

حماية النظم الكهربائية

المصهرات و القواطع الكهربائية و المرحلات

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

الأهداف:

عند إتمام دراسة هذه الوحدة يتمكن المتدرب بإذن الله سبحانه من :

١. فهم الأنواع المختلفة للمصهرات وخصائصها
٢. الإلمام بالقواطع الآلية المختلفة من حيث تركيبها وطرق 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 الكهربائية من خلال المرحلات والقواطع.

مستوى الأداء المطلوب :

أن يكون المتدرب قد أتم بأساسيات ومفاهيم الحماية الكهربائية بنسبة لا تقل عن ٩٠٪.

الوقت المتوقع للتدريب : ١٥ ساعة

الوسائل المساعدة:

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

متطلبات الجدارة :

يجب أن يكون المتدرب ملماً بأساسيات الحماية الكهربائية.

١.٢ مقدمة عامة

إن عزل الأعطال التي تحدث على منظومة القوى الكهربائية يؤدي إلى التقليل من فقدان التغذية للمنشآت والمعامل الاقتصادية كما يؤدي أيضاً إلى الحد من التلف الذي يحصل على التجهيزات الخاصة بمنظومة القوى الكهربائية. 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 الكهربائية.
٢. يجب أن يملك كل من هذه الأجهزة وسيلة تحكم بإمكانها 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 الكهربائية 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

٣.٢ المصهرات Fuses

١.٣.٢ مقدمة

يعرف المصهر بأنه جهاز حماية للدوائر الكهربائية من زيادة التيار الناتجة عن دوائر القصر أو الحمل 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 الكهربائية ضد زيادة التيار وهو أكثر أجهزة الحماية استخداماً لحماية نظم القوى الكهربائية الحديثة وذلك لسببين : السبب الأول هو رخص ثمنه والسبب الثاني هو أن المصهر يعتبر أكثر هذه الأجهزة عمراً حيث إنه يستطيع أن يؤدي وظيفته على أتم وجه بعد مضي فترة تتراوح بين ١٥ و ٢٠ سنة بدون الحاجة إلى صيانة لأنه - على عكس مفاتيح القطع - لا يحتوي على أجزاء متحركة.

وتحدد مقننات أي مصهر بناء على قيم الجهد والتيار الحمل والتيار القصر عند موقع المنصهر في الشبكة الكهربائية. 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 الكهربائي (Arc Extinction) ويتصل العنصر المصهر بنهايات الأسطوانة. كما يعرف عنصر المصهر أيضاً 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 العنصر القابل للانصهار.

٢. التيار النظامي أو المقنن Current Rating

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

٣. تيار المصهر الأصغر (Minimum Fusing Current)

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

٤. عامل المصهر (Fusing Factor)

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

تيار الصهر الأصغر

عامل الصهر = _____ وهذا العامل أكبر من الواحد
التيار المقنن

٥. زمن قبل حدوث القوس Pre – Arcing Time

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

٦. زمن القوس Arcing Time

وهو الزمن بين لحظة انقطاع العنصر المصهر والفصل النهائي للدائرة.

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 المصهورتين 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

تتضمن 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 عالياً جداً.

٢. يجب حماية الأجهزة المحيطة من تيار العطل ومن القدرة الحرارية المنتشرة عند عمل المصهر.

٣. بعد عمل المصهر من الضروري وجود عازليه 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.

٣.٣.٢ تصنيف المصهرات

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

أ. تصنف المصهرات على حسب النوع إلى :-

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 الإلكترونية أو دوائر التحكم أو الأجهزة المشابهة 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 الكهربائي (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.

ب. وكذلك تقسم المصهرات من وجهة نظر الجهد إلى :-

• مصهرات الجهد المنخفض الذي لا يزيد عن ٦٦٠ فولت.

• ومصهرات الجهد العال للجهود الأكبر من ذلك.

ج. بينما تقسم المصهرات بالنسبة لتعاملها مع التيار إلى :-

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

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

أ- المصهرات التي لا تحد من التيار (Non-Current Limiting Fuses)

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

١. مصهرات الطرد (Expulsion Fuses)

تتكون هذه المصهرات من عنصر صهر داخل أنبوبة مصنوعة من الفبر أو مسحوق حامض البوريك المضغوط، ولها نهاية مفتوحة. وعند انصهار العنصر يمتد القوس الكهربائي بين طرفي المصهر. ونتيجة لدرجة الحرارة العالية لهذا القوس ($4000 - 5000^{\circ}\text{K}$) تتولد من المادة المصنوعة منها الأنبوبة كمية كبيرة من الغازات ترفع الضغط داخل الأنبوبة وتساعد على تخفيض درجة التأين في مسار القوس الكهربائي مما يؤدي إلى ارتفاع سريع في جهد انهيار الوسط بحيث يتحمل الجهد المستعاد العابر ويمنع إعادة إشعال القوس بعد انقطاعه عند مرور التيار بالصففر. 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 أيضاً إمكانية استغلال انصهار العنصر وشدة اندفاع الغازات في إسقاط المصهر بأكمله إلى أسفل بحيث تصبح أطراف المصهر معزولة تماماً عن جهد الخط ويعطي المصهر في وضعه هذا دليلاً مرئياً واضحاً لانصهاره مما يسهل مهمة تحديد مكان الفصل.

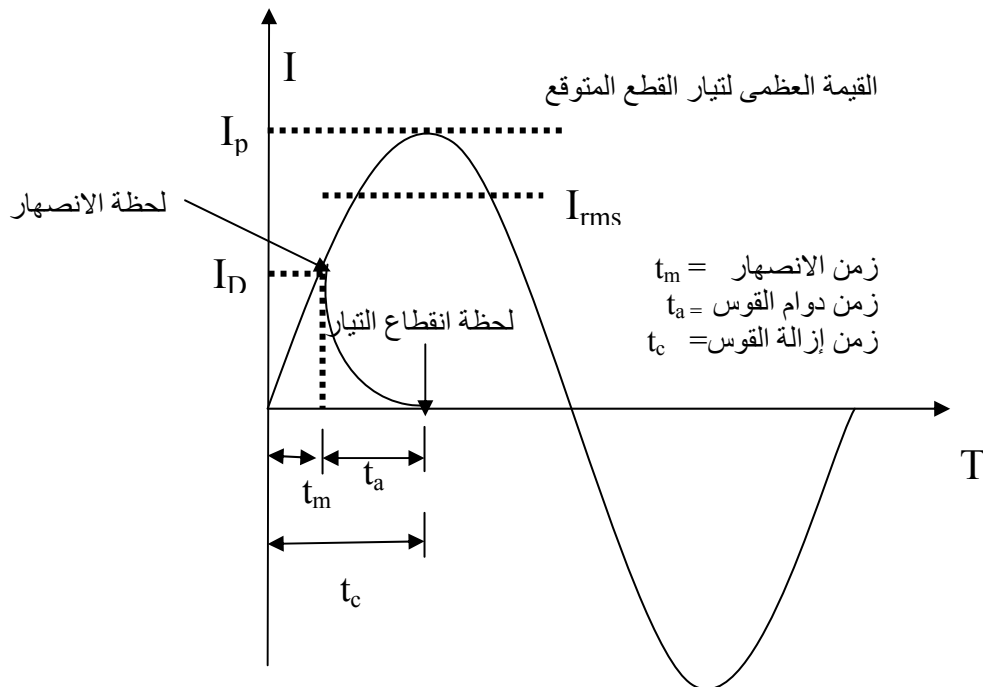
٢. المصهرات المفرغة (Vacuum Fuses)

لا تختلف هذه المصهرات في تصميمها وتشغيلها عن مصهرات الطرد إلا في أنها محكمة تماماً ولا يعتمد قطع التيار على طرد الغازات وإنما يعتمد على العزل الكهربائي الممتاز للفراغ الذي يمنع إعادة إشعال

القوس الكهربى بعد مرور التيار بالصفى. وتصمم أقطاب هذه المصهرات بنفس الطريقة التى تصمم بها أقطاب القواطع المفرغة بحيث يمكن تحريك القوس الكهربى على سطحها . والميزة الأساسية لهذا النوع من المصهرات هى صغر حجمها وإمكانية استخدامها فى الأماكن المغلقة.

ب . المصهرات التى 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 نصف الدورة الأولى الشكل (١.٢). وأقصى تيار (I_D) يسمح المصهر بمروره يعرف بتيار القطع (Cut - Off Current) أو بتيار الذروة المسموح بمروره. والحد من قيمة تيار القصر يقي المعدات من التلف نتيجة للإجهادات الحرارية والكهروميكانيكية. فمعيار الطاقة الحرارية المولدة فى الشبكة أثناء فترة الخطأ هو حاصل ضرب مربع القيمة الفعالة للتيار المار فى المصهر والزمن المنصرف حتى إزالة القصر ($I^2 t$) .

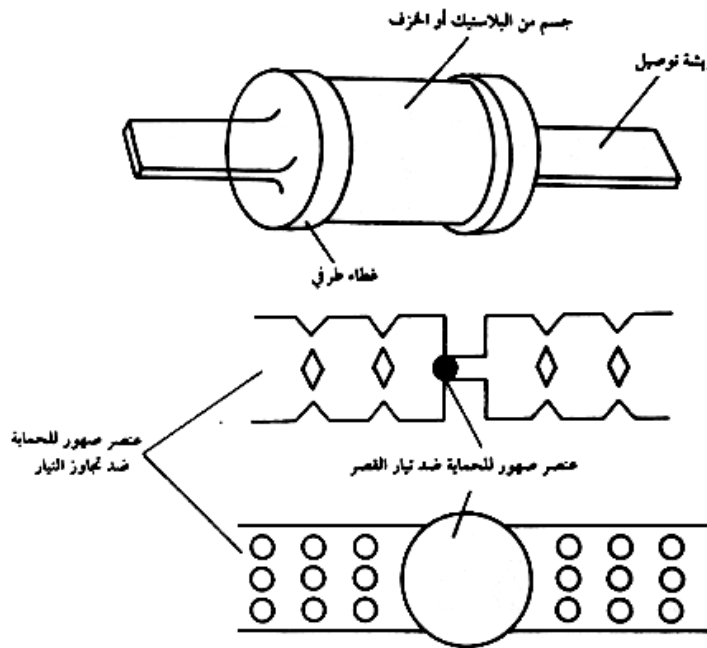


الشكل (١ - ٢) مبدأ الحد من تيار القصر للمصهرات المحددة للتيار

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 أيضاً بمصهرات ذات سعة قطع عالية (High Rupturing Capacity – HRC- Fuses).

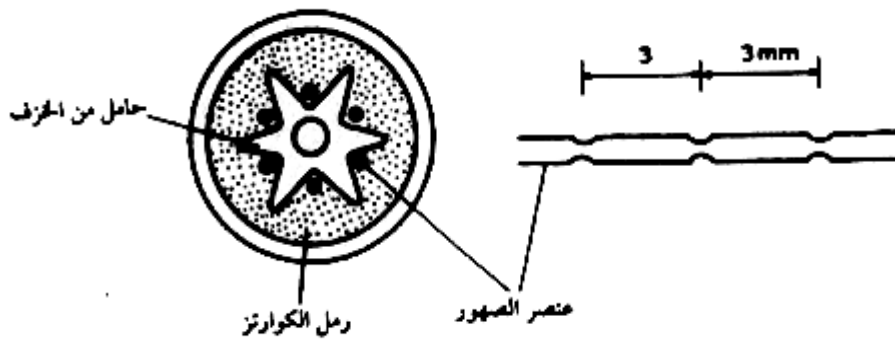
تتكون هذه المصهرات أساساً من جسم قد يكون من البلاستيك أو من الخزف يحتوي على عنصر معدني (واحد أو أكثر) له خصائص خاصة وكل طرف منه موصل بغطاء معدني محكم. ويملاً الجسم بمسحوق من الكوارتز، وقد يختلف تصميم عنصر الصهور في مصهرات الجهد المنخفض عنه في مصهرات الجهد العالي ولكن مبدأ التشغيل الذي يؤدي إلى الحد من 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. ٢) وذلك للحماية ضد تيارات القصر. والجزءان 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 عكسياً بقيمة التيار. وأهم استخدام لهذا النوع من المصهرات هو لحماية الدوائر التي بها محركات مباشرة البدء.



الشكل (٢. ٢) مصهر الجهد المنخفض 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 مزدوجاً ويتكون من عدد من الأسلاك من الفضة أو النحاس المطلي بالفضة موصلة على التوازي وموضوعة في ثقب حول أسطوانة من الخزف كما هو مبين في الشكل (٢ - ٣). وكل سلك به ضيق في المقطع كل ثلاثة مليمترات تقريباً على مدى طوله. وتوضع الأسطوانة داخل أنبوبة من الصيني لها طبقة خارجية زجاجية مملوءة بمسحوق الكوارتز.



الشكل (٢ - 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 ليتسبب بعيداً على جسيمات رمل الكوارتز الباردة نسبياً. 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 جداً 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 جداً وليست ذات أهمية في هذا النوع من المصهرات.
- ارتفاع في الجهد عبر المصهر (وهو الجهد عبر القوس) وهذا هو رد فعل محادثة الدائرة عند محاولة اقلال التيار المار بها. وتعطي المواصفات الدولية [IEC-282] 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.

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

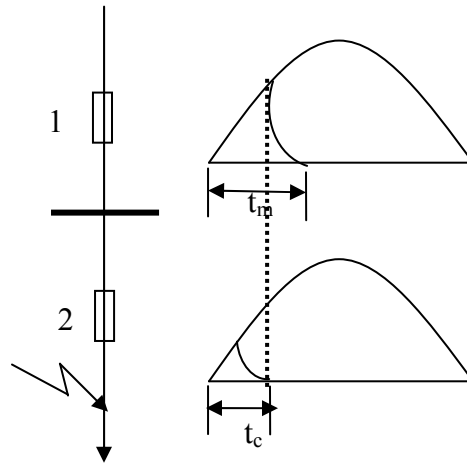
ويوضح الشكل (٢- ٤) بعض الأشكال والأنواع المختلفة للمصهرات المستعملة في الدوائر الكهربائية المختلفة .



الشكل (٢- ٤) أنواع مختلفة من المصهرات المستخدمة في الدوائر الكهربائية

٤.٣.٢ التنسيق بين المصهرات وبعضها

إذا أردنا أن نحصل على تنسيق في الحماية بين مصهرين (أو أكثر) على التوالي كما هو مبين في الشكل (٢ - ٥)، يجب أن تكون طاقة الإزالة ($I^2 t_c$) للمصهر ٢ الموصل بمغذي الحمل أقل من طاقة الانصهار ($I^2 t_m$) للمصهر ١ الموصل بمغذي المنبع. إذ يجب أن يتحمل المصهر ١ تيار القصر منذ لحظة وقوع القصر حتى إزالته بواسطة المصهر ٢ وذلك دون حدوث أي تغيير في خصائصه.

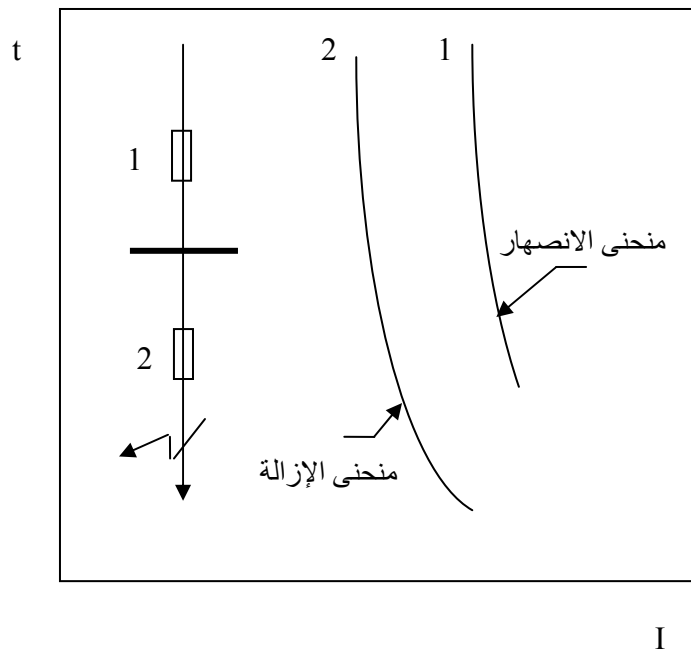


الشكل (٢ - ٥) التنسيق بين مصهرين على التوالي

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 1 : 3 و 1.25 : 1. 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 منحنى الانصهار للمصهر ١ يقع بأكمله فوق منحنى الإزالة للمصهر ٢ كما هو مبين في الشكل (٢ - ٦). ولا يجوز إطلاقاً الخلط بين منحنيات المصهرات المصنعة من قبل صانعين مختلفين.



الشكل (٢ - ٦) استخدام المنحنيات الخصائصية للتنسيق بين مصهرين على التوالي

٣. استخدام جداول انتقاء خاصة تعطيها الشركة المصنعة. فلنأخذ على سبيل المثال نموذجاً من الجداول الخاصة لانتقاء المصهرات المناسبة والمتناسقة لحماية المحولات والمعدات من إحدى كبرى شركات التصنيع (سيمنز). يعطي العمود الأول من الجدول (١ - ٢) خصائص المحول أما العمود الثاني فيعطي القيمة الصغرى للتيار المقنن (I_{Nmin}) للمصهر بحيث يستطيع أن يتحمل التيار الممغنط المندفع (Magnetizing Inrush Current) الخاص بالمحول وأيضاً 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 - ٢) التيارات المقننة لمصهرات ذات الجهد المنخفض (400 V) والتيارات المقننة لمصهرات الجهد العالي (10 – 12 kV) المناظرة لها والمتناسقة معها.

الجدول (٢ - ١)

حدود التيار المقنن لمصهرات الجهد العالي (10 – 12 kV) المستخدمة لحماية المحولات

سعة المحول (kVA)	I_{Nmin} (أمبير)	I_{Nmax} (أمبير)
50	16	16
100	25	40
200	25	63
250	40	63
400	63	100
500	63	100
630	63	160
800	100	200
1000	100	200

الجدول (٢ - ٢)

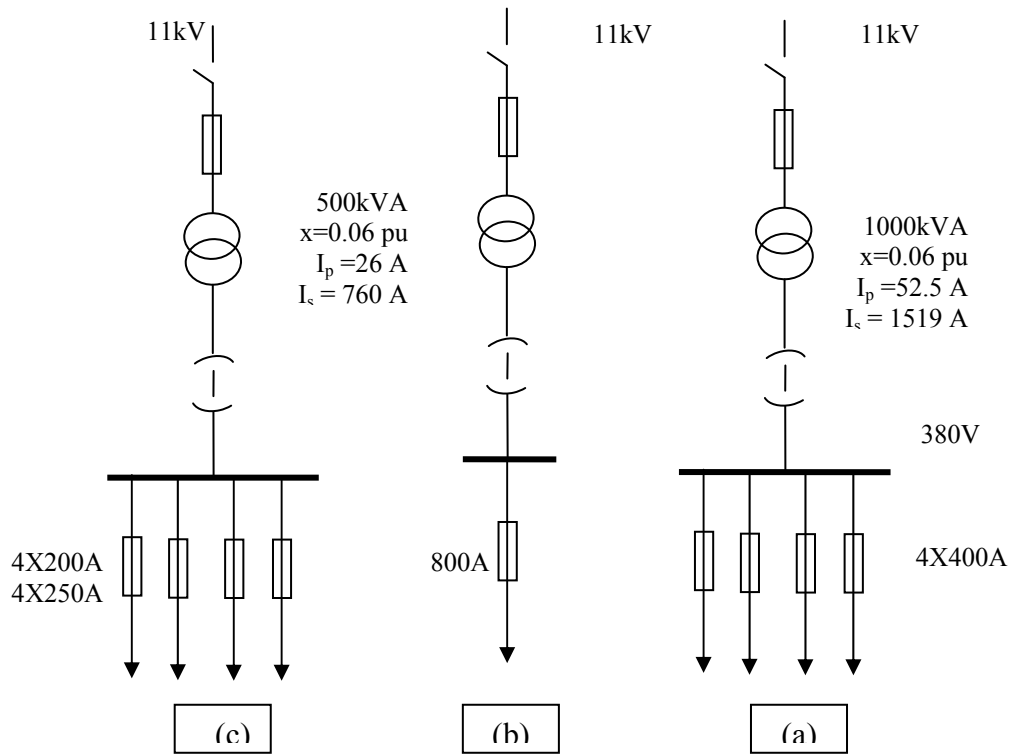
القيم المتناسقة للتيار المقنن لمصهرات الجهد المنخفض (400 V) والجهد العالي (10 – 12 kV)

سعة مصهر الجهد المنخفض (أمبير)	80	125	160	200	250	400	500	?	800	1000
سعة مصهر الجهد العالي (أمبير)	60	25	25	40	63	100	100	160	160	200

وفيما يلي بعض الأمثلة لاستخدام الجداول.

