المملكة العربية السعودية
المؤسسة العامة للتدريب التقني والمهني
الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج

الكليات التقنية

الحقيبة التدريبية :

حماية النظم الكهربائية- نظري

في تخصصي

القوى الكهربائية ومشغل لوحة التحكم

مقدمة

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

تسعى المؤسسة العامة للتدريب التقني والمهني 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 الله ثم 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 للتدريب التقني والمهني 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- نظري " لمتدربي تخصصي "القوى الكهربائية ومشغل لوحة التحكم" 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 وجلً أن تسهم بالشكل مباشر في تأصيل المهارات الضرورية اللازمة، بأسلوب مبسط يخلو من التعقيد، مدعم 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

الفهـــرس

الموضـــوع	رقم الصفحة
تمهيد	٨
الوحدة الأولى : أساسيات الحماية الكهربائية	
١،١ - مقدمة	١٢
٢.١- الأخطاء وأنواعها	١٣
٣.١- الأضرار الناتجة عن الأخطاء الكهربائية	٢٠
٤.١- المصطلحات المستعملة في مجال حماية النظم الكهربائيية	٢٤
٥.١- دور أجهزة الحماية (المرحلات)	٢٧
٦.١- وظيفة وأسلوب عمل أجهزة الحماية	٢٩
٧.١- المبادئ الأساسية لعمل دائرة الحماية	٣٠
٨.١- المتطلبات العامة لأجهزة الحماية	٣٢
٩.١- الحماية الرئيسية والحماية الاحتياطية	٣٧
أسئلة الوحدة الأولى	٣٨
الوحدة الثانية : محولات التيار ومحولات الجهد ، المصهرات ، القواطع والمرحلات	٤١
الجزء الأول : محولات التيار ومحولات الجهد	٤١
١،٢- مقدمة عامة	٤١
٢.٢- الأجهزة المستخدمة في نظام الحماية	٤١
٣.٢ - محولات التيار ومحولات الجهد	٤٢
٢.٣.٢ - أداء محول التيار عند حالة الاستقرار	٤٣
٣.٣.٢ - تحديد أداء محول التيار بطريقة التصنيف المعياري	٤٧
٤.٣.٢ - الطرق الخاصة لتوصيل محولات التيار	٤٨
٥.٣.٢ - محولات الجهد	٥١
٦.٣.٢ - محول الجهد السعوي	٥٢

الموضـــوع	رقم الصفحة
الجزء الثاني : المصهرات	٥٦
٢.٤ - المصهرات	٥٦
٢.٤.١ – مقدمة	٥٦
٢.٤.٢ - أهم المتطلبات من المصهرات	٥٨
٢.٤.٣ - تصنيف المصهرات	٥٨
٢.٤.٤- المنحنيات الخصائصية للمصهرات المحددة للتيار	٦٥
٢.٤.٥ - التنسيق بين المصهرات وبعضها	٦٨
٢.٤.٦ - التنسيق بين المصهرات والقواطع	٧٣
الجزء الثالث : القواطع الكهربائية	٧٤
٢.٥- القواطع الكهربائية	٧٤
٢.٥.١- مقدمة	٧٤
٢.٥.٢ - مواصفات القواطع	٧٥
٢.٥.٣- القوس الكهربائي وطرق إخماده	٧٧
٢.٥.٤ - تصنيف القواطع	٨١
٢.٥.٥- قواطع الجهد المنخفض	٨١
٢.٥.٦- نبائط الإعتاق	٨٤
٢.٥.٧- التنسيق بين القواطع وبعضها البعض	٩٠
٢.٥.٨- التنسيق بين المصهرات والقواطع	٩٢
٢.٥.٩- قواطع الجهد المتوسط	٩٤
٢.٥.١٠- قواطع سادس فلوريد الكبريت	١٠٠
الجزء الرابع : المـرحـلات والملفات اللولبية	١٠٤
٢.٦- المرحلات	١٠٤
٢.٦.١ - مقدمة	١٠٤
٢.٦.٢ - الطريقة العامة لعمل منظومة الحماية	

الموضـــوع	رقم الصفحة
٢. ٦. ٣ - أنواع المرحلات	١٠٥
أ- المرحلات الحثية	١٠٦
ب - المرحلات الستاتيكية	١١١
٢. ٦. ٤ - الحماية ضد زيادة التيار	١١٤
٢. ٦. ٥- المرحلات المسافية	١٢٠
٢. ٦. ٦ - المرحلات الاتجاهية	١٢٢
٢,٧- الملف اللولبي	١٢٥
٢. ٧. ١ - المجال المغناطيسي للملف اللولبي	١٢٦
٢. ٧. ٢ - القوة الكهرومغناطيسية المؤثرة على قلب الملف اللولبي	١٢٧
٢. ٧. ٣ - تطبيقات الملف اللولبي	١٢٨
أسئلة الفصل الثاني	١٣٣
الوحدة الثـــالـــثة : حماية التركيبات الكهربائية	١٣٧
٣. ١ - مقدمة	١١٣٧
٣. ٢ - حماية المغذيات	١٣٧
٣. ٢. ١- حماية الخطوط الشعاعية المغذاة من مصدر واحد	١١٣٧
٣. ٢. ٢- حماية الخطوط الشعاعية المغذاة من مصدرين	١٤١
٣. ٢. ٣- حماية الخطوط الحلقية المغذاة من مصدر واحد	١٤٤
٣. ٢. ٤- حماية الخطوط المربوطة على التوازي	١٤٧
٣. ٣- حماية الشبكات الكهربية	١٥١
٣. ٤ - حماية دوائر التوزيع ضد الخطأ الأرضي	١٥٣
٣. ٤. ١ - نظم حماية دوائر التوزيع الأولية (جهود متوسطة)	١٥٣
٣. ٤. ٢- نظم حماية دوائر التوزيع الثانوية	١٥٥
٣. ٥- حماية الأجهزة الكهربائية المستعملة في التسخين	١٥٧
أسئلة الفصل الثالث	

الموضـــوع	رقم الصفحة
الوحدة الرابعة : حماية الآلات الكهربائية	
الجزء الأول : حماية المحولات الكهربائية	١٦٦
١.٤ حماية المحولات الكهربائية	١٦٦
١،١.٤ - مقدمة	١٦٦
٢،١.٤ - أنواع الأخطاء وتأثيرها	١٦٦
٣،١.٤ - الحماية التفاضلية	١٦٧
٤،١،٤ - حماية محولات القدرة باستخدام الحماية التفاضلية	١٦٩
٥،١،٤ - حماية المحول ضد زيادة الحمل	١٧٨
٦،١،٤ - جهاز البوخولز	١٧٩
أسئلة الفصل الرابع – الجزء الأول	١٨١
الجزء الثاني : حماية المولدات الكهربائية	
٢.٤ - حماية المولدات الكهربائية	١٨٢
١.٢.٤ - مقدمة	١٨٢
٢.٢.٤ - أعطال المولدات	١٨٣
٣.٢.٤ - الحماية الأساسية للعضو الثابت	١٨٤
٤.٢.٤ - حماية المولدات ضد القصر بين اللفات	١٨٨
٥.٢.٤ - حماية المولدات ضد زيادة الحمل	١٨٩
أسئلة الفصل الرابع : الجزء الثاني	١٩٠
الجزء الثالث : حماية المحركات الكهربائية	١٩١
٣.٤ - حماية المحركات الكهربائية	١٩١
١،٣،٤ - مقدمة	١٩١
٢،٣،٤ - الأخطاء المحتملة الحدوث في المحركات الكهربائية	١٩١
٣،٣،٤ - حماية المحركات متوسطة الحجم من التيار المفرط	١٩٢
٤،٣،٤ - حماية المحركات الكبيرة	١٩٥

الموضـــوع	رقم الصفحة
٥،٣،٤ - الوقاية ضد زيادة أو انخفاض الجهد	١٩٦
٦،٣،٤ - الحماية ضد انعكاس أحد الأوجه	١٩٨
٧،٣،٤- الحماية ضد فقدان التزامن	١٩٩
٨،٣،٤ - الحماية الكلية الرقمية للمحرك	٢٠٠
أسئلة الفصل الرابع : الجزء الثالث	٢٠١
الوحدة الخامسة : القصر الكهربائي في خطوط النقل الكهربائية	
١.٥- مقدمة	٢٠٤
٢.٥- أسباب حدوث القصر في منظومات القوى	٢٠٥
٥,٣ - مصادر دوائر القصر	٢٠٦
١.٣.٥ - المولدات التزامنية	٢٠٦
٢.٣.٥ - المحركات والمكثفات التزامنية	٢٠٧
٣.٣.٥ - المحركات الحثية	٢٠٨
٤.٣.٥ - منظومة الإمداد	٢٠٨
٤.٥ - النظام بالوحدة	٢٠٨
١.٤.٥- تعريف القيم النسبية	٢١٠
٢.٤.٥- تمثيل عناصر منظومة القوى	٢١٢
أ- تمثيل الأحمال	٢١٣
ب- تمثيل المولد	٢١٣
ج- تمثيل الخطوط	٢١٥

الموضـــوع	رقم الصفحة
د- تمثيل المحول	٢١٥
٥.٥ - أنواع القصر الكهربائي:	٢١٨
٦.٥ - حساب تيار القصر لخطأ متماثل ثلاثي الأوجه	٢٢٠
٧.٥ - حساب مقنن القصر لخطأ متماثل ثلاثي الأوجه	٢٢٦
٨.٥ - تأثير القصر وزمن الفصل على الشبكة.	٢٢٧
٩.٥ - المانعات الصناعية	٢٢٨
١.٩.٥ - ممانعات المولد	٢٢٩
٢.٩.٥ - ممانعات المغذيات	٢٢٩

تمهيد

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

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

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

وسنتناول في هذا المقرر دراسة أساسيات و مبادئ تشغيل دوائر حماية القوى الكهربائية وكذلك التعرف على المصطلحات المستخدمة في هذا المجال وهو مجال الحماية الكهربائية. كذلك نتعرض لدراسة العناصر الأساسية والمستخدمة في منظومات الحماية الكهربائية وهي المصهرات بأنواعها وكيفية عملها وكذلك القواطع الكهربائية 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 الكهربائية مثل حماية المحولات الكهربائية وحماية المولدات الكهربائية وكذلك حماية المحركات الكهربائية.

وفي النهاية نتمنى 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 محولات التيار ومحولات الجهد والمصهرات والقواطع والمرحلات المختلفة وإلى الطرق المهمة التي تستعمل في حماية التركيبات والآلات الكهربائية. كما يتطرق لحسابات القصر الكهربائي.

الهدف العام :

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

الأهداف الموضوعية :

دراسة هذا المقرر تمكن المتدرب من :

- الإلمام بأساسيات حماية النظم الكهربائية وبالمصطلحات المستعملة في هذه الحماية.
- الإلمام بمحولات التيار ومحولات الجهد.
- الإلمام بمبدأ تشغيل المصهرات وبأنواعها.
- الإلمام بمبدأ تشغيل القواطع الكهربائية وبالأنواع المختلفة لهذه القواطع
- الإلمام بالأنواع المختلفة للمرحلات حسب التركيب وحسب الوظيفة.
- الإلمام بمبدأ عمل المرحلات بأنواعها المختلفة
- الإلمام بالطرق المختلفة لحماية التركيبات الكهربائية.
- الإلمام بالطرق المختلفة لحماية المحولات الكهربائية حسب أنواع الأخطاء.
- الإلمام بالطرق المختلفة لحماية المولدات الكهربائية حسب أنواع الأخطاء.
- الإلمام بالطرق المختلفة لحماية المحركات الكهربائية.
- الإلمام بحسابات القصر الكهربائي

الوحدة الأولى

أساسيات الحماية الكهربائية

الهدف العام للوحدة : فهم أساسيات الحماية الكهربائية

الأهداف التفصيلية :

١. أن يعرف المتدرب الأخطاء الكهربائية والأضرار الناتجة عنها
٢. أن يعرف المتدرب أساسيات نظم الحماية الكهربية.
٣. أن يفهم المتدرب التعاريف والمصطلحات المستعملة في حماية نظم القوى الكهربائية.
٤. أن يتعرف المتدرب على الحماية المركبة لعناصر المنظومة الكهربائية.

أساسيات الحماية الكهربائية

١.١ - المقدمة

إن منظومة القوى الكهربائية هي أكبر نظام ابتدعه الإنسان على وجه الأرض حيث أنها الأكبر في عدد المكونات وعدد العاملين بها وعدد المستفيدين منها والأوسع انتشارا جغرافيا ، فلو نظرنا إلى منظومة القوى الكهربائية بالمملكة لوجدناها تغطي كامل مساحة المملكة تقريبا وتحتوي على مئات المولدات وآلاف المحولات وآلاف الكيلومترات من خطوط النقل الهوائية ومئات آلاف الكيلومترات من خطوط التوزيع وتربو تكلفة إنشائها على عشرات بل مئات المليارات وعدد العاملين بها يزيد على الآلاف ويستفيد منها ملايين البشر سواء في الاستخدامات المنزلية أو التجارية أو الصناعية.

ولأن معظم هذه المكونات موجودة في مساحات مكشوفة (كخطوط النقل والتوزيع التي تمتد على مسافات طويلة في الصحاري وداخل المدن والقرى) فإنها تكون عرضة لحدوث أعطال أو أخطاء نتيجة لتأثير العوامل الجوية كالبرق والعواصف والأمطار أو نتيجة لاقتراب بعض الكائنات الحية كالطيور والأفاعي من الموصلات المكشوفة أو نتيجة لبعض الحوادث كاصطدام طائرة بأحد الخطوط الهوائية أو اصطدام سيارة بمحول أو بعامود أو برج ، وحتى الأجزاء الموجودة في أماكن مغلقة لا تسلم من حدوث مثل هذه الأخطاء نتيجة لتسلل الحيوانات الصغيرة كالفئران وملامسة الموصلات ، وحتى الكابلات المدفونة في باطن الأرض تكون عرضة لحدوث مثل هذه الأخطاء نتيجة لأعمال الحفر في بعض الأحيان ، هذا بالإضافة إلى أنه قد تحدث أخطاء داخلية Internal faults نتيجة لانهيار عزل موصلات المحول أو المولد أو الكابل.

وهذه الأخطاء تؤدي إلى حدوث إما دوائر قصر short circuits والتي ينتج عنها مرور تيار كبير جدا في الأجزاء التي تعرضت للخطأ والأجزاء المجاورة مما يتسبب في آثار تدميرية إذا لم يتم إزالة هذا الخطأ بسرعة ، أو إلى حدوث قطع في أحد الدوائر open circuit مما يسبب في انقطاع الخدمة وما ينتج عنه من خسائر مادية وخصوصا في المصانع والمواقع الإنتاجية المختلفة.

وخطورة الأخطاء لا تنحصر في تدمير الجزء الذي حدث به الخطأ فحسب ولكن إذا لم يتم فصل هذا الخطأ بسرعة فإنه ينتشر في باقي الأجزاء السليمة مما يؤدي إلى كثير من

الخسائر المادية نتيجة لتلف المعدات وكذلك نتيجة لتوقف المصانع وقد يصل الأمر إلى خسائر في الأرواح.

ولهذا فإنه لا يمكن ترك منظومة القوى دون حماية من مثل هذه الأخطار وذلك لحماية رؤوس الأموال الضخمة التي أنفقت في إنشاء هذه المنظومة وتأمينا لضمان استمرارية تغذية الأحمال المهمة كالمصانع والمستشفيات والدوائر الحكومية والبنوك والمنشآت الأمنية.

وفي هذا الباب نعرض بعض المفاهيم الأساسية لحماية النظم حيث سنقدم عرضا موجزا لأنواع الأخطاء وأسبابها والخصائص المطلوبة لنظام الحماية والتي سيتم دراستها بالتفصيل في فصول لاحقة.

ونظرا لأننا سنضطر إلى استخدام كثير من المصطلحات الأجنبية والتي لها أكثر من مرادف باللغة العربية فإننا سنعرض أهم المرادفات باللغة العربية والتي قد تجدها أخي المتدرب في المراجع العربية وسوف نرجح استخدام أحدها مع ذكر أسباب ترجيحنا لهذا المرادف ، فعلى سبيل المثال كلمة fault تجد بعض المراجع العربية تستخدم كلمة "عطل" كمرادف لها والبعض يستخدم كلمة "خلل" والبعض الآخر يستخدم كلمة "خطأ" . وقد رجحت استخدام كلمة "خطأ" لأن "عطل" تعني توقف المعدة عن أداء وظيفتها الأساسية وكلمة "خلل" تعني أن المعدة تؤدي وظيفتها ولكن ليس على الوجه السليم وكلاهما لا تحمل مدلول الخطر الذي تحمله كلمة "خطأ" ولذلك سنستعمل كلمة "خطأ" كمرادف لكلمة fault.

٢.١ - الأخطاء وأنواعها Faults and fault types

كما هو معروف ، إن منظومات القوى الكهربائية هي أنظمة تيار متردد ثلاثية الأوجه ، وشروط التشغيل السليم الآمن هي :

- أن تكون الأوجه الثلاثة متزنة balanced 3 phase
- أن يكون التيار ضمن الحدود المسموح بها
- ألا يمر أي تيار خارج الدوائر المعدة لنقل التيار من محطات التوليد إلى الأحمال
- ألا تنقطع التغذية عن الأحمال
- أن يكون الجهد والتردد ثابتين كل عند القيمة المحدد له.

ولكن قد تسبب بعض الأحداث غير المرغوب فيها في الإخلال بهذه الشروط المطلوبة للتشغيل الآمن ، وهذه الأحداث هي ما نسميه أخطاء faults وقد تحدث هذه الأخطاء نتيجة لأحد الأسباب الآتية :

- انهيار العزل insulation failure عند أي نقطة داخل ملفات المولد أو المحرك، أو المحول ، انهيار عوازل الخطوط الهوائية ، وانهيار عوازل الكابلات الكهربائية.
- ملامسة جسم موصل لجزء مكشوف من موصلات القدرة كأن يمر سرب من الطيور بين خطين من خطوط النقل فتقوم أجسام هذه الطيور المتراصة جنبًا إلى جنب بقصر الموصلين معا ، أو ثعبان يصل بين خطين من خطوط القدرة ، أو شجرة تقع على أحد الخطوط ، أو رياح قوية تجعل الموصلات تتلامس ، أو طائرة تصطدم بالخطوط ..
- البرق lighting يضرب أحد الخطوط ويسبب الجهد الفائق الناتج عن البرق والذي يزيد عن مليون فولت في انهيار عازل الخط.
- أعمال التخريب المتعمدة.
- قطع الموصلات نتيجة تراكم الثلوج عليها.

ويمكنك أخي المتدرب أن تضيف الأسباب التي تراها معقولة وممكنة الحدوث والتي من نتيجتها إما حدوث قطع في الموصلات أو حدوث قصر بينها.

١.٢.١ - أنواع الأخطاء Types of faults

١ - يمكن تصنيف الأخطاء في منظومة القدرة من حيث طبيعة الخطأ إلى :

- أخطاء دوائر القصر Short circuit faults
- أخطاء الدائرة المفتوحة Open conductor faults
- أخطاء الملفات Winding faults

هذه الأخطاء سيتم شرحها بعد الانتهاء من سرد التصنيفات المختلفة للأخطاء.

٢ - كذلك يمكن تصنيف الأخطاء من حيث عددها إلى :

- خطأ وحيد single fault
- أخطاء متعددة multiple fault وتسمى أيضا أخطاء متزامنة simultaneous faults أي أخطاء تحدث في نفس الوقت معا ولا يشترط أن تكون في نفس المكان ، فقد يكون نظام القدرة معرضا لدائرة قصر بين خطين في مكان ما وخطأ في ملف أحد المحولات في مكان آخر ومثل هذه الأخطاء نادر الحدوث وأغلب الحالات التي يحدث فيها أخطاء متعددة هو قطع أحد الخطوط وملامسة للبرج فيكون عندنا خطأ دائرة مفتوحة مع خطأ أرضي في نفس الوقت.

٣ - وأيضا يمكن تصنيف الأخطاء تبعًا لزمن حدوثها إلى :

- أخطاء عابرة temporary faults وهي الأخطاء التي تحدث وتنتهي سريعا. ومعظم الأخطاء من هذا النوع حيث يتسبب تيار الخطأ الكبير في إحراق الجسم المتسبب في حدوث الخطأ دون تدخل من أفراد الصيانة.
- أخطاء دائمة permanent faults وهي الأخطاء التي تستمر لفترة طويلة والتي تحتاج إلى إصلاح وصيانة لإزالة الخطأ .

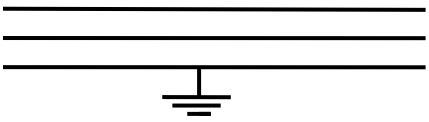
٤ - كما يمكن تصنيف الأخطاء تبعا لمكونات منظومة القوى كالآتي :

- أخطاء خطوط النقل Transmission line faults
- أخطاء الكابلات الأرضية Underground cable faults
- أخطاء المولدات Generator faults
- أخطاء المحركات Motor faults
- أخطاء المحولات Transformer faults
- أخطاء القضبان العمومية Bus bar faults

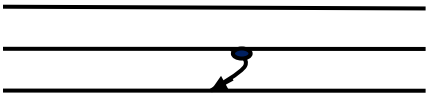
أ- أخطاء دوائر القصر Short Circuit Faults

وتشمل هذه الأخطاء :

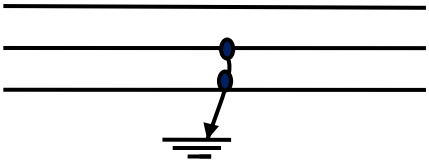
- خطأ قصر وجه واحد مع الأرض
single phase to ground fault



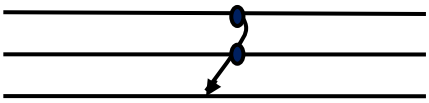
- قصر وجهين معا Phase to phase fault



- قصر وجهين مع اتصال بالأرض
Two phase to ground fault



- الخطأ المتماثل Symmetrical fault
ويسمى أيضا قصر الثلاث أوجه
Three phase fault

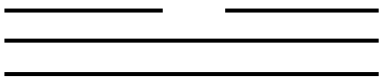


والتيار في حالة الخطأ المتماثل هو أكبر من تيارات الخطأ في الحالات الأخرى ولذا يستخدم هذا الخطأ لحساب مستويات أخطاء النظام وتحديد المقننات المطلوبة لمعدات الحماية من قواطع وغيرها.

ب- أخطاء الدائرة المفتوحة Open Circuit Faults

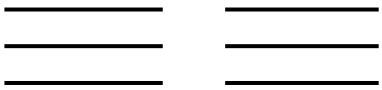
تحدث هذه الأخطاء غالبا على الخطوط الهوائية والكابلات الأرضية والسبب الرئيسي لها هو فشل أحد الأوجه لقاطع أو مفتاح عزل في إتمام التوصيل. وتشمل هذه الأخطاء الأنواع التالية :

- انقطاع أحد الأوجه



- انقطاع وجهين

- انقطاع الأوجه الثلاثة.



ويؤدي انقطاع وجه واحد أو وجهين إلى حدوث عدم اتزان unbalance في منظومة القدرة مما يشكل خطرًا على الآلات الكهربائية وخصوصًا المحركات والمولدات.

ج- أخطاء الملفات Winding Faults

تحدث هذه الأخطاء على ملفات الآلات (المولدات والمحركات والمحولات) وتشمل :

- قصر بين ملفين phase to phase fault
- قصر بين ملف والأرض phase to earth fault

ويحدث عندما ينهار العزل لأحد الملفات ويصبح ملامسا لجسم الآلة

- قصر بين عدد من لفات الملف الواحد inter-turn short circuit

وهذا النوع يعتبر أهم هذه الأخطاء من وجهة نظر الحماية لأنه لا تظهر آثاره على الأطراف الخارجية للآلة حيث يكون التيار عاديًا بينما يكون التيار في الملفات المقصورة كبيرًا جدًا مما يؤدي إلى ارتفاع درجة حرارتها وقد يؤدي إلى انهيار الموصل نفسه.

- قطع في أحد الملفات

وهي حالة نادرة وغالبا ما تحدث في الملف الذي حدث عليه دائرة قصر عند نقطة العطل أو قريبًا منها.

د- أخطاء تجهيزات (معدات) منظومة القدرة Power System Component Faults

في هذا الجزء سيتم استعراض أهم الأخطاء التي تحدث على كل من مكونات منظومات القدرة.

د.١- أخطاء الخطوط الهوائية Over-head lines

تعتبر الخطوط الهوائية أكثر مكونات منظومة القدرة تعرضا لحدوث الأخطاء وذلك لكونها مكشوفة ومعرضة للعوامل الجوية واحتمال سقوط الأجسام الغريبة عليها. وتحدث هذه الأخطاء نتيجة البرق ، الخطأ في عمليات الفصل والتوصيل والجليد والرطوبة

وتلوث العوازل وتصدعها. وأكثر الأخطاء حدوثا هي الأخطاء أحادية الوجه حيث تمثل ٨٥٪ من مجمل الأخطاء التي تحدث على خطوط النقل.

وأغلب الأخطاء تكون عابرة ولذلك فإنه من الضروري استخدام أجهزة إعادة التوصيل الأوتوماتيكي auto-reclosers مع أجهزة الحماية المستخدمة بحيث يتم فصل وتوصيل الدائرة عدة مرات لإزالة الخطأ العابر وذلك بحرق الأجسام المسببة للخطأ نتيجة الفصل والتوصيل عدة مرات. أما إذا استمر الخطأ بالرغم من عملية الفصل والتوصيل عدة مرات فهذا يعني أن الخطأ دائم ويجب التدخل لإصلاحه ، وتوجد عادة في دوائر الحماية دوائر منع interlock لمنع عدم إعادة التوصيل لأكثر من ثلاث مرات حتى لا تحدث أضرار للمعدات الكهربائية.

د.٢- أخطاء الكابلات الأرضية Underground Cables

- أخطاء الكابلات الأرضية أقل عددًا من أخطاء الخطوط الهوائية بنسب كبيرة وذلك لأنها معزولة ومدفونة في الأرض.
- أخطاء الكابلات تكون من الأخطاء الدائمة وليست عابرة كما في الخطوط الهوائية.
- الأخطاء التي تتعرض لها الكابلات تكون بسبب الكابل نفسه أو الوصلات joints أو نهايات الكابل Terminations.
- الأخطاء المحتملة : انهيار العازل أو انقطاع الموصلات نتيجة لأعمال الحفر.
- لا تستخدم أجهزة إعادة التوصيل ضمن أجهزة حماية الكابلات وذلك لأن الأعطال ذات طبيعة دائمة وإعادة التوصيل على العطل الدائم تؤدي إلى زيادة العطل وتلف الأجهزة.

د.٣- أخطاء محولات القدرة Power Transformers

الأخطاء التي يتعرض لها محول القدرة تنقسم إلى قسمين :

ح١- أخطاء ناتجة عن أسباب خارجية كالأخطاء التي تحدث نتيجة للجهود العالية التي تنتج عن عمليات الفصل والتوصيل أو عن ضربات الصواعق.

ح٢- أخطاء ناتجة عن أسباب داخلية :

- قصر بين أحد الأوجه والأرض.
- قصر بين وجهين سواء في ملفات الجهد العالي أو الجهد المنخفض وكذلك على الأطراف الخارجية لجانب الجهد العالي أو الجهد المنخفض.
- أخطاء بسيطة تؤدي إلى تلف متطور وبشكل بطيء مثل :
- فشل مادة التبريد ،
- خطأ في منظم الجهد والتوزيع السيئ للأحمال على المحولات التي تعمل على التوازي،
- عدم إحكام التوصيلات الخارجية ،
- عطل في قلب المحول نتيجة لانهيار عازل شرائح القلب.

د.٤- أخطاء المولدات Generators Faults

من الأخطاء التي تحدث في المولدات :

- أخطاء دوائر القصر
- زيادة التيار
- أخطاء الدائرة المفتوحة في الملفات أو كابلات التوصيل بين المولدات والقضبان العمومية.
- زيادة التسخين.
- زيادة السرعة.
- انخفاض الجهد.
- العمل كمحرك.
- انخفاض السرعة.
- فقدان التزامن.

- فقدان تيار المجال.
- ارتفاع الجهد.
- عدم الاستقرار.

د.٥- أخطاء المحركات ثلاثية الوجه Three phase motor Faults

أخطاء المحركات تشمل :

- التحميل الزائد.
- هبوط أو ارتفاع الجهد.
- دوائر القصر بين الأوجه أو بين أحد الأوجه والأرض في ملفات المحرك أو إحدى توصيلاته.
- انقطاع أحد الأوجه مما يؤدي إلى ما يعرف بالعمل كمحرك وجه واحد single phase وما يتبع ذلك من زيادة التيار وما يسببه من تلف للملفات.

د.٦- أخطاء القضبان العمومية Bus bars Faults

أخطاء القضبان العمومية أقل حدوثا ولكنها حال حدوثها تسبب مشاكل أكبر بكثير وذلك لأنه لفصل الخطأ عن قضيب عمومي يلزم فصل جميع القواطع المتصلة عليه مما يتسبب في فقدان كمية كبيرة من التوليد أو قدرات النقل.

معظم الأخطاء التي تحدث في القضبان العمومية تكون أرضية بسبب ضربات الصواعق أو انهيار العزل أو أخطاء بشرية.

٣.١ - الأضرار الناتجة عن الأخطاء الكهربائية Damage due to electric faults

الأضرار الناتجة عن الأخطاء الكهربائية كثيرة ومتشعبة حيث أنه أثناء الخطأ تحدث تيارات قصر عالية وقد يحدث ارتفاع في الجهد وفي معظم الحالات يحدث عدم توازن في جهود التغذية ولذلك سيتم تصنيف الأضرار كالتالي :

١- الأضرار الناتجة عن تيارات القصر.
٢- الأضرار الناتجة عن ارتفاع الجهد.
٣- الأضرار الناتجة عن عدم التوازن في جهود التغذية.

