣٧

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