- في الشكل (٢ - ٧ a) : من الجدول (٢ - ٢) نجد أن سعة مصهر الجهد العالي المناظر لمصهر جهد المنخفض سعته 400 أمبير يجب أن تكون 100 أمبير . وبالرجوع إلى الجدول (٢ - ١) نجد أن هذه السعة في الحدود المسموح بها.
- في الشكل (٢ - ٧ b) : ومن الجدول (٢ - ٢) نجد أن سعة مصهر الجهد العالي يجب أن تكون 160 أمبير . ولكننا نجد من الجدول (١ - ٢) أن 160 أمبير أكبر من القيمة القصوى (100 أمبير) المسموح بها ولذلك لا يمكن في هذه الدائرة التنسيق بين المصهرين.

- في الشكل (٢ - ٧ c) : إذا افترضنا أن سعة مصهرات الجهد المنخفض 200 أمبير . نجد أن سعة مصهر الجهد العالي يجب أن تكون 40 أمبير ولكن يتضح من الجدول (٢ - ١) أن هذه القيمة أصغر من القيمة الدنيا المسموح بها (63 أمبير). أما إذا كانت سعة مصهرات الجهد المنخفض 250 أمبير فالسعة المناظرة لمصهر الجهد العالي هي 63 أمبير وتقع داخل الحدود المسموح بها بالنسبة للمحول.



الشكل (٢ - ٧)

الجزء الثاني : القواطع الكهربائية

٤.٢ القواطع الكهربائية

٤.٢.١ مقدمة

من المسلم به أن أي دائرة كهربية تحتاج إلى مجموعة من المفاتيح الكهربائية (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 الكهربائية التي قد تكون دائرة اضاءة بسيطة أو شبكة قوى مترابطة.

والمفاتيح الكهربائية يمكن تقسيمها إلى نوعين أساسين :

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

- (a) مفاتيح قفل أو فتح الدائرة الكهربائية غير المحملة وتعرف بمفاتيح الفصل (Disconnect Switches)
- (b) مفاتيح قفل أو فتح الدائرة المحملة وتعرف بمفاتيح قطع الحمل (Load – Break Switches).

٢. مفاتيح تقوم بفتح أو قفل الدائرة 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 الكهربائي يؤدي إلى قصر بين الموصل والأرض أو بين الموصلات وبعضها.

(c) حالة هبوط خطير في الجهد قد يؤدي إلى توقف المحركات.

وجدير بالذكر أن قيمة التيار وحدها لا تكفي 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 الأمبير. 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. وحيث إن الوظيفة الأساسية للقاطع هي حماية الشبكة الكهربائية ومعداتنا، فإن سرعة الفصل بالنسبة للقواطع أهم بكثير من سرعة الفصل بالنسبة لمفاتيح قطع الحمل. وحيث إنه يجب أيضاً فصل ذلك الجزء فقط من الدائرة التي يقع فيها القصر فإن التنسيق بين القواطع المختلفة في الشبكة له أهمية كبيرة. ونظراً لهذه المتطلبات فإن تصميم القواطع أكثر تعقيداً من تصميم المفاتيح الأخرى. المفتاح الكهربائي (أي كان نوعه) يتكون أساساً من تلامسين أحدهما ثابت والآخر متحرك. والجهاز الخاص بتحريك التلامسين المتحرك (لقفل أو فتح الدائرة) يمكن أن يتكون من ملف كهرومغناطيسي بسيط أو من نظام يعمل بزنبرك أو من نظام هيدروليكي أو نظام يعمل بالهواء أو بالغاز المضغوط.

٢.٤.٢ مواصفات القواطع

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

١. الجهد المقنن Rated Voltage

وهو الجهد الذي تتسبب 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 أساساً لقواطع الجهد المنخفض نظراً لاختلافه عن الجهد المقنن بينما في قواطع الجهود المتوسطة والعالية تكون قيمته تقريباً هي نفس قيمة الجهد المقنن.

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

يمثل هذا الجهد القيمة الفعالة لأقصى جهد له تردد (50 or 60 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 تقريباً.

٥. جهد الصمود الدفعي المقنن Rated Impulse Withstand Voltage

ويمثل هذا الجهد القيمة الذروية لموجة الجهد الدفعي التي يمكن أن يتحملها 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 محيطية طبيعية وذلك لزمن غير محدد بدون أن ترتفع درجة الحرارة عن القيمة القصوى المقتنة 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 قيمة لهذا التيار عند جهود التشغيل المختلفة المسموح بها وكذا عند عامل قدرة يتراوح بين (0.2 and 0.25) 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 مقياساً لتحمل الحراري للقاطع تحت ظروف القصر وله أهمية كبيرة بالنسبة للقواطع المزودة بتأخير زمني في نظام الاعتاق.

٢.٤.٣ إخماد القوس الكهربائي

عندما يراد قطع التيار الكهربائي المار في دائرة، نتيجة لحدوث خطأ في جزء منها، تبدأ آلية القاطع في إبعاد التلامسين بعضهما عن بعض. وعند انفصالهما يستمر مرور التيار بينهما على شكل قوس كهربائي. وأهم وظيفة للقاطع هي إطفاء أو إخماد القوس الكهربائي نهائياً وعندئذ فقط يتم الفصل الفعلي للدائرة الكهربائية.

والقوس الكهربائي هو أساساً عمود من غاز شديد التأين (بلازما) له درجة حرارة مرتفعة (10,000 to 20,000 C°) ومقاومته في حدود مقاومة الجرافيت ($10^{-5} \Omega.m$). ومن خصائص القوس الكهربائي أن مقاومته الكهربائية لكل وحدة طول تنخفض مع زيادة التيار والسبب في ذلك هو أن التوصيل الكهربائي في الوسط المؤين (القوس) يزداد كلما ارتفعت درجة حرارته وازدياد التيار يؤدي إلى ارتفاع في درجة الحرارة. وللقوس الكهربائي خاصية أخرى هامة تستخدم في المساعدة على إخماده وهي الهبوط في الجهد عبر القوس. فإلى جانب اعتماد هذا الهبوط على قيمة التيار ومعدل التبريد فهو يعتمد أيضاً 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 (20 V/cm) بالنسبة للتيارات الأكبر من 100 أمبير فإنه يمكن سحب القوس حتى يصل طوله إلى حوالي 10 سم ثم ينطفئ بعد ذلك.

وينتقل التيار في القوس بواسطة تحريك الأيونات الموجبة والسالبة تحت تأثير المجال الكهربائي. ولإخماد القوس يجب أن يكون معدل تعادل هذه الأيونات أكبر من معدل تكاثرها، ويمكن إخماد القوس 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. 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 الكهربائي تصبح أصعب وهي في هذه الحالات تعتمد أساساً على رفع جهد الهبوط عبر القوس عن طريق إطالة القوس وتقسيمه.

ويمكن إخماد القوس الكهربائي (منع إعادة إشعال القوس) بالطرق التالية :

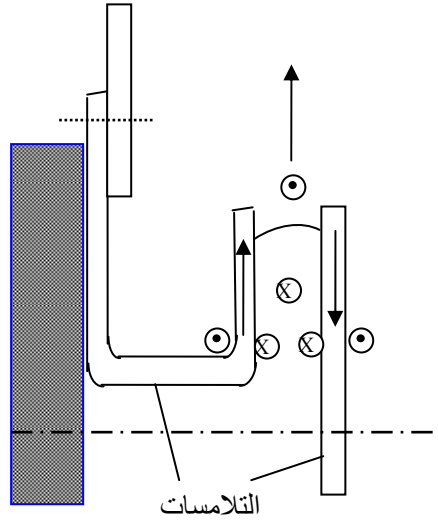
أ. عن طريق تقسيم القوس الكهربائي وهذه الطريقة تستخدم أساساً في القواطع الهوائية ذات الضغط المنخفض.

ب. عن طريق الاستبدال السريع للغاز الحار المؤين بوسط عازل بارد له مقاومة عالية وجهد انهيار مرتفع بحيث يتحمل الجهد المستعاد العابر. وهذه الطريقة تستخدم في قواطع الجهد المتوسط والجهد العالي .

وسيتم تناول هاتين الطريقتين بالشرح فيما يلي:

(أ) إطالة القوس الكهربائي

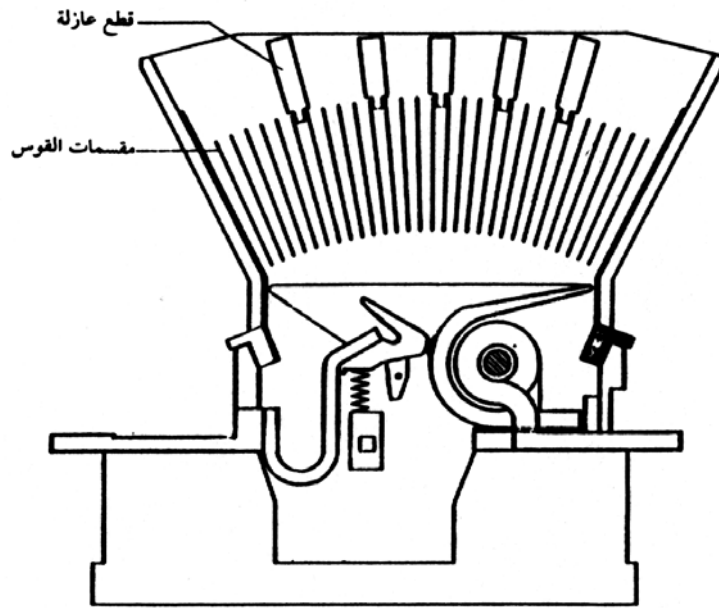
يبين الشكل (٨.٢) القوة التي تؤثر على قوس كهربائي ممتد بين تلامسين. ومصدر هذه القوة هو المجال المغناطيسي الناتج عن مرور التيار في الموصلين. وتقوم هذه القوة بتحريك القوس إلى اليسار ثم إطالته عند وصوله إلى أطراف الموصلين. وفي القواطع يمكن زيادة قيمة هذه القوة بزيادة شدة المجال المغناطيسي وذلك باستخدام ملف يسمى بملف الإطفاء (Blow-Out Coil)



الشكل (٨.٢) القوة الكهرومغناطيسية المؤثرة على القوس الكهربائي

(ب) تقسيم القوس الكهربائي

يتم تقسيم القوس الكهربائي باستخدام ما تسمى بمقسمات القوس (Arc Splitters). وهذه المقسمات عبارة عن مجموعة من الألواح المعدنية موضوعة في الحجرة القوسية كما هو مبين في الشكل (٨.٢). فعندما ينتقل القوس الكهربائي 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 أيضاً وضع قطع من مادة عازلة بين الألواح تقوم بابتعاث كمية كبيرة من الغازات نتيجة لارتفاع درجة حرارتها وتساعد هذه الغازات على إزالة التآين وعلى إخماد القوس الكهربائي.



الشكل (٢ - ٩) قاطع يحتوي مقسمات للقوس

٤.٤.٢ تصنيف القواطع

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

١. قواطع هوائية

٢. قواطع ذات حجم زيت صغير

٣. قواطع مفرغة

٤. قواطع سداس فلوريد الكبريت

٥. قواطع الدفع الهوائي

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

(a) قواطع الجهد المنخفض (حتى 1000 V) Low Voltage C.B.

(b) قواطع الجهد المتوسط (أكبر من 1kV حتى 33kV) Medium Voltage C.B.

(c) قواطع الجهد العالي (أكبر من 33kV حتى 240kV) High-Voltage C..B

Extra High Voltage C.B.

(d) قواطع الجهد الفائق (أكبر من 240 kV)

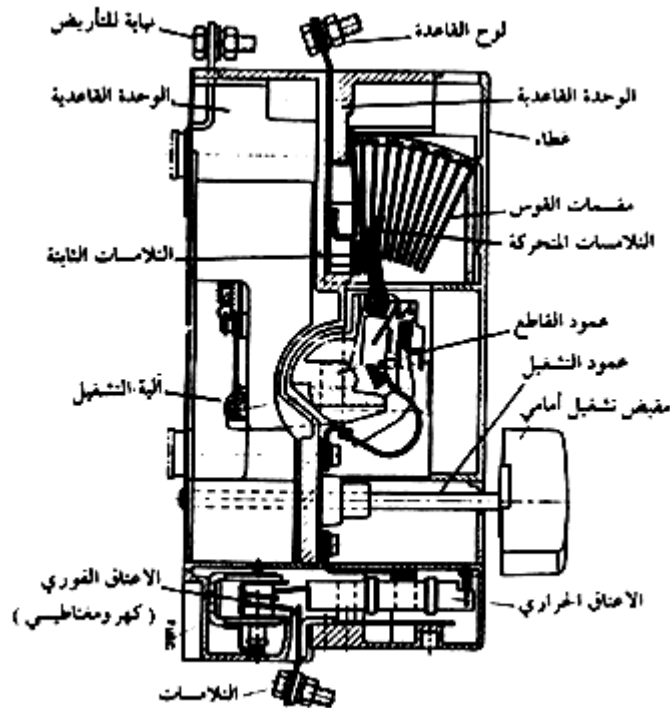
٥.٤.٢ قواطع الجهد المنخفض

إن جميع قواطع الجهد المنخفض هي قواطع هوائية. ويتم إخماد القوس الكهربائي 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 :

(Moulded -Case Circuit Breakers)

١. قواطع ذات صندوق مشكل

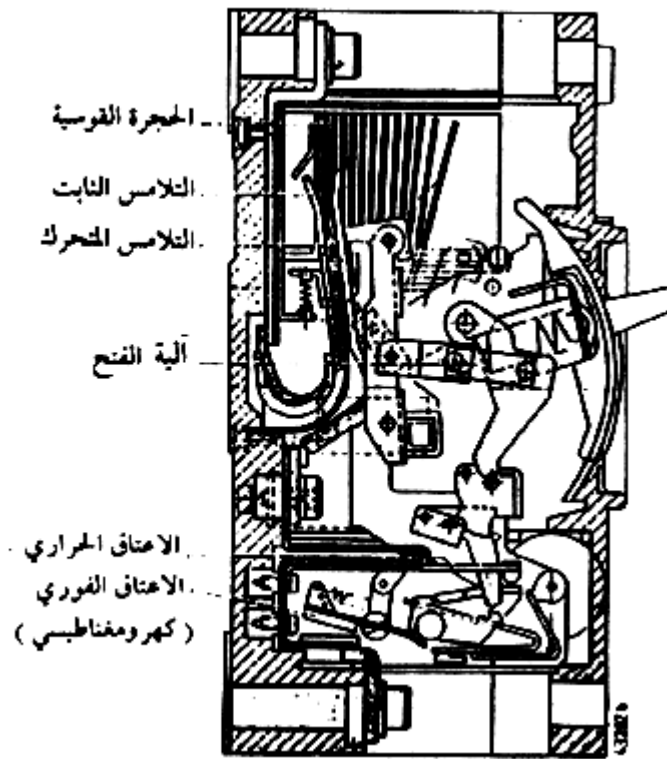
تتكون هذه القواطع أساساً من وحدة متكاملة مغلقة داخل صندوق محكم مصنوع من مادة عازلة. وأغلب هذه القواطع غير قابلة للفك بحيث لا يمكن صيانتها أو استبدال التلامسات. ويجب استبدال القاطع بأكمله في حالة إصابته بأي عطل. وأقصى قيمة لتيار التشغيل المتواصل هي 1200 A ولتيار القصر 10,000 A إلا أن هذه القيم قابلة للزيادة مع التطور التكنولوجي. ويبين الشكل (١٠.٢) مقطعاً لهذا النوع من القواطع من صنع شركة سيمنز.



شكل (١٠.٢) مقطع لقاطع هوائي (سيمنز)

٢. قواطع قوى ذات الجهد المنخفض (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 أيضاً صيانتها وتغيير التلامسات لها. وأقصى قيمة لتيار التشغيل المتواصل هي 4000 أمبير ولتيار القطع 130,000 أمبير إلا أن هذه القيم قابلة للزيادة مع التطور التكنولوجي. ويبين الشكل (٢ - ١١) مقطعاً لهذا النوع من القواطع من صنع شركة سيمنز



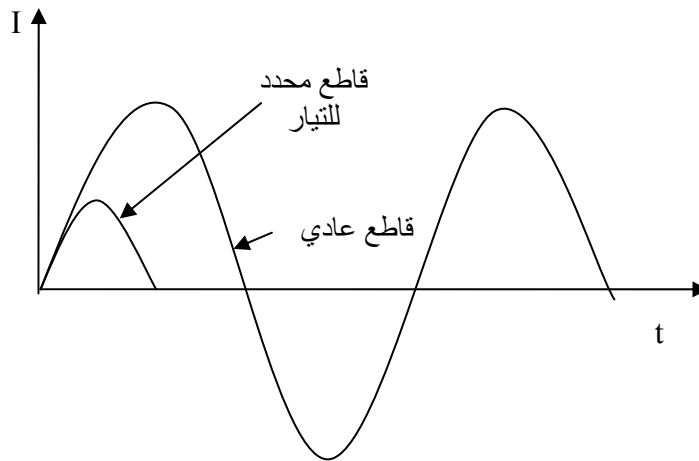
الشكل (٢ - ١١) مقطع لقاطع هوائي مكون من وحدات قياسية (سيمنز)

وتتقسم قواطع الجهد المنخفض إلى نوعين : قواطع غير محددة للتيار وهي قواطع محددة للتيار.

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

في هذا النوع من القواطع لا يعتمد إخماد القوس الكهربائي على مرور التيار بالصفري، وإنما يتم إخماده قبل أن يصل تيار القصر إلى قيمته العظمى في أول دورة له (الشكل ٢ - ١٢) 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 10 مللي ثانية. ونظراً لقصر هذا الزمن فإنها تستخدم كحماية مباشرة للأحمال (أي عند نهايات الدوائر الفرعية) وأيضاً 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.



الشكل (٢ - ١٢) مبدأ الحد من تيار القصر

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

وهي التي يتم فيها إخماد القوس الكهربائي عند مروره بالصفر. وجدير بالذكر أنه إذا لم تزد قيمة تيار القصر عن 50 كيلو أمبير فيفضل استخدام قواطع غير محددة للتيار.

ويتكون الزمن الكلي $Total\ Breaking\ Time\ (T_b)$ لقطع التيار نهائياً في جميع الأقطاب بالنسبة للقواطع من ثلاثة أجزاء هي :

١. زمن الإعتاق $Tripping\ Time\ (T_t)$ وهو الزمن المنقضي بين لحظة حدوث الخطأ ولحظة إعتاق

السقطة. ويتضمن هذا الزمن أي تأخير في الوقت ناتجة عن عمل المرحلات.

٢. زمن التشغيل $Operating\ Time\ (t_o)$ وهو الزمن بين لحظة إعتاق السقطة ولحظة بدء عمل

آخر التلامسات.

٣. زمن دوام القوس الكهربائي Arcing Time (t_a) وهو الزمن المنقضي بين لحظة فتح التلامسين ولحظة انطفاء القوس في جميع الأقطاب.