١.٣.١ - الأضرار الناتجة عن تيارات القصر Damage due to short-circuit

عندما يحدث خطأ دائرة قصر في الشبكة الكهربائية يصل تيار الخطأ إلى عشرات أضعاف التيار في حالة التشغيل العادي للشبكة. وهذا التيار الكبير له أضرار خطيرة جدا وإن لم يتم فصله بسرعة يؤدي إلى حدوث عواقب وخيمة جدا وهذه الأضرار تكون بسبب الحرارة المتولدة عن هذا التيار الكبير وكذلك بسبب القوى الكهرومغناطيسية العالية.

أ - ارتفاع درجة الحرارة Overheating

من المعروف أن الحرارة الناتجة عن مرور التيار في الموصلات تتناسب مع مربع شدة التيار (قانون جول) ، وتحدد مقننات الآلات الكهربائية وخطوط النقل والمواد العازلة على أساس قدرتها على تحمل الحرارة الناتجة عن مرور التيار ، أي أن المحول المصمم ليعمل عند تيار حمل ١٠٠٠ أمبير يكون معدا لتصريف الحرارة الناتجة عن مرور هذا التيار في ملفاته بحيث لا ترتفع درجة الحرارة عن الدرجة التي تتحملها المادة العازلة للملفات وكذلك المولدات وجميع الآلات الكهربائية.

وعندما يزيد التيار إلى ٢٠ ضعف التيار المقنن مثلا ، فإن كمية الحرارة المتولدة تكون ٤٠٠ ضعف كمية الحرارة المصمم على أساسها معدات التبريد للآلة الكهربائية وبالتالي ترتفع درجة الحرارة إلى درجة قد تؤدي إلى انهيار العزل وحتى انهيار الموصلات إذا ترك هذا التيار دون أن يفصل في خلال زمن قليل جدًا لا يتعدى الثانية الواحدة بكثير.

ب - القوى الكهرومغناطيسية Electromagnetic forces

من المعروف أنه تنشأ قوى كهرومغناطيسية بين موصلين يحملان تيارًا كهربائيًا وأن هذه القوى تكون قوى تجاذب إذا كان التياران يمران في نفس الاتجاه وقوى تنافر إذا كانا متضادين في الاتجاه ومقدار هذه القوى يتناسب مع حاصل ضرب شدة التيارين.

وفي حالة الخطأ وزيادة التيار إلى ٢٠ ضعف التيار المقنن مثلا، تزيد القوة بين الموصلات إلى ٤٠٠ ضعف قيمتها عند ظروف التشغيل العادية مما يؤدي إلى تلف ميكانيكي للموصلات حيث أن هذه القوى تكون أكبر بكثير جدا من تلك التي تتحملها نقاط تثبيت الموصلات سواء في الخطوط الهوائية أو القضبان العمومية داخل محطات القوى أو محطات التوزيع ولذلك يجب فصل هذه التيارات بأقصى سرعة ممكنة.

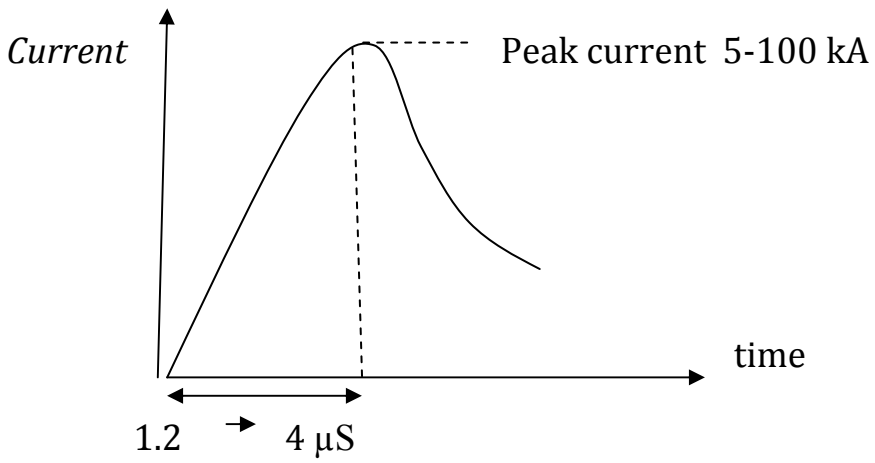
١.٣.٢ - الأضرار الناتجة عن ارتفاع الجهد Damage due to overvoltage

أسباب ارتفاع الجهد في نظم القدرة ترجع إلى أسباب داخلية أو خارجية ، والأسباب الداخلية تشمل :

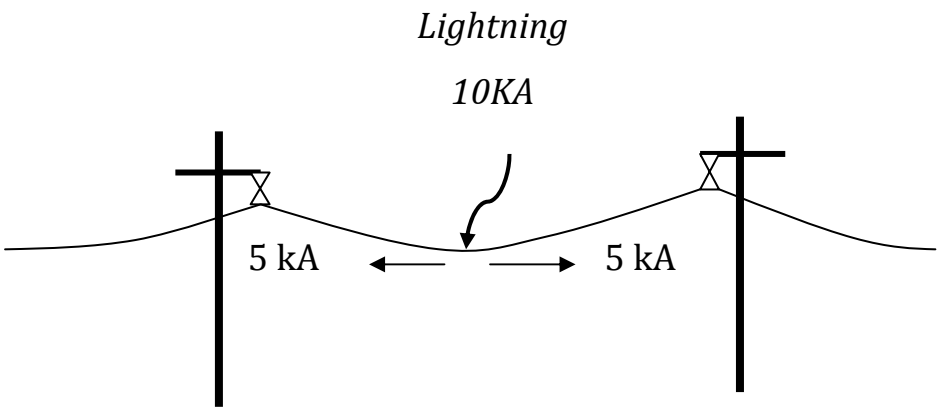
- ارتفاع الجهد نتيجة عمليات الفصل والتوصيل Switching overvoltage
- ارتفاع الجهد نتيجة تغيير مفاجئ في الحمل overvoltage due to sudden change in load
- ارتفاع الجهد نتيجة قطع مفاجئ في الدائرة الكهربائية overvoltage due to load loss
- ارتفاع الجهد نتيجة حدوث رنين توازي بين مكثفات تحسين معامل القدرة وممانعة الخط overvoltage due to parallel resonance

أما السبب الرئيسي لارتفاع الجهد نتيجة أسباب خارجية فهو ضربات الصواعق أو البرق lighting. ويعتمد الجهد الناتج في نقطة سقوط الضربة على الشبكة على القيمة العظمى لتيار الضربة وعلى ممانعة الشبكة التي سيسري فيها ذلك التيار.

الشكل (١,١) يوضح شكل موجة تيار الضربة والذي يتراوح قيمة التيار الأقصى لها من 5 – 100 kA ومدة تأثيرها من 20 µs – 3 ms



شكل (١,١) : شكل موجة تيار الصاعقة



شكل (٢,١) : ضربة صاعقة على خط هوائى

عند سقوط ضربة برق بتيار قدره 10 kA على خط ممانعته المميزة 400 Ω (المانعة المميزة للخط تعتمد على محاثة الخط وسعته وهي المقاومة التي تواجه الموجات التي تسافر على الخط بسرعة الضوء) شكل (٢,١)، فإن التيار يجد أمامه مسارين متوازيين فينقسم إلى نصفين ويكون الجهد الناتج :

$$V = Z*I = 5000*400 = 2000000\ V$$

أي يحدث نتيجة ضربة البرق هذه جهد مقداره ٢ مليون فولت وهذا الجهد الكبير سيؤدي حتمًا إلى انهيار العوازل وتلف الأجهزة ما لم يتم منعه من الوصول إلى هذه العوازل والأجهزة عن طريق أجهزة الحماية (مانعات الصواعق).

١. ٣. ٣ - الأضرار الناتجة عن التوازن في جهد التغذية Damage due to unbalanced supply voltage

يحدث عدم التوازن في جهود التغذية نتيجة :

- عدم انتظام تحميل الأوجه الثلاثة بسبب سوء توزيع الأحمال أحادية الوجه.

ولكن عدم التوازن في هذه الحالة لا يكون خطيرًا بدرجة تؤدي إلى حدوث أخطار جسيمة. أما الأسباب الخطيرة فهي :

- انقطاع أحد الأوجه نتيجة العمل الخاطئ لأحد أقطاب القاطع الآلي أو انصهار مصهرات أحد الأوجه.

- الأخطاء ذات المقاومة العالية High impedance fault في النظم غير المؤرضة تأريضًا جيدًا بحيث أن تيار الخطأ يكون صغيرًا بدرجة لا تسمح لأجهزة الحماية بفصله.

وعند حدوث عدم التوازن تظهر جهود ذات تتابع سالب negative sequence وهذه الجهود تؤدي إلى إنتاج مجالات كهرومغناطيسية تدور عكس اتجاه دوران المجال الأصلي وتسبب عزمًا سالبًا في المحركات ثلاثية الأوجه وينشأ عن ذلك ارتفاع في درجة الحرارة . كما يؤدي عدم التوازن إلى ظهور جهود ذات تتابع صفري Zero sequence والتي لا تنشئ أي عزم داخل المحرك وإنما تسبب مرور تيارات ذات تتابع صفري تؤدي إلى تسخين ملفات المحرك.

٤.١ - المصطلحات المستعملة في مجال حماية النظم الكهربية

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

- كلمة (Normal) تشير إلى الحالة السليمة أو حالة اللا عطل 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 الكهربائية للدائرة المحمية، وجاهزة لإعطاء الأمر للقاطع ليفصل الدائرة حالا عندما يصبح أحد تلك الكميات أكبر من العادي أي Abnormal (حالة العطل للدائرة المحمية).

- إن مصطلح 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 موصلاً 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 . والمرحلات الإستاتيكية لا تحتوي على ملامسات متحركة على عكس المرحلات الكهرومغناطيسية. وهي تعطي أوامر الفصل باستخدام مرحلات مساعدة تسمى المواليات (slave devices) وأغلب هذه المرحلات المساعدة 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 في نفس مكان المرحلات الأساسية أو بعيدة في مناطق أخرى.

- الانتقائية Selectivity
- الحساسية Sensitivity
- المتانة Consistency
- زمن التشغيل Operating Time

هذه المصطلحات سيتم شرحها لاحقا في فقرة المتطلبات العامة لنظام الحماية

- المرحلات اللحظية Instantaneous Relays

المرحلات اللحظية هي المرحلات التي تعمل (تعطي أمر الفصل) بشكل فوري وبدون أي تأخير زمني وعلى الغالب فإنها تعمل في أقل من 0.1 sec .

- مرحلات التأخير الزمني Time-delay Relay

وهي المرحلات التي 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 الخطأ.

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 عكسيًا مع تيار الخطأ أي أنه كلما كان تيار الخطأ أكبر كان زمن الفصل أسرع.

٣. مرحل زيادة التيار ذات الزمن العكسي و زمن أصغر محدود Inverse-definite time Relay هذه المرحلات هي نفس النوع السابق باستثناء أن الزمن يصل إلى قيمة صغرى لا يمكن تجاوزها مهما ازداد تيار الخطأ.

١.٥- دور أجهزة الحماية (المرحلات)

إن أجهزة الحماية الكهربائية هي أجهزة تستجيب للحالات غير النظامية (حالة الأعطال) في الشبكة الكهربائية وتتحكم بالقواطع الآلية وذلك من أجل عزل الجزء الذي يحدث به خطأ 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 الكهربائي "Electric Brain" . وتتعرض الشبكات الكهربائية إلى بعض الحالات غير العادية (الأخطاء) وأهم ما يتضمنه الخطأ زيادة التيار وهبوط وارتفاع الجهد. وتحدث الأخطاء في أغلب الأحيان نتيجة حدوث دائرة قصر أو انهيار في

العوازل أو تعرض لصدمات البرق أو نتيجة عمليات خاطئة في الدائرة (فشل عمليات الوصل والفصل الصحيحة للمفاتيح الكهربائية عموما).

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 الكهربائية.

٢. كشف الأخطاء وتحديد حالة المنظومة.

٣. عزل الجزء الذي تعرض للخطأ 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 الكهربائية كالمولدات والمحركات والمحولات والقضبان المجمعة والخطوط الهوائية والكابلات الأرضية من كافة الأخطاء التي تحدث على منظومة القدرة الكهربائية.

ويجب أن تركب أجهزة الحماية في الأماكن المناسبة التي تلاءم عملها وذلك لضمان موثوقية العمل ولإبعاد إمكانية إصابتها بالأضرار الميكانيكية ولتجنب العاملين من مخاطر الصدمات الكهربائية. وتصمم أجهزة الحماية بحيث تستجيب لعملها عند اختلاف الكميات

الكهربائية أثناء الحالات الطبيعية والحالات غير الطبيعية (الأخطاء). والكميات الكهربائية الأساسية التي يمكن أن تتغير أثناء التحول من الحالة السليمة إلى حالة الخطأ هي التيار والجهد والاتجاه والتردد ومعامل القدرة (زاوية الطور). ومن الضروري أن تكون الحماية من أجل الاستجابة لأكثر من كمية من هذه الكميات الكهربائية وذلك بسبب أن تيار الخطأ مثلا أثناء حالة التوليد الصغرى يمكن أن يكون أقل من تيار الحمل العادي أثناء حالة التوليد القصوى.

١. ٦- 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 حالاً عندما يصبح أحد هذه الكميات غير عادي (حالة الخطأ). فمثلا المرحلات المسافية نوع المفاعلة (Distance Relay type reactance) المستخدمة لحماية خط نقل فإنها تفصل الخط من القضبان المجمعة إذا حدث العطل ضمن المنطقة المحمية ولا تفصله إذا حدث الخطأ خارج تلك المنطقة المحمية . وليتم تحقيق ذلك فإنها تقيس التيار والجهد ومعامل القدرة (Cos Φ) وتحسب المقدار $\left|\frac{V}{I}\right| \text{Sin}\,\phi$ بشكل صحيح بدقة تصل إلى ٢٪ وتغلق ملامساتها أو لا تغلقها ويعتمد ذلك على موقع الخطأ ضمن المنطقة المحمية أو خارجها.

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

١. تخفيض تيارات وجهود نظام القدرة المستخدمة إلى قيم صغيرة تكون مناسبة لسلامة وعمل الأجهزة المستخدمة.

٢. عزل دائرة الأجهزة المستخدمة عن الدائرة الأولية.

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 يتغذى 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 الكهربائية 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. ٧- المبادئ الأساسية لعمل دائرة الحماية

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

ويبين الشكل (١.٣) 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.

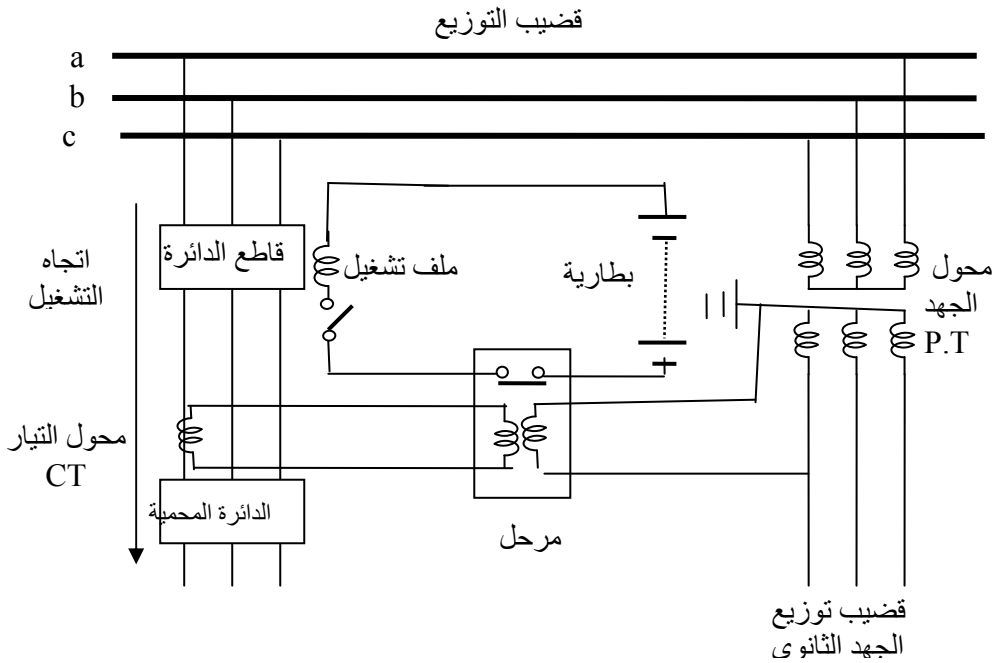
ويجب أن تتضمن الدائرة المراد حمايتها ثلاثة محولات تيار من أجل نظام الحماية الفعال وتغذي الدائرة الثانوية لمحولات التيار ملف التيار في جهاز الحماية (المرحل) ويتغذى ملف

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) 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 خطأ 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 تقوم بتدوير 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 العظمى.

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 (reset) . ومن الأمور المهمة المطلوبة من ملامس المرحل ألا يتذبذب بسرعة أثناء استمرار تيار الفصل و إلا فإن الملامسات سوف تحترق وتصبح سيئة.



الشكل (١- ٣) مبادئ عمل دائرة الحماية

١ . ٨- المتطلبات العامة لأجهزة الحماية

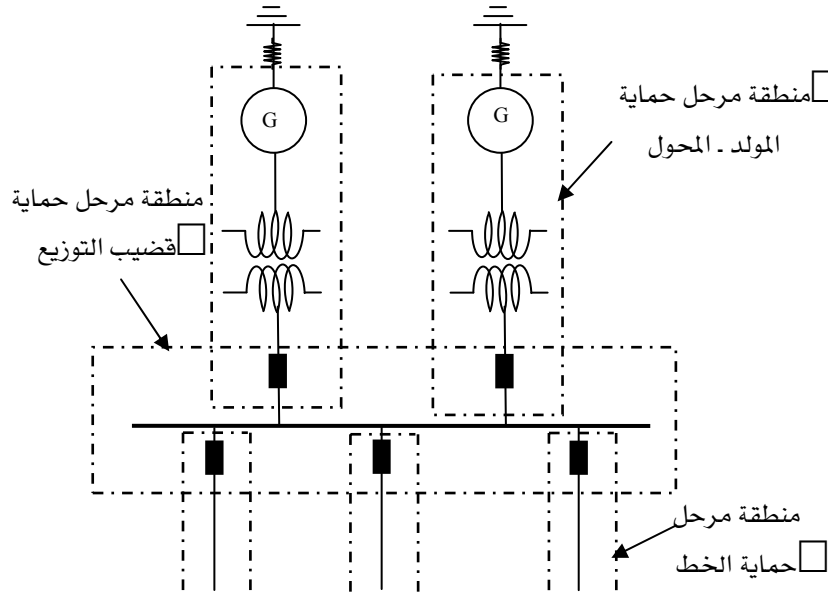
إن القواطع الآلية غير كافية بمفردها لعزل الأعطال التي يمكن أن تحدث على تجهيزات نظام القدرة المراد حمايتها. و يجب أن تدعم القواطع الآلية بأجهزة حماية مناسبة مثل المرحلات للكشف على وجود الأعطال وعزل الجزء المتعطل عن بقية أجزاء نظام القدرة السليمة، وبذلك تعمل على الحد من انتشار التلف الذي يمكن أن يحدث بسبب حدوث الأعطال. و جميع 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:

١.٨.١- التمييز Discrimination

وهي أن يكون نظام الحماية قادرًا على التمييز بين ما إذا كان نظام القوى في حالة طبيعية أو معرضًا لحالة خطأ وفي حالة الخطأ أن يميز بين ما إذا كان الخطأ واقعًا في منطقة الحماية الخاصة به أو في منطقة خارجية.

٢.٨.١- الانتقائية Selectivity

إن صفة الانتقائية لجهاز الحماية هو قدرته على عزل الجزء الذي حدث به خطأ دون بقية الأجزاء السليمة واستمرار التغذية في بقية الشبكة الكهربية ، أي أن تكون له القدرة على اكتشاف وجود الخطأ في النظام المراد حمايته وتحديد القواطع الآلية التي تعمل لعزل الخطأ. ويبين الشكل (١ ـ ٤) محطة توليد صغيرة مكونة من مجموعتي توليد كل مجموعة مكونة من مولد ومحول تغذي قضبانًا مجمعة، يخرج منها عدة مخارج أو مغذيات خارجية.

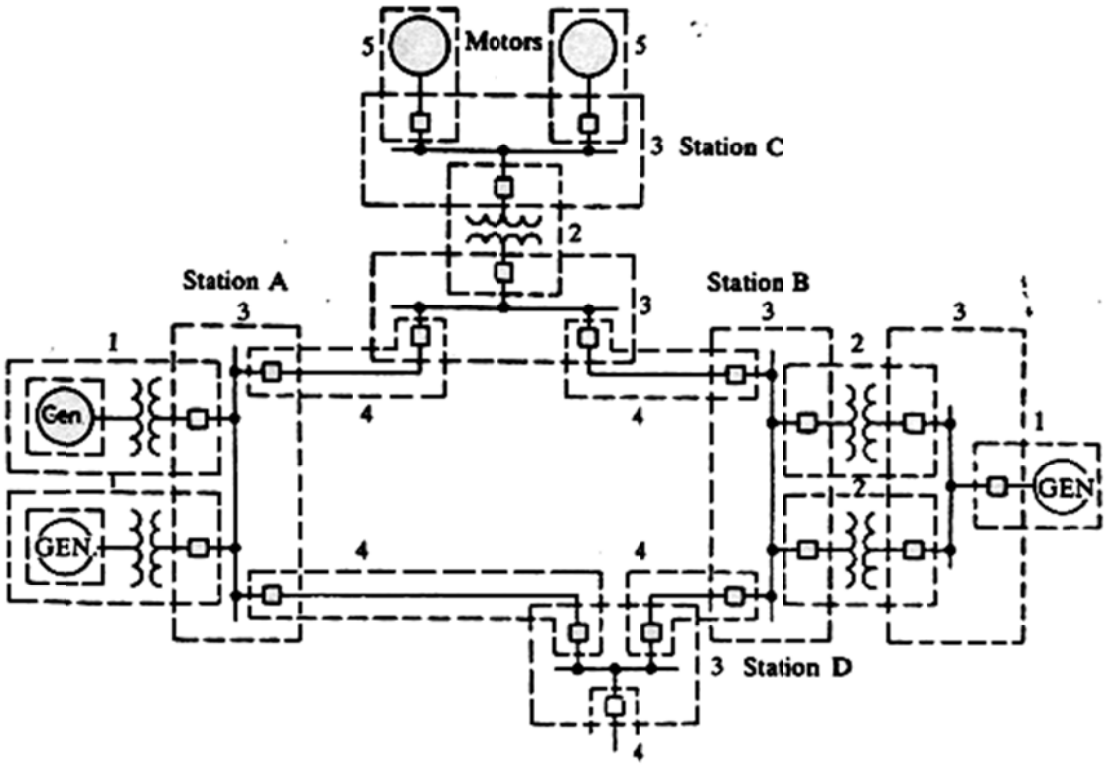


شكل (١ ـ ٤) تأمين مناطق الحماية المتراكبة لتفادي المناطق الميتة بدون حماية

عند حدوث خطأ 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 الخطأ.

أما إذا حدث الخطأ 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.

و يلاحظ أن منطقة حماية القضبان المجمعة تتراكب مع حماية المغذيات الخارجية و كذلك مع منطقة الحماية لمجموعة المولد ـ المحول. و يبين الشكل (١ ـ ٥) نظام قدرة نموذجي أشد تعقيدا مكونا 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 خطأ على إحدى 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 ٥) نظام قدرة نموذجي مع مناطق الحماية المتراكبة

٣.٨.١- سرعة العمل Speed of operation

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

- مواصفات وجودة أجهزة الحماية ونوعيتها،
- استطاعة وجهود وتكاليف نظام القدرة،
- نوعية الخطأ.

ويتكون زمن فصل الخطأ من ثلاثة أجزاء وهي :

- زمن المرحل Relay time : وهو الزمن الذي يستغرقه المرحل من لحظة إحساسه بالخطأ.

وهذاالزمن يعتمد على نوع المرحل المستخدم. فالمرحلات الكهروميكانكية تستغرق وقتا أطول من المرحلات الستاتيكية.

- زمن القاطع Breaker time: وهو الزمن الذي يستغرقه القاطع من وقت استقبال إشارة الفصل وحتى فصل نقاط التلامس
- زمن إطفاء القوس Arc distinguishing: وحيث أنه عند حدوث الفصل تنشأ شرارة بين نقاط التلامس للقاطع فإن زمن القوس هو الزمن منذ لحظة فصل آخر تلامسات القاطع حتى إطفاء القوس نهائيا.

ومعظم القواطع الآلية بتراوح زمن عملها من ٠,٠٦ ثانية حتى ٠,١٥ ثانية شاملاً زمن إطفاء القوس. وفي ما يلي بعض الأزمنة الخاصة بشبكات النقل :

- بالنسبة لشبكات الجهد الفائق ، زمن الفصل : $0.1\ \text{sec} \rightarrow 0.12\ \text{sec}$
- بالنسبة لشبكات الجهد العالي ، زمن الفصل : $0.15\ \text{sec} \rightarrow 0.3\ \text{sec}$
- بالنسبة لشبكات الجهد المتوسط ، زمن الفصل : $1.5\ \text{sec} \rightarrow 3\ \text{sec}$

ويمكن أن تعدل هذه الأزمنة حسب بقية العوامل المحددة للزمن المسموح به وإن الأزمنة المعطاة تحدد بحسابات خاصة لاستقرار مجموعات القدرة .

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 جدًا يمكنها العمل خلال ٠,٠٢ وحتى ٠,٠٤ من الثانية. وإن عملية تطوير وإنتاج المرحلات السريعة جدًا تعتبر هامة وصعبة ومثل هذه المرحلات تكون مكلفة ومعقدة لذلك يجب ألا تستعمل إلا للتجهيزات ذات الأهمية الكبيرة.

٣.٨.١- الحساسية Sensitivity

وهي قدرة نظام الحماية (المرحل بالتحديد) للاستجابة لأي حالة غير نظامية. ومعامل الحساسية هو :

$$K_s = \frac{I_{sc(min)}}{I_p}$$

حيث :

I_p (pick up current) : تيار الالتقاط وهو أقل قيمة للتيار يمكن أن تسبب قفل ملامسات المرحل.

$I_{sc(min)}$ (minimum fault current) : تيار القصر الأدنى وهو أقل قيمة لتيار القصر الذي يسبب عمل المرحل.

في الحياة العملية تتراوح K_s من : $2 \rightarrow 1.5$

ويعتبر المرحل حساسًا للغاية إذا كانت : $K_s = 1$

٤.٨.١ - الموثوقية (الاعتمادية) Reliability

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

لذلك تعتبر صفة الموثوقية متطلبًا هامًا في عمل المرحلات وهي إمكانية الاعتماد على أجهزة الحماية أن تعمل بطريقة صحيحة في حالة حدوث خطأ. وتعرف الموثوقية (الاعتمادية) على أنها النسبة المؤوية لعمليات الفصل الصحيحة . وفي الأجهزة الحديثة تصل هذه النسبة إلى 98 %. وللحصول على موثوقية عالية يجب عمل الآتي :

- جودة في التصميم
- صيانة وقائية جيدة

٥.٨.١- الاستقرار Stability

وهي أن يعمل نظام الحماية للأخطاء الواقعة في منطقة الحماية الخاصة به ولا يتأثر بالأخطاء التي تحدث خارج هذه المنطقة.

٩.١- 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 أولاً. والشكل (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 مطلقاً من جهة أخرى ولتأمين حماية احتياطية مناسبة يجب دراسة التالي :

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

أسئلة الوحدة الأولى

١. اكتب باختصار ما تعنيه المصطلحات الآتية في مجال حماية النظم الكهربائية :

- المرحلات الأولية
- المرحلات الثانوية
- المرحلات الرئيسية
- المرحلات الداعمة أو الاحتياطية
- الانتقائية
- الحساسية
- زمن التشغيل
- مرحلات التأخير الزمني
- مرحلات زيادة التيار

٢. اذكر الأنواع المختلفة لمرحلات زيادة التيار ثم وضح نظرية عمل كل منها.

٣. اذكر المهام الأساسية لأجهزة الحماية الكهربائية.

٤. تشتمل دوائر الحماية على أجهزة أساسية ما هي هذه الأجهزة.

٥. اشرح مع التوضيح بالرسم المبادئ الأساسية لعمل دائرة الحماية الكهربائية.

٦. ما هي المتطلبات العامة لأجهزة الحماية.

الوحدة الثانية

محولات الجهد ومحولات التيار ، المصهرات ، القواطع الكهربائية والمرحلات

الهدف العام للوحدة:

معرفة تركيب وكيفية عمل المصهرات والقواطع الكهربائية وكذلك المرحلات.

الأهداف التفصيلية:

١- أن يلم المتدرب بمحولات التيار ومحولات الجهد ومبدأ عملها

٢- أن يفهم المتدرب الأنواع المختلفة للمصهرات وخصائصها

٣- أن يلم المتدرب بالقواطع الآلية المختلفة من حيث تركيبها وطريق استعمالها.

٤- أن يلم المتدرب بالمرحلات والأنواع المختلفة لها من حيث تركيبها وطرق تشغيلها.

٥- أن يلم المتدرب بطرق التنسيق بين المصهرات والقواطع الآلية.