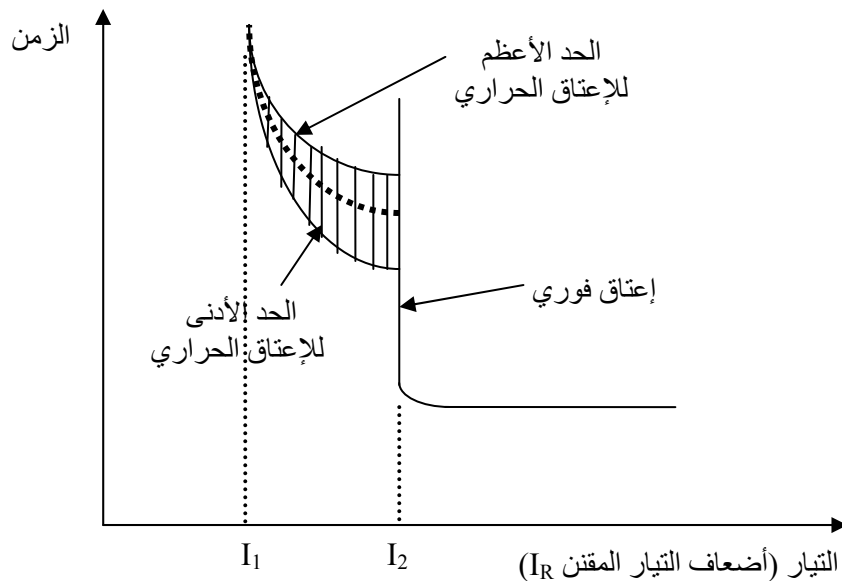
إن الوظيفة الأساسية لنظام الإعتاق هي إطلاق سقاطة خاصة تسمح بعمل آلية فتح تلامسات القاطع مما يؤدي إلى فصل الدائرة التي بها العطل. ويتكون نظام الإعتاق من جزأين هما:

١. جزء حراري بطيء العمل نسبياً (Delayed Thermal Release) وهو يحمي الدائرة ضد تجاوز الحمل.

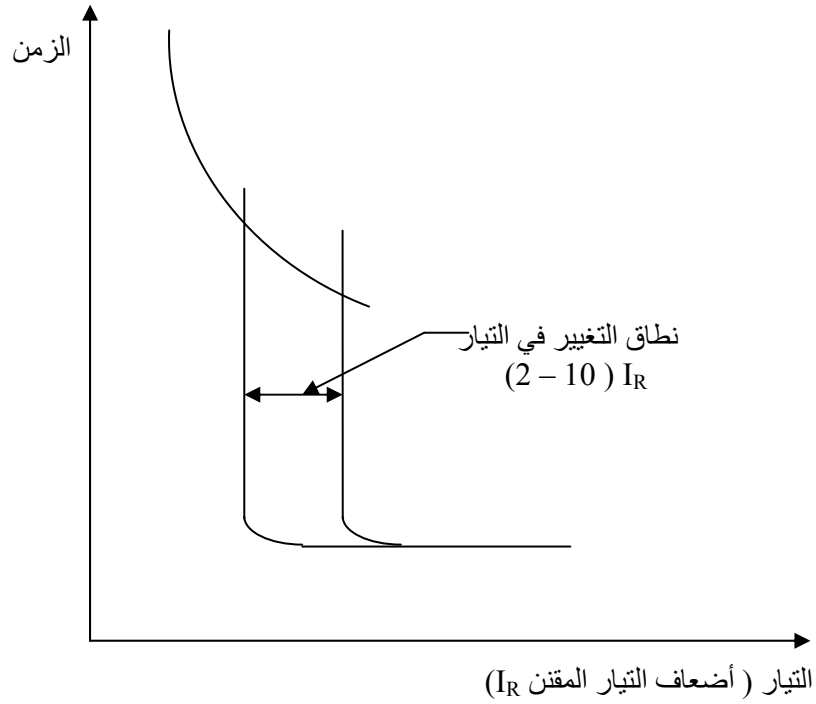
٢. جزء كهرومغناطيسي يعمل إما فورياً (Instantaneous) أو بعد تأخير قصير (Short-Time Delay).

ويمكن تزويد القواطع الهوائية بآلية إعتاق خاصة بانخفاض الجهد وهي تقوم بفتح القاطع عندما ينخفض الجهد إلى قيمة تتراوح بين (30 - 70 %) من الجهد المقنن. ويكون الإعتاق فورياً 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.

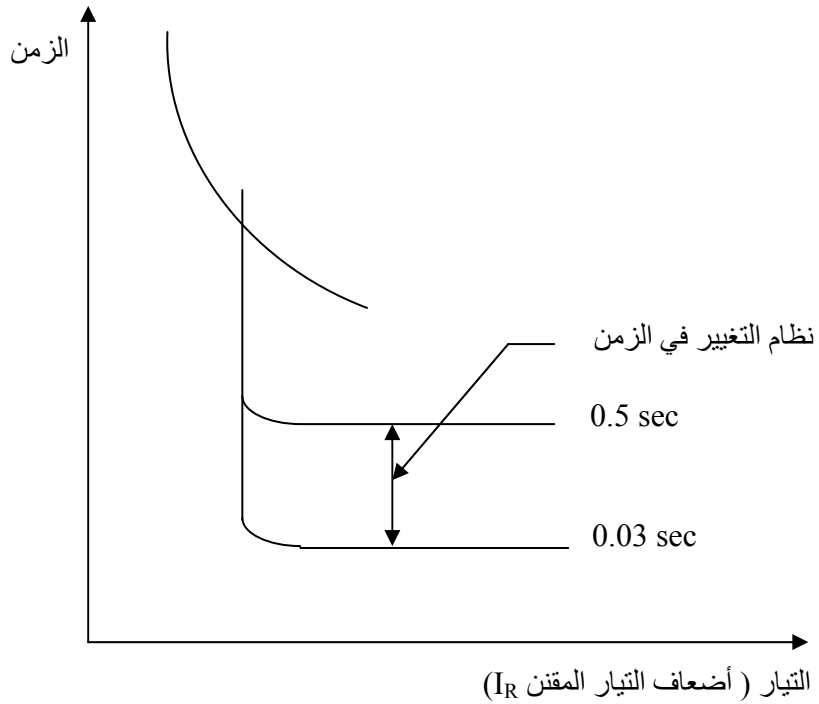
وتبين الأشكال (٢ - ١٣) إلى (٢ - ١٧) منحنيات الإعتاق الخصائصية (tripping Characteristics) لنظم الإعتاق المختلفة. وجدير بالذكر أن هذه المنحنيات تقوم بتقديمها الشركة المصنعة كجزء متكامل من مواصفات القاطع.



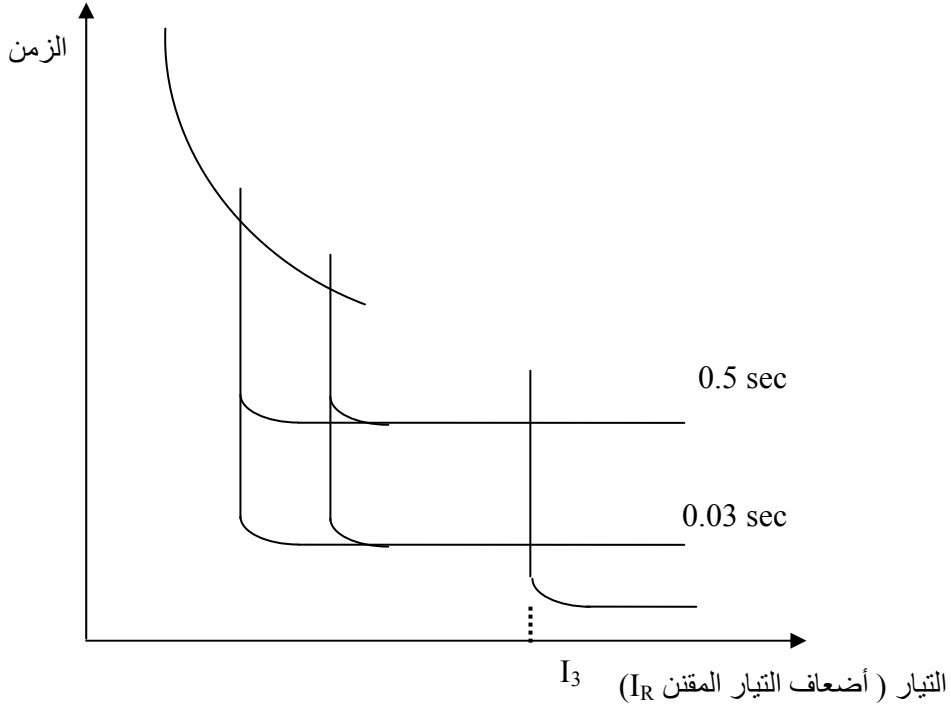
الشكل (٢ - ١٣) إعتاق حراري قابل للانضباط + إعتاق كهرومغناطيسي فوري



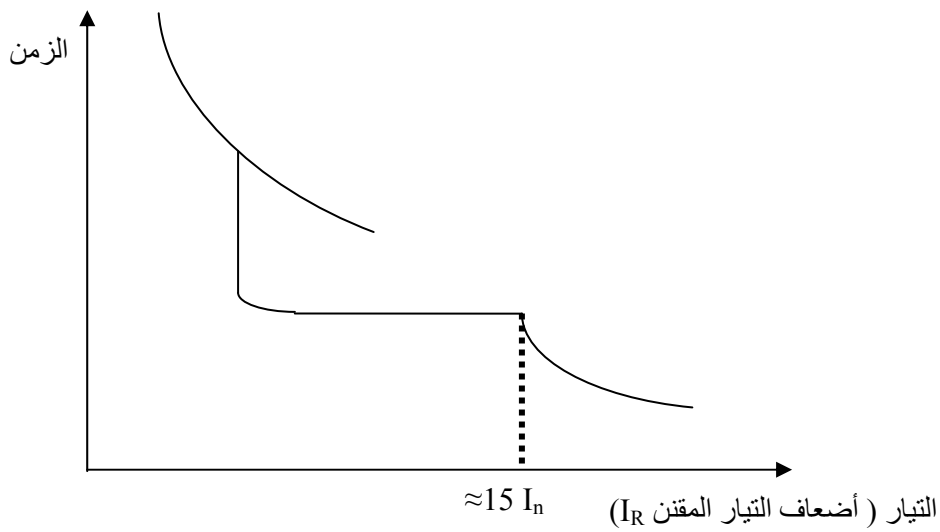
الشكل (٢ - ١٤) إعتاق حراري + إعتاق كهرومغناطيسي فوري قابل للانضباط



الشكل (٢ - ١٥) إعتاق حراري + إعتاق كهرومغناطيسي فوري ذو تأخير قصير



الشكل (٢ - ١٦) إعتاق حراري + إعتاق كهرومغناطيسي ذو تأخير قصير + إعتاق فوري ثابت



الشكل (٢ - ١٧) إعتاق حراري + إعتاق كهرومغناطيسي + فتح كهروديناميكي (خاص بالقواطع المحددة للتيار)

٦.٤.٢ التنسيق بين القواطع

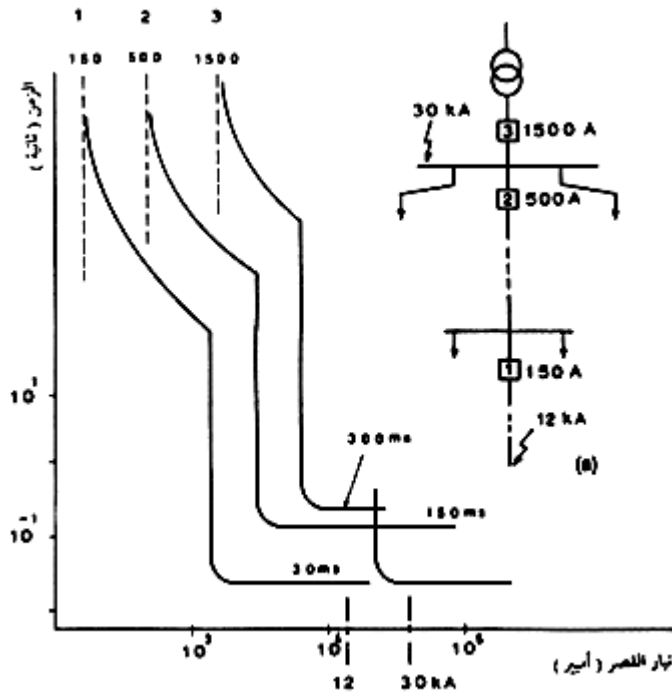
يتضح مما سبق أنه في حالة وجود عدد من القواطع على التوالي يجب أن يزداد زمن الإعتاق في اتجاه منبع القوي. ولكن من ناحية أخرى فإن قيمة تيار القصر تزداد كلما اقترب من موقع القصر من المنبع لذلك فإن زمن الإعتاق يجب أن يقل كلما زادت قيمة تيار القصر. ويمكن تحقيق ذلك باختيار نظم إعتاق مناسبة ثم التنسيق بين منحنيات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

قواطع على التوالي (الشكل ١٨. ٢)

يبين الشكل (١٨ - ٢) 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.

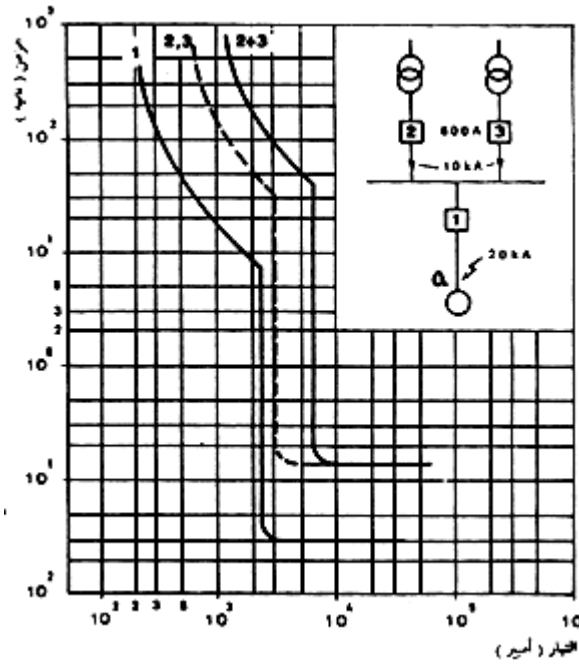
مغذيان متشابهان على التوازي (شكل ١٩.٢)

فلنفرض أن قيمة تيار القصر عند النقطة (a) هي 20 كيلو أمبير و حيث إن هذا التيار ينقسم بالتساوي بين المغذيين فلذلك فقد رحلت منحنيات الإعتاق الخصائصية للقواطع 2 and 3 إلى اليمين بعامل مقداره ٢ بالنسبة لمحور التيار.



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

الشكل (٢ - ١٨) التنسيق بين قواطع على التوالي

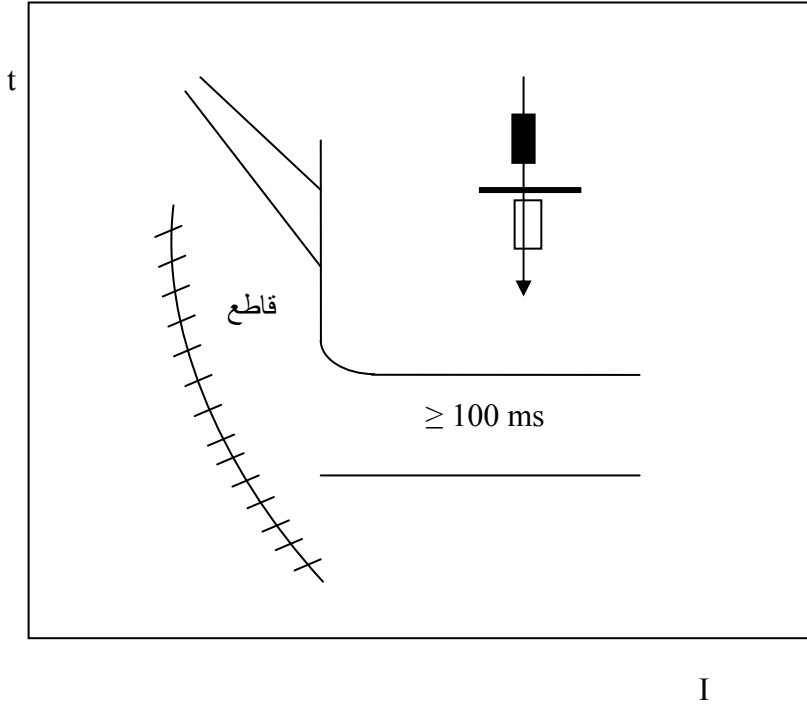


الشكل (٢ - ١٩) مغذيان متشابهان على التوازي

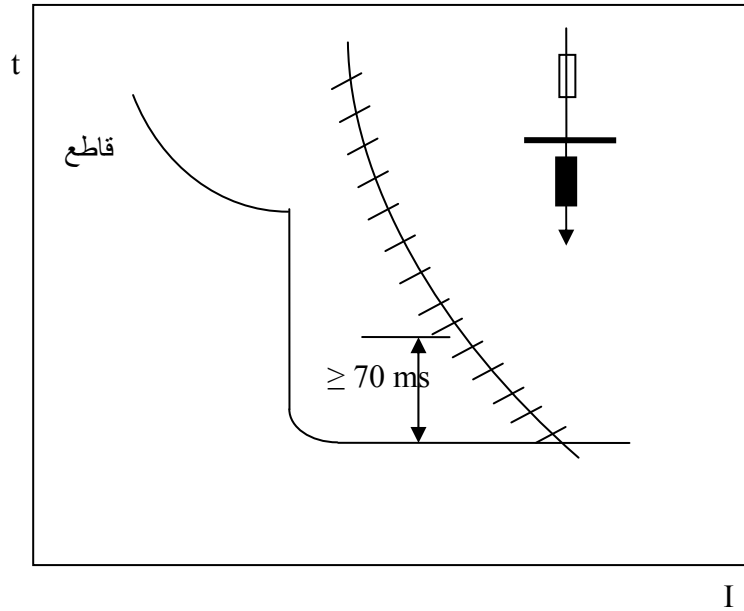
٧.٤.٢ التنسيق بين المصهرات والقواطع

هوامش الأمان :

١. قاطع يليه مصهر كما في الشكل (٢ - ٢٠) نلاحظ من هذا الشكل هوامش الأمان التالية
 - عدم تقاطع المنحنيات الخصائصية في نطاق تجاوز الحمل (حراري).
 - زمن مقداره لا يقل عن 100 مللي ثانية بين المنحنيات في نطاق تيار القصر.
٢. مصهر يليه قاطع كما في الشكل (٢ - ٢١) ومن هذا الشكل نلاحظ الآتي :
 - عدم تجاوز المنحنيات الخصائصية في نطاق تجاوز الحمل.
 - زمن مقداره لا يقل عن 70 مللي ثانية بين المنحنيات في نطاق تيار القصر.

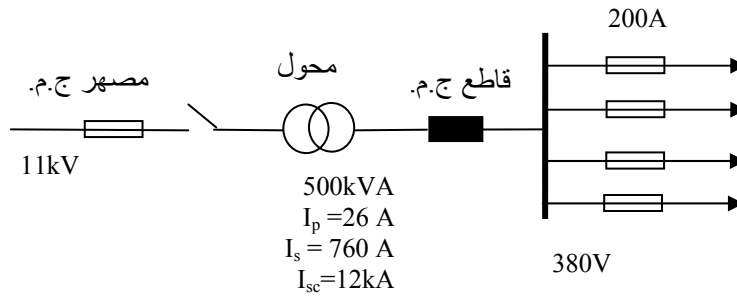


الشكل (٢٠ - ٢) التنسيق بين قاطع ومصهر على التوالي



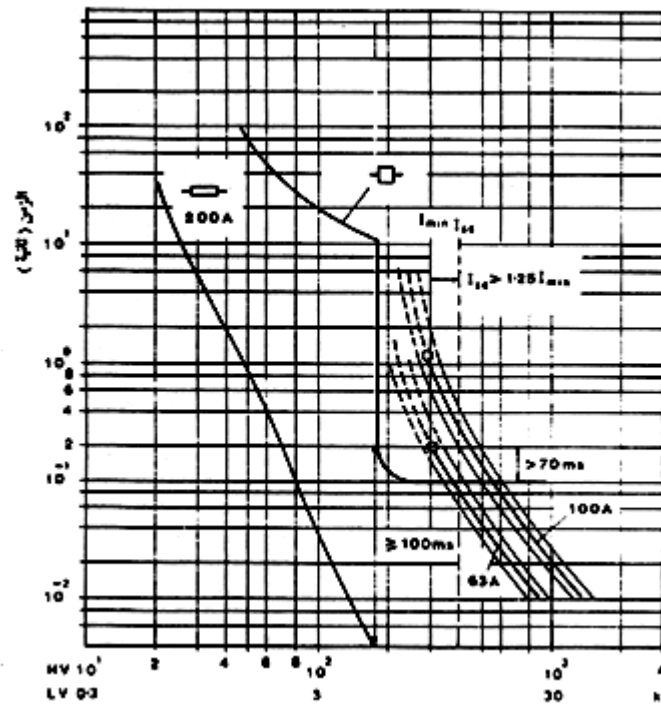
الشكل (٢١- ٢) التنسيق بين مصهر وقاطع على التوالي

مثال : المطلوب اختيار نظام وقاية انتقائي للدائرة المبينة في الشكل (٢٠ - ٢٢).