٦- أن يعرف المتدرب كيفية عمل منظومة الحماية الكهربية من خلال المرحلات والقواطع.

الجزء الأول: محولات التيار ومحولات الجهد
Current transformers and voltage transformers

٢.١- مقدمة عامة

إن عزل الأخطاء التي تحدث على منظومة القوى الكهربائية يؤدي إلى التقليل من فقدان التغذية للمنشآت والمعامل الاقتصادية كما يؤدي أيضا 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. كل من هذه الأجهزة يجب أن يملك 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 محولات التيار ومحولات الجهد و المصهرات والقواطع الآلية وكذلك المرحلات.

٢. ٣ - محولات التيار ومحولات الجهد Current transformers and voltage transformers

٢. ٣. ١= مقدمة

الوظيفة الأساسية لمحولات التيار ومحولات الجهد هي تحويل تيارات وجهود القدرة إلى قيم منخفضة من ناحية وعزل دائرة القدرة عن المرحلات وأجهزة القياس الموصلة إلى ملفات الثانوي لهذه المحولات من ناحية أخرى. وتستخدم قيم اعتبارية (standard values) ناحية ثانوي المحولات وذلك لتسهيل عملية التبادل بين مختلف المصنعين. في الولايات المتحدة الأمريكية وعديد من الدول الأخرى حدد التيار الاعتباري لمحولات التيار بـ : 5 A في حين يستخدم الأوربيون القيمة 1 A. أما قيمة الجهد الاعتباري ناحية الثانوي لمحولات الجهد فحددت بـ 120 V جهد الخط –الخط (phase to phase voltage connections) أو 69.3 V الجهد بين الخط والحيادي (phase to neutral connections).

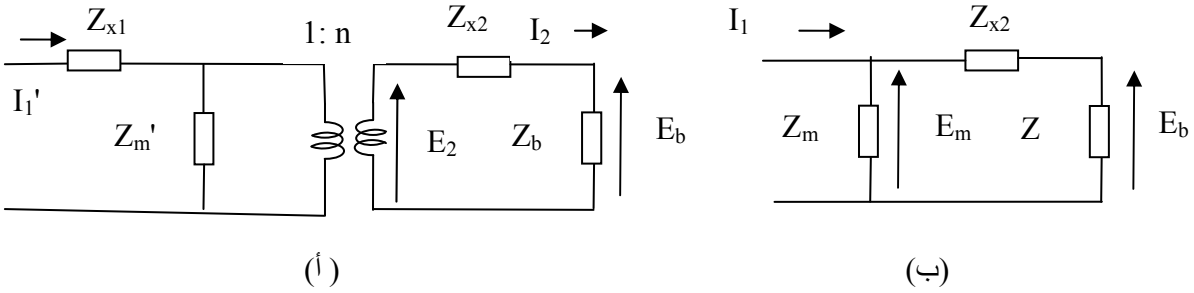
طبعًا هذه القيم هي القيم المقننة (nominal ratings) ، وعلى محول التيار والجهد أن يتحملا قيمًا أعلى منها عند الظروف الغير عادية للتشغيل (abnormal system conditions). فمحولات التيار مثلاً يجب أن تتحمل تيار خطأ، ولفترة قصيرة ، يصل إلى 50 ضعف التيار المقنن. في حين يجب على محولات الجهد أن تتحمل جهودًا تصل إلى 120% من قيمة الجهد المقنن علما وأن هذه الزيادة في الجهد قد تتواصل لفترة طويلة. وتجدر الإشارة إلى أنه أحيانًا تستخدم مكثفات على ابتدائي محولات الجهد المتصلة بالجهود العالية والفائقة وفي هذه الحالة يعرف المحول بمحول الجهد السعوي (coupling capacitor voltage transformer (CCVT)).

من المتطلبات الأساسية لمحولات الجهد والتيار أن تغذي المرحلات (والأجهزة الأخرى) بتيارات وجهود تمثل صورة حقيقية لقيم الجهد والتيار ناحية الابتدائي. لذلك من الضروري معرفة الخطأ الناتج عن هذه المحولات ومدى تأثيره على صحة هذه القيم تجنبًا لعمل المرحلات بدون موجب أو عدم عملها عند الحاجة.

٢.٣.٢ - أداء محول التيار عند حالة الاستقرار steady state performance of current transformer

محولات التيار هي محولات أحادية الوجه ويمكن دراسة وتحليل أداءها من خلال الدائرة المكافئة للمحول. بعض محولات التيار تستخدم بغرض القياسات وفي هذه الحالة يكون أداء المحول هاما عند ظروف التشغيل العادية. وقد يكون الخطأ كبيرًا في محول القياس عند الظروف الغير عادية (تيارات القصر العالية) ولكن ذلك ليس مهمًا لأن القياسات ليست مطلوبة عند هذه الظروف. أما محولات التيار المستخدمة مع المرحلات (محولات الحماية) فتتميز بخطأ صغير عند الظروف الغير عادية، في حين أن أداءها غير مهم عند الظروف العادية نظرًا لأن المرحل لا يعمل في هذه الحالة. وعلى الرغم من هذه الفوارق (حماية أو قياس)، فإنه يمكن تحليل أداء محول التيار من خلال نفس الدائرة المكافئة. القيم المختلفة لمعاملات الدائرة المكافئة هي التي تحدد الأداء لمختلف المحولات.

لنعتبر الدائرة المكافئة المبينة بالشكل (٢- ١- أ).



(أ) (ب)

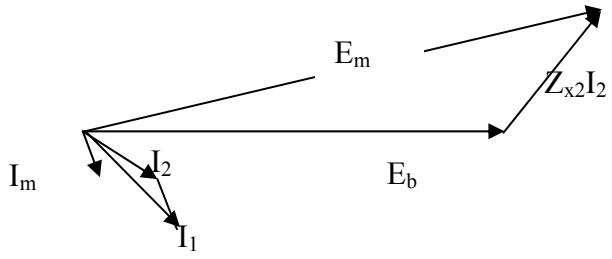
الشكل ٢- ١- : الدائرة المكافئة لمحول التيار (أ) وتبسيطها (ب)

بما أن ابتدائي محول التيار موصل على التوالي مع نظام القدرة ، فإن هذا الأخير هو الذي يفرض التيار الابتدائي للمحول I'_1 ، وعليه فإن ممانعة التسرب Z'_{x1} للملف الابتدائي لا تؤثر على أداء محول التيار ويمكن بالتالي إهمالها. بنقل كل القيم ناحية الثانوي ، وبفرض n نسبة تحويل المحول المثالي ،نحصل على الدائرة المكافئة (٢- ١- ب) حيث :

$$I_1 = \frac{I_1'}{n} \qquad (1)$$

$$Z_m = n^2 \; Z_m' \qquad (2)$$

ممانعة الحمل Z_b تشمل كل ممانعات المرحلات وأجهزة القياس وأسلاك التوصيل الموصلة بثانوي محول التيار. استنادًا إلى المخطط الاتجاهي (الشكل ٢- ٢)، تكون القوة الدافعة الكهربائية E_m بين طرفي ممانعة المغنطة Z_m كالتالي :



شكل ٢- ٢ : المخطط الاتجاهي لمحول التيار

$$E_m = E_b + Z_{x2}\, I_2 \qquad (3)$$

وتيار المغنطة :

$$I_m = \frac{E_m}{Z_m} \qquad (4)$$

أما التيار الابتدائي I_1 (منقولا ناحية الثانوي) فهو :

$$I_1 = I_2 + I_m \qquad (5)$$

عند القيم الصغيرة للحمل Z_b،تكون كل من E_b و E_m صغيرتان كذلك، وبالتالي تيار المغنطة I_m صغير هو كذلك. وعليه، فإن الخطأ في نسبة التحويل مقدر بالوحدة (per unit (pu)) هو الآخر صغير كذلك:

$$\varepsilon = \frac{I_1 - I_2}{I_1} = \frac{I_m}{I_1} \qquad (6)$$

بعبارة أخرى ، يكون أداء محول التيار أفضل كلما كان الحمل أصغر. عند الحمل $Z_b = 0$ (وممانعة Z_{x2} صغيرة) ، $I_1 = I_2$ ،والخطأ في محول التيار يساوي صفرًا ($\varepsilon = 0$).

في كثير من الأحيان، يعرف الخطأ في محول التيار (CT error) بمعامل نسبة التصحيح (Ratio Correction Factor)، بدلاً من ε.

يعرف معامل نسبة التصحيح R على أنه الثابت (constant) الذي يجب ضربه في نسبة التحويل (n) المبينة على لوحة المحول وذلك للحصول على نسبة التحويل الفعلية. استنادا إلى المعادلات (5) و(6) وتعريف R، يمكن كتابة التالي :

$$R = \frac{1}{(1 - \varepsilon)} \qquad (7)$$

مثال ١

نفترض محول تيار له الخصائص التالية :

- نسبة التحويل : $n = 500 : 5$
- ممانعة التسرب ناحية الثانوي : $Z_{x2} = (0.01 + j0.1)$ ohm

المحول موصل بحمل مقاومي : $Z_b = 2$ ohms

فإذا كانت ممانعة المغنطة : $Z_m = (4 + j15)$ ohm ، فإنه ، وبالرجوع إلى الدائرة المكافئة ، يمكن كتابة التالي :

$$E_m = Z_m I_m$$

$$E_m = (Z_{x2} + Z_b) I_2$$

$$E_m = (Z_{x2} + Z_b) (I_1 - I_m)$$

$$E_m = (Z_{x2} + Z_b) (I_1 - \frac{E_m}{Z_m})$$

$$E_m = \frac{Z_m (Z_{x2} + Z_b) I_1}{Z_m + Z_{x2} + Z_b}$$

$$E_m = \frac{(0.01 + j0.1 + 2)(4 + j15) I_1}{(0.01 + j0.1 + 2 + 4 + j15)} = I_1 \times 1.922 \angle 9.62°$$

$$I_m = \frac{I_1 \times 1.922 \angle 9.62°}{(4 + j15)} = I_1 \times 0.1238 \angle -65.45°$$

وهكذا، إذا كانت ممانعة الحمل وممانعة المغنطة ثابتتين ، فإن الخطأ في نسبة التحويل المقدر بالوحدة (the per unit CT error) :

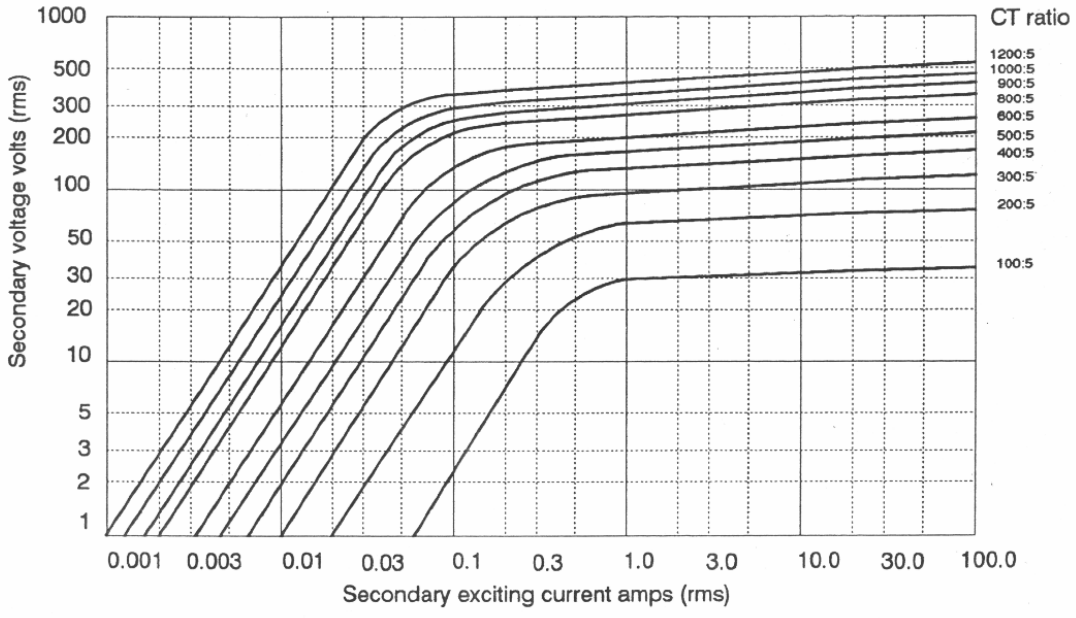
$$\varepsilon = \frac{I_m}{I_1} = 0.1238 \angle -65.45°$$

هو ثابت كذلك، بغض النظر عن التيار الابتدائي لمحول التيار. لكن نسبة الخطأ هذه تتوقف على المقدار وزاوية الطور لممانعة الحمل (the magnitude and the phase angle of the burden impedance). فعلى سبيل المثال :

- إذا كانت ممانعة الحمل : $Z_b = 1$ ohm ، فإن : $\varepsilon = 0.064 \angle -66°$
- إذا كانت ممانعة الحمل : Z_b: = j2 ohm ، فإن : $\varepsilon = 0.12 \angle 12.92°$

أما معامل نسبة التصحيح R (Ratio Correction Factor) فيساوي :

- عند : $Z_b = 2$ ohm $\quad R = \frac{1}{(1 - 0.1238 \angle -65.45°)} = 1.0468 \angle -6.79°$
- عند : $Z_b = 1$ ohm $\quad R = 1.025 \angle -3.44°$
- عند : Z_b = j2 ohm $\quad R = 1.13 \angle 1.73°$



Magnetizing characteristic of a typical current transformer.
Each curve corresponds to one turns ratio of the secondary winding.

الشكل ٢- ٣ : مجموعة منحنيات المغنطة الخصائصية لمحول تيار نموذجي .
كل منحنى يخص نسبة تحويل معينة

وتجدر الإشارة إلى أن الخاصية المغناطيسية للمحول غير خطية (nonlinear magnetizing branch) وبالتالي فإن الممانعة المغناطيسية Z_m غير ثابتة، ويجب أخذ ذلك في الاعتبار عند تحديد معامل نسبة التصحيح R. الشكل (٢- ٣) يعطى منحنى المغنطة الخصائصي لمحول تيار نموذجي. ويجب استخدام هذا المنحنى لتحديد تيار المغنطة I_m لكل قوة دافعة كهربائية E_m وتعويض قيمها في المعادلات (5) و(6) و(7) لحساب معامل نسبة التصحيح R . هذه الطريقة معقدة ، لذلك غالبًا ما تستخدم الطريقة التقريبية المبسطة والتي تعتمد التصنيف المعياري لمحولات التيار (Standard Class Designations) . وفي ما يلي شرح لهذه الطريقة.

نشير كذلك أن الشكل (٢- ٣) يعطي مجموعة من المنحنيات الخصائصية لمحول التيار ، علما وأن محولات التيار غالبا ما تزود بعدد من المقابس التي تسمح بتغيير عدد لفات الثانوي وبالتالي ضبط نسبة التحويل حسب الحاجة. وعموما تستخدم القيم المعيارية لنسب تحويل محولات التيار : الجدول التالي يعطي أهم هذه القيم لمحولات التيار الأكثر استخداما.

600:5 MR	1200:5 MR	2000:5 MR	3000:5 MR
50:5	100:5	300:5	300:5
100:5	200:5	400:5	500:5
150:5	300:5	500:5	800:5
200:5	400:5	800:5	1000:5
250:5	500:5	1100:5	1200:5
300:5	600:5	1200:5	1500:5
400:5	800:5	1500:5	2000:5
450:5	900:5	1600:5	2200:5
500:5	1000:5	2000:5	2500:5
600:5	1200:5		3000:5

جدول القيم المعيارية لنسب تحويل محولات التيار
Table of Standard Current Transformer Multi-Ratios

٣. ٣ - تحديد أداء محول التيار بطريقة التصنيف المعياري (Standard Class Designations)

تحديد أداء محول التيار يتوقف على الخاصية المغناطيسية (the magnetizing characteristic). عند عدم توفر هذه الخاصية يمكن استخدام طريقة تقريبية تعتمد

التصنيف المعياري (Standard Class Designations) كما تعرفه المنظمة القومية الأمريكية للتعيير (ANSI) ومنظمة المهندسين للكهرباء والإلكترونيات (IEEE). تستخدم المنظمتان ANSI / IEEE عددين صحيحين يفصل بينهما حرف C أو حرف T، مثال 10C400 أو 10T300. العدد الأول يعطي القيمة القصوى للخطأ الناتج عن محول التيار عندما يكون الجهد بين طرفي ثانوي المحول مساويا للعدد الصحيح الثاني ، في حين يساوي التيار عشرين ضعف القيمة المقننة. وبما أن التيار المقنن لأغلب محولات التيارات يساوي 5 A ، فإن تيار الثانوي يساوي 100 A في هذه الحالة.

وعليه، فمحول التيار 10C400 مثلا سيكون له خطأ بـ 10 % أو أقل من ذلك عند تيار ثانوي يساوي 100 A وجهد ثانوي يساوي 400 V أو أقل.

وتجدر الإشارة إلى أن الحرف C يعني أنه يمكن تحديد أداء المحول حسابيًا في حين أن الحرف T يشير إلى ضرورة استخدام القياسات المعملية لتحديد هذا الأداء.

٤.٣.٢- الطرق الخاصة لتوصيل محولات التيار

محولات التيار المساعدة (auxiliary current transformers)

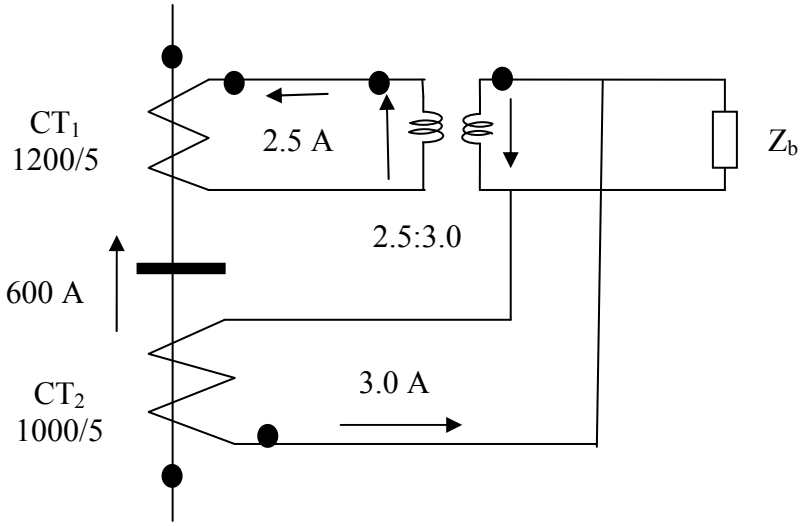
تستخدم محولات التيار المساعدة بكثرة في تطبيقات المرحلات وذلك لتأمين العزل بين الملف الثانوي لمحول التيار الرئيسي وبعض الدوائر الأخرى . و تستخدم كذلك لتعديل أشمل في نسبة التحويل . كما ذكرنا سابقًا ، نسب التحويل لها قيم معيارية ، وعند الحاجة لقيمة غير متوفرة معياريًا ، فإن محول التيار المساعد يقدم طريقة مناسبة للحصول على نسبة التحويل المطلوبة. لكن ذلك يزيد في قيمة الخطأ الكلي لنسبة التحويل. ويجب بخاصة ، الأخذ في الاعتبار إمكانية تشبع محول التيار المساعد.

تبعا لقواعد التحويل المعروفة يمكن نقل الحمل الموصل على محول التيار المساعد إلى ثانوي المحول الرئيسي : فإذا كانت نسبة التحويل لمحول التيار المساعد 1:n ، وممانعة الحمل المتصلة به Z_1 ، فتكون هذه الممانعة منقولة إلى ثانوي المحول الرئيسي : Z_1/n^2 .

مثال

نفترض الدائرة المبينة بالشكل (٢- ٤). المحول CT_1 له نسبة التحويل 1200:5 و المحول CT_2 له نسبة التحويل 1000:5 . المطلوب أن يكون تيار الحمل صفرًا عندما يسري تيار ابتدائي في الخطين كما مبين بالشكل.

نفترض تيار الابتدائي 600 A . تيار الثانوي في المحول CT_1 يساوي إذن 2.5 A ، و تيار الثانوي في المحول CT_2 يساوي إذن 3 A. بإدخال محول تيار مساعد له نسبة تحويل 1.2:1 أو3:2.5 على طرف الثانوي للمحول CT_1 ، يصبح التيار في ثانوي محول التيار المساعد يساوي 3 A. وبتحقيق التوصيلات كما مبين بالشكل يكون التيار في الحمل مساويًا لصفر. الحمل بين طرفي CT_2 هو Z_b في حين أن حمل CT_1 هو $1.44Z_b = (1.2)^2 Z_b$. أما حمل محول التيار المساعد فهو طبعًا Z_b .

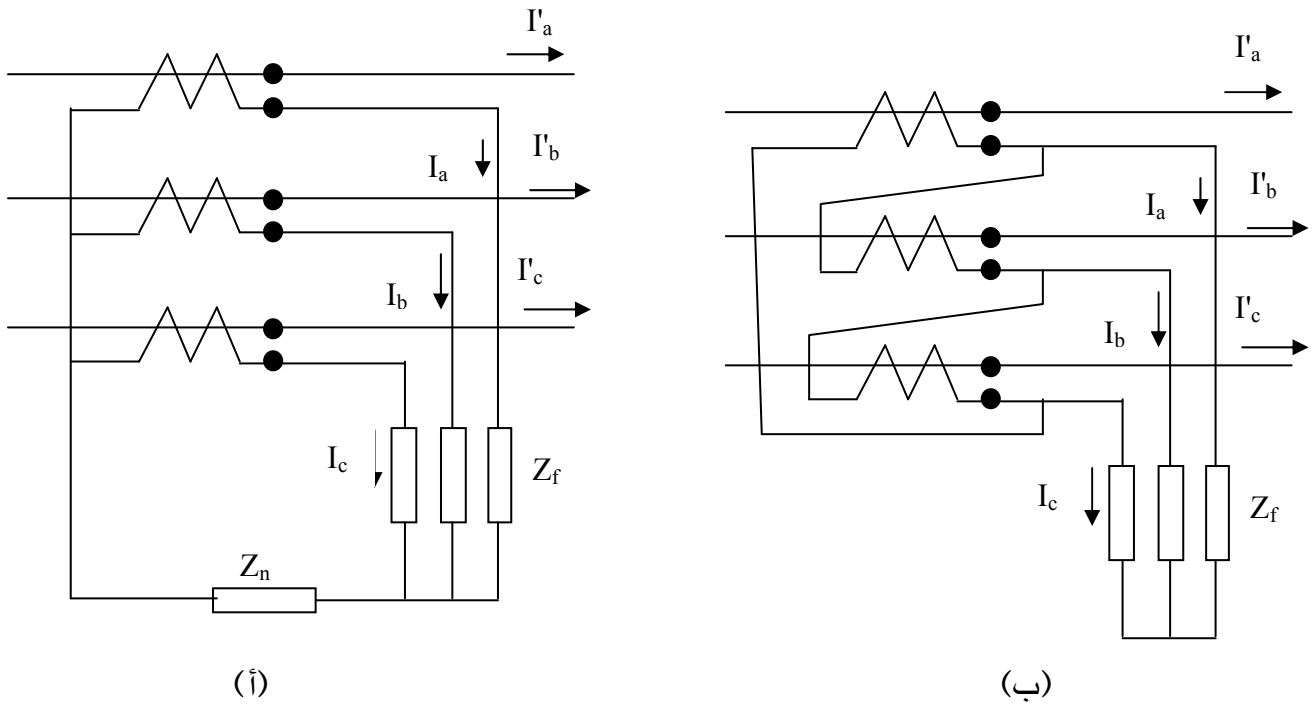


شكل (٢- ٤): توصيل محول التيار المساعد للمثال السابق

توصيلات نجمة - دلتا

في الدوائر ثلاثية الطور (three-phase circuits) ،يكون من الضروري أحيانًا توصيل ملفات الثانوي لمحولات التيار عل شكل نجمة أو دلتا وذلك بغية الحصول على مقدار وزاوية الطور للتيار الذي يتطلبه المرحل الموصل بهذه المحولات.

نفترض توصيلات محول التيار المبين بالشكل (٢- ٥) :



(أ) (ب)

شكل ٢- ٥ : توصيل محولات التيار على شكل نجمة (أ) وعلى شكل دلتا (ب)

التوصيل على شكل نجمة (شكل ٢- ٥- أ)، تنجر عنه تيارات تتناسب مع تيارات الطور تمر عبر أحمال الطور Z_f . أما التيار المار في حمل الحيادي Z_n فيتناسب مع $3I_0$. وفي هذه الحالة لا تحدث أي إزاحة على زاوية الطور.

أما التوصيل على شكل دلتا (شكل ٢- ٥- ب)، فتنجر عنه تيارات تتناسب مع $(I_a' - I_b')$ ،

$(I_b' - I_c')$ و $(I_c' - I_a')$ تمر عبر أحمال الطور Z_f . عندما يكون نظام التيار ناحية الابتدائي متزنا ،

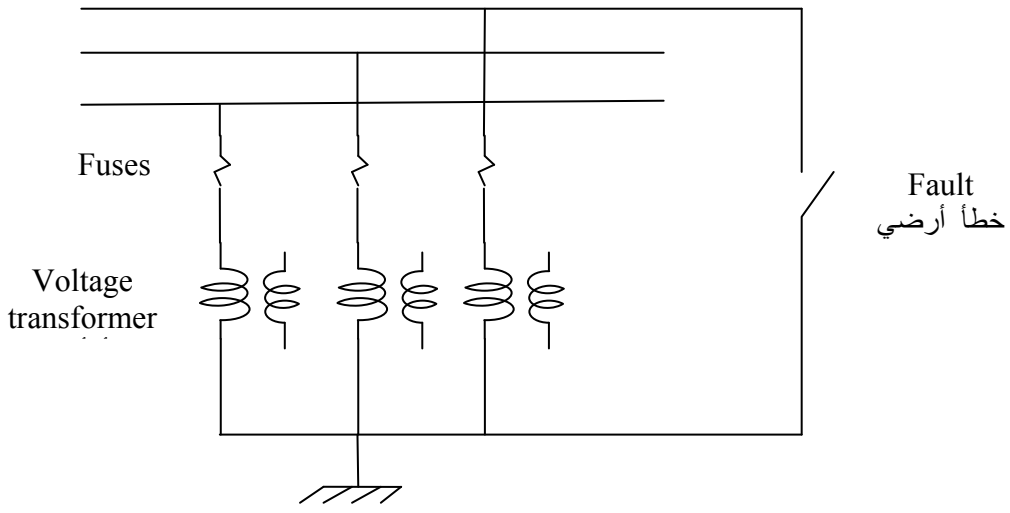
$(I_a' - I_b') = \sqrt{3}\,|I_a'|\exp(j\pi/6)$ ، وتحدث زاوية بـ $30°$ بين تيارات الابتدائي والتيارات المارة في الأحمال Z_f . بعكس توصيلات الدلتا تحصل زاوية $-30°$. المعامل $\sqrt{3}$ يحدث هو الآخر تغييرًا في المقدار ويجب أخذه في الاعتبار. وسنعود لشرح ذلك لاحقًا عند استخدام المرحلات.

٢.٣.٥ - محولات الجهد

تعتبر محولات الجهد محولات عادية تشتمل على ملف ابتدائي موصل مباشرة إلى الجهد العالي وملف أو أكثر ثانوي بجهد اعتباري (standard voltage) بـ 120 V جهد الخط – الخط أو 69.3 V الجهد بين الخط والحيادي. أداء هذه المحولات ، والدائرة المكافئة والمخطط الاتجاهي مماثلة لمحول القدرة. ويمكن بالتالي إهمال أخطاء التحويل الناتجة عن هذه المحولات في مجال جهد التشغيل المتراوح من الصفر إلى 110 % من الجهد المقنن. وعموما نهمل هذه الأخطاء عند التطبيقات الخاصة بالمرحلات.

عند الجهود الفائقة 345 kV وأكثر يكون محول التيار باهض التكلفة ، وعليه تستخدم محولات الجهد عموما عند الجهود العالية والمتوسطة والمنخفضة . أما عند الجهود الفائقة فتستخدم محولات الجهد السعوي (coupling capacitor voltage transformers) مع دوائر المرحلات والقياس.

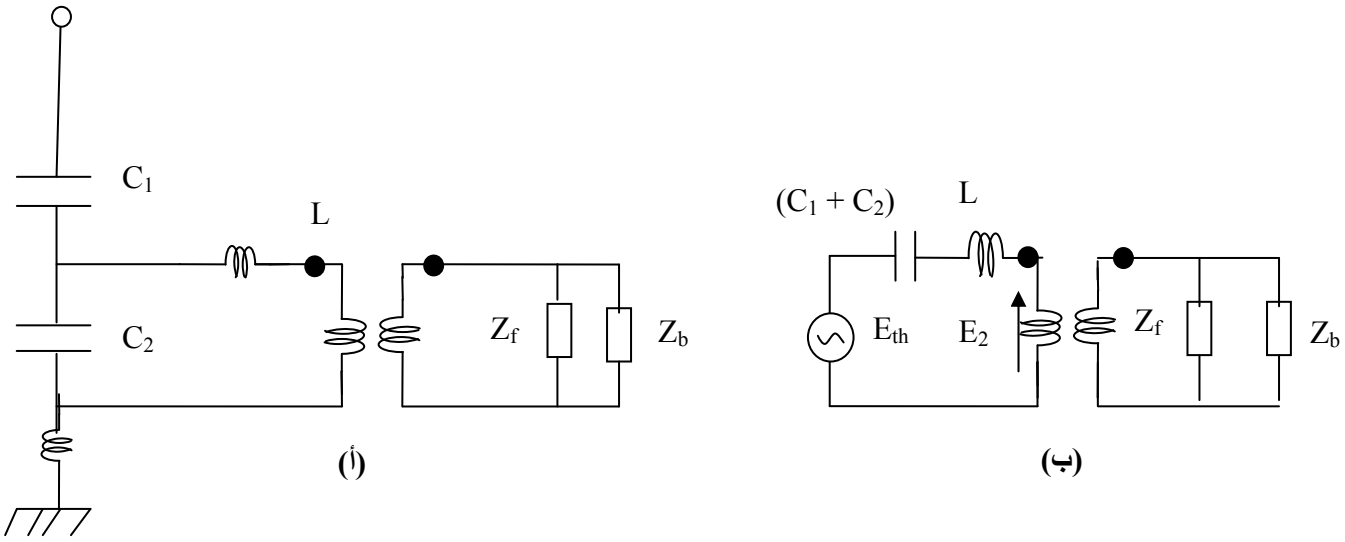
ويجدر التنبيه إلى المشكل الذي قد يحصل مع محولات الجهد المستخدمة في الأنظمة الغير مؤرضة أو المؤرضة عبر معاوقة تأريض عالية. كما موضح بالشكل (٢- ٦) ،عندما يحدث خطأ أرضي في مثل هذه الأنظمة ، تظهر على المحولات المتصلة بالأوجه السليمة جهود تساوي جهد الخط - خط (phase-to-phase voltage) . وهذا سيؤدي حتمًا إلى تشبع أحد المحولات ، وبالتالي ارتفاع شديد في تيار المغنطة ينشأ عنه ضرب مصهر الحماية.