الشكل (٢٢ - ٢)

لحل هذا المثال ترسم المنحنيات الخصائصية للمصهرات وللقاطع على ورق لوغاريتمي مزدوج كما هو مبين في الشكل (٢٣ - ٢). 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 (٢٣ - ٢) التنسيق بين المصهر والقواطع المبينة في الشكل ٢ - ١٢

من الجدول (٢ - ١) نجد أن التيار المقنن لمصهر الجهد العالي يجب أن يقع بين 100, 63 أمبير. يتم اختيار قيمة تيار الإعتاق الكهرومغناطيسي للقواطع 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 100 أمبير وأن زمن إعتاق القاطع يجب أن يكون 100 مللي ثانية.

٨.٤.٢ قواطع الجهد المتوسط

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

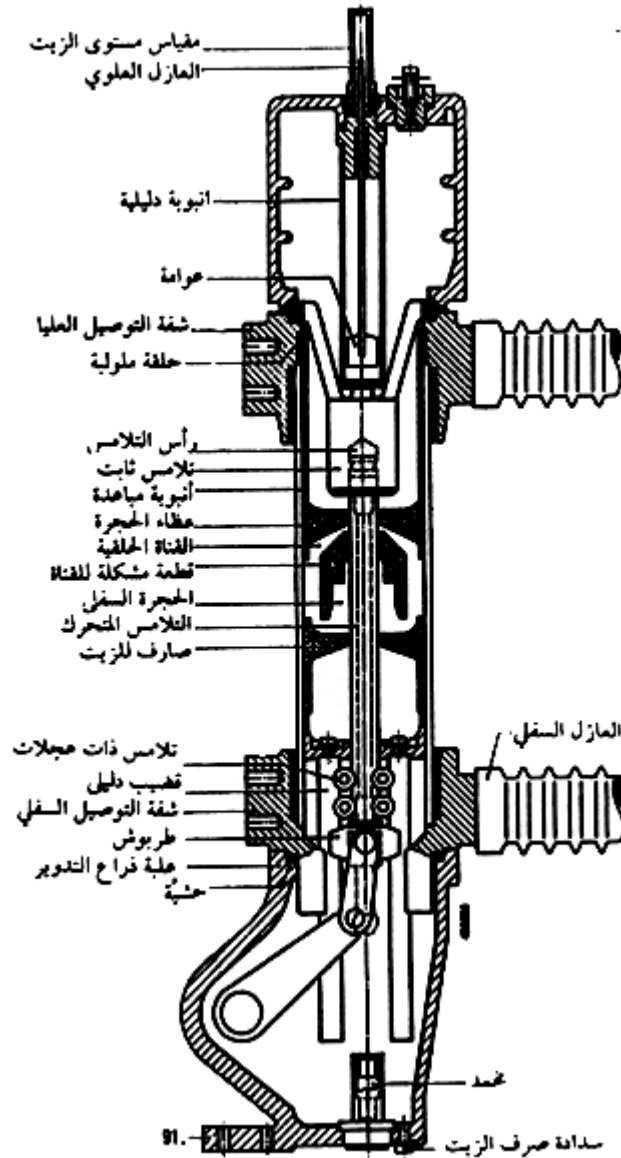
(أ) القواطع الزيتية Oil Circuit Breakers

تنقسم القواطع الزيتية إلى قسمين هما :

- قواطع ذات حجم الزيت الكبير Bulk Oil Circuit Breakers

- وقواطع ذات حجم الزيت الصغير Minimum Oil Circuit Breakers

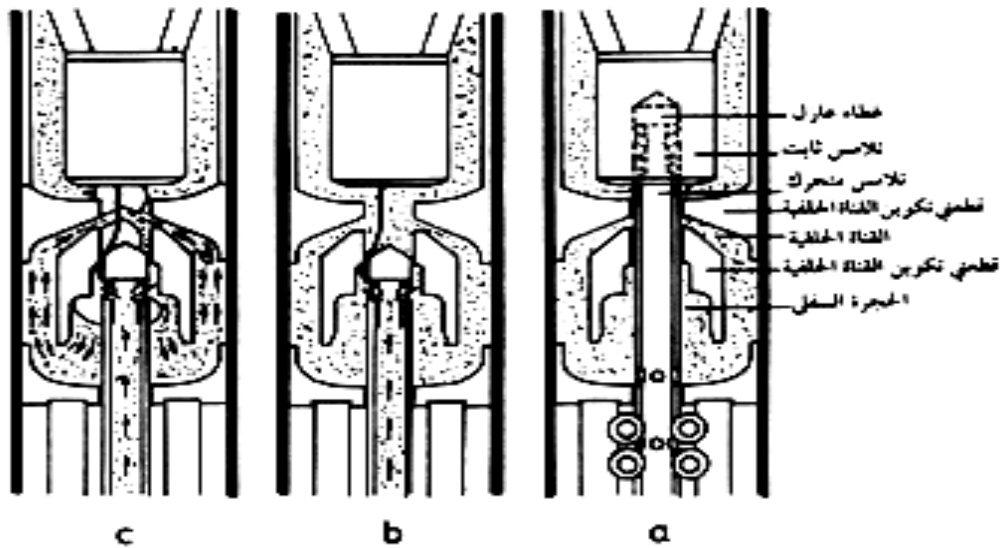
فالقواطع الزيتية ذات حجم الزيت الكبير مشاكلكها كثيرة وخاصة لأنها تستعمل كميات ضخمة من الزيت ولذا أصبحت غير عملية وسوف نتحدث هنا عن أكثر أنواع القواطع الزيتية استعمالاً وهي القواطع الزيتية ذات حجم الزيت الصغير. ويبين الشكل (٢ - ٢٤) مقطعاً كاملاً لأحد الأقطاب لقاطع ذات حجم الزيت الصغير من صنع شركة سيمنز.



الشكل (٢ - ٢٤) مقطع لقاطع ذي حجم الزيت الصغير (سيمنز)

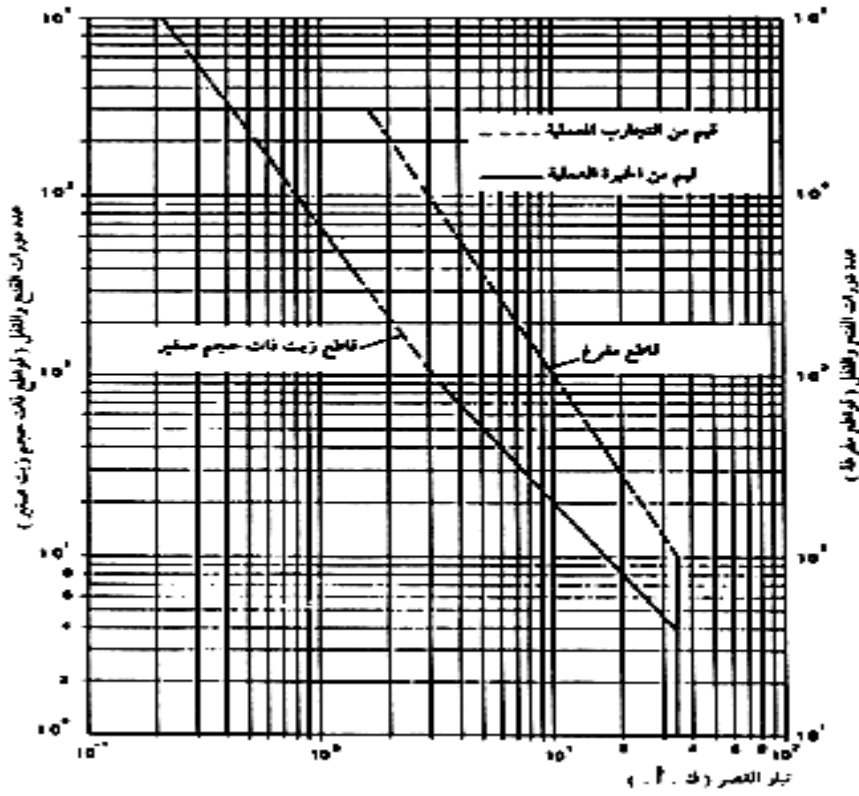
كما يبين الشكل (٢ - ٢٥) a مقطوعاً للجزء الخاص بإخماد القوس الكهربائي لقاطع زيت صغير من صنع شركة سيمنز. ويتكون القاطع من تلامسين أحدهما ثابت والآخر متحرك. فالتلامس المتحرك مكون من قضيب أجوف مزود بغطاء عازل. وعندما يفترق التلامسان يحدث القوس الكهربائي بينهما ويتم سحب طرفه الأسفل إلى داخل الحجرة السفلى نظراً لوجود الغطاء العازل على القضيب المتحرك. وكما سبق أن ذكرنا ينطفئ القوس تلقائياً عند مرور التيار بالصففر ولكنه يجب في نفس الوقت إزالة آثار التأين ورفع جهد الانهيار للوسط المتواجد بين التلامسين وذلك لضمان عدم إعادة إشعال القوس الكهربائي 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 تأثيراً مباشراً على الطرف الأسفل للقوس الكهربائي الشكل (٢٥ - ٢). وحركة تدفق الزيت هذه كافية لضمان إخماد القوس نهائياً في حالة قطع التيارات الصغيرة. أما في حالة قطع تيارات قصر كبيرة، فيتم الإخماد النهائي للقوس الكهربائي بواسطة حركة تدفق للزيت يولدها القوس الكهربائي نفسه. فبمجرد دخول الطرف الأسفل للقوس إلى الحجرة السفلى تتولد فيها فقاعة غازية لا تستطيع التمدد إلا إلى أسفل الشكل (٢٥ - ٢) فتدفع الزيت عبر القناة الحلقية (5) المكونة من القطعتين 4,6. ويقوم الزيت المندفع بإزالة آثار التأين من مسار القوس ورفع جهد الانهيار الكهربائي للثغرة بين التلامسين.



الشكل (٢٥ - ٢) إخماد القوس في قاطع ذات حجم الزيت الصغير

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 (٢٥ - ٢) العلاقة النموذجية بين أقصى عدد لعمليات الفتح والقفل المسموح به وقيمة تيار القطع وذلك لقاطع 12 kV, 31.5 kA وفي العادة يوصي الصانع بتغيير التلامسات بعد حوالي 10,000 دورة فتح وقفل حتى إذا تمت تحت ظروف اللاحمل.



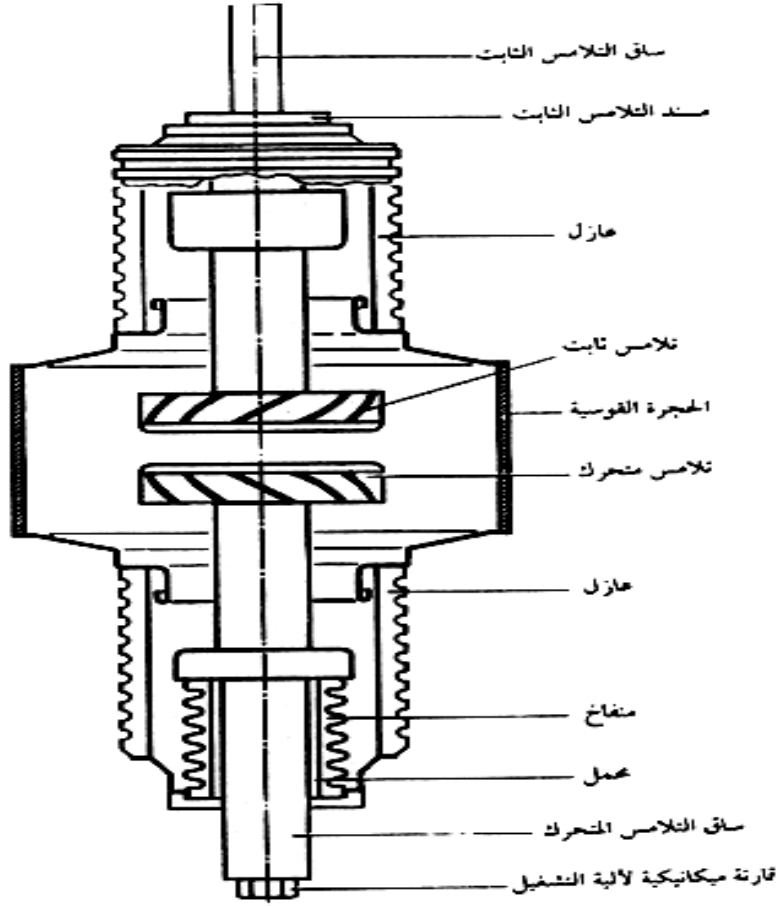
الشكل (٢ - ٢٥) عدد دورات الفتح والقفل لقاطع فراغي وآخر زيتي

(ب) القواطع الفراغية Vacuum Circuit Breakers

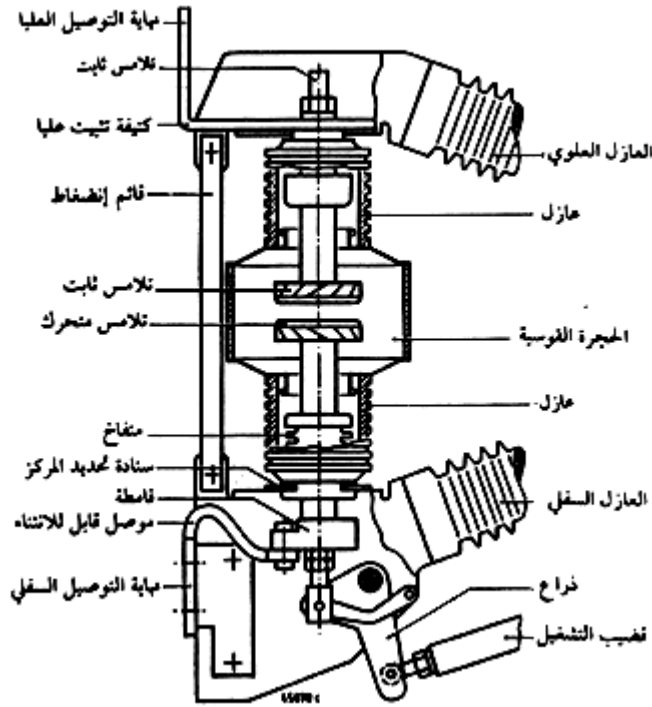
يبين الشكل (٢٦ - ٢) مقطعاً للجزء الخاص بإطفاء القوس الكهربائي لقاطع فراغي. ويتكون أساساً من غرفة مفرغة تصل فيها درجة التفريغ إلى أقل من 10^{-7} مم زئبق، وتحتوي على تلامسين أحدهما ثابت والآخر متحرك. ويتم الإحكام بين قضيب التلامس المتحرك وجسم الحجرة بواسطة منفخ من الفولاذ غير القابل للصدأ. وعند فتح التلامسين يمتد القوس الكهربائي بينهما في مسار شديد التأين مكون من بخار معدني. وعند مرور التيار بالصفير وانطفاء القوس يتكثف هذا البخار الموصل على الأجزاء المعدنية في زمن لا يتجاوز بضعة ميكروثواني. ويؤدي ذلك إلى ارتفاع سريع جداً لمتانة العزل الكهربائي للثغرة بين التلامسين ومن ثم إلى عدم إعادة إشعال القوس الكهربائي.

ولتفادي تجاوز حد التسخين المسموح به للتلامسات عند قطع تيارات كبيرة، فقد تشكل أجسام التلامسات وبها عدة شقوق مائلة الشكل (٢٦ - ٢) لجعل اتجاه التيار المار بها غير محوري بحيث تتولد قوة

- مغناطيسية على القوس الكهربائي الممتد بين التلامسين تجعله يتحرك على سطحها. ويبين الشكل (٢) - (٢٧) مقطوعاً كاملاً لإحدى الأقطاب لقاطع فراغي من صنع شركة سيمنز.



الشكل (٢٦ - ٢) مقطوع للغرفة القوسية لقاطع فراغي (سيمنز)



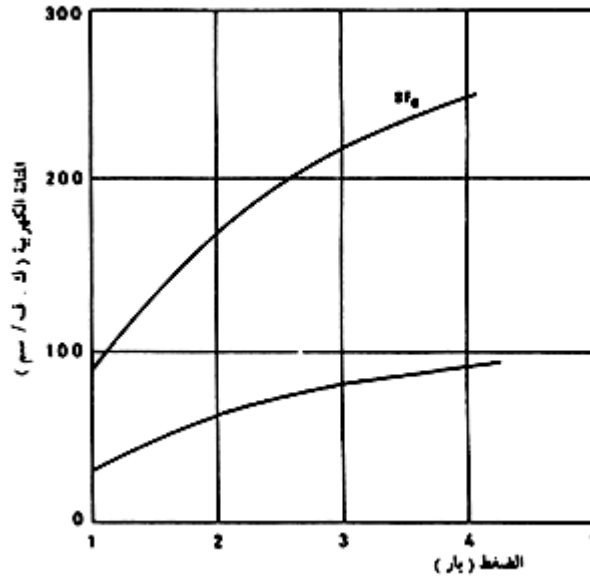
الشكل (٢ - ٢٧) مقطع لقاطع فراغي (سيمنز)

ولعل أهم ميزة للقواطع المفرغة هي عدم احتياجها لأي أعمال صيانة تذكر. والعمر الافتراضي للتلامسات هي حوالي 100 عملية فتح عند تيار القصر المقنن وحوالي 20,000 عملية فتح عند التيار المقنن المتواصل. وفي أي حال من الأحوال يجب تغيير الحجرة المفرغة التي تحتوي على التلامسات بعد حوالي 30,000 دورة فتح وقفل حتى إذا تمت تحت ظروف اللاحمل. ويبين الشكل (٢ - ٢٥) العلاقة النموذجية بين أقصى عدد لعمليات الفتح والقفل المسموح به وقيمة تيار القطع وذلك لقاطع 12 kV, 31.5 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 Sulphur Hexafluoride (SF₆) وأيضاً خفة الوزن وهدوء التشغيل.

٩.٤.٢ قواطع سادس فلوريد الكبريت (SF₆ Circuit Breakers)

من خواص غاز سادس فلوريد الكبريت أنه غاز اصطناعي عديم اللون والرائحة، وغير سام لا يتفاعل كيميائياً وغير قابل للاشتعال. وكثافته عند الضغط الجوي ودرجة حرارة 20 °C هي 6.07 جم/لتر

وتمثل خمسة أضعاف كثافة الهواء وهو يعتبر من أثقل الغازات المعروفة. ويبين الشكل (٢ - ٢٨) العلاقة بين المتانة الكهربائية والضغط لهذا الغاز وللغواء حيث تتضح أفضلية الـ SF_6 .