شكل (٢- ٦) : إمكانية ضرب مصهرات محول جهد في نظام غير مؤرض

٢.٣.٦- محول الجهد السعوي

كما ذكرنا سابقا ، من أهم مصادر تغذية المرحلات ،عند الجهود العالية خاصة، محول الجهد السعوي. عموما ، تستخدم مجموعة من المكثفات موصلة إلى خط النقل للجهد العالي بغرض تأمين إشارة تغذية المرحلات . نفس هذه المكثفات تستخدم كمقسم للجهد (potential divider) بين أجهزة الجهد العالي والأرض. وكل نقطة تفرع تعطي جهدا يتراوح من 1 إلى 4 kV . توصل نقطة التفرع إلى محول الجهد عبر محاثة L كما مبين بالشكل (٢- ٧) . وتكون نسبة تحويل المحول بحيث يكون الجهد ناحية الثانوي مساو لـ 120 V أو 69.3 V (الجهد الاعتباري المطلوب للمرحلات). ممانعة الحمل Z_b و Z_f توضع بغرض منع ظاهرة الرنين الحديدي (ferroresonance phenomenon) التي قد تظهر عند حالات خاصة.



شكل (٢- ٧): توصيل محول الجهد السعوي والدائرة المكافئة

عند ظروف التشغيل العادية (حالة الاستقرار) ، تيار الحمل الناتج عن Z_b و Z_f على التوازي ضعيف نسبيًا. ولكن ، بوجود تيار الحمل هذا تظهر زاوية بين الجهد الابتدائي للمحول والجهد الثانوي بين طرفي الحمل.

لنعتبر دائرة تيفنان المكافئة (Thevenin equivalent circuit) للدائرة (٢- ٧- أ) ، نحصل بسهولة على التالي:

$$\text{T}hevenin \text{ voltage} \quad : \quad E_{th} = E_{pri} \times \frac{C_1}{C_1 + C2}$$

Thevenin impedance : $Z_{th} = C_1+C_2$

وإذا كان تيار الابتدائي I_1 ، يمكن كتابة الآتي :

$$E_2 = E_{th} - I_1\left[j\omega L + \frac{1}{j\omega(C_1 + C2)} \right]$$

من الواضح أنه ستظهر زاوية بين الجهد الثانوي والابتدائي ،إلا إذا كانت المحاثة L في حالة رنين (resonance) مع المكثف (C_1+C_2) عند تردد نظام القدرة ω . لتجنب الخطأ في الزاوية توضع إذن محاثة L بقيمة معينة لتحقيق شرط الرنين :

$$L = \frac{1}{\omega^2}\frac{1}{(C_1 + C_2)}$$

وغالبا ما يتم تصميم المحول بحيث تحقق ممانعة التسرب هذه المحاثة L.

بالنظر إلى الدائرة المكافئة للمحول السعوي ، نتبين أن ممانعة تيفنان سعوية (Thevenin impedance is capacitive) ،وبالتالي فالممانعة المغناطيسية للمحول يمكن أن تدخل في حالة رنين حديدي (ferroresonance) خاصة عند الأحمال الصغيرة وتظهر جهود ناحية الثانوي بترددات مساوية لأضعاف تردد المصدر (voltage of multiple frequencies) أو جزء منها (subharmonic frequencies as f/3 , f/5..) . وتستخدم دائرة خاصة لإخماد هذه الذبذبات ، ممثلة في الدائرة (شكل ٢ - ٧) بالممانعة Z_f . وعموما تتكون دائرة الإخماد من مقاومة غير خطية R

مثال

نعتبر ثلاثة محولات جهد موصلة على شكل دلتا ناحية الابتدائي وناحية الثانوي (شكل ٢- ٨- أ) . نفترض أن ممانعة التسرب لكل محول تساوي : (1 + j5) . لنفترض كذلك ممانعة الحمل موصلة على شكل دلتا وتساوي : Z_b = 50 ohms . إذا كان الجهد في الابتدائي 69 kV ونسبة تحويل كل محول : 69000/120 = 575، يمكن الحصول على تيارات الحمل ، والتي تساوي تيارات الدلتا ناحية الثانوي ($I_a' = I_a$)، من الشكل (٢- ٥- أ) :

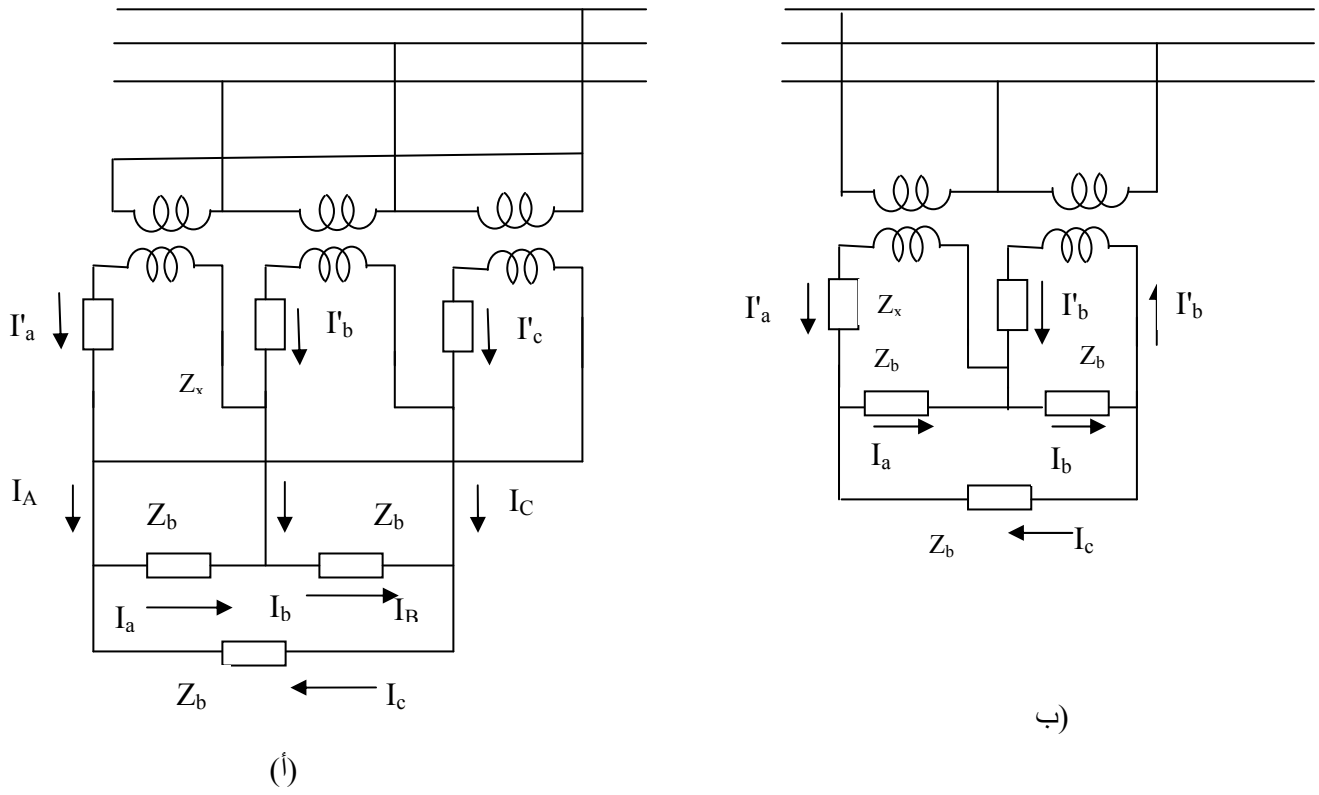
$$I_a' = \frac{E_{ab}}{Z_b} = \frac{E_{ab0} - I_a' Z_x}{Z_b}$$

حيث E_{ab} و E_{ab0} تمثلان على التوالي الجهد بين طرفي الحمل وجهد المصدر. ونحصل على E_{ab}

$$E_{ab} = E_{ab0}\frac{Z_b}{Z_x + Z_b} = E_{ab0}\frac{50}{50 + j5} = E_{ab0} \times 0.976 \angle 5.6°$$

وهكذا فإن معامل التصحيح لنسبة تحويل المحول لهذه القيمة من الحمل يساوى c. وطبعا الجهود الثلاثة على الأحمال متزنة ومتماثلة.

الآن نعتبر محولي جهد موصلين على شكل دلتا مفتوحة (الشكل ٢- ٨- ب) . باستخدام علاقة الجهد خط- خط بين طرفي الحمل نحصل :



شكل (٢- ٨): توصيل محولات الجهد الخاصة بالمثال السابق.

(أ) : ثلاثة محولات موصلة على شكل دلتا

(ب) : محولان موصلان على شكل دلتا مفتوحة

$$E_{ab} + E_{bc} + E_{ca} = 0$$

$$E_{ab} = E_{ab0} - I_a'Z_x \quad , \quad I_a' = \frac{1}{Z_b}(E_{ab} - E_{ca}) = \frac{1}{Z_b}(2E_{ab} + E_{bc})$$

$$E_{bc} = E_{bc0} - I_b' Z_x \quad , \quad I_b' = \frac{1}{Z_b}(E_{bc} - E_{ca}) = \frac{1}{Z_b}(2E_{bc} + E_{ab})$$

لنحل هاتين المعادلتين لكل من E_{bc} و E_{ab} مع التذكير بأن : $E_{bc0} = E_{ab0}\, e^{j2\pi/3}$

$$E_{bc} = E_{bc0} \frac{e^{-j2\pi/3} Z_x / Z_b - (1 + 2Z_x / Z_b)}{(Z_x / Z_b)^2 - (1 + 2Z_x / Z_b)^2}$$

$$E_{ab} = E_{ab0} \frac{e^{+j2\pi/3} Z_x / Z_b - (1 + 2Z_x / Z_b)}{(Z_x / Z_b)^2 - (1 + 2Z_x / Z_b)^2}$$

بتعويض قيم ممانعة الحمل Z_b وممانعة التسرب Z_x ، نحصل على التالي :

$$E_{ab}/E_{ab0} = 1.0254 \angle -9.85°$$

$$E_{bc}/E_{bc0} = 0.8838 \angle -5.93°$$

كذلك :

$$E_{ca}/E_{ca0} = -(E_{ab}/E_{ab0})(E_{ab0}/E_{ca0}) - (E_{bc}/E_{bc0})(E_{bc0}/E_{ca0})$$

$$= -0.8838 \angle -5.93° \times e^{+j2\pi/3} - 1.0254 \angle -9.85° \times e^{-j2\pi/3}$$

$$= 1.017 \angle -1.1°$$

من الواضح أن كل معاملات التصحيح لنسبة التحويل مختلفة عن 1 ، وهي كلها غير متساوية. وبالتالي ، فإن محولي الجهد الموصلين على شكل دلتا مفتوحة يتسببان في إزاحات لزوايا الجهد غير متساوية (unequal phase shifts) ، مما قد يؤدي إلى أخطاء في قياس جهود التتابع الموجب وجهود التتابع السالب وجهود التتابع الصفري في مثل هذه التوصيلة. من ناحية أخرى ، فإن حالات عدم الاتزان غالبا ما تكون عمليًا صغيرة.

الجزء الثاني: المصهرات Fuses

٤.٢ - المصهرات Fuses

١.٤.٢ - مقدمة

يعرف المصهر بأنه جهاز حماية يعمل عندما يتجاوز التيار المار به قيمة معينة وذلك بفتح الدائرة نتيجة لارتفاع درجة حرارة عنصر خاص قابل للانصهار وانصهاره فعلاً بعد زمن يعتمد على قيمة تجاوز التيار.

ويستخدم المصهر منذ زمن طويل كجهاز بسيط يحمي نظم القوى الكهربائية ضد تجاوز التيار وهو أكثر أجهزة الحماية استخداما لحماية نظم القوى الكهربائية الحديثة وذلك لسببين :

- رخص ثمنه
- المصهر يعتبر أكثر أجهزة الحماية اعتمادية حيث أنه يستطيع أن يؤدي وظيفته على أتم وجه حتى بعد مضي فترة تتراوح بين ١٥ و٢٠ سنة دون الحاجة إلى صيانة ، لأنه ـ على عكس مفاتيح القطع ـ لا يحتوي على أجزاء متحركة.

وتحدد مقننات المصهر بناء على قيم الجهد وتيار الحمل وتيار القصر عند موقع المصهر في الشبكة الكهربائية. ومقننات المصهر ـ وهي جهد التشغيل والتيار المقنن وسعة القطع ـ يجب أن تكون مساوية لهذه القيم أو أكبر منها. ويجب على المصهر أن يتحمل ١١٠٪ من تياره المقنن باستمرار وبدون أي تغيير في خصائصه كما يجب عليه، عند قطع التيار، أن يتحمل الارتفاع العابر في الجهد الذي يظهر بين طرفيه (الجهد العابر المستعاد Transient Recovery Voltage) . وسعة القطع (Interruption Capacity) للمصهر هي أعلى قيمة فعالة للتيار يستطيع المصهر 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

١. عنصر المصهر Fuse link

عنصر المصهر يتضمن عنصراً أو عدة عناصر توصل على التوازي ضمن خرطوشة أو أسطوانة احتراق (Cartridge) وتكون هذه الأسطوانة عمومًا مملوءة بمادة خامدة للقوس الكهربي (Arc Extinction) ويتصل عنصر المصهر بنهايات الإسطوانة. كما يعرف عنصر المصهر أيضا بأنه الجزء من المصهر الذي يتم تبديله بعد أن يعمل المصهر . و يسمى الجزء الداخلي من عنصر المصهر والذي ينصهر نتيجة تجاوز التيار بالعنصر (element)

٢. التيار النظامي أو المقنن Current Rating

وهو التيار الذي يتحمله المصهر بشكل دائم (بل يتحمل ١١٠٪ من هذا التيار) بدون أي تلف أو ارتفاع درجة الحرارة بشكل غير مقبول. ويكون مكتوبًا على المصهر من قبل الشركة المصنعة ويرمز له بالرمز (I_n). وهذا التيار يكون أقل من القيمة الصغرى لتيار انصهار المصهر.

٣. تيار الانصهار الأصغر (Minimum Fusing Current)

وهو أصغر قيمة للتيار تؤدي إلى انصهار العنصر المنصهر ينصهر. وهو القيمة المقاربة للتيار المبين على مخطط خصائص الزمن / التيار للمصهر.

٤. عامل الصهر (Fusing Factor)

وهو عبارة عن حاصل قسمة قيمة تيار الانصهار الأصغر على قيمة التيار المقنن للمصهر وهو أكبر من الواحد ويعطي بالعلاقة التالية :

$$\text{عامل الصهر} = \frac{\text{تيار الانصهار الأصغر}}{\text{التيار المقنن}}$$ وهذا العامل أكبر من الواحد

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 المنصهر والفصل النهائي للدائرة.

٧. **زمن عمل المصهر**

وهو الزمن الكلي منذ لحظة ظهور الخطأ حتى إزالته نهائيًا (إطفاء القوس نهائيًا) . وهو بالتالي مجموع زمنين وهما زمن قبل حدوث القوس وزمن حدوث القوس:

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

٢.٤.٢ - أهم المتطلبات من المصهرات

تتمثل متطلبات عمل المصهر فيما يلي :

١. يجب على المصهر أن يعمل بسرعة عالية للحد من التلف الذي قد يحدث للأجهزة المراد حمايتها لأن تيار العطل يمكن أن يكون عاليًا جدًا.

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

٣. بعد عمل المصهر من الضروري وجود عزل عال لتحمل الجهد الجهد العابر (Recovery voltage)

٤. يجب أن يعمل المصهر تحت جميع الحالات العملية الممكنة.

٥. يجب أن تحافظ المصهرات على موثوقية عملها ولا تتغير خصائصها.

٢.٤.٣ - تصنيف المصهرات

تنقسم المصهرات إلى مصهرات جهد منخفض لا يزيد عن ٦٦٠ فولت ومصهرات جهد عالي للجهود الأكبر من ذلك.

ويمكن تصنيف المصهرات بصفة عامة إلى نوعين :

- المصهرات الغير محددة للتيار (Non-Current Limiting Fuses)
- المصهرات المحددة للتيار (Current Limiting Fuses)

أ- المصهرات الغير محددة للتيار (Non-Current Limiting Fuses)

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

أ.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 الكهربائي بين طرفي المصهر. ونتيجة لدرجة الحرارة العالية لهذا القوس (4000 – 5000 ºK) 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 بالصفر. ويتم طرد الغازات بشدة إلى الجو من الطرف الأعلى للأنبوبة (صوت يشبه صوت انطلاق قذيفة).

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 :

- سهولة استبدال أنبوبة الانصهار ورخص ثمنها وإمكانية استخدام أنواع مختلفة من الأنابيب على نفس الحامل.

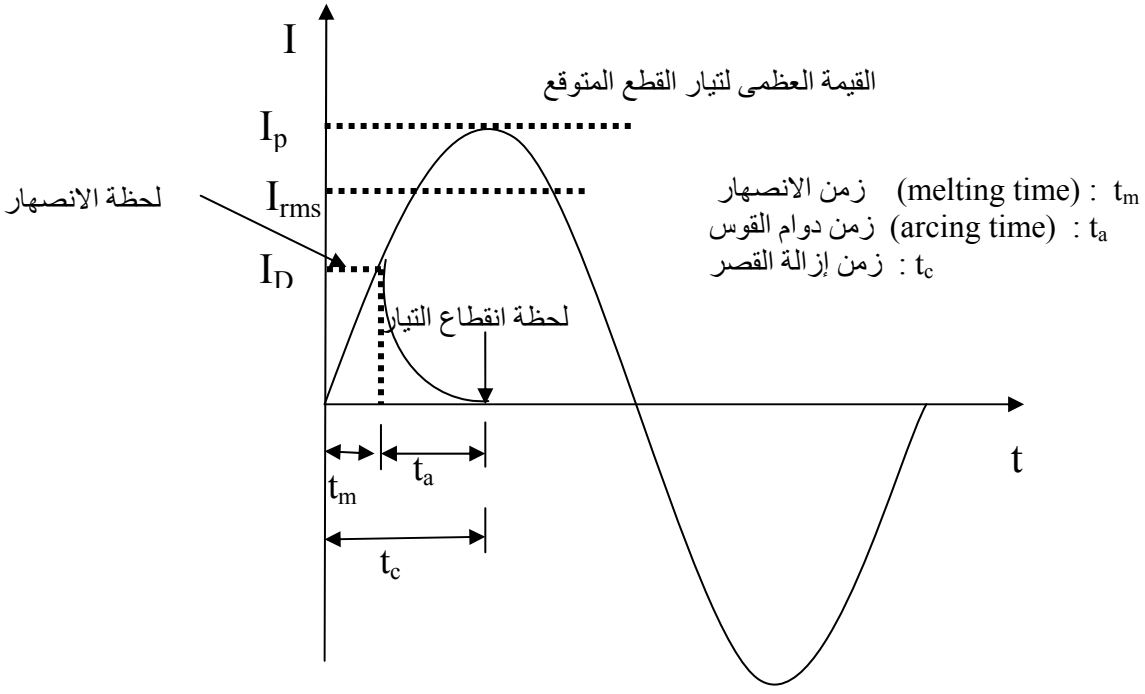
- إمكانية استغلال انصهار العنصر وشدة اندفاع الغازات في إسقاط المصهر بأكمله إلى أسفل بحيث تصبح أطراف المصهر معزولة تمامًا عن جهد الخط ويعطي المصهر في وضعه هذا دليلاً مرئيًا واضحًا لانصهاره مما يسهل مهمة تحديد مكان الفصل.

أ-٢. المصهرات المفرغة (Vacuum Fuses)

لا تختلف هذه المصهرات في تصميمها وتشغيلها عن مصهرات الطرد إلا في أنها محكمة تمامًا ولا يعتمد قطع التيار على طرد الغازات وإنما على العزل الكهربائي 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.

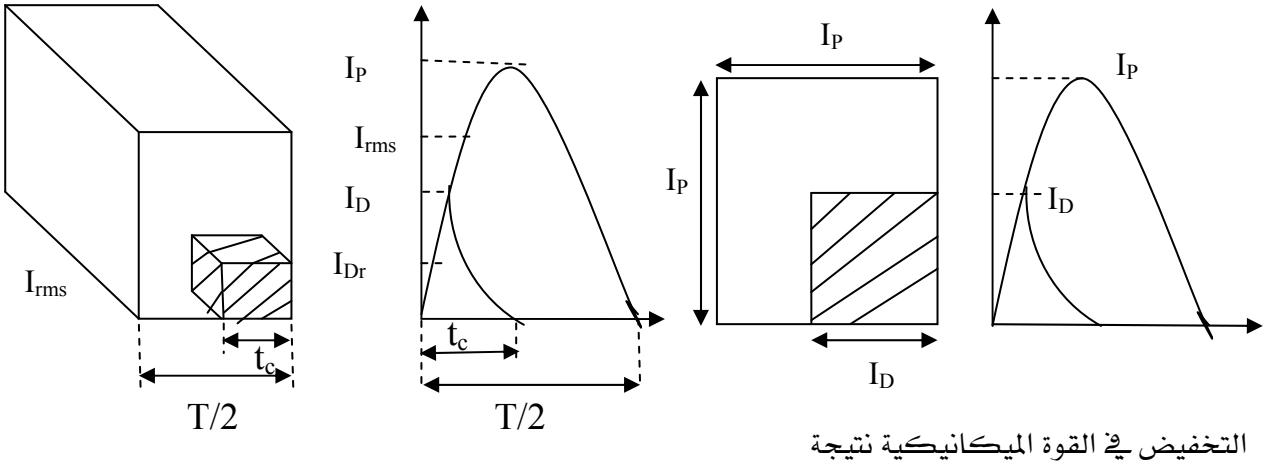
ب . المصهرات المحددة للتيار (Current Limiting Fuses)

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 الدورة الأول شكل (٢.٩). وأقصى تيار (I_D) يسمح المصهر بمروره يعرف بتيار القطع (Cut - Off Current) أو بتيار الذروة المسموح مروره.



شكل(٢ ـ ٩) مبدأ الحد من تيار القصر للمصهرات المحددة للتيار

والحد من قيمة تيار القصر يقي المعدات من التلف نتيجة للإجهادات الحرارية والكهروميكانيكية. معيار الطاقة الحرارية المولدة في الشبكة أثناء فترة الخطأ هو حاصل ضرب مربع القيمة الفعالة للتيار المار في المصهر والزمن المنقضي حتى إزالة القصر ($I^2 t$) . أما معيار القوة الميكانيكية فهو مربع القيمة العظمى للتيار والشكل التالي يبين تمثيلا رمزيا للانخفاض الكبير في الطاقة الحرارية وفي القوة الكهروميكانيكية الناتج عن استخدام مصهر محدد للتيار.



التخفيض في القوة الميكانيكية نتيجة استعمال مصهر محدد للتيار .
الجزء المظلل يمثل القوة في حالة المصهر المحدد

التخفيض في الطاقة الحرارية في حالة استعمال مصهر محدد للتيار .
الجزء المظلل يمثل الطاقة الحرارية في حالة المصهر

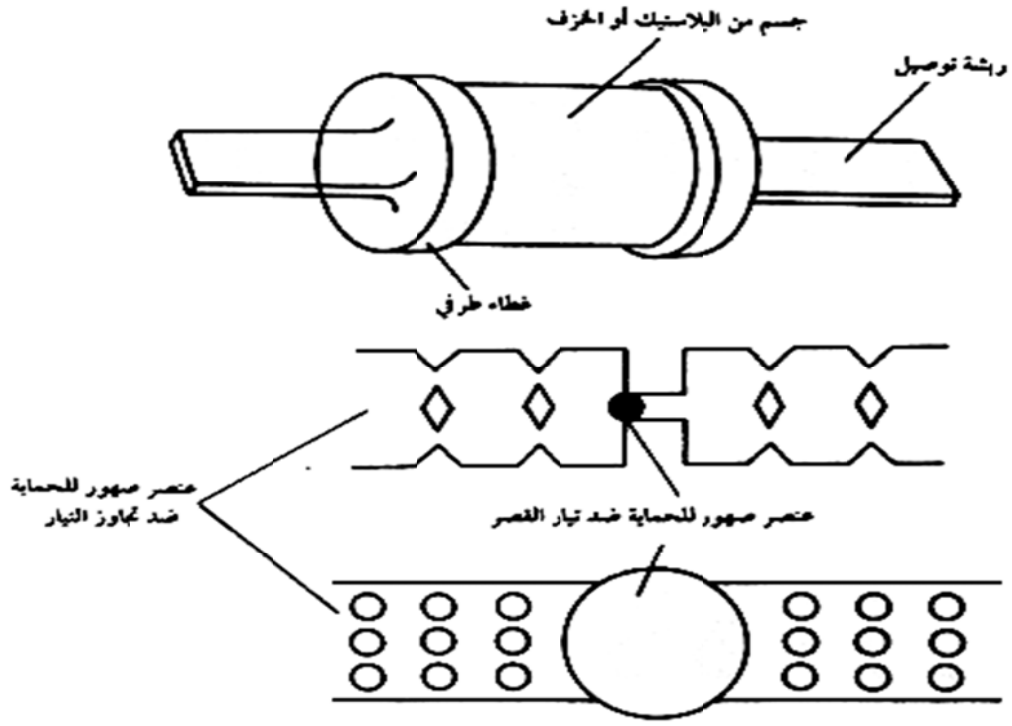
وتستخدم هذه المصهرات في حماية المحولات والمكثفات والكابلات والقضبان ومحولات الجهد الخاصة بأجهزة القياس بحيث يصبح القصر الذي يجب أن تتحمله هذه المعدات أصغر بكثير من تيار القصر الفعلي. وجدير بالذكر أن هذه المصهرات تعرف أيضا بمصهرات ذات سعة قطع عالية (High Rupturing Capacity – HRC- Fuses) .

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.

ب.١- المصهر ثنائي العنصر Dual element fuse (up to 69 kV , 200 kA)

تحتوي أغلب مصهرات الجهد المنخفض الحديثة على عنصر صهور مزدوج . ويتكون هذا العنصر من شريط من النحاس منقسم إلى جزئين. كل جزء به عدد من المناطق ذات

مقطع منخفض كما في الشكل (٢ ـ١٠) وذلك للحماية ضد تيارات القصرالعادية والتي قد تصل إلى عشرين ضعف التيار العادي. . والجزآن موصلان على التوالي بواسطة سبيكة معدنية خاصة لها درجة حرارة انصهار منخفضة لحماية الدائرة ضد تيارات الحمل الزائد (التي تزيد عن خمسة أضعاف التيار العادي) فهي تسمح بمرور مثل هذه التيارات لفترة تتناسب عكسيا مع قيمة التيار. وأهم استخدام لهذا النوع من المصهرات هو لحماية الدوائر التي بها محركات مباشرة البدء وكذلك للمحولات.

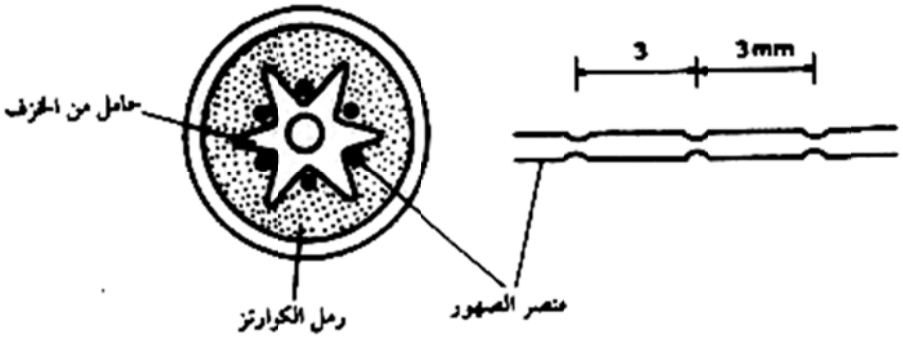


الشكل (٢ ـ١٠) مصهر جهد منخفض وعنصر الصهور المزدوج

ب.٢- مصهر الجهد العالي high voltage fuse

أما مصهرات الجهد العالي فهي توضع على ناحية الابتدائي للمحولات وليس مطلوبًا منها حماية المحول ضد تيارات الحمل الزائد حيث يقوم بذلك المصهر أو القاطع الموصل على ناحية ثانوي المحول. ولذلك فإن عنصر الانصهر ليس مزدوجًا 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 ١١). وكل سلك به ضيق في المقطع كل ثلاثة

مليمترات تقريبًا على مدى طوله. وتوضع الأسطوانة داخل أنبوبة من لخزف لها طبقة خارجية زجاجية ومملوءة بمسحوق الكوارتز.



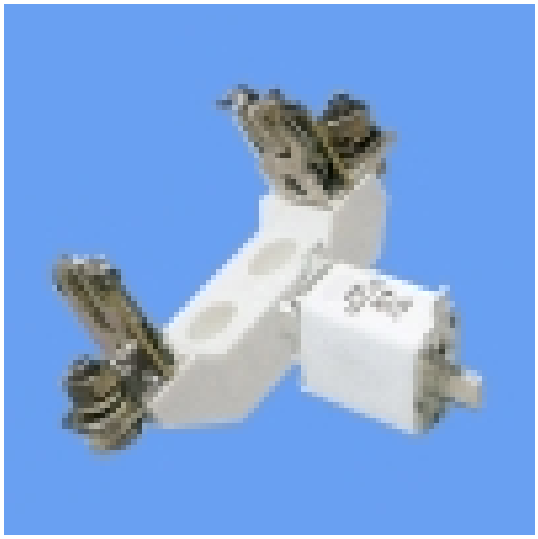
الشكل (٢ ـ ١١) مكونات مصهر الجهد العالي

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 في الدائرة وبالتالي لا تؤدي إلى الحد من ارتفاع التيار بل إلى إقلاله أيضا.
- ارتفاع كبير في معامل القدرة للدائرة بحيث يصل التيار إلى الصفر مع جهد التشغيل الطبيعي ولذلك فإن قيمة الجهد العابر المستعاد صغيرة جدًا 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 إقلال 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.

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

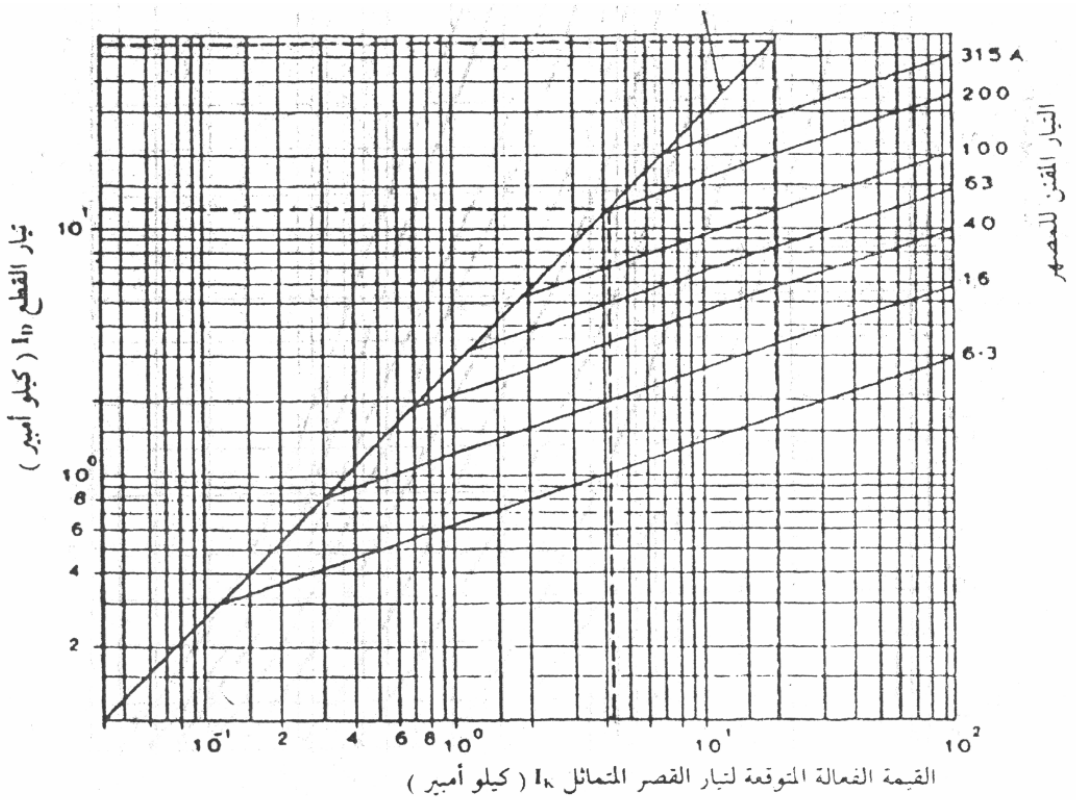
ويوضح الشكل (٢- ١٢) بعض الأشكال والأنواع المختلفة للمصهرات المستعملة في الدوائر الكهربائية المختلفة .



الشكل (٢- ١٢) : أنواع مختلفة من المصهرات المستخدمة في الدوائر الكهربائية

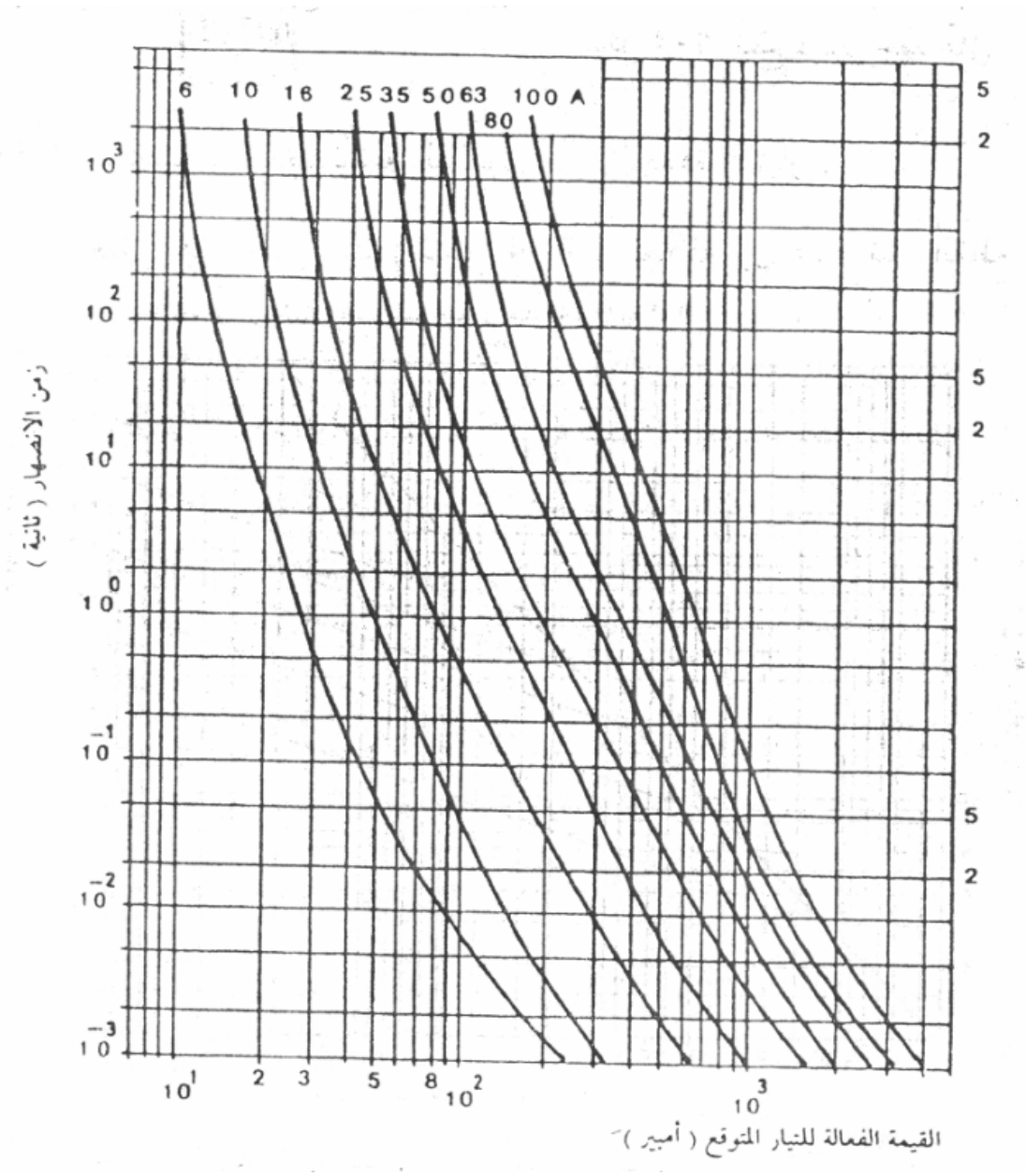
٢.٤.٤- المنحنيات الخصائصية للمصهرات المحددة للتيار

تعطي هذه المنحنيات (شكل ٢- ١٣) العلاقة بين قيمة تيار القطع I_D والقيمة الفعالة لتيار القصر المتماثل لمجموعة من المصهرات لها تيارات مقننة مختلفة. ويمثل الخط المستقيم المائل العلاقة بين القيمة الذروية (العظمى) 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 20 kA وأن التيار المقنن للمصهر هو 100 A، نجد من الشكل أن المصهر سيحد القيمة القصوى لتيار القصر إلى 11.5 kA بدلا من 53.8 kA في حالة عدم وجود المصهر. ويتضح من الشكل أيضا أن تيار القطع يناظره تيار قصر متماثل ظاهري قيمته 4.2 kA

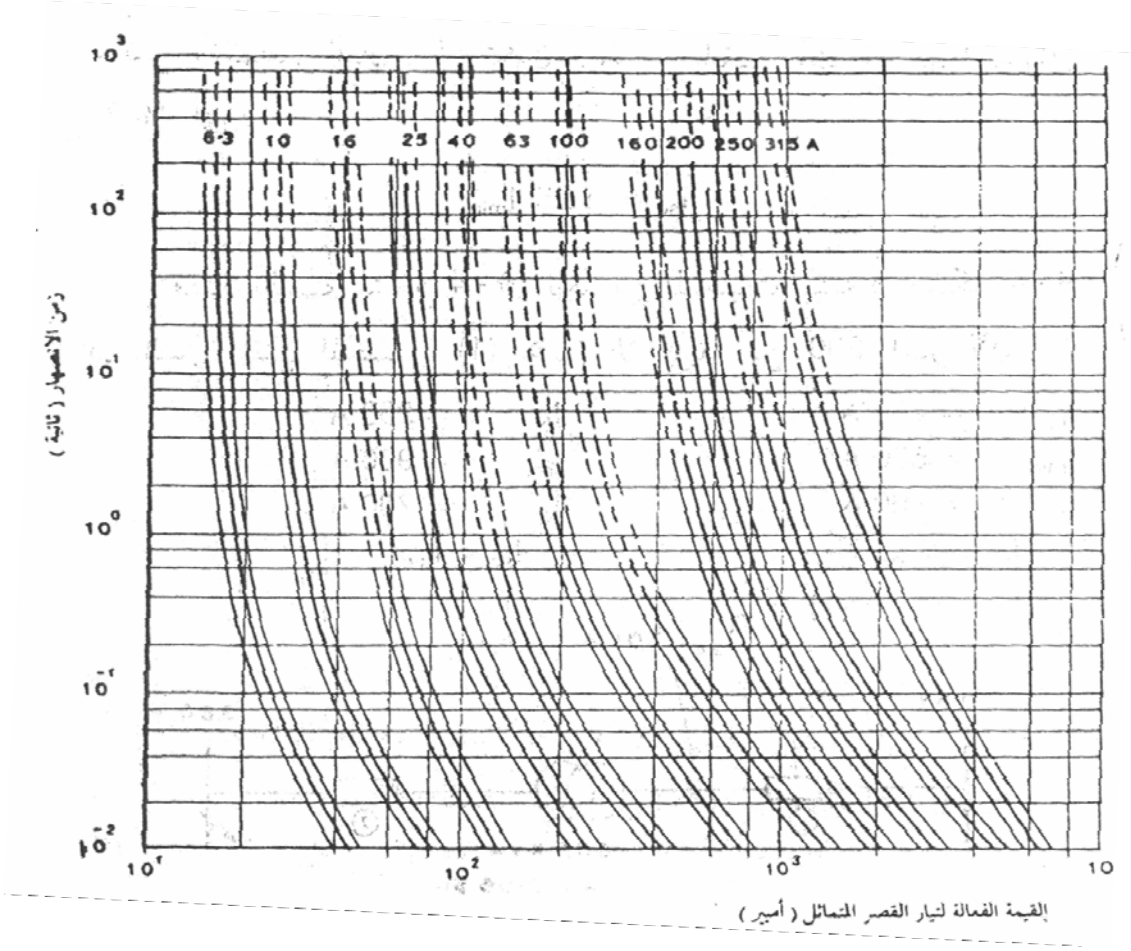


شكل (٢ ـ ١٣) : المنحنيات الخصائصية للمصهرات المحددة للتيار

وتعطي الأشكال (٢- ١٤) و (٢- ١٥) أنموذجا للعلاقة بين تيار القصر المتوقع وزمن الانصهار لمجموعة من المصهرات ذات الجهد المنخفض ومجموعة من المصهرات ذات الجهد العالي من صنع شركة سيمنز.



شكل (٢ ـ ١٤) : المنحنيات الخصائصية لمجموعة مصهرات جهد منخفض (٦٦٠ فولت)



شكل (٢ ـ ١٥) : المنحنيات الخصائصية لمجموعة مصهرات جهد عالي (١١ كيلو فولت)

في هذه المنحنيات يجب ملاحظة النقطتين الآتيتين :

أولا :يجب الأخذ في الاعتبار التفاوت المسموح به في التصنيع وهو يتراوح بين ± 5% إلى ± 10% وعادة ما تعطى هذه الحدود على شكل منحنيات على جانبي المنحنى الأصلي الممثل لخصائص المصهر.

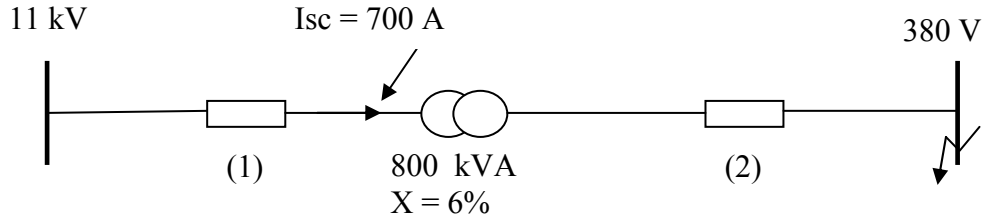
ثانيا : كل مصهر له قيمة دنيا لتيار القطع I_{min} تتراوح بين 2.5 و 3 أضعاف التيار المقنن. ويجب أن تكون قيمة تيار القصر المتوقع أكبر من I_{min} للمصهر وإلا فلن يكون مؤكدًا

أن هذا المصهر سوف يفصل التيار. ومن الأفضل ، كهامش أمان ، أن تكون قيمة تيار القصر أكبر من I_{min} بحوالي % 25.

فمثلا بالنسبة للشكل (٢ ـ ١٦) نجد من المنحنيات المبينة في الشكل (٢ ـ ١٥) أن التيار المقنن للمصهر (1) يجب أن لا يزيد عن 200 A لأن :

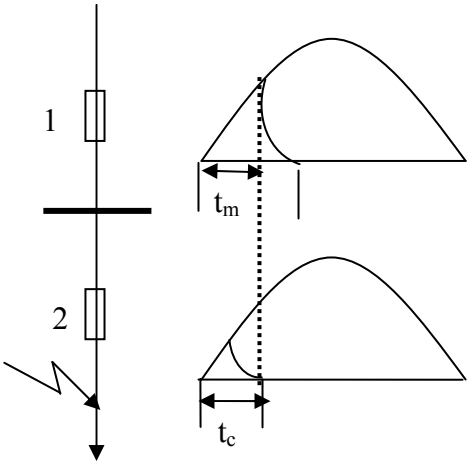
$I_N = 250$ A
$I_{min} = 900$ A
$I_{sc} = 700$ A
$I_{sc} < I_{min}$

$I_N = 200$ A
$I_{min} = 500$ A
$I_{sc} = 700$ A
$I_{sc} > I_{min}$



الشكل (٢- ١٦)

٢.٤.٥ - التنسيق بين المصهرات وبعضها



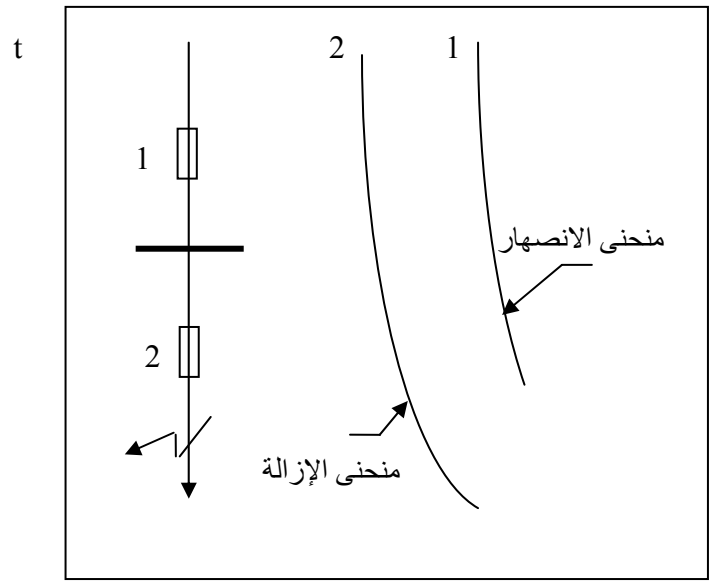
في حالة وجود مصهرين أو أكثر على التوالي ، يجب التنسيق بينهم بحيث إذا حدث خطأ بعد المصهر (2)
فإنه سيقوم بفصل الخطأ وإزالته قبل حدوث أي تغيير في خصائص المصهر (1).
أي أن طاقة الإزالة للمصهر (2) : I^2t_c يجب أن تكون أقل من طاقة الانصهار للمصهر (1) : I^2t_m
بحيث يجب أن يتحمل المصهر (1) تيار الخطأ منذ لحظة وقوعه وحتى إزالته بواسطة المصهر (2) وذلك دون حدوث أي تغير في خصائصه.

ويتحقق ذلك بإحدى الطرق الثلاثة التالية.

طريقة (١) : استخدام جداول النسبة الانتقائية (Selectivity Ratio Tables) للتباديل المختلفة للمصهرات ويتم الحصول عليها من صانع المصهرات. وتستخدم هذه النسبة بين المصهرات التي تكون من نفس المصنع.

و هذه النسبة هي عبارة عن النسبة بين التيار المقنن للمصهر (1) والتيار المقنن للمصهر (2)وتتراوح قيمتها عادة بين 3 : 1 → 1.25 : 1

طريقة (٢) : استخدام المنحنيات الخصائصية التي تعطي العلاقة بين التيار وزمن الانصهار (منحنيات الانصهار) وبين التيار والزمن الكلي لإزالة الخطأ (منحنيات الإزالة). ويتم رسم المنحنى الخاص بكل مصهر على نفس الورقة الشفافة والتأكد من أن منحنى الانصهار للمصهر (1) يقع بأكمله فوق منحنى الإزالة للمصهر (2) كما مبين في الشكل (٢- ١٧). ولا يجوز إطلاقا الخلط بين منحنيات المصهرات من قبل صانعين مختلفين.



الشكل (٢ ـ ١٧) استخدام المنحنيات الخصائصية للتنسيق بين مصهرين على التوالي

طريقة (٣) : استخدام جداول انتقاء خاصة تعطيها الشركة المصنعة. فلنأخذ على سبيل المثال نموذجا من الجداول الخاصة بشركة سيمنز لحماية محولات التوزيع 10–12 kV/ 400 V.
يعطي العمود الأول من الجدول (٢ ـ١) خصائص المحول أما العمود الثاني فيعطي القيمة

الصغرى للتيار المقنن للمصهر (I_{Nmin}) والعمود الثالث يعطي القيمة القصوى للتيار المقنن للمصهر (I_{Nmax}) .

	سعة المحول (kVA)	I_{Nmin} (A)	I_{Nmax} (A)
X= 4 %	50	16	16
	100	25	40
	200	40	63
X= 6 %	250	25	63
	400 , 500	63	100
	630	63	160
	800	100	200
	1000	100	200

جدول (٢ ـ١) : حدود التيار المقنن لمصهرات الجهد العالي
المستخدمة لحماية محولات 10–12 kV/ 400 V

حيث :

I_{Nmin} : هي القيمة الدنيا للتيار المقنن للمصهر بحيث يستطيع أن يتحمل التيار المغنط المندفع (Magnetizing inrush current)

I_{Nmax} : هي القيمة القصوى للتيار المقنن للمصهر بحيث يستطيع المصهر فصل تيار القصر بدرجة اعتمادية عالية.

ويتم اختيار المصهر بحيث يقع التيار المقنن له بين هاتين القيمتين.

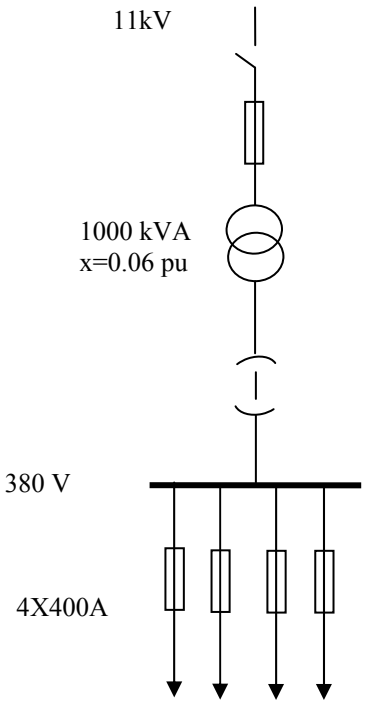
ويعطي الجدول (٢ ـ ٢) القيم المتناسقة للتيار المقنن لمصهرات الجهد المنخفض(400 V) ومصهرات الجهد العالي (10 – 12 kV).

مصهر جهد منخفض (A)	مصهر جهد عالي (A)
80	16
125	25
160	25
200	40
250	63
400 , 500	100
800	160
1000	200

جدول ٢ ـ٢ : القيم المتناسقة للتيار المقنن لمصهرات الجهد المنخفض (400 V) والجهد العالي (10 – 12 kV)

مثال ١:

أوجد مصهر الجهد العالي الذي يتناسق مع مصهرات الجهد المنخفض المبينة بالشكل



الحل :

من الجدول الأول ، لمحول 1000 kVA ومعاوقته 6% نتبين أن :

$I_{Nmin} = 100$ A

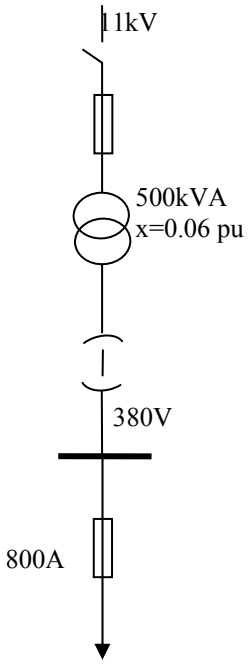
$I_{Nmax} = 200$ A

ومن الجدول الثاني : عندما يكون مصهر الجهد المنخفض 400 A فإن مصهر الجهد العالي المتناسق معه يجب أن يكون 100 A. وهذه القيمة ضمن الحدود المسموح بها وبالتالي فإن التيار المقنن لمصهر الجهد العالي هو :

$I_N = 100$ A

مثال ٢:

هل يمكن إيجاد مصهر الجهد العالي الذي يتناسق مع مصهر الجهد المنخفض المبين بالشكل المقابل.



الحل :

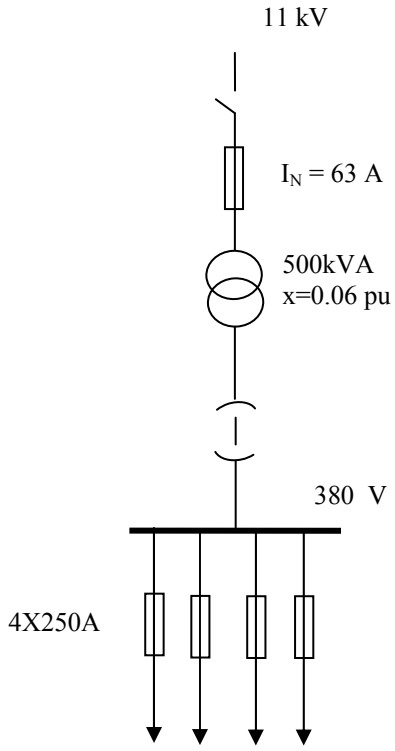
من الجدول الأول ، لمحول 500 kVA ومعاوقته 6% نتبين أن :

$I_{Nmin} = 63$ A

$I_{Nmax} = 100$ A

ومن الجدول الثاني : عندما يكون مصهر الجهد المنخفض 800 A فإن مصهر الجهد العالي المتناسق معه يجب أن يكون 160 A. وهذه القيمة ليست ضمن الحدود المسموح بها وبالتالي لا يمكن التنسيق بين المصهرين.

لذلك يتم استخدام أكثر من مخرج للمحول. في هذه الحالة سنجرب استخدام ٤ مخارج كل منها 200 A . من الجدول الثاني نجد أن مصهر 200 A يتناسق مع مصهر 40 A على جانب الجهد العالي، وهذه القيمة أقل من القيمة الدنيا (63 A) وبالتالي لا يمكن كذلك التنسيق بين المصهرين.



لذلك نستخدم مصهرات 250 A حيث تتناسق مع مصهرات 63 A على جانب الجهد العالي وهي تقع داخل النطاق المسموح به لمصهرات الجهد العالي لهذا المحول. (الشكل المقابل)

إذن باستخدام ٤ مخارج 250 A يكون التيار

المقنن لمصهر الجهد العالي : $I_N = 63\ A$

ملاحظة : يمكن كذلك استخدام مخرجين كل منهما 400 A ويكون التيار المقنن لمصهر الجهد العالي : $I_N = 100\ A$

٦.٤.٢ - التنسيق بين المصهرات والقواطع

سيتم دراسة ذلك لاحقًا مع القواطع الكهربائية.

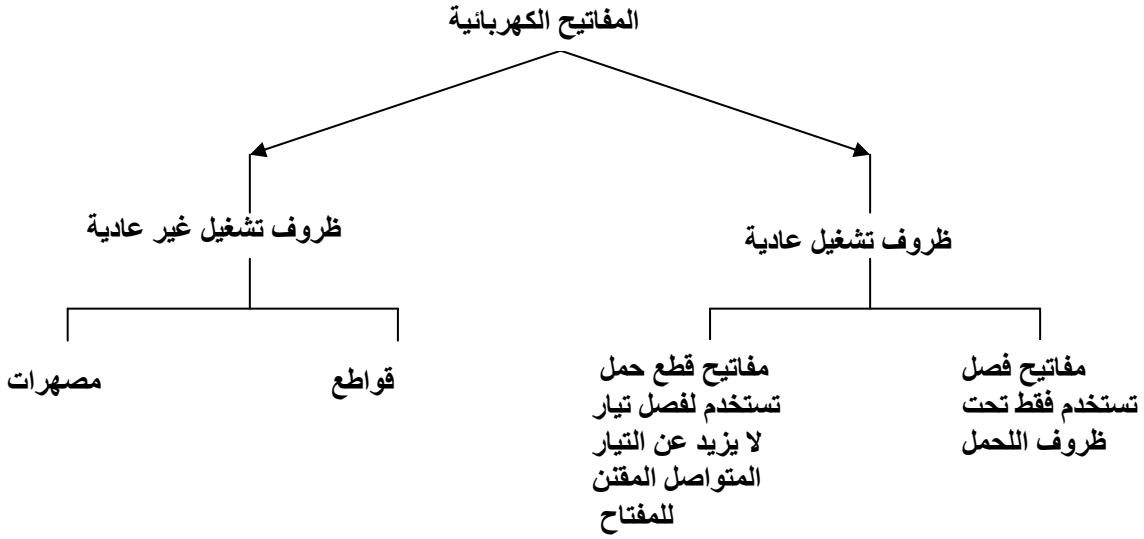
الجزء الثالث : القواطع الكهربائية

٢. ٥- القواطع الكهربائية

٢. ٥. ١- مقدمة

من المسلم به أن أي دائرة كهربائية 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 إضاءة بسيطة أو شبكة قوى مترابطة.

ويبين الشكل (٢- ١٨) الأنواع المختلفة التي تنقسم إليها المفاتيح الكهربائية والتي يمكن تصنيفها إلى نوعين أساسيين :



الشكل (٢- ١٨) : الأنواع المختلفة التي تنقسم إليها المفاتيح

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

أ- مفاتيح قفل أو فتح دائرة كهربائية غير محملة وتعرف بمفاتيح فصل (Disconnect Switches)

ب- 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 Breakers) 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 :

أ- حالة تجاوز حمل والتي إذا استمرت تؤدي إلى تجاوز الحد الأقصى لدرجة الحرارة المسموح بها بالنسبة للمحولات والآلات والكابلات والأجهزة الأخرى.

ب- حالة حدوث انهيار في العزل الكهربائي والتي تؤدي إلى قصر بين موصل والأرض أو بين الموصلات وبعضها.

ج- حالة هبوط خطير في الجهد والتي قد تؤدي 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.

و حيث أن الوظيفة الأساسية للقاطع هي حماية الشبكة الكهربائية ومعداتها، فإن سرعة الفصل بالنسبة للقواطع أهم بكثير من سرعة الفصل بالنسبة لمفاتيح قطع الحمل. وحيث أنه يجب أيضا فصل الجزء الذي يحدث به الخطأ فقط دون غيره فإن التنسيق بين القواطع المختلفة في الشبكة له أهمية كبيرة. ونظرًا لهذه المتطلبات فإن تصميم القواطع أكثر تعقيدًا من تصميم المفاتيح الأخرى.