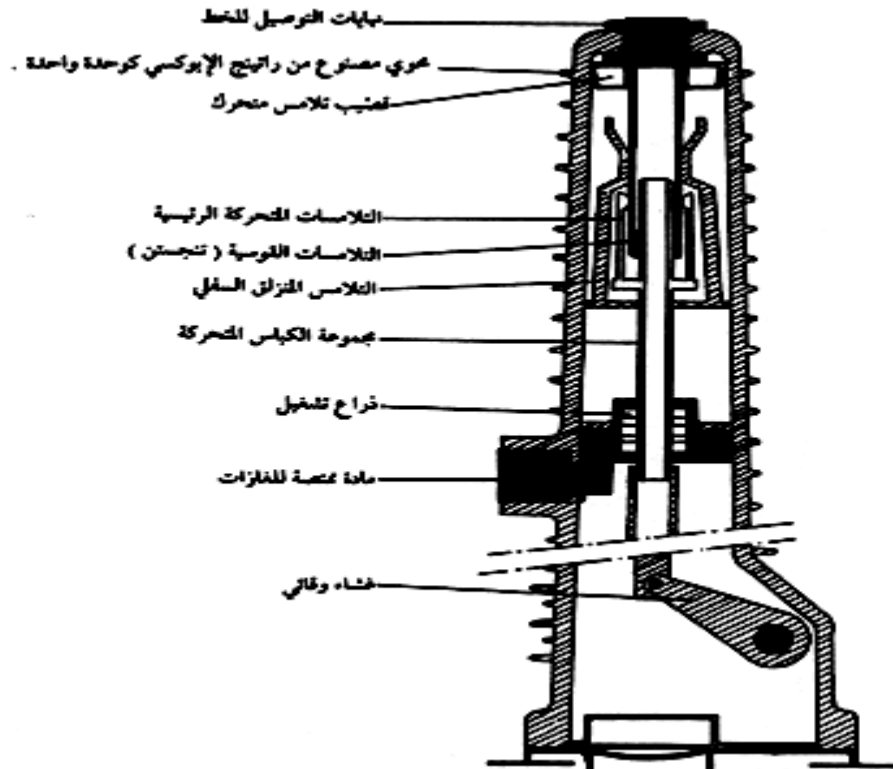
الشكل (٢ - ٢٨) العلاقة بين المتانة الكهربائية و الضغط لغاز SF_6 والهواء

والغاز له خصائص حرارية ممتازة وقابلية عالية للتأين السالب أي جذب الإلكترونات الحرة (electro- negativity) مما يجعله وسطاً مثالياً لإخماد القوس الكهربائي. وارتفاع حرارته النوعية التي تساعد على سرعة إزالة الحرارة المتولدة من القوس في حين أن القابلية العالية للتأين السالب يساعد على استعادة سريعة لمتانة العزل الكهربائي بين التلامسين.

وقد وجد أيضاً أن استخدام هذا الغاز كوسط لإخماد القوس الكهربائي 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 كيميائياً لا أن منتجات انحلاله تحت تأثير القوس الكهربائي (SF_2 , SF_4 , SF_6 , ...) 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 أكسيد الألومنيوم ذات القدرة العالية لامتصاص الغازات لإزالة هذه المنتجات.

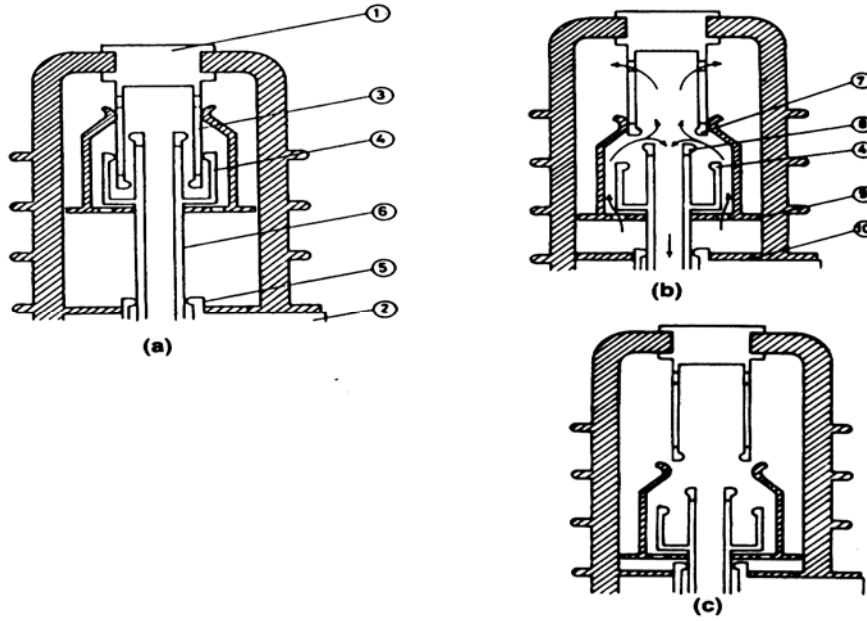
قاطع سادس فلوريد الكبريت (SF_6)

يبين الشكل (٢ - ٢٩) مقطعا لقاطع SF_6 مع توضيح لأجزائه المختلفة. وضغط الغاز داخل القاطع هو حوالي 3.5 بار. ويقوم الغشاء الوقائي في أسفل القاطع بدور صمام أمان حيث إنه ينفجر في حالة ارتفاع غير عادي للضغط الداخلي.



الشكل (٢ - ٢٩) مقطع لقاطع سادس فلوريد الكبريت

ويبين الشكل (٢ - ٣٠) مبدأ قطع التيار. يمثل الشكل (a) التلامسات في وضع القفل حيث يمر التيار بين النهايات (1)، (2) عبر التلامس الثابت (3) والتلامسات المنزلقة (4)، (5) والقضيب المتحرك (6). أما الشكل (b) فهو يمثل التلامسات أثناء الفتح. فعند افتراق التلامسين (3)، (4) يتكون القوس الكهربائي بين الأطراف (7)، (8) وينضغط غاز الـ SF_6 بين الكباس المتحرك (9) ورأس الأسطوانة (10) ويندفع خلال الفتحات المبينة ليدفع القوس في اتجاهين متضادين ويعمل على إخماده.



شكل (٢ - ٣٠) إخماد القوس في قاطع سادس فلوريد الكبريت
(a) وضع القفل ، (b) أثناء الفتح ، (c) وضع الفتح

ويتراوح العمر الافتراضي للتلامسات بين 10 - 20 عملية فتح تيار القصر المقنن وبين 2000 - 4000 عملية فتح التيار المقنن المتواصل.

الجزء الثالث: المرحلات والملفات اللولبية

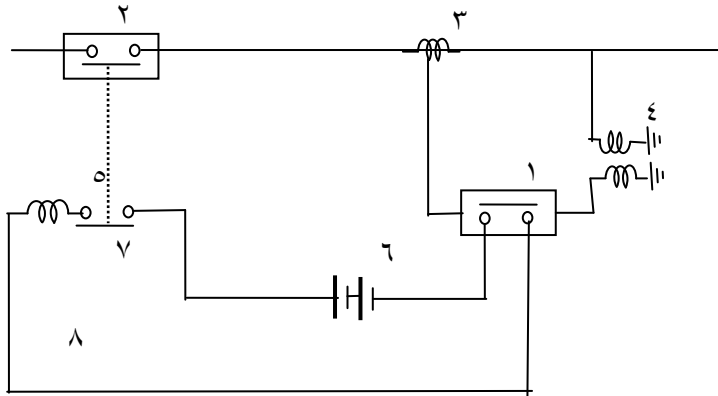
٥.٢ - المرحلات

١.٥.٢ - مقدمة

يعرف المرحل بصفة عامة بأنه جهاز يستقبل إشارة تحكم معينة من الدائرة المركب عليها، وتبعاً لتلك الإشارة فإنه يجري تغييراً أو أكثر في تلك الدائرة. ومرحلات الحماية هي مرحلات تستجيب لحالات التشغيل غير العادية في منظومات القوى الكهربائية كالأخطاء وتجاوز الحمل. ويعطي المرحل تبعاً لذلك الإشارة المناسبة لقاطع الدائرة الذي يفصل بدوره الجزء الخاطئ أو المعيب من المنظومة في أقل زمن ممكن. يبين الشكل (٢-٣١) المبدأ الأساسي الذي يعمل عليه المرحل مع القاطع.

تتألف منظومة الحماية التقليدية كما في الشكل (٢-٣١) 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.



- ١ مرحل الحماية. ٢ قاطع الدائرة. ٣ محول التيار ٤ محول الجهد.
٥ ملف إعتاق القاطع. ٦ البطارية. ٧ المفتاح المساعد. ٨ دائرة إعتاق القاطع.

الشكل (٢ - ٣١) منظومة الحماية التقليدية

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 معاً. يتم تغذية المرحل بإشارة التحكم عن طريق محول التيار أو محول الجهد تبعاً لنوع الكمية المغذاة.

والغرض من استعمال محولي الجهد والتيار هو ما يلي :

١. ضمان عزل كهربى 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 ولا تتحمل عملية قطع الدائرة والتي تكون مصحوبة بشرارة كهربية. ويتم عادة تواشج (interlock) المفتاح المساعد ميكانيكياً 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 تياراً أو جهداً أو الاثنين معاً. وتنقسم الكمية المقاسة في معظم المرحلات إلى ما يأتي :

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

٢. قياس حاصل الضرب ، 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 (التيار أو الجهد).

٣.٥.٢ - أنواع المرحلات

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

Thermal Relays

١. المرحلات الحرارية

Electromagnetic - Attracted - Relays

٢. المرحلات الكهرومغناطيسية ذات مبدأ الجذب

Digital Relays

٣. المرحلات الرقمية

Electromagnetic Induction Relays

٤. المرحلات الكهرومغناطيسية ذات المبدأ الحثي

Static Relays

٥. المرحلات الإستاتيكية

وسوف نقتصر هنا على شرح النوعين الأخيرين وهما المرحلات الكهرومغناطيسية ذات المبدأ الحثي والرحلات الإستاتيكية حيث إنهما أكثر المرحلات استخداماً في منظومات الحماية في الآونة الأخيرة.

(أ) المرحلات الحثية Induction relays

إن المرحلات الحثية هي أكثر المرحلات استخداماً في منظومات الحماية نظراً لأن التنوع الكبير في خصائصها الزمنية يعطيها مرونة كبيرة في إمكانية التنسيق بين مرحلات مستخدمة للعمل على التوالي، أو التنسيق بين المرحلات والقواطع أو المصهرات.

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 المرحل. ويمكن إثبات أن عزم التدوير الكهرومغناطيسي T يتناسب طردياً مع كل من Φ_1 و Φ_2 وجيب الزاوية بينهما θ أي أن :

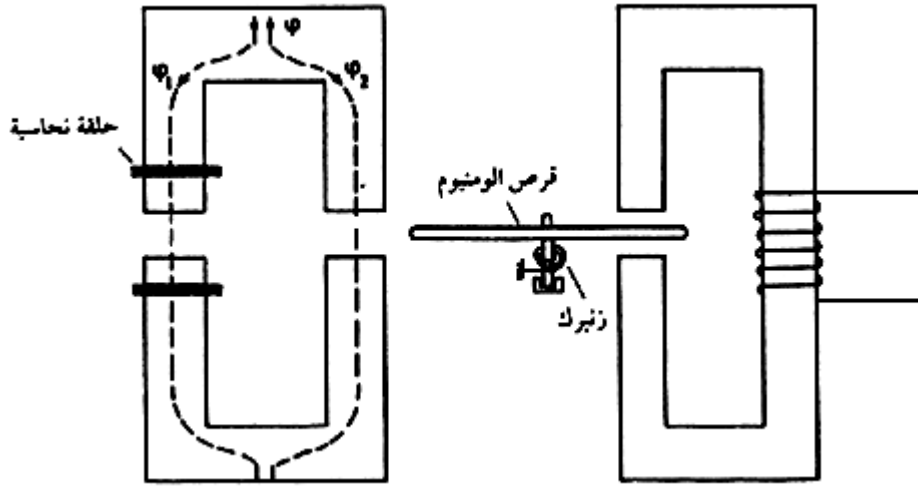
$$T \propto \Phi_1 \Phi_2 \sin \theta$$

هناك طريقتان للحصول على فيضين مغناطيسيين بينهما زاوية θ .

الطريقة الأولى : يستخدم فيها ملف إثارة واحد ودائرة مغناطيسية واحدة لها قطب محجب (shaded Pole).

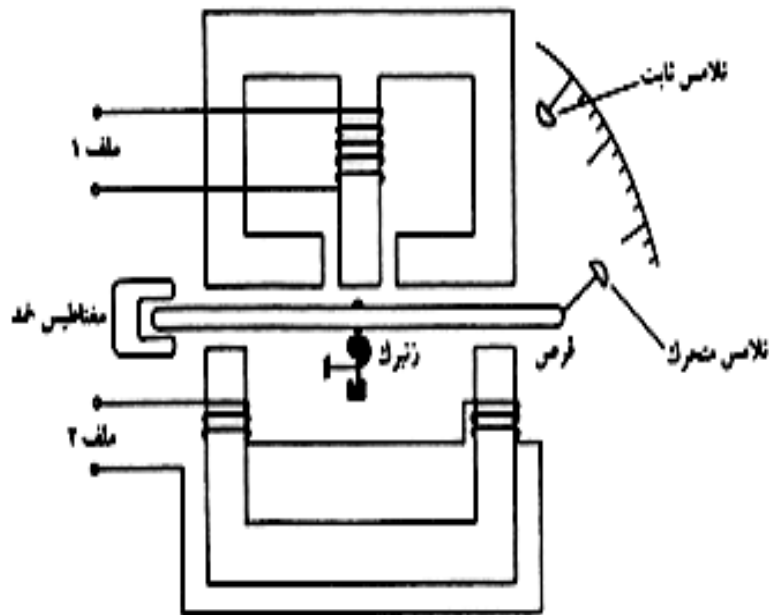
والطريقة الثانية : يستخدم فيها ملفان للإثارة دائرتان مغناطيسيتان.

ويبين الشكل (٢ - ٣٢) مكونات المرحل الحثي ذي القطب المحجب. وهو يتكون من قرص من النحاس أو الألومنيوم مزود بمحاور ارتكاز وطلقة الدوران في الثغرة بين قطبي المغناطيس الكهربائي. وكل قطب منشق إلى جزأين أحدهما محاط بحلقة ثقليه 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 $45^\circ - 40^\circ$.

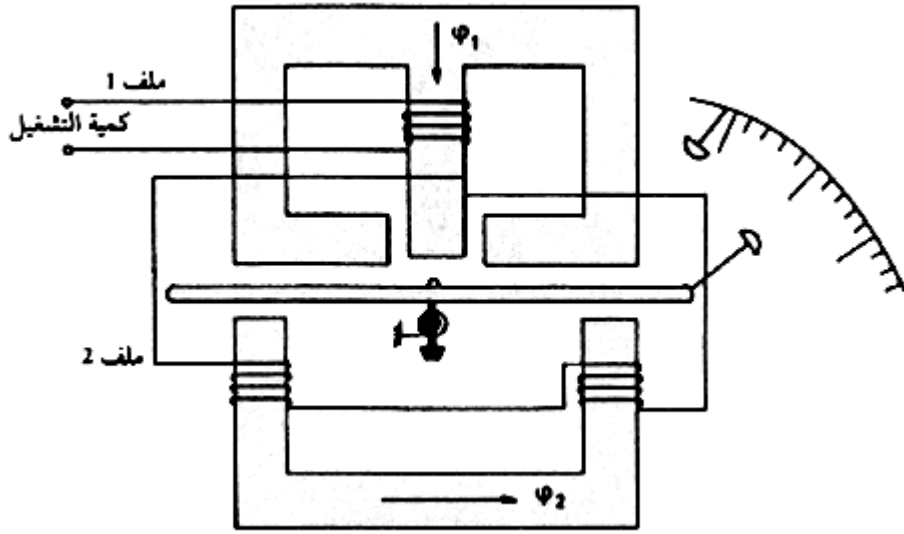


الشكل (٢ - ٣٢) المرحل الحثي ذو القطب المحجب

ويبين الشكل (٢ - ٣٣) مكونات المرحل الحثي ذي ملفي الإثارة اللذين يعملان بكميتي التشغيل، كما يبين الشكل (٢ - ٣٤) 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. وعلى العموم، فإن غالبية المرحلات الحثية هي من النوع ذي الملفين بحيث يتولد في القرص مجالان مغناطيسيان.



الشكل (٢ - ٣٣) المرحل الحثي ذو ملفي الإثارة



الشكل (٢ - ٣٤) مرحل تجاوز الحمل الحثي

نظرية الأداء

العزوم المتولدة في المرحل هي :

$$T_1 = k_1 I^2$$

١. عزم التشغيل T_1 ، وهو يتناسب مع مربع التيار

$$T_2 = k_1 I_0^2$$

٢. عزم مقاومة الزنبرك T_2 ، وهو ثابت

حيث I_0 هو تيار اللقط.

$$T_3 = k_2 (d/t)$$

٣. عزم الخمد T_3 وهو يتناسب مع سرعة القرص

حيث أن

d هي المسافة التي يتحركها القرص قبل أن يتلامس طرفاه

t هو زمن حركة القرص (على فرض أن سرعة القرص ثابتة).

ولذلك فإن العزم الكلي المؤثر على القرص هو :

$$T = k_1 I^2 - k_1 I_0^2 - k_2 (d / t)$$

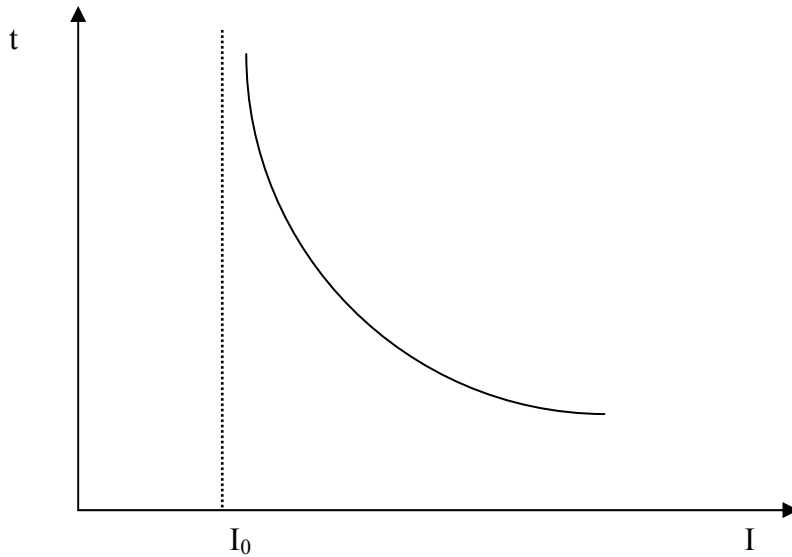
ويبدأ القرص في الحركة عندما يكون $T = 0$ ، أي :

$$K_1 (I^2 - I_0^2) = k_2 (d / t)$$

أي أن :

$$T = k d / (I^2 - I_0^2)$$

ويتضح من هذه العلاقة الأخيرة أنه لقيمة معينة لكل من I_0 and d فإن زمن تشغيل المرحل يتناسب عكسياً مع مربع التيار المار به كما هو مبين بالشكل (٢ - ٣٥). ولهذا فإن هذه المرحلات تعرف بالمرحلات ذات الزمن العكسي (Inverse – Time Relays) .