المفتاح الكهربائي ،أيا كان نوعه، يتكون أساسا من تلامسين أحدهما ثابت والآخر متحرك. والجهاز الخاص بتحريك التلامس 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.

٢.٥.٢- مواصفات القواطع

قبل أن ندرس القواطع ،أنواعها المختلفة وخصائصها، نتعرف أولاً على المواصفات الأساسية للقواطع .

- **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.

- **التردد المقنن** Rated Frequency

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

- **الجهد المقنن للعزل** Rated Insulation Voltage

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

- **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 تقريبًا.

- **جهد الصمود الدفعي المقنن** Rated Impulse Withstand Voltage

ويمثل هذا الجهد القيمة العظمى 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.

- **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 القصوى المقننة للقاطع وبدون الحاجة إلى أي نوع من أنواع الصيانة (مثل تنظيف التلامسات).

- **تيار الفتح المقنن** Rated Breaking Current

وهو يمثل القيمة الفعالة لتيار القصر المتماثل الذي يستطيع القاطع فصله. وتعطى قيم لهذا التيار عند جهود التشغيل المختلفة المسموح بها و عند عامل قدرة يتراوح بين (0.2 and 0.25) وهو يمثل عامل القدرة في الشبكة أثناء وجود القصر.

- **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.

- **التيار المقنن لزمن قصير** Rated Short – Time Current

وهو يمثل القيمة الفعالة القصوى للتيار المتماثل الذي يمكن أن يتحمله القاطع لفترة زمنية تتراوح تصل إلى ثانية واحدة لقواطع الجهد المنخفض وتتراوح من 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. ٥. ٣ - القوس الكهربائي وطرق إخماده

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

والقوس الكهربائي هو عبارة عن عمود من غاز شديد التأين (بلازما) له درجة حرارة مرتفعة ($10000\ ^oC \rightarrow 20000\ ^oC$) 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. 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 (20 V/cm) بالنسبة للتيارات الأكبر من 100 أمبير. وبالتالي فإذا كان جهد المنبع 200 V مثلا والتيار أكبر من 100 أمبير فيكفي سحب القوس حتى يصل طوله إلى حوالي 10 سم لينطفئ بعد ذلك.

وينتقل التيار في القوس بواسطة تحرك 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.

ويجب هنا أن نوضح الفرق بين قطع التيار المتردد عند الصفر وقطع التيار المستمر أو التيار المتردد عند قيمة محددة (كما في القواطع والمصهرات المحددة للتيار). فبالنسبة للتيار المتردد بذبذبة 50 Hz يتغير اتجاه التيار مائة مرة في الثانية الواحدة أي أن التيار يمر بالصفر كل ١٠ ملي ثانية ، ولذلك فإن الوقت الأمثل لإخماد القوس الكهربائي هو لحظة انعدام التيار (current-zero) أي للحظة مرور التيار بالصفر.

ولكن في هذه اللحظة أيضًا، يرتفع الجهد بين التلامسات بمعدل سريع قد يصل إلى أضعاف جهد المنبع. ويعرف هذا الجهد ، الذي يمكن اعتباره كردة فعل الشبكة نتيجة انقطاع التيار المار بها، بالجهد العابر المستعاد (Transient Recovry Voltage) . وقد يؤدي ظهور هذا الجهد إلى إعادة إشعال القوس الكهربائي ، إلا إذا كان معدل ارتفاع جهد الانهيار للوسط بين التلامسين (هبوط الجهد على طول القوس) أكبر من معدل ارتفاع الجهد العابر المستعاد.

ويتضح مما سبق أنه في حالة عدم إمكانية استغلال 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 أساسًا على رفع هبوط الجهد عبر القوس عن طريق إطالة القوس وتقسيمه.

ويمكن منع إعادة إشعال القوس :

- إما عن طريق تقسيمه وهذه الطريقة تستخدم أساسًا في القواطع الهوائية ذات الضغط المنخفض.

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

أ- إطالة القوس الكهربي

يبين الشكل (٢ـ ١٩) القوة التي تؤثر على قوس كهربائي ممتد بين تلامسين . ومصدر هذه القوة هو المجال المغناطيس الناتج عن مرور التيار في الموصلين ، قانون لابلاص:

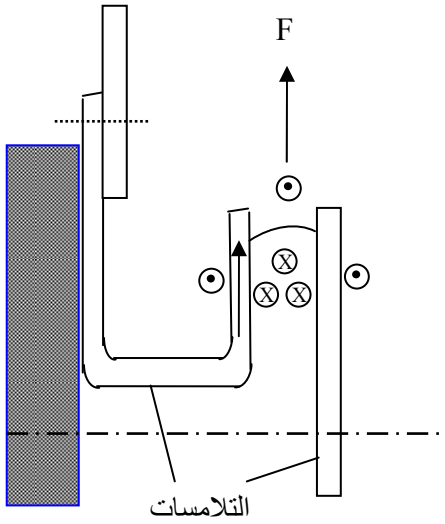
$$F = B\,il \sin\theta$$

حيث :

B : كثافة الفيض المغناطيسي i: شدة التيار

l: طول الموصل θ : الزاوية بين التيار و كثافة الفيض المغناطيسي

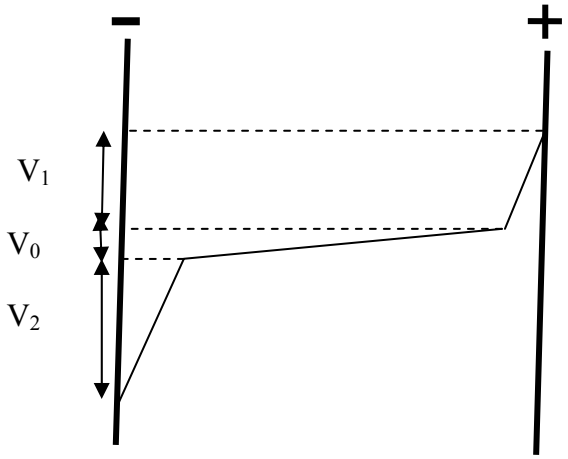
F: القوة المؤثرة على الموصل وتقوم هذه القوة بتحريك القوس إلى اليسار ثم إطالته عند وصوله إلى أطراف الموصلين. وفي القواطع يمكن زيادة قيمة هذه القوة بزيادة شدة المجال المغناطيسي وذلك باستخدام ملف يسمى بملف الإطفاء (Blow-Out Coil)



شكل (٢ـ ١٩) القوة الكهرومغناطيسية المؤثرة على القوس الكهربي

ب- تقسيم القوس الكهربائي

إذا امتد قوس كهربائي لتيار مستمر في الثغرة بين تلامسين ، فإن هبوط الجهد عبر القوس ليس منتظمًا وإنما توزيعه كما هو مبين في الشكل (٢- ٢٠) حيث نرى أن أغلب الهبوط في الجهد يحدث بجوار التلامس السالب والتلامس الموجب مع هبوط صغير عبر باقي القوس. وبما أن الهبوط في الجهد عند الأقطاب لا يعتمد على طول القوس فيتم استغلال هذه الخاصية للحصول على هبوط كبير عبر القوس الممتد بين التلامسين عن طريق تقسيمه إلى عدة أقواس صغيرة على التوالي.



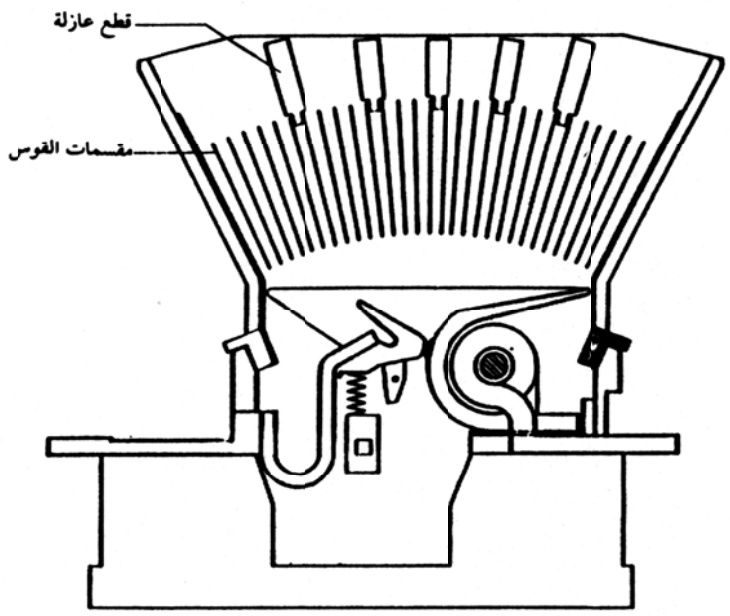
V_1 : الهبوط في الجهد عبر التلامس الموجب

V_2 : الهبوط في الجهد عبر التلامس السالب

V_0 : الهبوط في الجهد عبر القوس

شكل (٢- ٢٠) : توزيع الجهد عبر القوس

ويتم تقسيم القوس الكهربائي باستخدام ما تسمى بمقسمات القوس (Arc Splitters) . وهي عبارة عن مجموعة من الألواح المعدنية موضوعة في الحجرة القوسية كما مبين في الشكل (٢ ـ ٢١). 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 أيضا وضع قطع من مادة عازلة بين الألواح تنبعث منها كمية كبيرة من الغازات نتيجة لارتفاع درجة حرارتها وتساعد هذه الغازات على إزالة التأين وعلى إخماد القوس الكهربائي.



الشكل (٢ ـ ٢١) قاطع به مقسمات للقوس

٢.٥.٤- تصنيف القواطع

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

وتقسم القواطع من حيث جهد التشغيل إلى أربعة أنواع :

أ- قواطع جهد منخفض (حتى 1000 V) Low Voltage C.B.

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

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

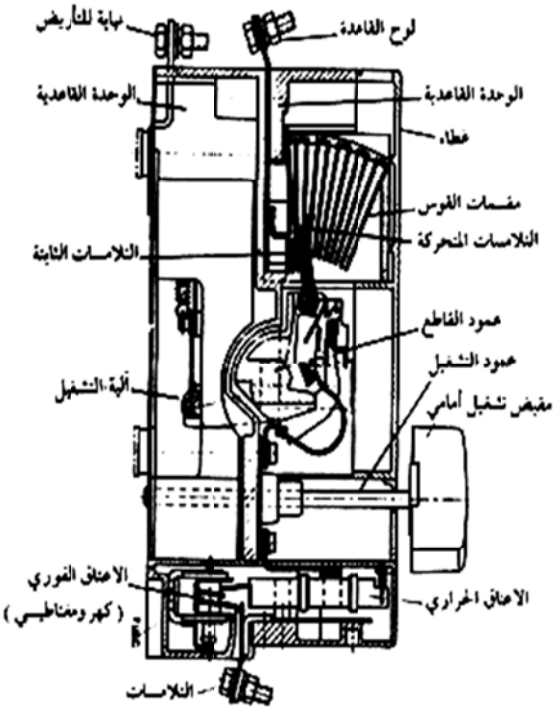
د- قواطع الجهد الفائق (أكبر من 240 kV) Extra High Voltage C.B.

٢. ٥. ٥- قواطع الجهد المنخفض

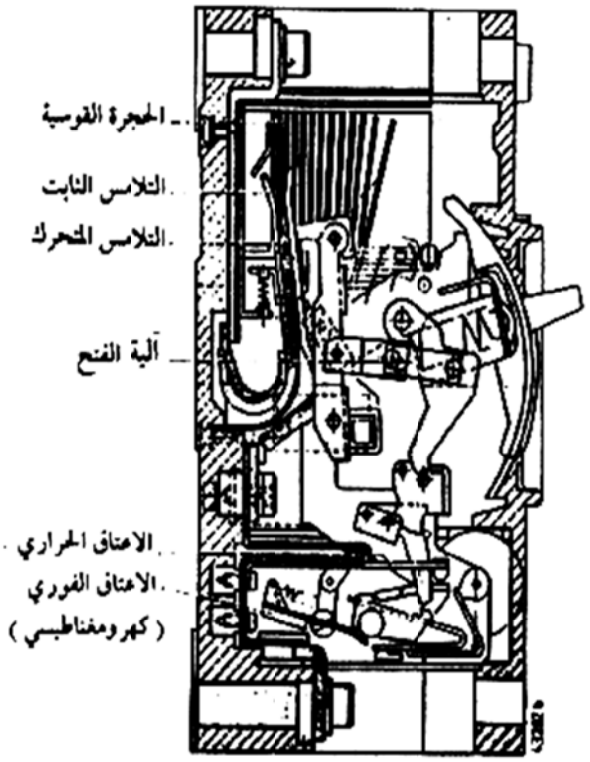
إن جميع قواطع الجهد المنخفض هي قواطع هوائية. ويتم إخماد القوس الكهربائي في هذه القواطع الهوائية عن طريق إطالة القوس وتقسيمه إلى عدة أجزاء على التوالي. ويوجد نوعان من قواطع الجهد المنخفض:

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

تتكون هذه القواطع أساسًا من وحدة متكاملة مغلقة داخل صندوق محكم مصنوع من مادة عازلة. وأغلب هذه القواطع غير قابلة للفك بحيث لا يمكن صيانتها أو استبدال تلامساتها. ويجب استبدال القاطع بأكمله في حالة إصابته بأي عطب. وأقصى قيمة لتيار التشغيل المتواصل هي 1200 A ولتيار القصر 10000 A إلا أن هذه القيم قابلة للزيادة مع التطور التكنولوجي. ويبين الشكل (٢- ٢٢) مقطعًا لهذا النوع من القواطع من صنع شركة سيمنز.



شكل (٢ ـ ٢٢) مقطع لقاطع هوائي نوع صندوق مشكل (سيمنز)



شكل (٢ ـ ٢٣) مقطع لقاطع هوائي مكون من وحدات قياسية (سيمنز)

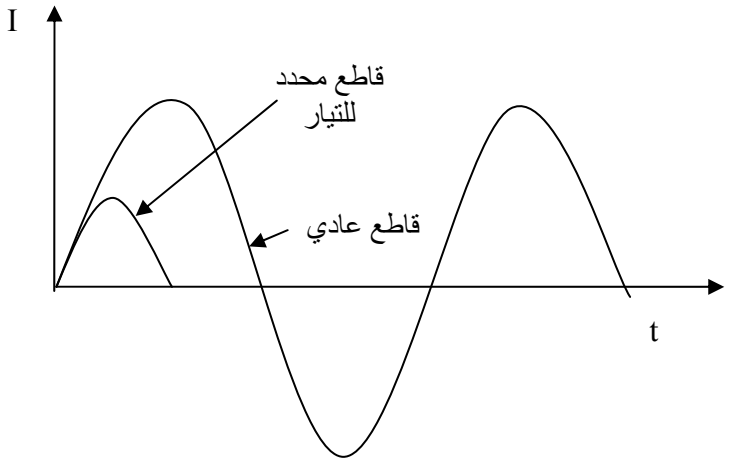
٢- قواطع قوى ذات جهد منخفض (Low Voltage Power Circuit Breakers)

تتكون هذه القواطع من مجموعة من الوحدات القياسية (Modular Design) يمكن استبدالها أو الإضافة إليها في أي وقت كما يمكن أيضا صيانتها وتغيير التلامسات فيها. وأقصى قيمة لتيار التشغيل المتواصل هي 4000 أمبير ولتيار القطع 130000 أمبير إلا أن هذه القيم قابلة للزيادة مع التطور التكنولوجي. ويبين الشكل (٢ ـ ٢٣) مقطعا لهذا النوع من القواطع من صنع شركة سيمنز.

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

أ- القواطع المحددة للتيار (Current – Limiting Breakers)

في هذا النوع من القواطع لا يعتمد إخماد القوس الكهربائي على مرور التيار بالصفر، وإنما يتم إخماده قبل أن يصل تيار القصر إلى قيمته العظمى في أول دورة له (شكل ٢ ـ ٢٤) 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. 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 ٢٤) مبدأ الحد من تيار القصر

ب- 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.

٢.٥.٦- نبائط الإعتاق (Tripping Devices – Releases)

إن الوظيفة الأساسية لنظام الإعتاق هي إطلاق سقاطة خاصة تسمح بعمل آلية فتح تلامسات القاطع مما يؤدي إلى فصل الدائرة التي بها الخطأ. وتصمم القواطع عادة بحيث تكون

فيها حرة الإعتاق (trip-free) وهذا معناه أن آلية القفل لا تعوق عملية الإعتاق أو عملية الفتح المتعمد بحيث لا يمكن زنق القاطع في وضع القفل أثناء وجود قصر أو تجاوز تيار الحمل.

ومصدر الطاقة اللازمة لفتح القاطع بعد إطلاق السقاطة هو مجموعة من الزمبركات كان قد تم كبسها أثناء قفل القاطع (طاقة الكبس تظل مخزونة في الزمركات).

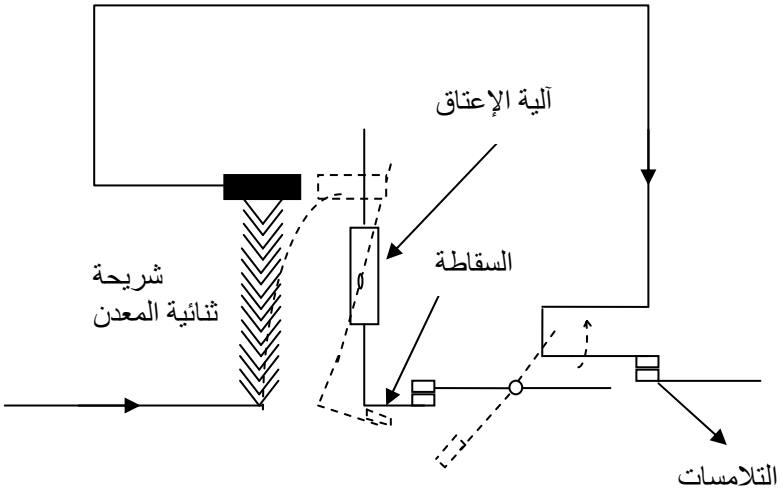
ويتكون الزمن الكلي (T_b) Total Breaking Time لقطع التيار نهائيا في جميع الأقطاب بالنسبة للقاطع من ثلاثة أجزاء هي :-

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

ويتكون زمن الإعتاق من جزأين : جزء حراري بطيء العمل نسبيًا (Delayed Thermal Release) وجزء كهرومغناطيسي يعمل إما فوريا (Instantaneous) أو بعد تأخير قصير (Short – Time Delay) .

أ- نظام الإعتاق الحراري

وظيفة هذا النظام هي حماية الدائرة ضد تيارات تجاوز الحمل. ويتكون من شريحة ثنائية المعدن من سبيكتين لهما معامل تمدد حراري مختلف. وعند مرور تيار يتجاوز تيار الحمل المقنن تنثني الشريحة وتشغل جهاز الإعتاق كما هو مبين في الشكل (٢- ٢٥). وكلما زادت قيمة تيار تجاوز الحمل كلما قصر زمن تشغيل القاطع. وعادة لا تستجيب الشريحة إلا عندما يتجاوز تيار نسبة 110 % من التيار المقنن للحمل. وعندما تكون النسبة من 130 % إلى 140 % يتم الإعتاق بعد ساعة تقريبا وإذا وصلت النسبة إلى 200 % يتم الإعتاق 20 و 100 ثانية. ويمكن ضبط الزمن على حسب درجة حرارة الوسط المحيط وعلى حسب نوع القاطع.

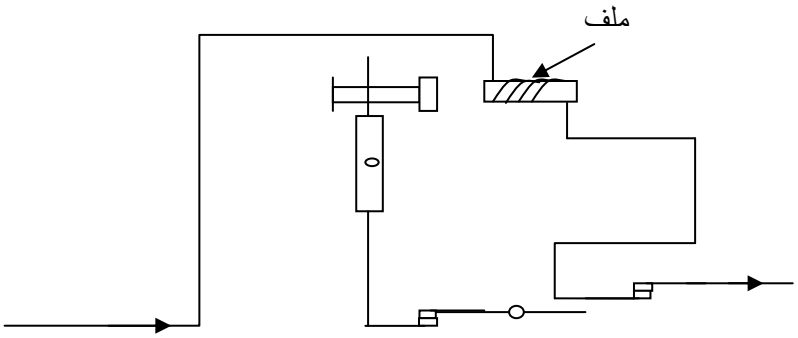


شكل (٢- ٢٥) : رسم تخطيطي للإعتاق الحراري

ب - نظام الإعتاق الكهرومغناطيسي

نظرا لطول زمن تشغيل النظام الحراري، فإنه لا يؤمن أي حماية ضد تيارات القصر لذلك يستخدم نظام الإعتاق الكهرومغناطيسي الذي يعمل فوريًا (أو بعد تأخير قصير) في هذه الحالة.

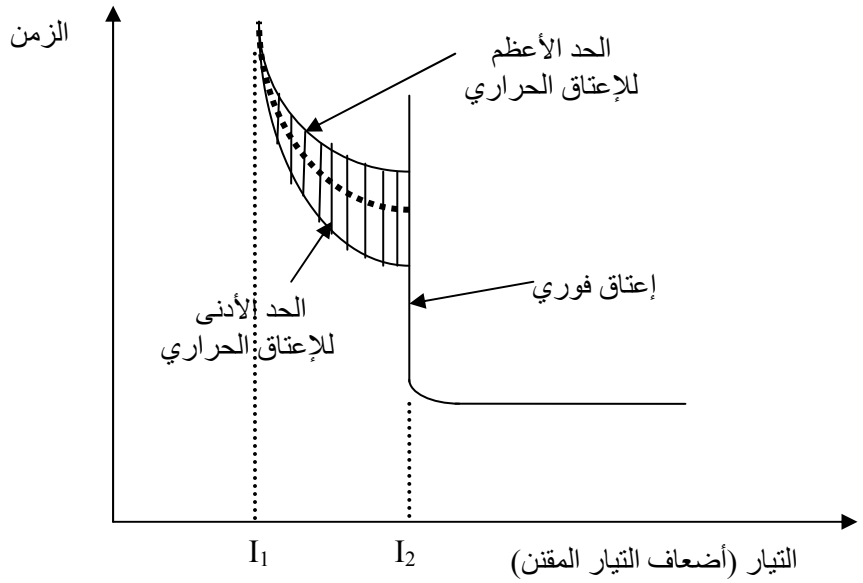
يتكون هذا النظام من ملف له قلب حديدي يعمل كدافعة لتشغيل جهاز الإعتاق (شكل ٢- ٢٦) عندما يزيد التيار المار في الملف عن حد معين يمثل تيار الاستجابة. وحيث أن الزمن الكلي للقطع صغير جدا (في حدود 10 إلى 30 ملي ثانية) لذلك يعرف هذا الإعتاق بالإعتاق الفوري. وقد تكون قيمة تيار الاستجابة محددة نهائيًا من قبل المصنع أو تكون قابلة للتغيير. ويمكن كذلك إدخال تأخير قصير في زمن الفصل (من 50 إلى 500 ملي ثانية كحد أقصى) . وتعرف القواطع المجهزة بهذا النوع من التأخير بالقواطع الانتقائية (Selective Breakers).



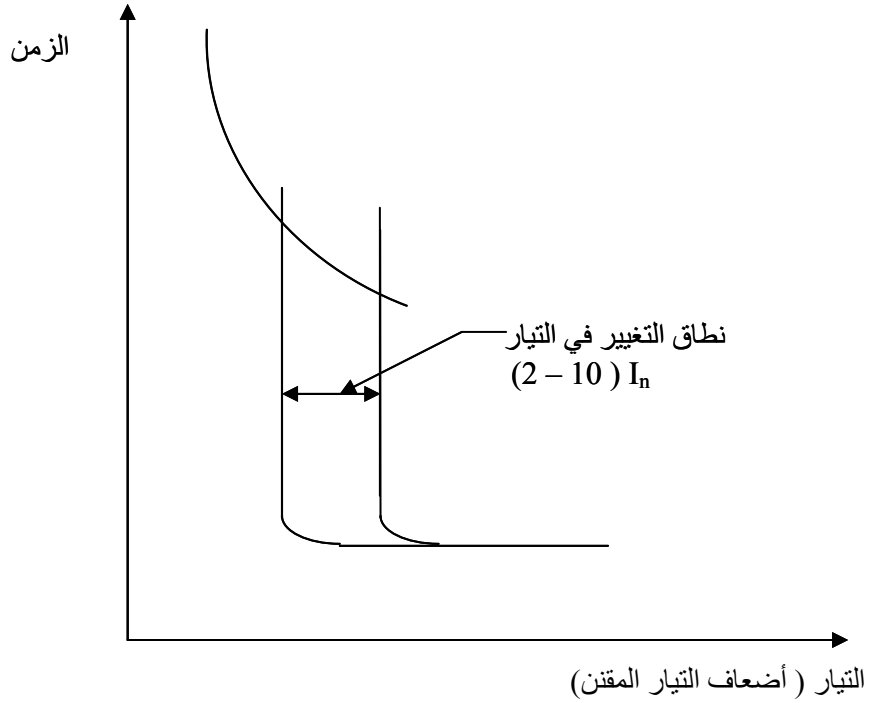
شكل (٢- ٢٦) : رسم تخطيطي للإعتاق الكهرومغناطيسي

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

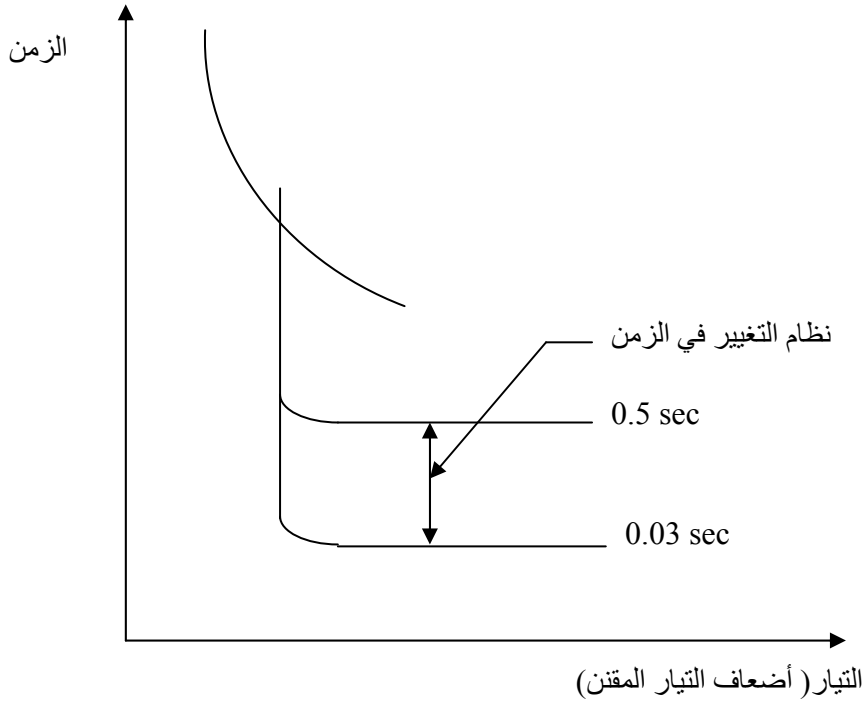
وتبين الأشكال (٢ ـ ٢٧) إلى (٢ ـ ٣١) منحنيات الإعتاق الخصائصية (Tripping Characteristics) لنظم الإعتاق المختلفة. وجدير بالذكر أن هذه المنحنيات تقوم بتقديمها الشركة المصنعة كجزء متكامل من مواصفات القاطع.