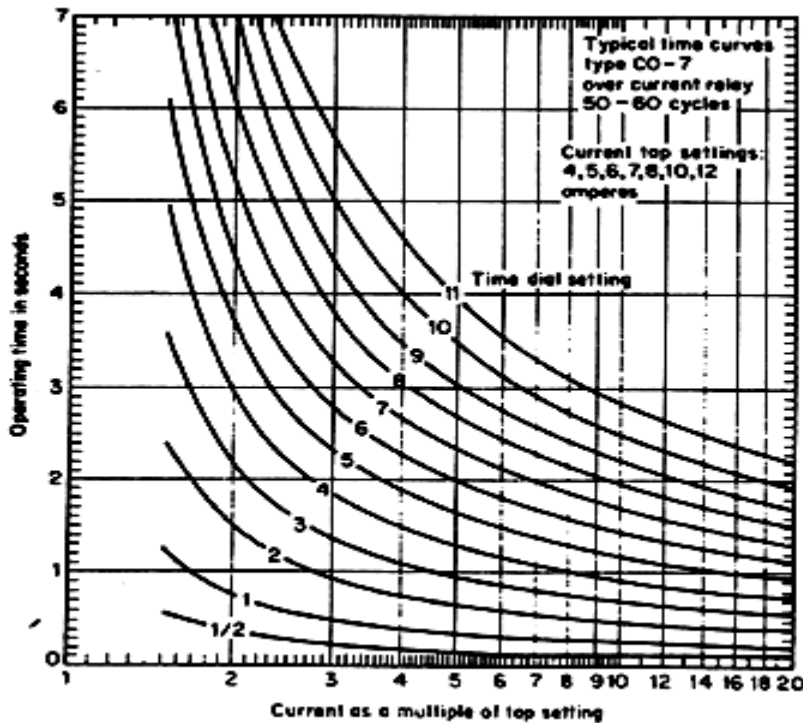
الشكل (٢ - ٣٥) المنحني الخصائصي المرحل الحثي ذي كمية التشغيل الواحدة

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 نظراً لأن عزم الدوران يعتمد على الفيض المغناطيسي وعدد اللفات التي يمر فيها 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 0.5 & 11 عادة. وكلما قل المضروب الزمني قل زمن تشغيل المرحل لنفس قيمة التيار.
٢. ضبط لتيار اللقط عن طريق تغيير وضع قابس التيار. ويتغير تبعاً 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، وينظر كل منحنى مضروباً زمنياً معيناً. ويمكن بذلك اختيار المنحنى المناسب عند ضبط المرحل بحيث يتناسق مع المرحلات المجاورة ووسائل الحماية الأخرى في الشبكة بغرض الحصول على التمييز المطلوب. ويبين الشكل (٢ - ٣٦) مجموعة من هذه المنحنيات التي ترسم عادة على مقياس لوغاريتمي للزمن والتيار بحيث يمثل المحور الأفقي النسبة بين التيار الفعلي المار في المرحل والتيار اللقط المناظر لوضع القابس.



الشكل (٢ - ٣٦) المنحنيات الخصائصية المرحل الحثي ذي كمية التشغيل الواحدة ومضروبات زمنية مختلفة (صنع وستنجهاوز)

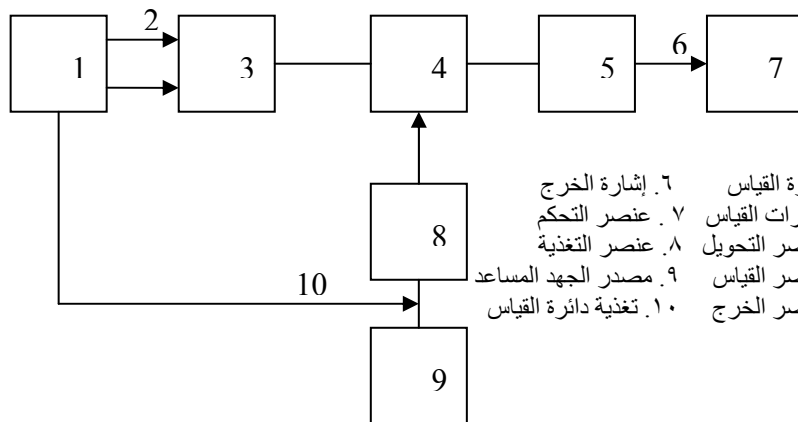
(ب) المرحلات الإستاتيكية

يعرف المرحل الإستاتيكي بأنه مرحل تتشأ فيه الاستجابة المطلوبة عن طريق مكونات إلكترونية 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 الآن بالمرحلات الإستاتيكية بصورة اقتصادية وأداء أفضل. وجدير بالذكر أن المرحلات الإستاتيكية تتفوق في أدائها على المرحلات الكهروميكانيكية في حالات المرحلات المعقدة نسبياً كمرحلات المعاوقة والمرحلات الفرقية. وعلى العكس ، فإن مرحلات تجاوز الحمل الكهروميكانيكي لاتزال أبسط وأنسب في أدائها من المرحلات الإستاتيكية.

التركيب الأساسي لمرحل الحماية الإستاتيكي

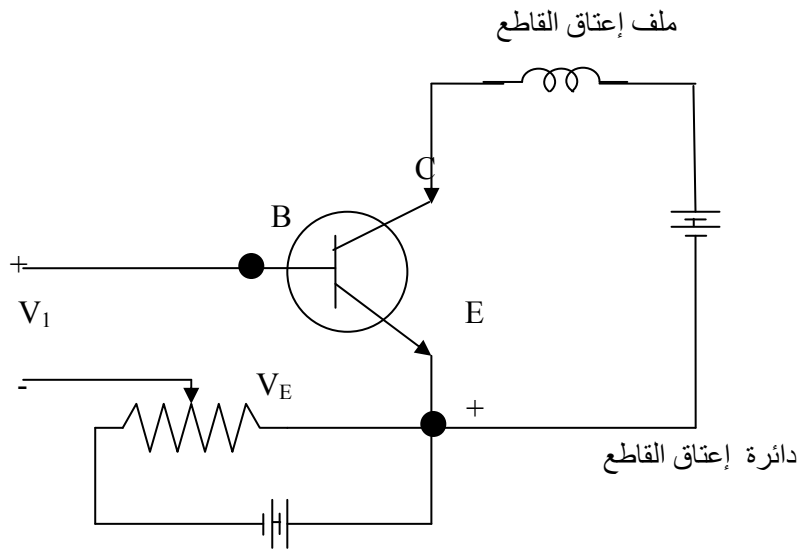
يبين الشكل (٢ - ٣٧) المكونات الأساسية للمرحل الإستاتيكي. يتم فيه تغذية عنصر التحويل بإشارة التغذية عن طريق دائرة القياس (1) والتي تكون عبارة عن محول الجهد أو محول التيار أو الاثنين معاً. يتم بذلك تحويل إشارة التغذية داخل عنصر التحويل (3) إلى كميات يمكن التعامل معها بسهولة بواسطة عنصر القياس (4). يبدأ عنصر القياس في العمل عندما تصل قيمة إشارة التغذية إلى حد معين حيث يعطي حينئذ إشارة القفل. يستقبل عنصر الخرج (5) هذه الإشارة ويقوم بتكبيرها وتقويتها ثم نقلها إلى عنصر التحكم (7) الذي يعطي بدوره الإشارة النهائية لدائرة إعتاق قاطع الدائرة. ويتم تغذية عنصري القياس والخرج عن طريق عنصر التغذية (8). ويحصل عنصر التغذية على الطاقة اللازمة إما من مصدر الجهد المساعد (9) أو من دائرة القياس نفسها.



الشكل (٢ - ٣٧) رسم تخطيطي المرحل الإستاتيكي

مرحل الترانزستور

يبين الشكل (٢ - ٣٨) مرحل ترانزستور يكافئ في طريقة أدائه المرحل ذا الذراع المنجذب. يتناسب جهد الدخل V_1 (وهو جهد قاعدة الترانزستور B) مع مقدار التيار أو جهد منظومة القوى المركب عليها المرحل. عندما يكون V_1 أقل من جهد الباعث V_E فإن ملتقى القاعدة - الباعث يكون في حالة انحياز عكسي وبذلك لا يمر تيار في دائرة الباعث E - المجمع C . إذا زاد V_1 عن V_E يصبح انحياز القاعدة - الباعث أمامي مما يؤدي إلى مرور التيار في دائرة حمل المرحل التي تكون هي دائرة إعتاق القاطع.



الشكل (٢ - ٣٨) مرحل الترانزستور الفوري

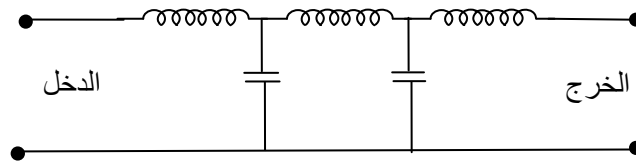
(ج) دوائر التأخير الزمني

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 في الشكل (٢ - ٣٩).

٢. للحصول على تأخير زمني في حدود الميلي ثانية تستخدم دوائر رنينيه من مفاعلات ومكثفات (دوائر C - L).

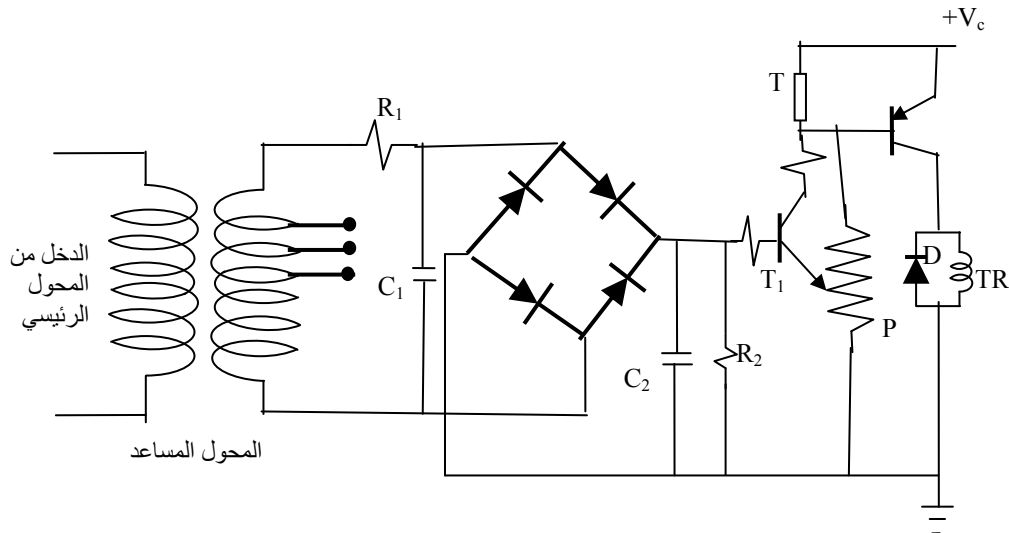
٣. للحصول على تأخير زمني أكبر مما سبق تستخدم دوائر من مقاومات ومكثفات (دوائر R - C).



الشكل (٢ - ٣٩) الدائرة المكافئة لخط التأخير الزمني

(د) مرحل تجاوز التيار الترانزستور

يبين الشكل (٢ - ٤٠) إحدى دوائر مرحل تجاوز الحمل الترانزستور ويستقبل محول التيار المساعد إشارة الدخل من محول التيار الرئيس حيث يغذي بها قنطرة تقويم كاملة الموجة (يتم حماية قنطرة التقويم ضد الجهود العابرة العالية بواسطة الدائرة المكونة من C_1 & R_1). تغذي إشارة خرج قنطرة التقويم قاعدة الترانزستور T_1 على المقاومة R_2 ويتم تعميم هذا الخرج بواسطة المكثف C_2 . عندما يتعدى جهد قاعدة T_1 قيمة محددة بواسطة مقسم الجهد P ونسبة تحويل محول التيار المساعد يبدأ الترانزستور T_1 في العمل حيث يؤدي هذا إلى عمل الترانزستور T_2 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 نسبة التحويل.

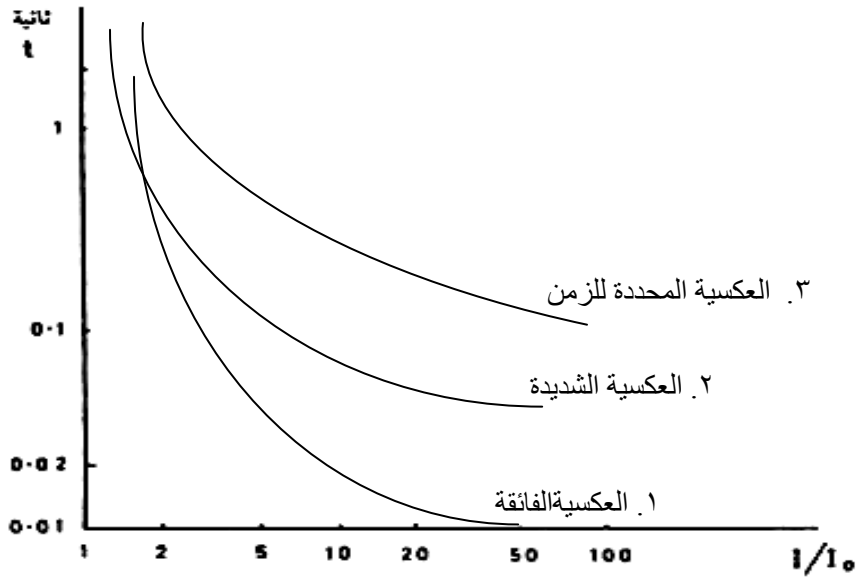


شكل (٢ - ٤٠) دائرة مرحل تجاوز تيار ترانزستور فوري

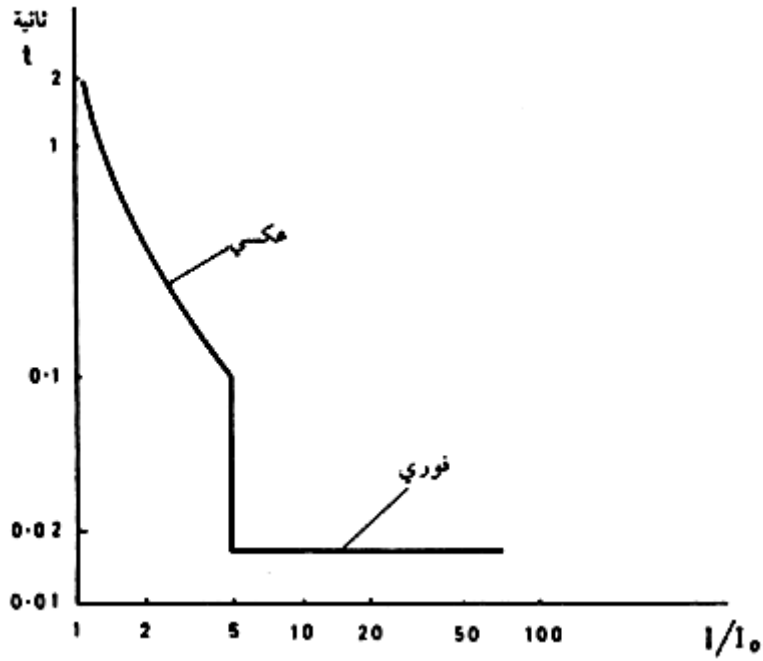
٤.٥.٢ - الحماية ضد زيادة التيار Over Current (O/C) Protection

إن نظام الحماية ضد زيادة التيار هو أكثر النظم شيوعاً واستخداماً في حماية منظومات التوزيع. يعتمد هذا النوع من الحماية أساساً على مرحلات تجاوز التيار. وتكون هذه المرحلات عادة إما مرحلات الذراع المنجذب أو مرحلات حثية ذات كمية التشغيل الواحدة.

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 ازدياد التيار بحيث يكاد أن يكون التشغيل فورياً بالنسبة لتيارات القصر. وهذه الخاصية غير مرغوبة إذا أردنا التنسيق بين مرحلين أو أكثر على التوالي حيث يصعب التمييز بينها في حالات الخطأ. ولذلك فإن التصميم الحديث لهذه المرحلات يستخدم ظاهرة التشبع المغناطيسي في دائرة المغناطيس الكهربائي للحصول على منحنى خصائصي يصل إلى قيمة دنيا محددة لزمن التشغيل كما هو مبين في الشكل (٢ - ٤١ a). ويعرف هذا النوع من المرحلات بمرحل عكسي ذي القيمة الصغرى المحددة الزمن (Inverse – Definite – Minimum Time Relay; IDMT). ويبين الشكل (٢ - ٤١ b) المنحنيات الخصائصية لثلاثة أنواع من المرحلات العكسية. ويمكن في بعض الأحيان الحصول على المنحنى الخصائصي المبين في الشكل (٢ - ٤١ b) عن طريق استخدام مرحل له عنصران، أحدهما حثي له علاقة عكسية والآخر كهرومغناطيسي يعمل فورياً. ويتم اختبار نوع المرحل على أساس متطلبات التنسيق بحيث يمكن التوصل إلى التنسيق الأمثل بين المرحلات وبعضها البعض أو بين المرحلات وأجهزة الحماية الأخرى مثل القواطع والمصهرات.



(a) المرحلات ذات العلاقات العكسية

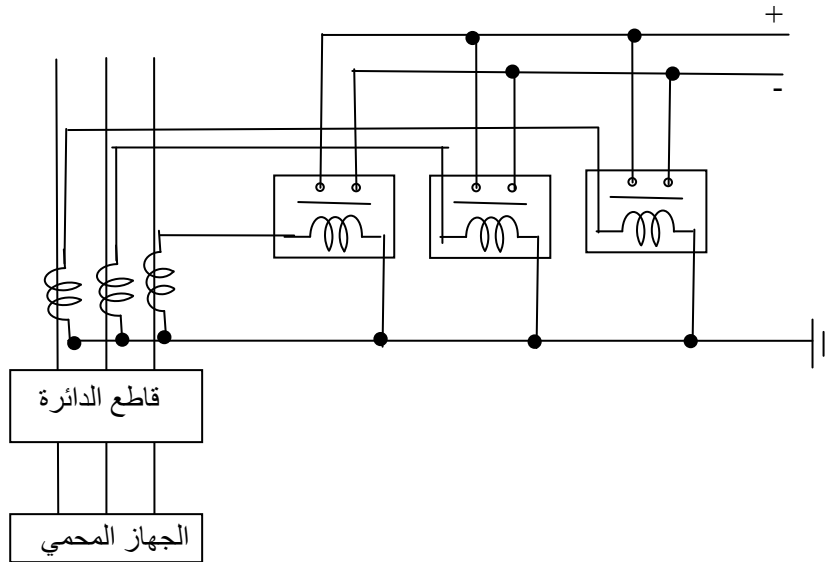


(b) المرحل ذو العلاقة العكسية بالقيمة الصغرى المحددة للزمن

الشكل (٢ - ٤١) خصائص مرحلات تجاوز التيار

طريقة التوصيل

توجد عدة طرق مختلفة لتوصيل مرحلات تجاوز التيار. أكثر هذه الطرق شيوعاً تلك التي تستخدم ثلاثة محولات للتيار وثلاثة مرحلات توصيل كما هو مبين في الشكل (٢ - ٤٢).



الشكل (٢ - ٤٢) منظومة الحماية باستخدام ثلاثة محولات تيار وثلاثة مرحلات تجاوز التيار

استخدامات مرحلات زيادة التيار

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

١. حماية المحركات ذات المقننات الكبيرة (أعلى من 1000 حصان).
٢. حماية المحولات ذات المقننات الكبيرة (أعلى من 500 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 الكهربائية الصناعية.

ضبط مراحل زيادة التيار

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

٢. يجب التنسيق بين المرحل والمراحل وأجهزة الحماية والقطع الأخرى المجاورة.

ويتم عمل التنسيق بين المراحل بإحدى الطرق التالية:

أ. التدرج الزمني Time grading

ب. تدرج التيار Current grading

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

. Relays)

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

يمثل الشكل (٢- ٤٣) الرسم التفصيلي لمرحل زيادة التيار من النوع الحثي الذي سبق شرحه.

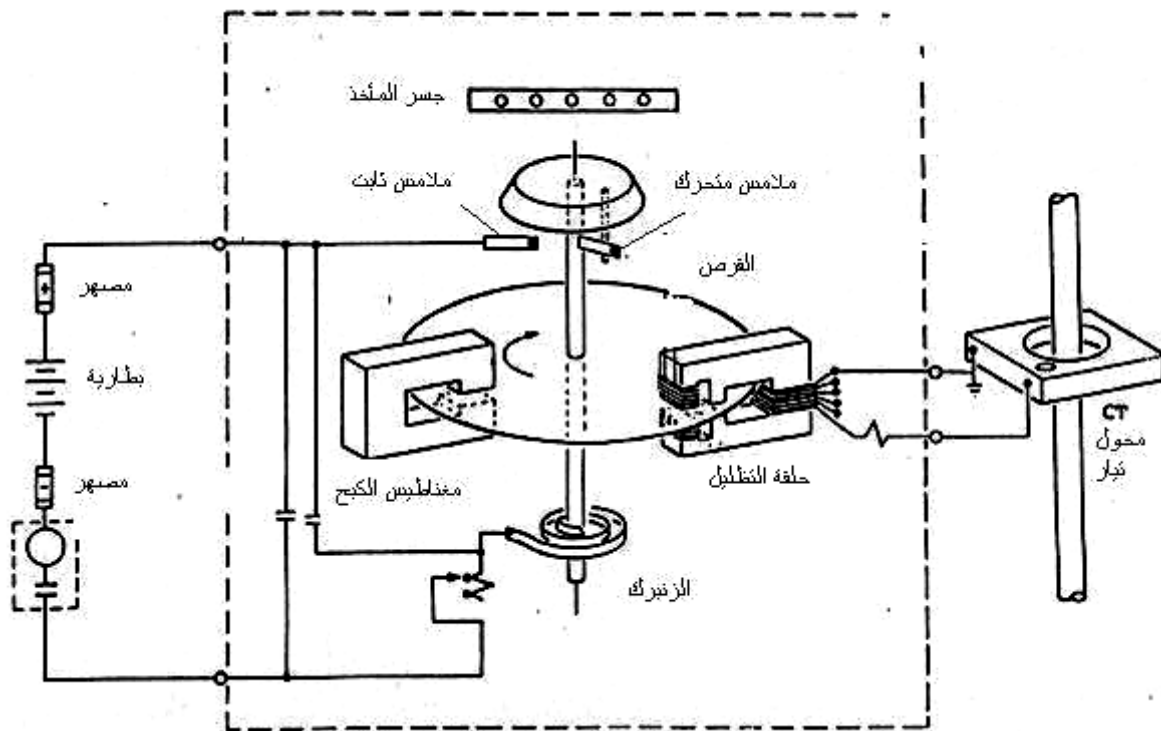
وسوف نستعرض باختصار وظيفة الأجزاء الرئيسة لهذا المرحل :

- 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 كبيراً.
- مغناطيس الكبح أو التخميد Damping Magnet : لهذا المغناطيس وظيفتان رئيستان 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 توليد عزم مضاد لعزم دوران القرص كفاية لمنع القرص من الدوران تحت ظروف التحميل العادية. أما الثاني فهو أن يضمن الزنبرك رجوع الملامسات المتحركة أوتوماتيكياً إلى وضعها الأساسي بعد فصل تيار الخطأ.

- محول التيار C.T. : حيث إن تغذية مرحل التيار تتم عن طريق محول التيار فلا بد من ذكر وظيفة محول التيار وهي:

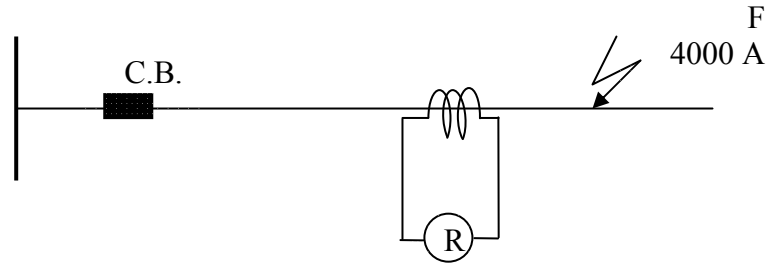
١. تخفيض تيار الشبكة المطلوب حمايتها إلى تيار مناسب لعمل المرحل. مقنن التيار للمرحل عادة 1A or 5A.

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



الشكل (٢ - ٤٣) رسم تفصيلي لمرحل زيادة التيار من النوع الحثي

مثال : مرحل زيادة التيار الحثي وله مقنن تيار 1 A ومضبوط عند وضعية مأخذ التيار 125 % من التيار المقنن ومضاعف الزمن $T.M.S = 0.6$. يتغذى المرحل من محول التيار 1 : 400 وتيار العطل 4000 A كما هو موضح في الشكل (٢ - ٤٤) . المطلوب حساب زمن عمل المرحل.



الشكل (٢ - ٤٤)

الحل :

$$I = 4000 / 400 = 10 \text{ A}$$

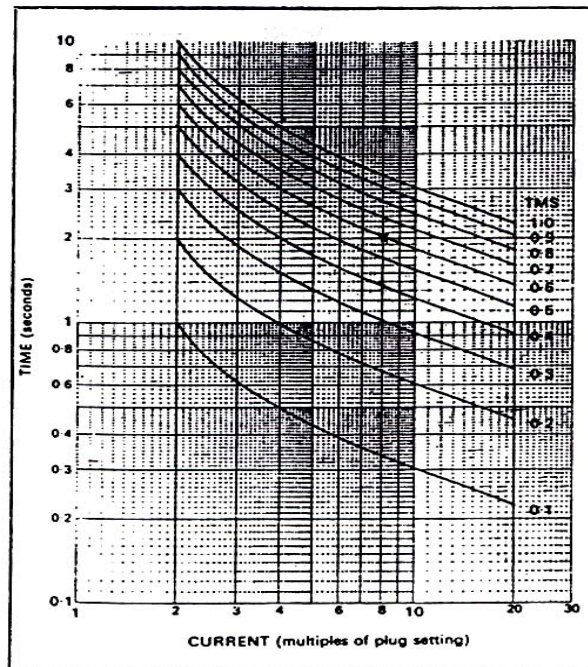
التيار المار بالمرحل

$$I_0 = 1 * (125 / 100) = 1.25 \text{ A}$$

التيار المضبوط عنده المرحل هو

النسبة بين التيار المار في المرحل إلى التيار المضبوط عنده المرحل $I / I_0 = (10 / 1.25) = 8$

ومن الشكل (٢ - ٤٥) يكون زمن التشغيل للمرحل $t = 2 \text{ Seconds}$



شكل (٢ - ٤٥)

٥.٥.٢ - المرحلات المسافية Distance Relays

عندما يكون طول الخط المراد حمايته طويلاً 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 يوجد مغناطيس التيار قوة أو عزمًا ($k I^2$) يحاول إغلاق ملامس المرحل ويوجد مغناطيس الجهد قوة أو عزمًا مقاوماً ($k' V^2$) يحاول أن يبقي الملامس مفتوحاً. ويحدث العمل في المرحل عندما يتغلب عزم التيار على عزم الجهد.

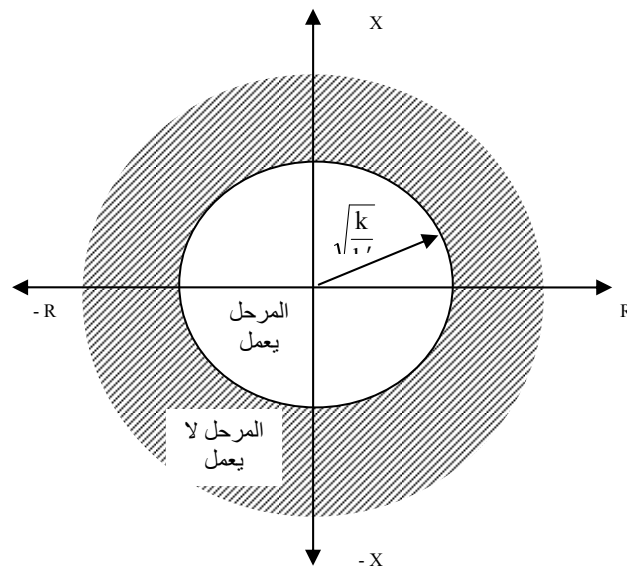
$$k |I|^2 > k' |V|^2$$

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

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

ويظهر من المعادلة الأخير مميزات التشغيل على مخطط الممانعة دائرة نصف قطرها $\sqrt{\frac{k}{k'}}$ ومركزها في مركز الإحداثيات وبين الشكل (٢ - ٤٦) هذه الحالة. ويعمل المرحل عندما تنخفض الممانعة عن القيمة محددة. وبما أن ممانعة الخطوط تتناسب مع الطول لذلك تستعمل هذه الحماية للحماية من عطل ضمن

منطقة معينة. يضبط (يعاير) المرحل بحيث تصبح ممانعة الجزء المحمي مساوية $\sqrt{\frac{k}{k'}}$ حيث k, k' ثوابت.



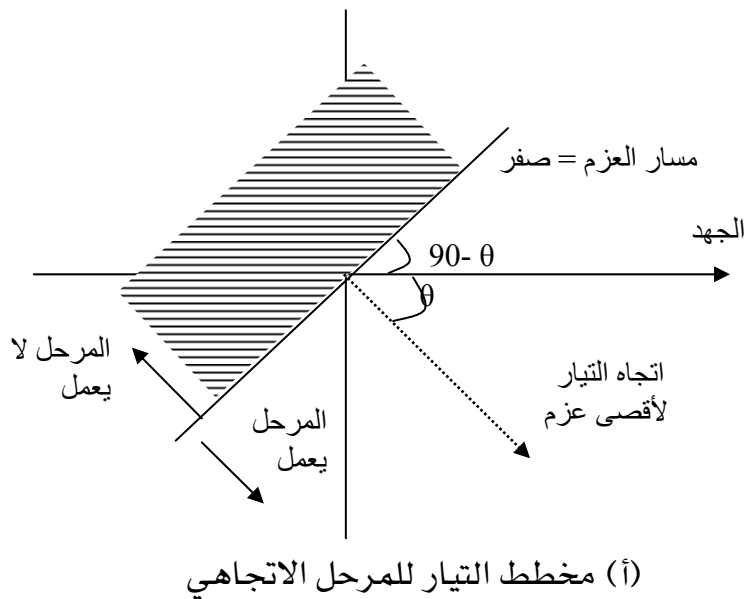
الشكل (٢ - ٤٦) خصائص الحماية المسافية

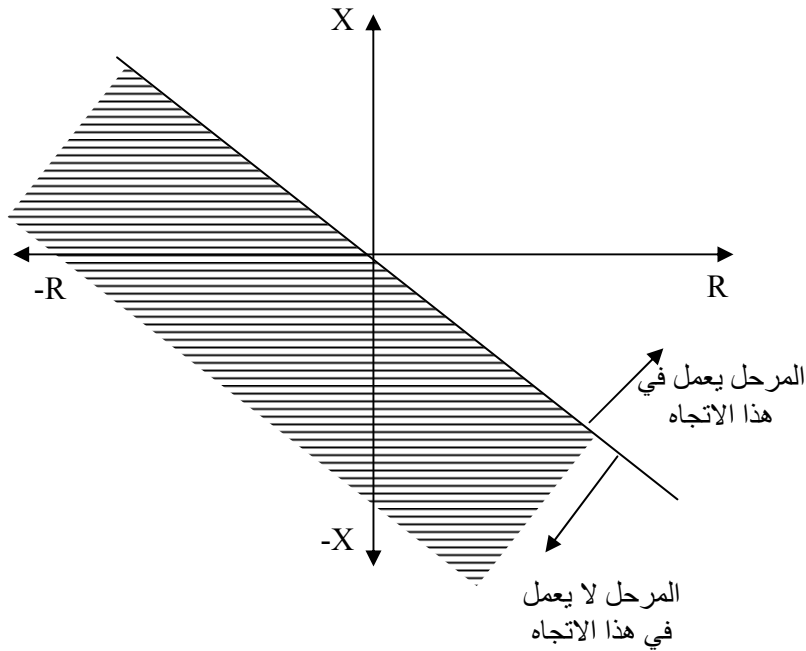
٦.٥.٢ - المرحلات الاتجاهية Directional Relays

إن المرحلات مثل زيادة التيار والممانعة تستجيب للأعطال في أي اتجاه كما في الشكل (٢ - ٤٦). ولمنع هذه المرحلات من فصل الخطوط السليمة فإنه يتم مراقبتها بالمرحلات الاتجاهية كما في الشكل (٢ - ٤٧) وتستجيب فقط لسريان التيار من القضبان المجمعة إلى الخط. إن عزم المرحل يكون :

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

حيث إن ϕ هي الزاوية بين التيار I والجهد V و θ هي قيمة الزاوية ϕ التي يكون للمرحل أكبر عزم.





(ب) مخطط الممانعة

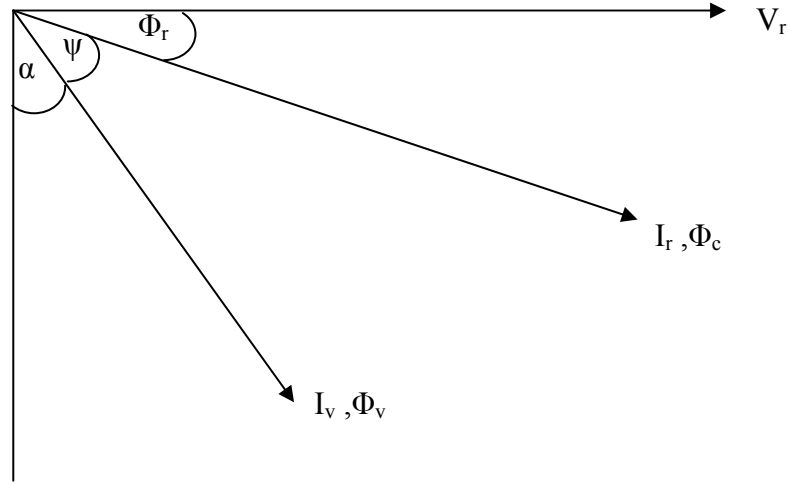
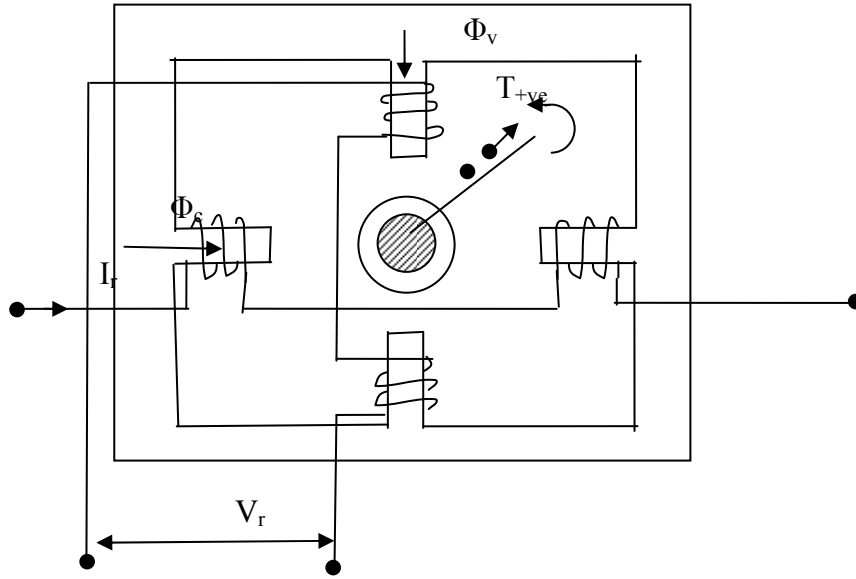
الشكل (٢ - ٤٧) مميزات المرحلات الاتجاهية

حماية زيادة التيار الاتجاهية Directional Over Current Protection

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

طريقة عمل المرحلات الاتجاهية Method of Operation for Directional Relays

معظم المرحلات الاتجاهية مرحل حثي Induction Relay مزود بملفين (ملف للتيار وملف للجهد) والشكل (٢ - ٤٨) يوضح طريقة توصيل المرحل الحثي الاتجاهي.



الشكل (٢ - ٤٨) المرحل الحثي الاتجاهي

فلو فرضنا أن الجهد V_r يعطي فيضاً مغناطيسياً Φ_v والتيار I_r يعطي فيضاً مغناطيسياً Φ_c فإنه يمكن كتابة معادلة العزم الناتج كما يلي :

$$T = k_2 V_r \cdot I_r \cdot \cos (\phi_r + \alpha)$$

حيث إن

(α) هي الزاوية الداخلية للمرحل و φ_r هي الزاوية بين التيار والجهد للدائرة المحمية وبناء على هذه المعادلة :

- فإذا كانت φ_r حادة فإن العزم يكون موجباً ويستجيب المرحل ويعمل.
- أما إذا كانت الزاوية φ_r منفرجة فإن العزم يكون سالباً ولا يستجيب المرحل مهما كانت قيمة التيار.

وعلي هذا فإن هذا المرحل يعمل في اتجاه واحد فقط ولا يعمل في الاتجاه الآخر للتيار ولذلك سمي مرحل زيادة التيار الاتجاهي.

وهناك حالات خاصة لهذا المرحل منها :

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

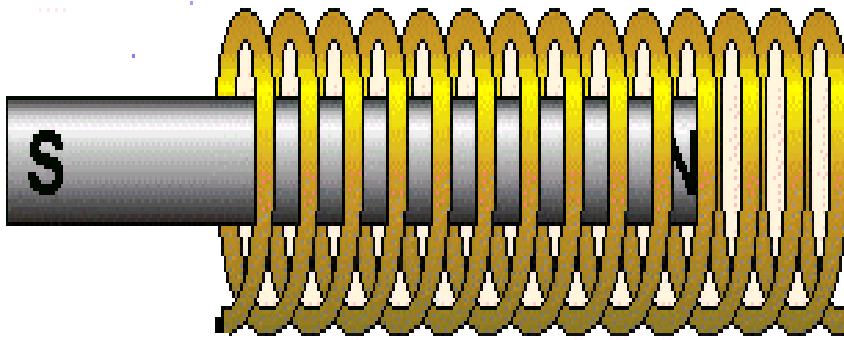
$$\alpha = 90^\circ, \text{ So; } T = k_2 V_r \cdot I_r \cdot \sin \varphi_r$$

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

$$\alpha = 0^\circ, \text{ So; } T = k_2 V_r \cdot I_r \cdot \cos \varphi_r$$

٦،٢ - الملف اللولبي Solenoid coil

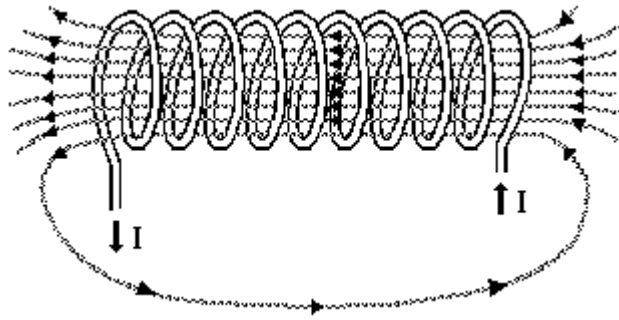
الملف اللولبي هو عبارة عن مجموعة كبيرة من اللفات الملفوفة بشكل حلزوني حول قلب من الفراغ (الهواء) أو حول قلب من الحديد (الشكل ٢ - ٤٩).



الشكل (٢ - ٤٩) ملف لولبي ملفوف حول قلب حديدي

١.٦.٢ - المجال المغناطيسي للملف اللولبي

عند مرور تيار كهربائي في اللفات يولد الملف اللولبي في داخله مجالا مغناطيسياً منتظماً تكون خطوط الفيض فيه متوازية مع محور الملف اللولبي (الشكل ٢ - ٥٠). أما خارج الملف فإن هذا المجال ضعيف ويتم إهماله عموماً.



الشكل (٢ - ٥٠) خطوط المجال داخل وخارج الملف اللولبي

للحصول على كثافة الفيض المغناطيسي B داخل الملف اللولبي نستخدم قانون أمبير (Ampere's law) الذي يعطي ، في حالة قلب من الفراغ :

$$Bl = \mu_0 Ni \quad (1)$$

حيث :

B : كثافة الفيض المغناطيسي

l : طول الملف اللولبي

N : عدد لفات الملف اللولبي

μ_0 : نفاذية الفراغ $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$

ومن المعادلة (1) نحصل على كثافة الفيض المغناطيسي B :

$$(2) \frac{Ni}{l} B = \mu_0$$

ملاحظة

للزيادة في قيمة B يستخدم أحياناً قلب حديدي داخل الملف اللولبي فنحصل على :

$$(3) \frac{Ni}{l} B = \mu_0 \mu_r$$

حيث μ_r هي النفاذية النسبية للمادة المصنوع منها القلب ، وقد تصل قيمتها لـ 1000 أو أكثر.

محاثة الملف اللولبي (L)

في الملفات اللولبية الطويلة نسبياً (طول الملف l أكبر من عشرة أضعاف القطر d) يمكن إهمال التأثيرات على طرفي الملف واعتبار كثافة الفيض المغناطيسي ثابتة داخل الملف. وهكذا:

$$\frac{NI}{l} B = \mu_0 \mu_r$$

والفيض المغناطيسي Φ :

$$\frac{NI}{l} A \Phi = \mu_0 \mu_r$$

حيث A هي مساحة مقطع الملف اللولبي.