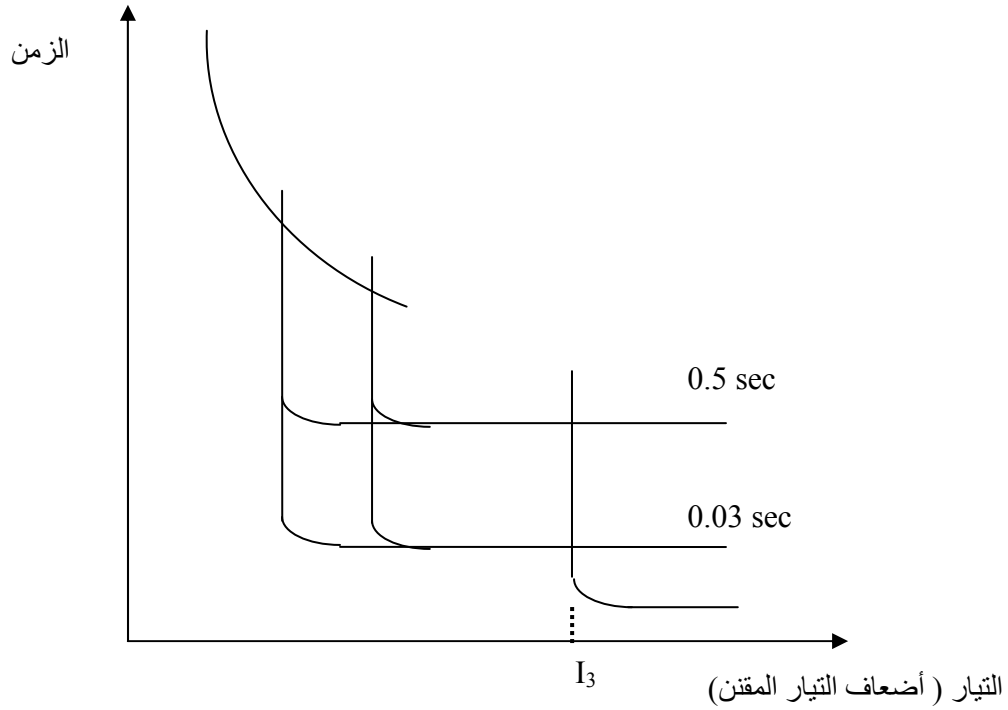
الشكل (٢ ـ ٢٧) إعتاق حراري قابل للضبط + إعتاق كهرومغناطيسي فوري



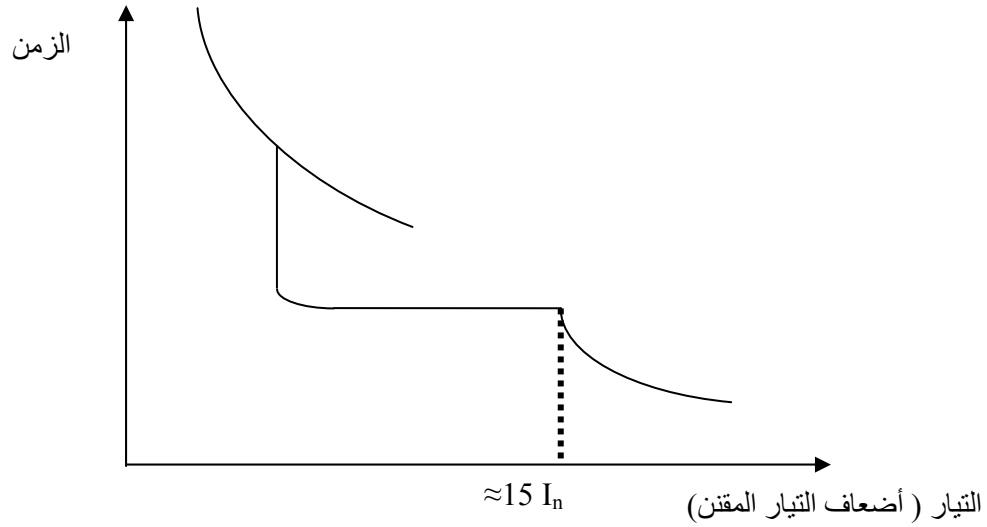
الشكل (٢ ـ ٢٨) إعتاق حراري + إعتاق كهرومغناطيسي فوري قابل للضبط



الشكل (٢ ـ ٢٩) إعتاق حراري + إعتاق كهرمغناطيسي فوري ذو تأخير قصير



الشكل (٢ ـ ٣٠) إعتاق حراري + إعتاق كهرمغناطيسي ذو تأخير قصير + إعتاق فوري ثابت



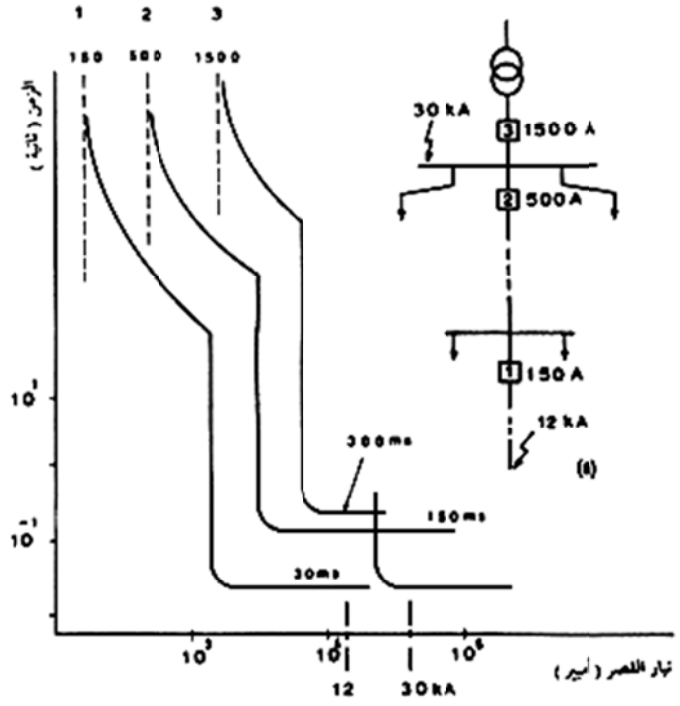
الشكل (٢ ـ ٣١) إعتاق حراري + إعتاق كهرومغناطيسي + فتح كهر وديناميكي (خاص بالقواطع المحددة للتيار)

٢. ٥. ٧- التنسيق بين القواطع وبعضها البعض

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 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

يبين الشكل (٢ ـ ٣٢) جزءاً من نظام توزيع به ثلاثة قواطع على التوالي وقد بينا على الشكل قيم تيارات القصر وتيارات الحمل لكل قاطع. كما يوضح الشكل كيفية التنسيق بين منحنيات الإعتاق الخصائصية لكل قاطع مع تبيان نظم الإعتاق المستخدمة بكل قاطع في الجدول المدرج بأسفل الشكل.

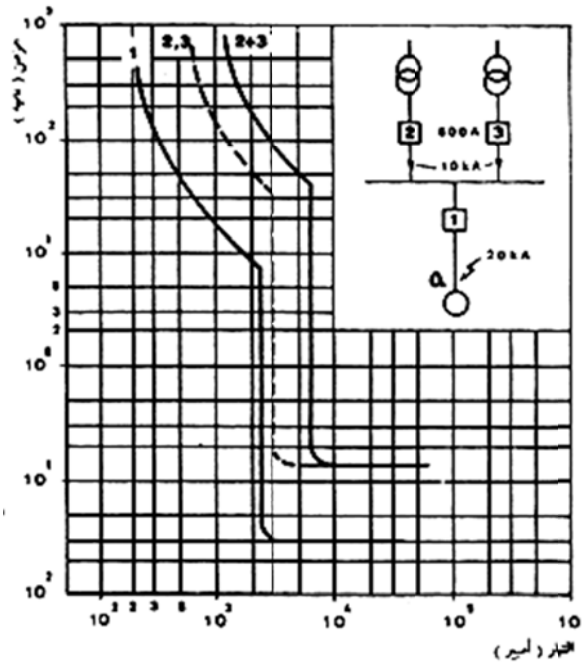


الشكل (٢ ـ ٣٢) التنسيق بين قواطع على التوالي

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

مغذيان متشابهان على التوازي

الشكل (٢- ٣٣). لنفرض أن قيمة تيار القصر عند النقطة (a) هي 20 كيلو أمبير و حيث إن هذا التيار ينقسم بالتساوي بين المغذيين فلذلك قد رحلت منحنيات الإعتاق الخصائصية للقواطع 2 و 3 إلى اليمين بعامل مقداره 2 بالنسبة لمحور التيار.



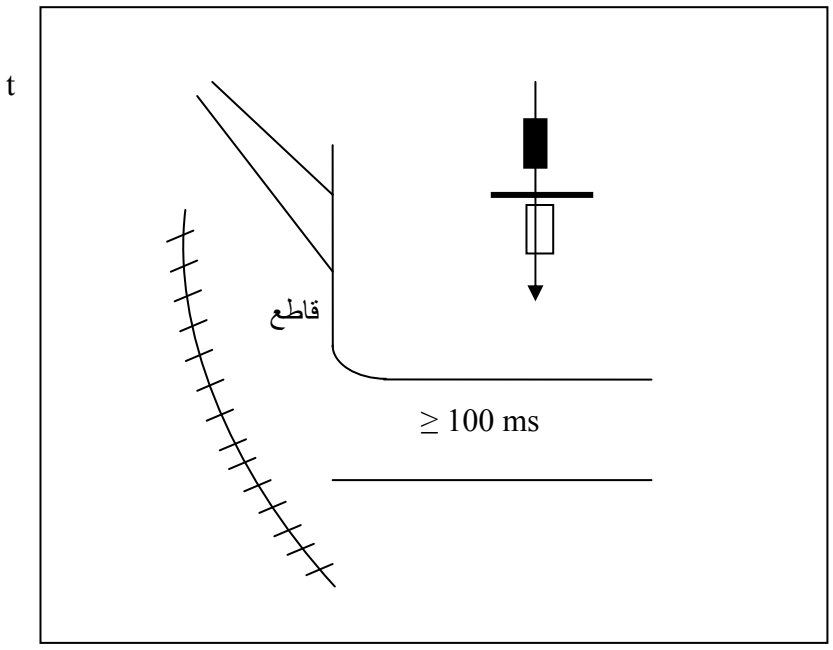
الشكل (٢ ـ ٣٣) مغذيان متشابهان على التوازي

٢. ٥. ٨- التنسيق بين المصهرات والقواطع

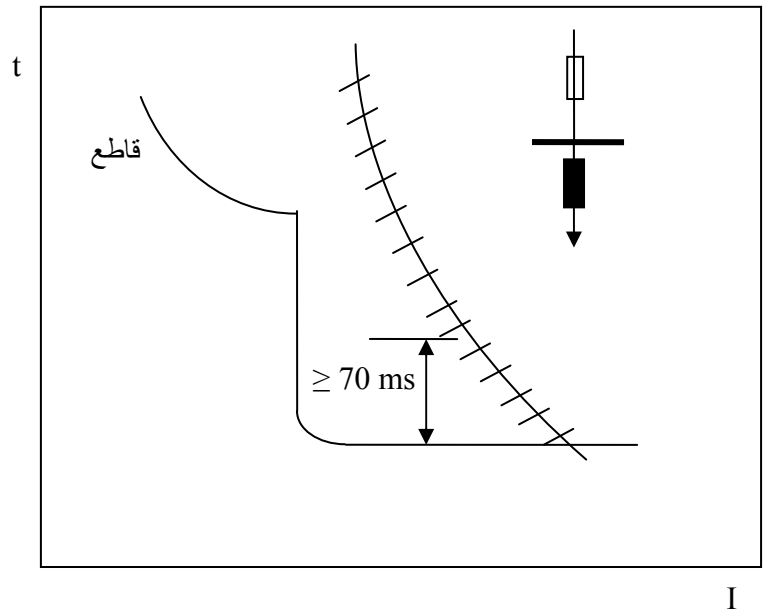
هوامش الأمان :

١. قاطع يليه مصهر كما بالشكل (٢ ـ ٣٤) تستخدم هوامش الأمان التالية :
   - عدم تقاطع المنحنيات الخصائصية في نطاق تجاوز الحمل (حراري).
   - زمن مقداره لايقل عن 100 ملي ثانية بين المنحنيات في نطاق تيار القصر.

٢. مصهر يليه قاطع كما بالشكل (٢ ـ ٣٥) وتستخدم هوامش الأمان التالية:
   - عدم تجاوز المنحنيات الخصائصية في نطاق تجاوز الحمل.
   - زمن مقداره لايقل عن 70 ملي ثانية بين المنحنيات في نطاق تيار القصر.

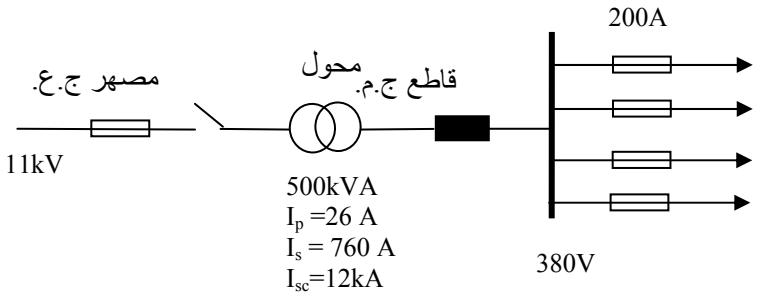


الشكل (٢ ـ ٣٤) التنسيق بين قاطع ومصهر على التوالي



الشكل (٢ ـ٣٥) التنسيق بين مصهر وقاطع على التوالي

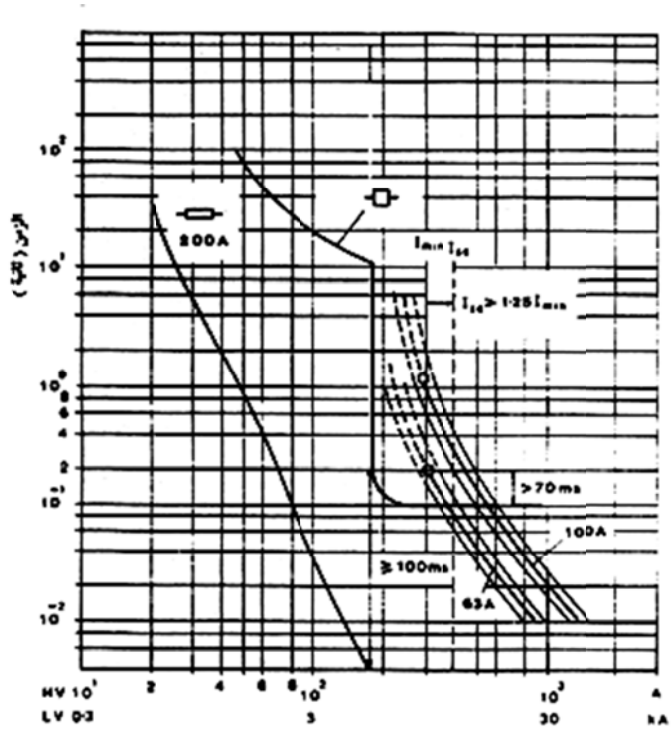
مثال : المطلوب اختيار نظام وقاية انتقائي للدائرة المبينة في الشكل (٢ ـ ٣٦).



الشكل (٢ ـ ٣٦)

الحل : لحل هذا المثال ترسم المنحنيات الخصائصية للمصهرات وللقاطع على ورق لوغاريتمي مزدوج كما هو مبين في الشكل (٢ ـ ٣٧) . 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 ٣٧) التنسيق بين المصهر والقواطع المبينة في شكل ٢ ـ ٣٦

من الجدول (٢ ـ ١) نجد أن التيار المقنن لمصهر الجهد العالي يجب أن يقع بين 63 و 100 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 100 أمبير وأن زمن إعتاق القاطع يجب أن يكون 100 ملي ثانية.

٢. ٥. ٩ - قواطع الجهد المتوسط

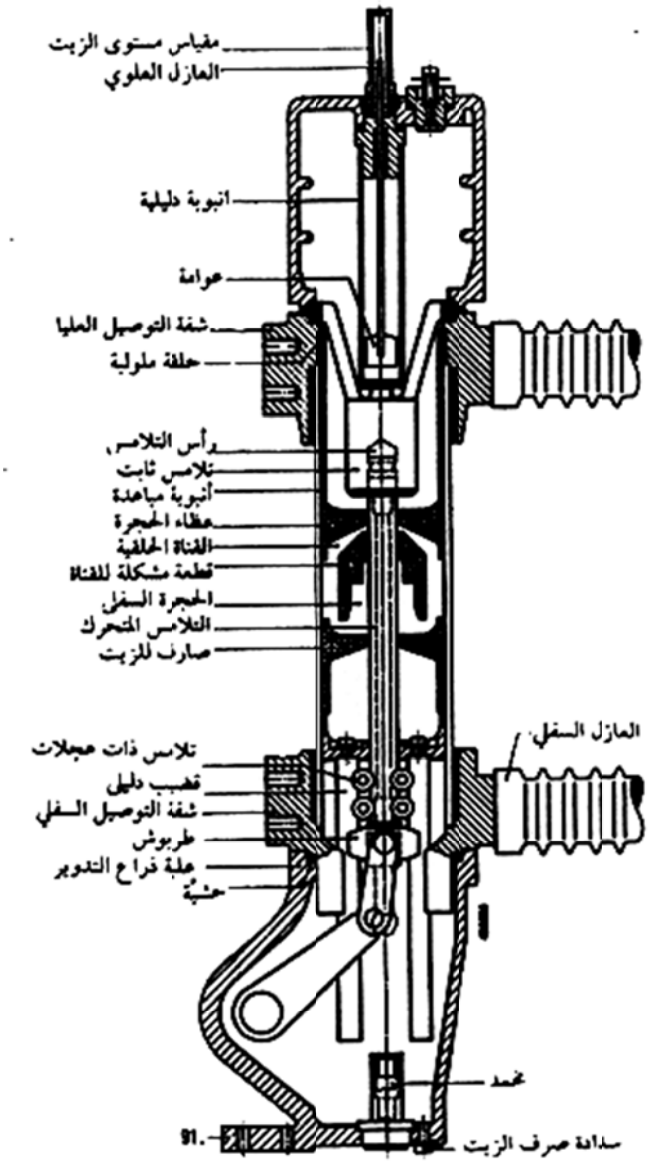
تنقسم قواطع الجهد المتوسط حسب الوسط المستعمل بها لإطفاء الشرارة وكعازل إلى

أ- القواطع الزيتية Oil Circuit Breakers

وتنقسم القواطع الزيتية إلى قسمين هما :

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

القواطع الزيتية ذات حجم زيت كبير مشاكلها كثيرة خاصة وأنها تستعمل كميات ضخمة من الزيت. ولذا أصبحت غير عملية وسوف نتحدث هنا عن أكثر أنواع القواطع الزيتية استعمالاً وهي القواطع الزيتية ذات حجم زيت صغير. ويبين الشكل (٢ ـ ٣٨) مقطعًا كاملاً لأحد الأقطاب لقاطع ذات حجم زيت صغير من صنع شركة سيمنز.

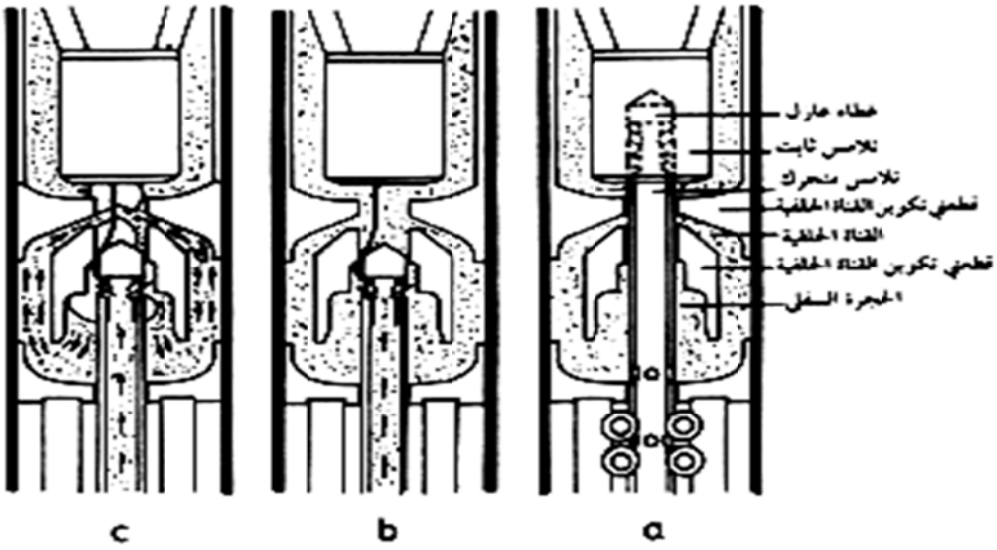


الشكل (٢ ـ ٣٨) مقطع لقاطع ذو حجم زيت صغير (سيمنز)

كما يبين الشكل (٢ ـ ٣٩- a) مقطعًا للجزء الخاص بإخماد القوس الكهربائي لقاطع زيت صغير من صنع شركة سيمنز. ويتكون القاطع من تلامسين أحدهما ثابت والآخر متحرك. التلامس المتحرك مكون من قضيب أجوف مزود بغطاء عازل. وعندما يفترق التلامسان يحدث القوس الكهربائي بينهما ويتم سحب طرفه الأسفل إلى داخل الحجرة السفلى نظرًا لوجود الغطاء العازل على القضيب المتحرك. وكما سبق أن ذكرنا ينطفئ القوس تلقائيًا 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 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.

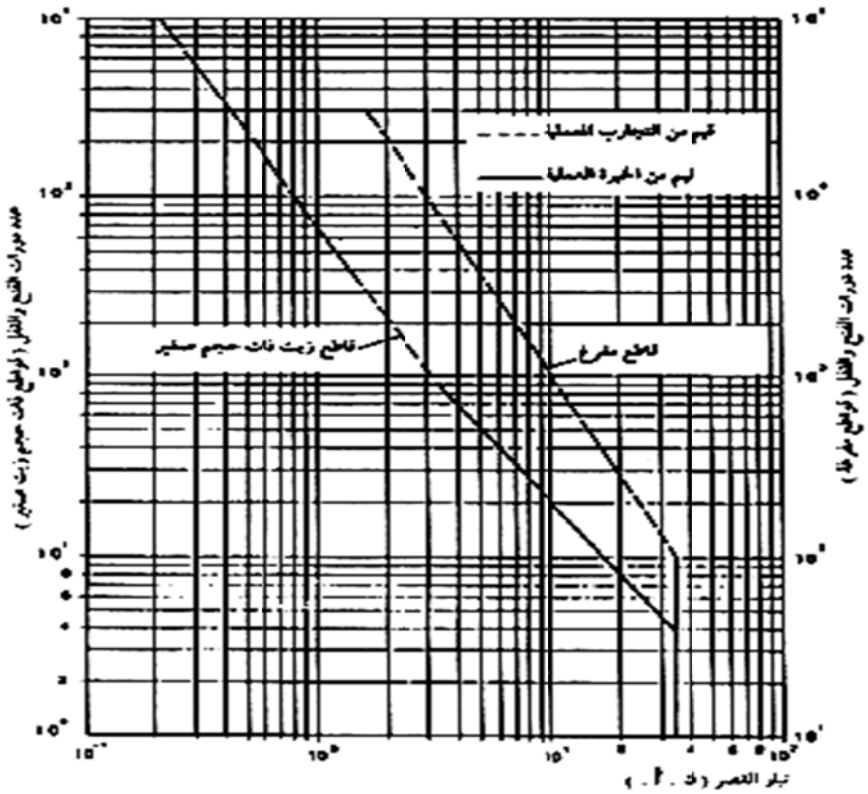
عندما يتحرك القضيب الأجوف إلى أسفل أثناء عملية الفتح، يتدفق الزيت بداخله إلى أعلى ثم ينطلق من الفتحات التي بأعلى القضيب حيث يؤثر تأثيرًا مباشرًا على الطرف الأسفل للقوس الكهربائي (شكل ٢ ـ ٣٩ - b). وحركة تدفق الزيت هذه كافية لضمان إخماد القوس نهائيًا في حالة قطع التيارات الصغيرة.

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 الأسفل (شكل ٢ ـ ٣٩ - c) فتدفع الزيت عبر القناة الحلقية (5) المكونة من القطعتين 4 و 6 . ويقوم الزيت المندفع بإزالة آثار التأين من مسار القوس ورفع جهد الانهيار الكهربائي للثغرة بين التلامسين.



شكل (٢ ـ ٣٩) إخماد القوس في قاطع ذو 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 ٤٠) 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.



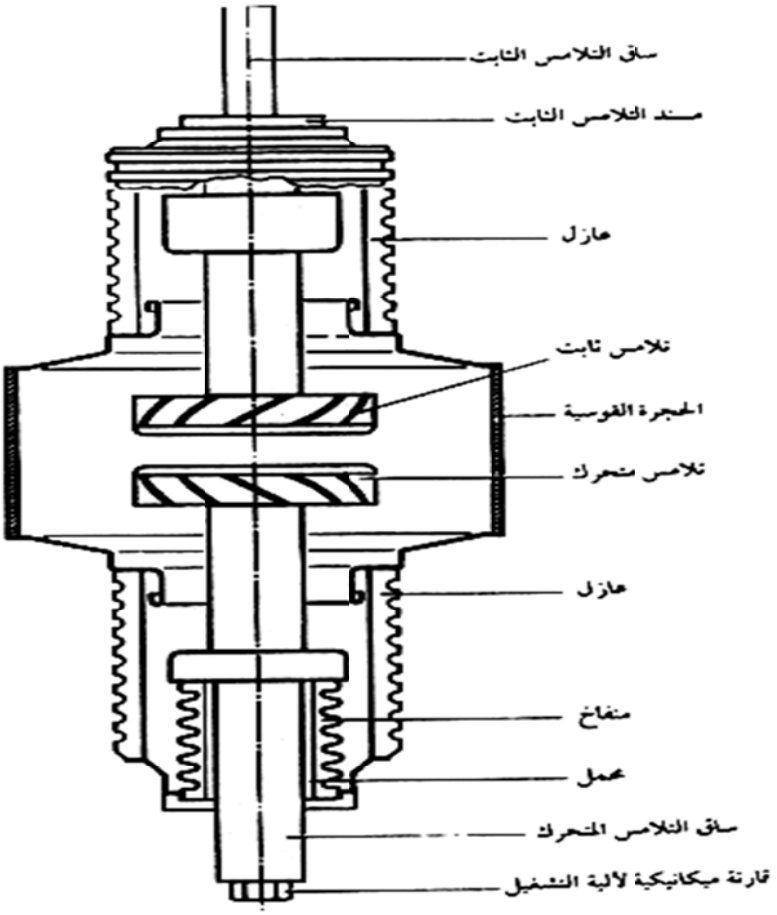
شكل (٢ ـ ٤٠) : عدد دورات الفتح والقفل لقاطع فراغي وآخر زيتي

ب- القواطع الفراغية Vacuum Circuit Breakers

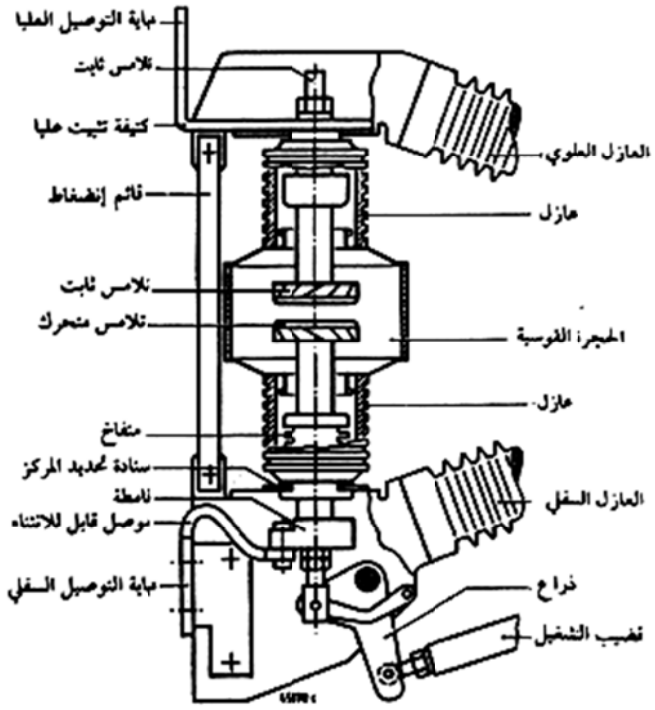
يبين الشكل (٢ ـ ٤١) مقطعا للجزء الخاص بإطفاء القوس الكهربائي لقاطع فراغي. ويتكون أساسًا من غرفة مفرغة تصل فيها درجة التفريغ إلى أقل من 10^{-7} مم زئبق. وتحتوي على تلامسين أحدهما ثابت والآخر متحرك. ويتم الإحكام بين قضيب التلامس المتحرك وجسم الحجرة بواسطة منفاخ من الفولاذ غير قابل للصدأ. وعند فتح التلامسين يمتد القوس الكهربائي بينهما في مسار شديد التأين مكون من بخار معدني. وعند مرور التيار بالصفر وانطفاء القوس يتكثف هذا البخار الموصل على الأجزاء المعدنية في زمن لا يتجاوز بضعة ميكروثواني . ويؤدي ذلك إلى ارتفاع سريع جدا لمتانة العزل الكهربي 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 (شكل ٢ ـ ٤٢) لجعل اتجاه التيار المار بها لا محوري بحيث تتولد قوة مغناطيسية على القوس الكهربائي الممتد بين التلامسين تجعله

يتحرك على سطحيها. ويبين شكل (٢ ـ ٤٢) مقطعا كاملا لإحدى الأقطاب لقاطع فراغي من صنع شركة سيمنز.



شكل (٢ ـ ٤١) مقطع للغرفة القوسية لقاطع فراغي (سيمنز)



شكل (٢ ـ ٤٢) مقطع لقاطع فراغي (سيمنز)

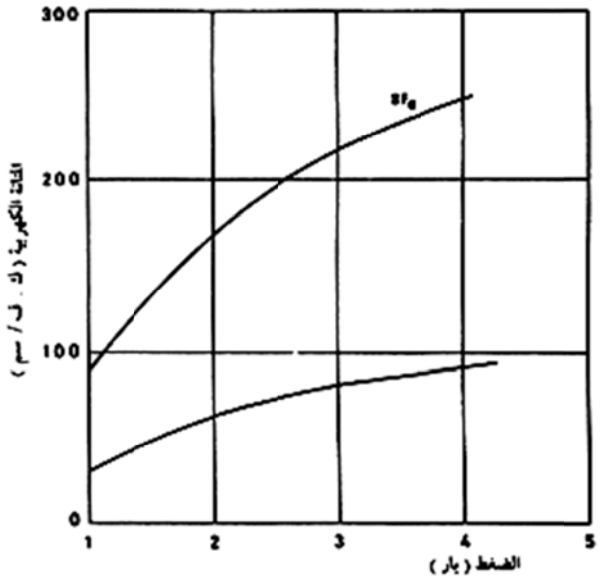
ولعل أهم ميزة للقواطع المفرغة هي عدم احتياجها لأي أعمال صيانة تذكر. والعمر الافتراضي للتلامسات هي حوالي 100 عملية فتح عند تيار القصر المقنن وحوالي 20,000 عملية فتح عند التيار المقنن المتواصل. وفي أي حال من الأحوال يجب تغيير الحجرة المفرغة التي تحتوي على التلامسات بعد حوالي 30,000 دورة فتح وقفل حتى إذا تمت تحت ظروف اللاحمل. ويبين الشكل (٢ ـ ٤٠) 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 (SF_6) وأيضا خفة الوزن وهدوء التشغيل.