والمحاثة :

$$L = \frac{N\Phi}{I} = \mu_0 \mu_r \frac{N^2}{l} A \quad (4)$$

هذه المعادلة تطبق في حالة ثبوت النفاذية النسبية μ_r (مواد غير مغناطيسية).

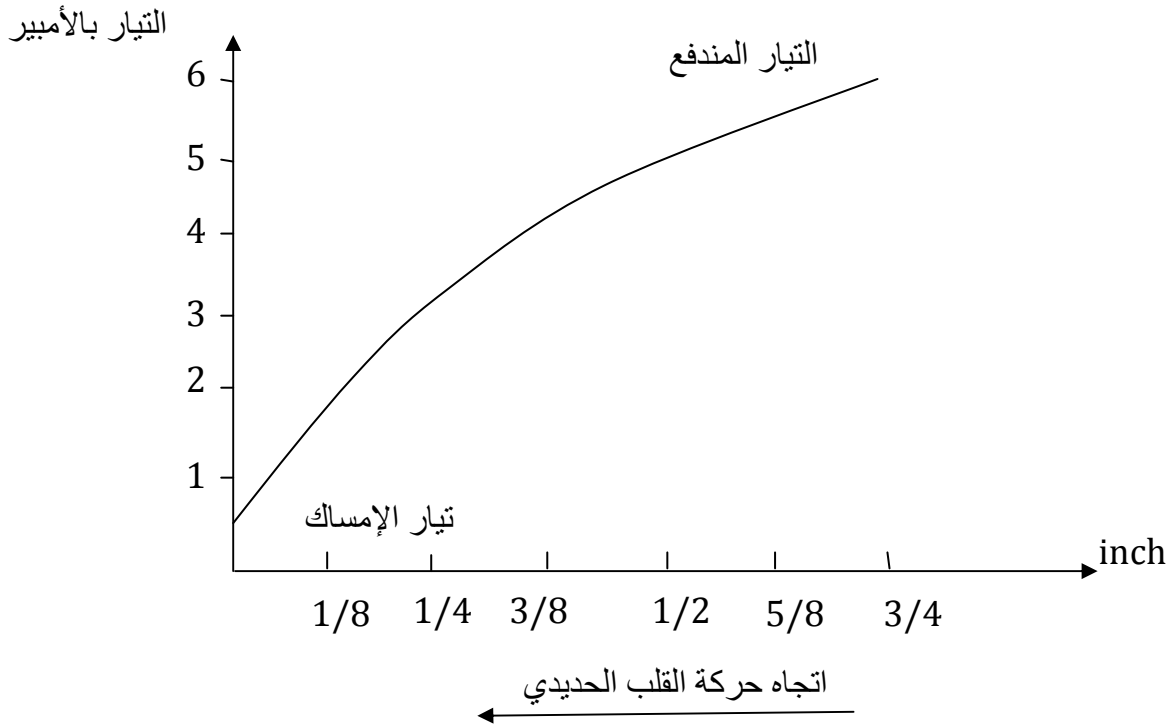
في الملفات التي تحتوي على مواد مغناطيسية تعتمد النفاذية النسبية μ_r (وبالتالي المحاثة L) على الفيض المغناطيسي Φ وبالتالي على شدة التيار المار في الملف. ولا يمكن حساب المحاثة لهذه الملفات بالمعادلة المذكورة سابقاً وإنما تستخدم العلاقة الأساسية لتعريف المحاثة :

$$L = \frac{N\Phi}{I} \quad (5)$$

٢.٦.٢ - القوة الكهرومغناطيسية المؤثرة على قلب الملف اللولبي

عند مرور التيار الكهربائي في الملف اللولبي تظهر قوة كهرومغناطيسية على القلب الحديدي للملف تعمل على جلبه إلى الداخل بحيث يصل الفيض المغناطيسي إلى أقصى قيمة له ممكنة (قانون فاراداي). ومن الجدير بالذكر أن هذه الحركة يجب أن تتم حتى نهايتها وإلا فإن التيار المار في الملف سيكون مرتفعاً مما قد يؤدي إلى إتلافه.

الشكل (٢ - ٥١) التالي يبين العلاقة بين التيار في الملف وحركة القلب داخل الملف. ويمكن أن نلاحظ ماذا يحدث عندما لا يصل القلب إلى وضع الصفر.



الشكل (٢ - ٥١) العلاقة بين التيار في الملف وحركة القلب داخل الملف

التيار اللازم عند بداية التشغيل يسمى بالتيار المندفع (inrush current) والتيار عند الوضع النهائي للقلب يسمى بتيار الإمساك (holding current). و النسبة بين هذين التيارين تتراوح من 5:1 في الملفات الصغيرة ومن 15:1 في الملفات الكبيرة.

٣.٦.٢ - تطبيقات الملف اللولبي

يستخدم الملف اللولبي في تطبيقات عديدة تعتمد أساساً على استغلال القوة المؤثرة على القلب الحديدي للملف عندما يمر عبره تيار كهربائي. ومن أهم هذه التطبيقات تلك التي تخص التحكم في تدفق السوائل

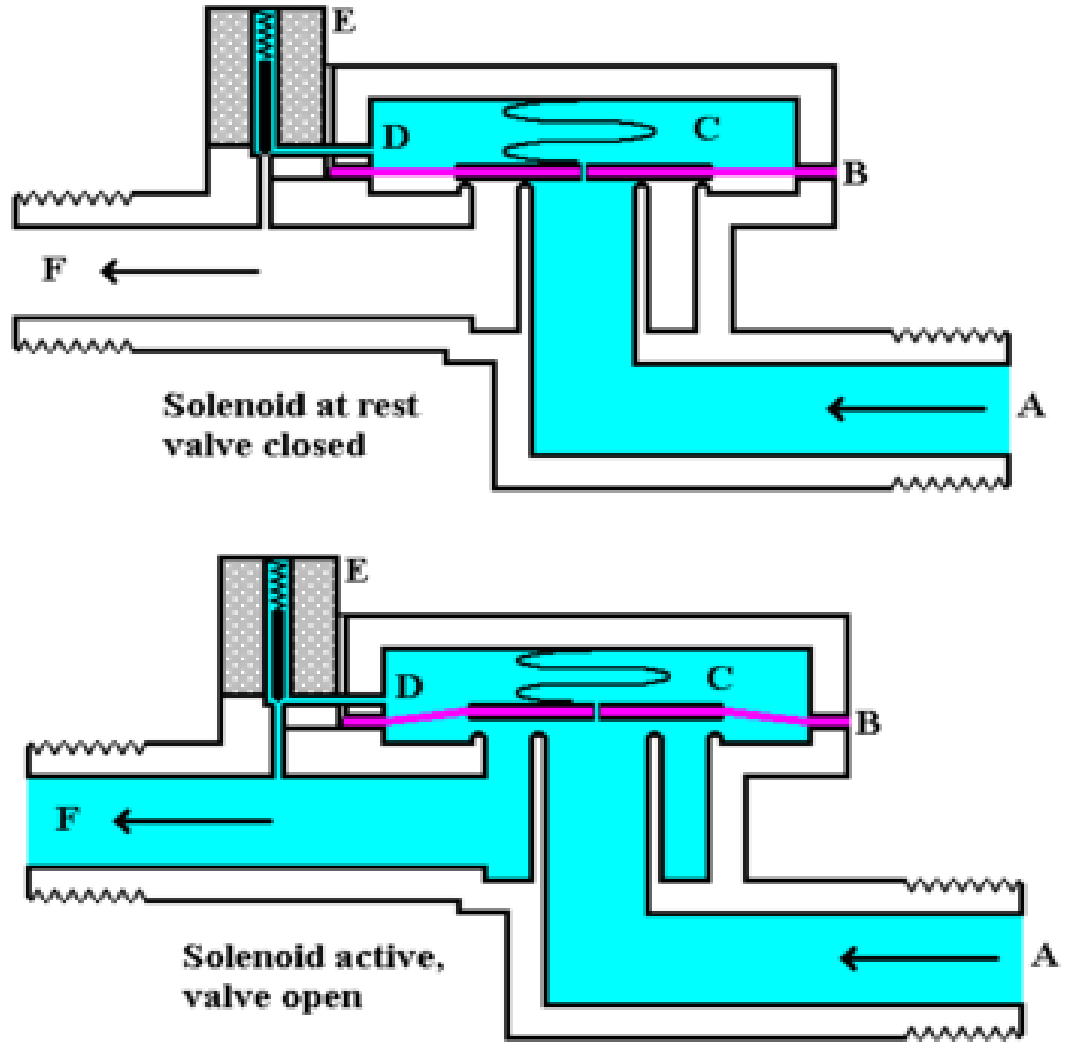
والغازات (الملف اللولبي الصمام) وكذلك بداية تشغيل السيارات وتطبيقات أخرى كتحريك آلية السقاطة لفتح ملامسات القاطع الكهربائي.

أ- الملف اللولبي الصمام

يستخدم هذا النوع من الملفات اللولبية للتحكم في عمل صمام للغاز أو السوائل. عملية التحكم تتم عن طريق التيار الكهربائي الذي يمر عبر الملف. يمكن للصمام أن يحتوي على منفذين أو أكثر. في حالة الصمام الثنائي المنفذ تختصر وظيفة الملف على وضع التشغيل (فتح الصمام : تدفق السائل أو الغاز) أو إيقاف التشغيل (غلق الصمام : غلق التدفق). وفي حالة الصمام الثلاثي المنافذ يعمل الملف على تدفق السائل أو الغاز بين منفذين اثنين.

تمتاز الملفات اللولبية الصمام بعدة صفات تجعلها الأكثر استخداما في عمليات التحكم في الضغط والتدفق للسوائل حيث إنها سريعة وآمنة وذات موثوقية عالية. كما أن عمرها في الخدمة طويل وتصنع من مواد متوفرة وأحجامها مضغوطة واستهلاكها من الطاقة منخفض.

يتكون الملف اللولبي الصمام من جزأين رئيسيين : الملف اللولبي والصمام. يقوم الملف اللولبي بتحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة ميكانيكية والتي ، بدورها ، تفتح أو تغلق ميكانيكيا الصمام. الرسومات التالية (٢ - ٥٢) تعرض التصميم الأساسي للملف اللولبي الصمام ووضعيات التشغيل وإيقاف التشغيل.



شكل (٢ - ٥١) التصميم الأساسي للملف اللولبي الصمام ووضعية التشغيل وإيقاف التشغيل.

الشكل الأعلى يوضح وضعية إيقاف التشغيل. الماء تحت الضغط يدخل من A. B وهو غشاء مطاطي (elastic diaphragm) ومن فوقه زنبرك يضغط عليه إلى أسفل. توجد في وسط الغشاء المطاطي فتحة صغيرة تسمح بتدفق كمية صغيرة من الماء عبرها. هذا الماء يملأ التجويف C الموجود أعلى الغشاء المطاطي بحيث يتساوى الضغط على كلا جانبي الغشاء المطاطي. على الجانب العلوي ينتشر ضغط الماء على كامل سطح الغشاء في حين أن الضغط المسلط على الغشاء من الأسفل ينتشر على مساحة تساوى مساحة مقطع الأنبوب وهي أصغر كثيراً من المساحة الكلية للغشاء. وفي حين أن الضغط هو نفسه على كلا الجانبين ، فإن القوة المؤثرة على أعلى الغشاء B هي أكبر من القوة المؤثرة على أسفله الأمر الذي يفرض غلق الصمام أمام تدفق الماء. وكلما زاد الضغط زادت القوة وأحكم إغلاق الصمام.

في الشكل الأعلى ، يتم غلق المنفذ D عن طريق شريط صغير مثبت في طرف القلب الحديدي الموجود تحت تأثير زنبرك يضغط عليه إلى الأسفل. عند تنشيط الملف اللولبي E يسحب القلب الحديدي (نتيجة القوة الكهرومغناطيسية) الشريط فيتدفق الماء من التجويف C إلى الخارج عبر المنفذ D. عندها ينخفض الضغط في التجويف فيتحرر الغشاء إلى الأعلى وهكذا يتدفق الماء مباشرة من A إلى F. عند عدم تنشيط الملف اللولبي مرة أخرى يغلق المنفذ D من جديد وتكفي قوة ضاغطة صغيرة من الزنبرك لدفع الغشاء إلى الأسفل.

من خلال هذا الشرح نتبين أن عمل هذا النوع من الصمامات يعتمد أساساً على الفرق في الضغط بين الدخول والخروج وبالتحديد يجب أن يكون الضغط عند الدخول أكبر من الضغط عند الخروج. في بعض الملفات اللولبية الصمام، قد يؤثر الملف مباشرة على الصمام. وفي أنواع أخرى تستخدم ملفات لولبية الصمام صغيرة ، تعرف باسم القائد (pilot) ، لتشغيل صمام كبير. هذا النوع الأخير يتكون من عنصرين اثنين : ملف لولبي الصمام وصمام ذي دفع هوائي ويتم بيعها كوحدة متكاملة. نشير كذلك إلى أن هذا النوع من الصمامات يحتاج إلى طاقة كهربائية صغيرة لكن عملها بطيء بشكل ملحوظ. كما أنها تحتاج إلى الطاقة الكاملة لفتح الصمام وكذلك طوال الوقت يبقى الصمام مفتوحاً . في حين أن ملف الصمام المباشر يحتاج الطاقة كاملة لفترة قصيرة لفتح الصمام وقليلاً من الطاقة لمواصلة بقاء الصمام مفتوحاً.

ب- الملف اللولبي لبدء تشغيل السيارة (starter solenoid)

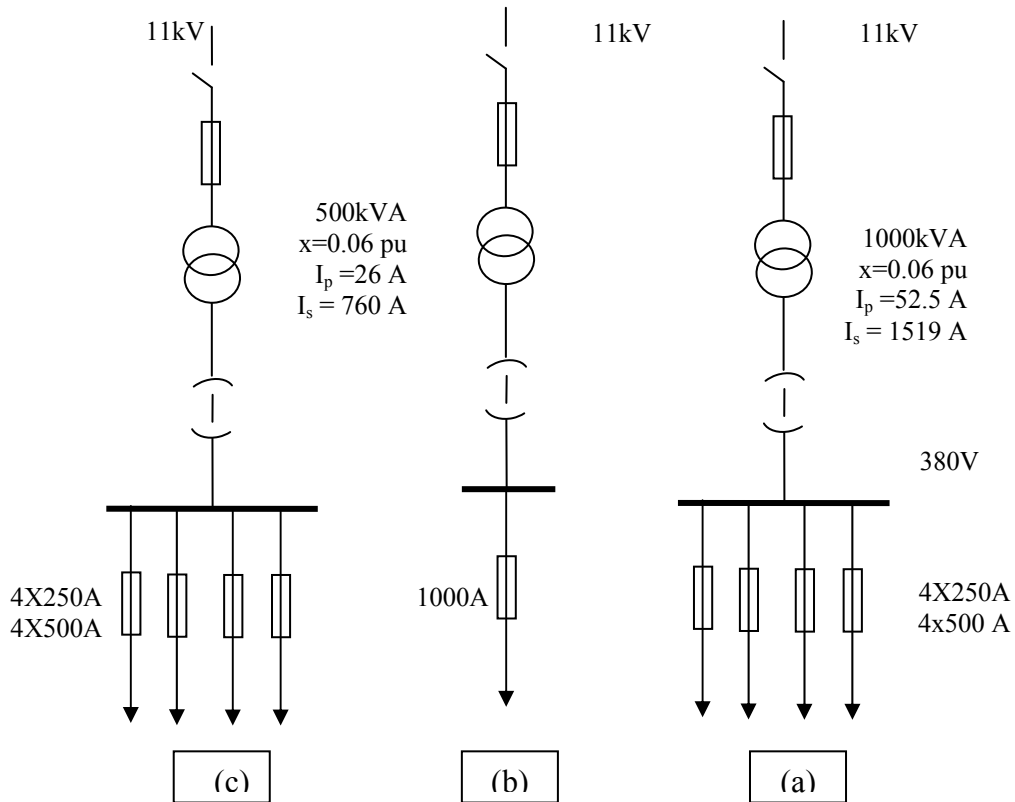
هذا الملف هو جزء من نظام بداية التشغيل في السيارة. يتلقى الملف قسماً كبيراً من التيار الكهربائي من البطارية وقسماً صغيراً من التيار من مفتاح الاشتعال (ignition switch) . عند إدارة مفتاح التشغيل (بدء تشغيل السيارة) يقوم التيار الصغير بتنشيط الملف اللولبي الذي يعمل على غلق تلامسين كبيرين موصلين بالبطارية لسحب التيار الكبير اللازم لبدء التشغيل.

عندما يتلقى ملف بدء التشغيل قدرة غير كافية من البطارية يفشل في تشغيل السيارة وينتج ذلك لأحد الأسباب التالية : هبوط في القدرة للبطارية أو لصداً في أسلاك التوصيل أو عدم إحكام في التوصيلات. ويؤدي ذلك إلى عدم توفر القدرة الكافية لإحكام غلق التلامسين مما لا يمكن من تشغيل السيارة.

أسئلة الوحدة الثانية

أسئلة الجزء الأول : المصهرات

١. عرف المصهر ثم اذكر أهم العناصر التي يتكون منها المصهر بشكل عام.
٢. اذكر أهم المتطلبات اللازمة في عمل المصهر.
٣. تصنف المصهرات إلى أنواع كثيرة و متنوعة. اذكر الأنواع الرئيسة للمصهرات.
٤. تنقسم المصهرات بصفة عامة إلى قسمين رئيسيين بالنسبة لتعاملها مع التيار اذكرهما مع توضيح نظرية عمل كل منهما.
٥. اذكر الطرق المستخدمة للتسيق بين المصهرات.
٦. باستخدام الجدول (٢ - ١) والجدول (٢ - ٢) وضع كيف يمكن التسيق بين المصهرات في الأشكال المرفقة.



أسئلة الجزء الثاني (القواطع الكهربائية)

١. تنقسم المفاتيح الكهربائية إلى نوعين أساسيين . اذكرهما مع كتابة المصطلح العلمي لكل منهما.
٢. تعمل القواطع الكهربائية بفتح أو قفل الدائرة تحت ظروف تشغيل غير عادية و تتلخص ظروف التشغيل غير العادية للدائرة في ثلاث حالات اذكر هذه الحالات مع التوضيح.
٣. اذكر أهم المواصفات المختلفة للقواطع الكهربائية مع التعريف لكل منها.
٤. عرف ماذا يعنى بالقوس الكهربى الذى يحدث فى القواطع الكهربائية. ثم اذكر الطرق المستخدمة لإخماد هذا القوس فى القواطع الكهربائية.
٥. تصنف القواطع الكهربائية على حسب نوع الوسط الذى يتم فيه إطفاء القوس الكهربى إلى عدة أنواع ذكرها واكتب المصطلح العلمي لكل منها.
٦. تصنف القواطع الكهربائية من حيث قيم جهد التشغيل إلى أربعة أنواع اذكرها واكتب المصطلح العلمي لكل منها.
٧. اشرح مع التوضيح بالرسم العلاقة بين المتانة الكهربائية والضغط لكل من غاز سادس فلوريد الكبريت والهواء.

أسئلة الجزء الثالث : المرحلات

١. اشرح مع التوضيح بالرسم دائرة توضح المبدأ الأساسى الذى يعمل عليه المرحل مع القاطع.
٢. يمكن تصنيف المرحلات حسب مبدأ عملها أو تركيبها إلى أنواع كثيرة. اذكرها واكتب المصطلح العلمي لكل منها.
٣. اشرح مع التوضيح بالرسم الشكل التخطيطي لمرحل استاتيكي.
٤. اذكر الاستخدامات الهامة لمرحلات زيادة التيار.
٥. اذكر الطرق المستخدمة لعمل التنسيق بين المرحلات.
٦. اشرح مع التوضيح بالرسم الفرق بين المرحلات المسافية والمرحلات الاتجاهية.
٧. اشرح مع التوضيح بالرسم كيفية عمل الملف اللولبي.