٢. ٥. ١٠ - قواطع سادس فلوريد الكبريت (SF_6 Circuit Breakers)

من خواص غاز سادس فلوريد الكبريت أنه غاز اصطناعي عديم اللون والرائحة، وغير سام لا يتفاعل كيميائيًا وغير قابل للاشتعال. وكثافته عند الضغط الجوي ودرجة حرارة 20 C^o

هي 6.07 جم/لتر وتمثل خمسة أضعاف كثافة الهواء وهو يعتبر من أثقل الغازات المعروفة. ويبين الشكل (٢ ـ ٤٣) العلاقة بين المتانة الكهربائية والضغط لهذا الغاز وللهواء حيث تتضح أفضلية الـ SF_6 .



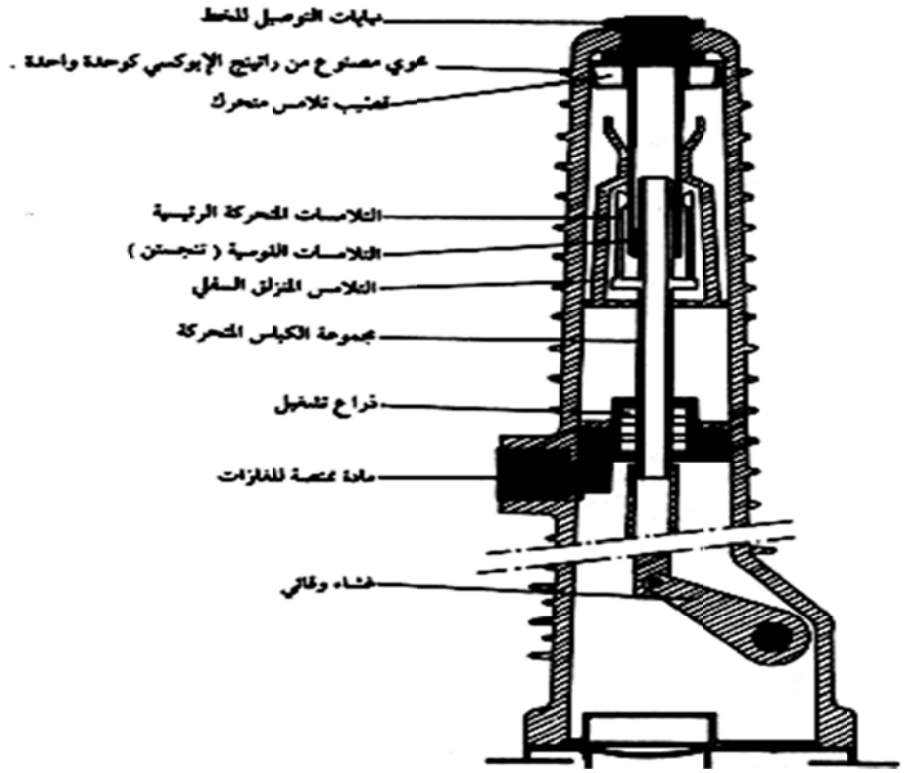
شكل (٢ ـ ٤٣) العلاقة بين المتانة الكهربائية و الضغط لغاز SF_6 والهواء

والغاز له خصائص حرارية ممتازة وقابلية عالية للتأين السالب أي جذب الإلكترونات الحرة (electro-negativity) مما يجعله وسطًا مثاليًا لإخماد القوس الكهربائي. وارتفاع حرارته النوعية 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 أيضا 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.

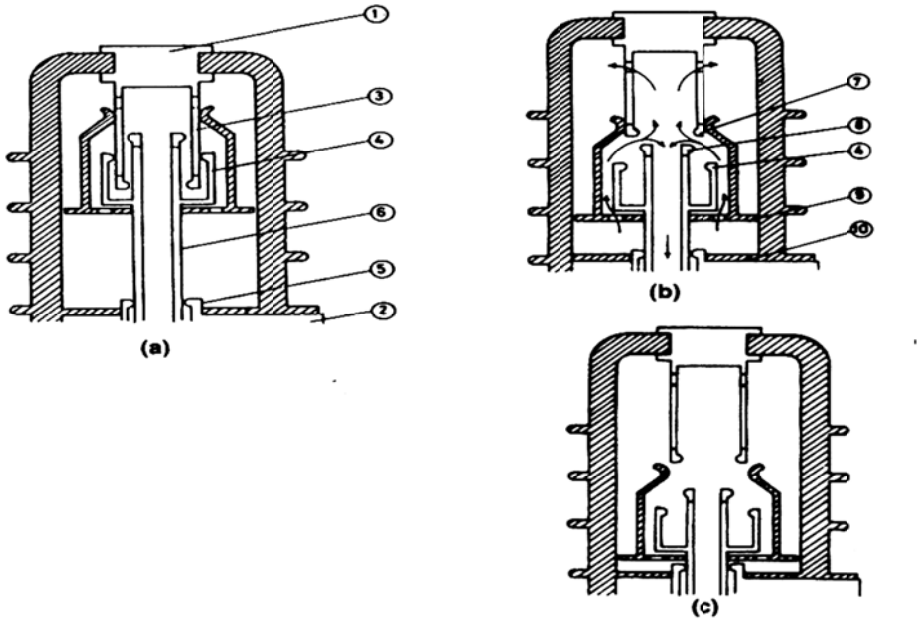
وجدير بالذكر أنه رغم أن سادس فلوريد الكبريت نفسه غير فعال كيميائيًا إلا أن منتجات انحلاله تحت تأثير القوس الكهربائي (.... ,SF_2 , SF_2 , SF_4) حساسة للغاية خاصة في وجود الرطوبة مما يحد من أنواع المواد التي يمكن استخدامها داخل القاطع. وفي جميع أحوال قواطع الـ SF_6 توضع مادة مثل أكسيد الألمونيوم ذات قدرة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

يبين الشكل (٢ ـ ٤٤) مقطعًا 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.



شكل (٢ ـ ٤٤) مقطع لقاطع سادس فلوريد الكبريت

ويبين الشكل (٢ ـ ٤٥) مبدأ قطع التيار. يمثل الشكل (a) التلامسات في وضع القفل حيث يمر التيار بين النهايات (1) و (2) عبر التلامس الثابت (3) والتلامسات المنزلقة (4) و (5) والقضيب المتحرك (6) . أما الشكل (b) فهو يمثل التلامسات أثناء الفتح. فعند افتراق التلامسين (3) و(4) يتكون القوس الكهربائي بين الأطراف (8),(7) وينضغط غاز الـ SF_6 بين الكباس المتحرك (9) ورأس الأسطوانة (10) ويندفع خلال الفتحات المبينة ليدفع القوس في اتجاهين مضادين ويعمل على إخماده.



شكل (٢ ـ ٤٥) إخماد القوس في قاطع سادس فلوريد الكبريت
(a) وضع القفل ، (b) أثناء الفتح ، (c) وضع الفتح

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

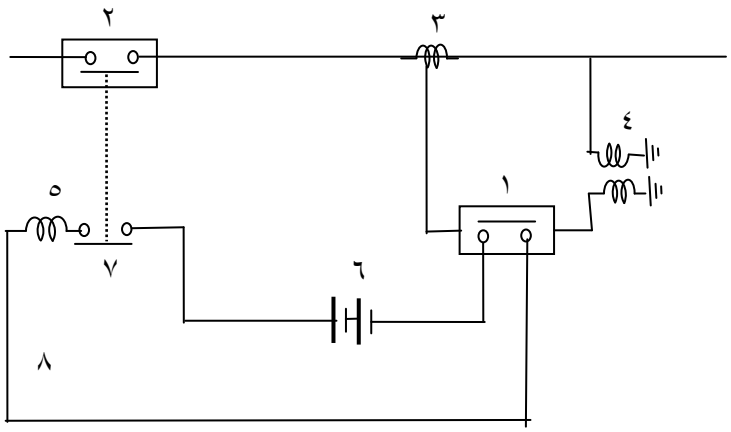
الجزء الرابع: المرحلات والملفات اللولبية

٢.٦- المرحلات

٢.٦.١- مقدمة

يعرف المرحل بصفة عامة بأنه جهاز يستقبل إشارة تحكم معينة من الدائرة المركب عليها، وتبعا لتلك الإشارة فإنه يجري تغييرًا أو أكثر في تلك الدائرة. ومرحلات الحماية هي مرحلات تستجيب لحالات التشغيل غير العادية في منظومات القوى الكهربائية كالقصر وتجاوز الحمل. ويعطي المرحل تبعا لذلك الإشارة المناسبة لقاطع الدائرة الذي يفصل بدوره الجزء الخاطئ من المنظومة في أقل زمن ممكن. يبين الشكل (٢ ـ ٤٦) المبدأ الأساسي الذي يعمل عليه المرحل مع القاطع.

تتألف منظومة الحماية التقليدية كما بالشكل (٢ ـ ٤٦) 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 ٤٦) منظومة حماية تقليدية

٢.٦.٢- 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. ويتم تغذية المرحل بإشارة التحكم عن طريق محول تيار أو محول جهد تبعًا لنوع الكمية المغذاة.

والغرض من استعمال محولي الجهد والتيار هو:

١. ضمان عزل كهربائي بين دائرة المرحل (دائرة التحكم) وباقي المنظومة (دائرة القدرة).

٢.تحويل القيم العالية للتيارات والجهود إلى قيم تتلاءم مع مقنن المرحل ثم تغذية المرحل بها.

ويتم عادة قطع دائرة إعتاق القاطع عن طريق المفتاح المساعد 7 وليس عن طريق تلامسات المرحل حيث أنها رقيقة ولا تتحمل الشرارة الكهربائية التي تظهر عند عملية قطع الدائرة. ويتم عادة تواشج (interlock) المفتاح المساعد ميكانيكيًا 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 الإثنين معا. وتنقسم الكمية المقاسة في معظم المرحلات إلى:

١.قياس للمقدار ، كزيادة التيار وزيادة الجهد أو نقص الجهد.

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

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

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

٢.٦.٣ - 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 الرقمية Digital Relays

٤.المرحلات الكهرومغناطيسية ذات المبدأ الحثي Electromagnetic Induction Relays

٥.المرحلات الإستاتيكية Static Relays

وسوف نقتصر هنا على شرح النوعين الأخيرين وهما المرحلات الكهرومغناطيسية الحثية والمرحلات الإستاتيكية حيث أنهما الأكثر المرحلات استخداما في منظومات الحماية.

أ- المرحلات الحثية Induction Relays

إن المرحلات الحثية هي أكثر المرحلات استخدامًا في منظومات الحماية نظرا للتنوع الكبير في خصائصها الزمنية مما يعطيها مرونة كبيرة في إمكانية التنسيق بين المرحلات وبين المرحلات والقواطع أو المصهرات.

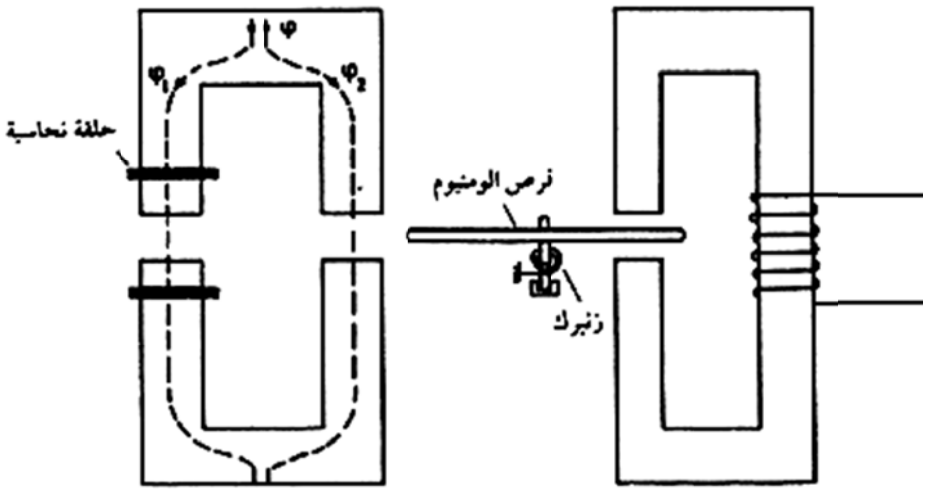
تعتمد المرحلات الحثية في نظرية تشغيلها على الفعل المتبادل بين فيضين مغناطيسين Φ_1 و Φ_2 وبين التيارات الدوامية المستحثة في الجزء المتحرك من المرحل. ويمكن إثبات أن عزم التدوير الكهرومغناطيسي **T** يتناسب طرديا مع كل من Φ_1 و Φ_2 وجيب الزاوية بينهما θ أي أن :

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

وهناك طريقتان للحصول على فيضين مغناطيسيين بينهما زاوية θ.

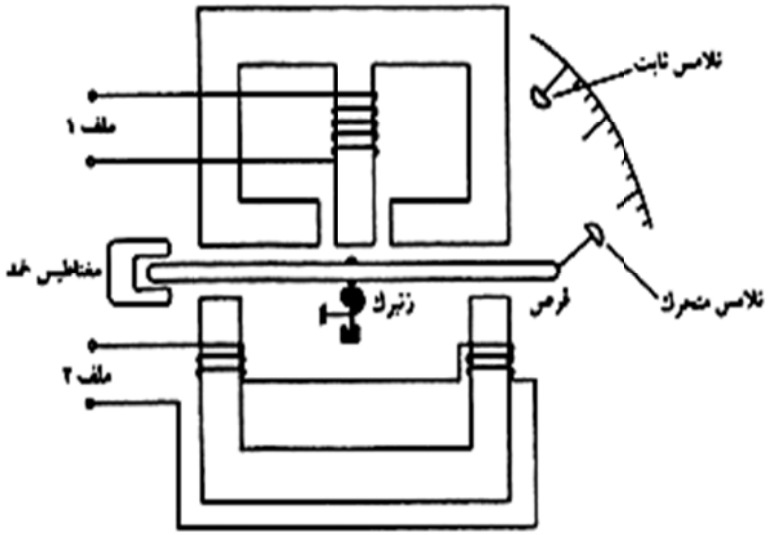
الطريقة الأولى : يستخدم فيها ملف إثارة واحد ودائرة مغناطيسية واحدة لها قطب محجب (shaded – Pole) .

ويبين الشكل (٢ ـ ٤٧) مكونات المرحل الحثي ذي القطب المحجب. وهو يتكون من قرص من النحاس أو الألمونيوم مزود بمحاور ارتكاز وطليق الدوران في الثغرة بين قطبي المغناطيس الكهربي. وكل قطب منشق إلى جزأين أحدهما محاط بحلقة ثقيلة 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 $40^o - 45^o$.

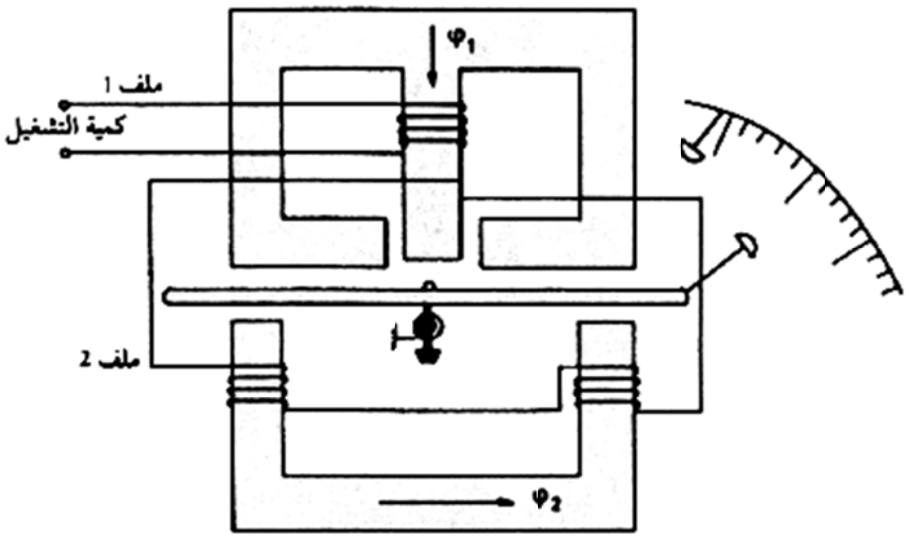


الشكل (٢ ـ ٤٧) : مرحل حثي ذو قطب محجب

الطريقة الثانية : يستخدم فيها ملفا إثارة ودائرتان مغناطيسيتان . ويبين الشكل (٢ ـ ٤٨) مكونات مرحل حثي ذي ملفي إثارة يعملان بكميتي تشغيل. كما يبين الشكل (٢ ـ ٤٩) 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 بينهما زاوية.



شكل (٢ ـ ٤٨) : مرحل حثي ذو ملفي إثارة



شكل (٢ ـ ٤٩) : مرحل تجاوز حمل حثي

نظرية الأداء

العزوم المتولدة في المرحل هي :

١. عزم التشغيل T_1 ، وهو يتناسب مع مربع تيار التشغيل (التيار المار في المرحل) : $T_1 = k_1 I^2$

٢.عزم مقاومة الزنبرك T_2 ، وهو ثابت ويتناسب مع مربع تيار اللقط I_0 : $T_2 = k_1 I_0^2$

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

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

و العزم الكلي المؤثر على القرص هو :

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

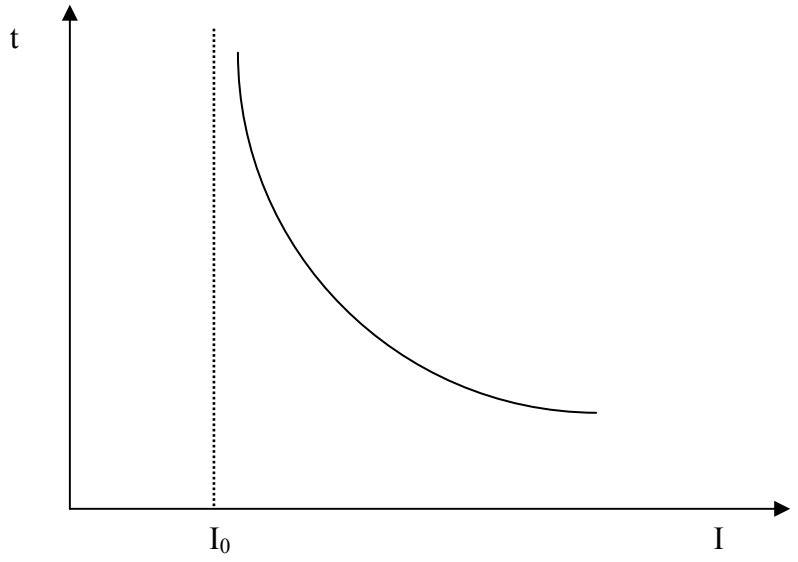
ويبدأ القرص في الحركة عندما يكون $T = 0$ ، أي :

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

أي أن :

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

ويتضح من هذه العلاقة الأخيرة أنه لقيمة معينة لكل من المسافة d بين التلامسين وتيار القط I_0 فإن زمن تشغيل المرحل يتناسب عكسيًا مع مربع التيار المار به كما هو مبين بالشكل (٢ ـ ٥٠). ولهذا فإن هذه المرحلات تعرف بالمرحلات ذات الزمن العكسي (Inverse – Time Relays) .



شكل (٢ ـ ٥٠) : المنحني الخصائصي لمرحل حثي ذي كمية تشغيل واحدة (I_0)

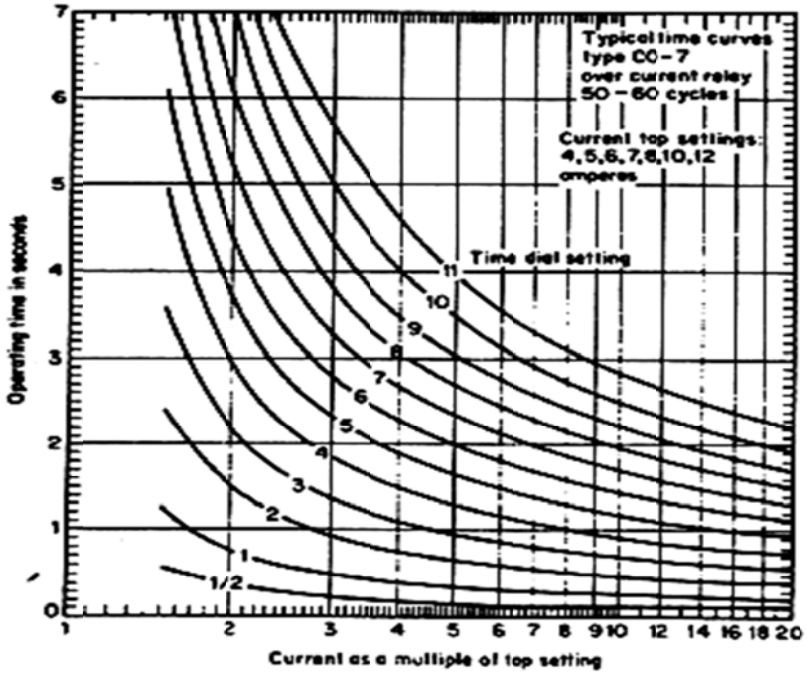
الخواص

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 الملف المغناطيسي للمرحل حيث أن عزم الدوران يعتمد على الفيض المغناطيسي وعدد اللفات التي يمر عبرها هذا الفيض. وعلى هذا يزود المرحل الحثي بوسيلتي ضبط هما :

١. **ضبط للزمن** عن طريق ضبط المسافة التي يدورها القرص قبل أن يتلامس التلامسان المتحرك والثابت. ويبين ذلك على المرحل باختيار معامل معين يسمى المضروب الزمني (Time Multiplier Setting) تتراوح قيمته بين 0.5 و11 عادة. وكلما قل المضروب الزمني قل زمن تشغيل المرحل لنفس قيمة التيار.

٢. **ضبط تيار 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 مضروبًا زمنيًا معينًا. 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 ٥١) 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 ٥١) : المنحنيات الخصائصية لمرحل حثي ذي كمية تشغيل واحدة ومضروبات زمنية مختلفة (صنع وستنجهاوس)

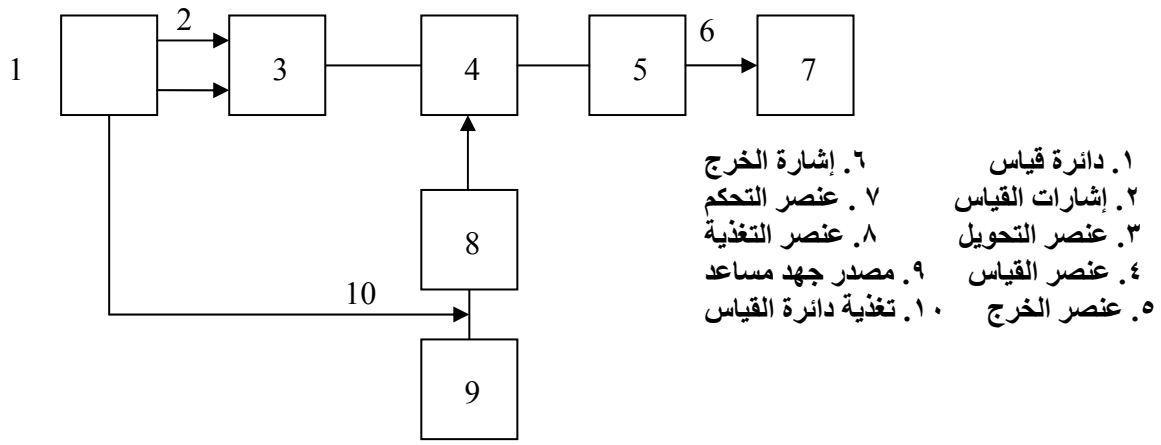
ب- المرحلات الستاتيكية

يعرف المرحل الستاتيكي 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 الستاتيكية على نطاق واسع. ويمكن القول بأن جميع وظائف وخصائص المرحلات الكهروميكانيكية قد أمكن تحقيقها الآن بالمرحلات الستاتيكية بصورة اقتصادية وأداء أفضل. وجدير بالذكر أن المرحلات الستاتيكية تتفوق في أدائها على المرحلات الكهروميكانيكية في حالات المرحلات المعقدة نسبيا كمرحلات المعاوقة والمرحلات الفرقية. وعلى العكس ، فإن مرحلات تجاوز الحمل الكهروميكانيكية لاتزال أبسط وأنسب في أدائها من المرحلات الستاتيكية.

ب١- التركيب الأساسي لمرحل الحماية الستاتيكي

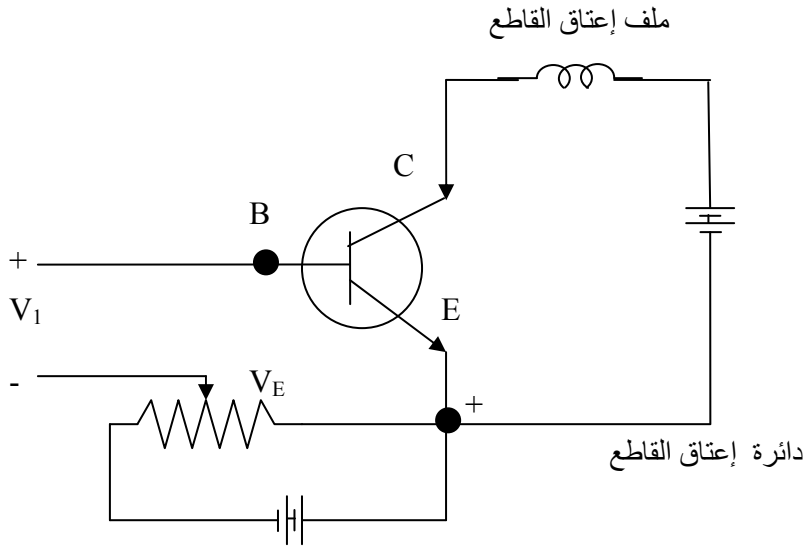
يبين شكل (٢ ـ ٥٢) المكونات الأساسية للمرحل الستاتيكي. يتم فيه تغذية عنصر التحويل بإشارة التغذية عن طريق دائرة القياس (1) والتي تكون عبارة عن محول جهد أو محول تيار أو الاثنين معا. ويتم بذلك تحويل إشارة التغذية داخل عنصر التحويل (3) إلى كميات يمكن التعامل معها بسهولة بواسطة عنصر القياس(4). يبدأ عنصر القياس 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 جهد مساعد (9) أو من دائرة القياس نفسها.



شكل(٢ ـ ٥٢) رسم تخطيطي لمرحل ستاتيكي

ب٢- مرحل الترانزستور

يبين الشكل (٢ ـ ٥٣) 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 لا يمر 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 التي تكون هي دائرة إعتاق القاطع.



شكل (٢ ـ ٥٣) مرحل ترانزستور فوري

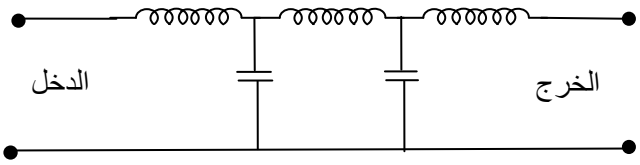
ب٣- دوائر التأخير الزمني

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 الميكروثانية (μS). ويمثل كابل أو خط التأخير عادة بدائرة مكافئة كالمبينة بالشكل (٢ ـ ٥٤).

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

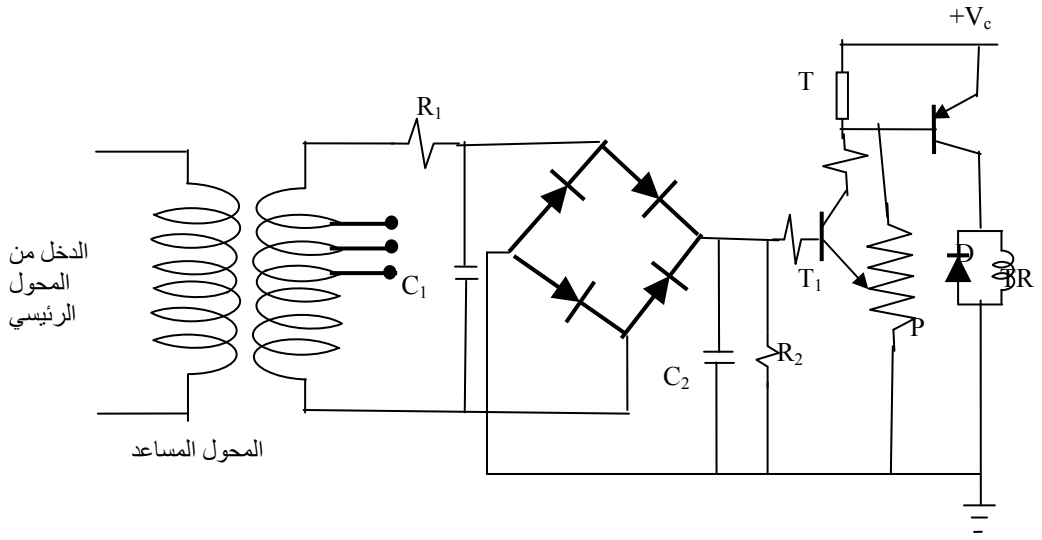
٣- للحصول على تأخير زمني أكبر مما سبق تستخدم دوائر من مقاومات ومكثفات (دوائر R – C).



شكل (٢ ـ ٥٤) الدائرة المكافئة لخط التأخير الزمني

ب٤- مرحل تجاوز التيار الترانزستور

يبين الشكل (٢ ـ ٥٥) 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 C_1 & R_1). تغذي إشارة خرج قنطرة التقويم قاعدة الترانزستور T_1 على المقاومة R_2 ويتم تنعيم 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.



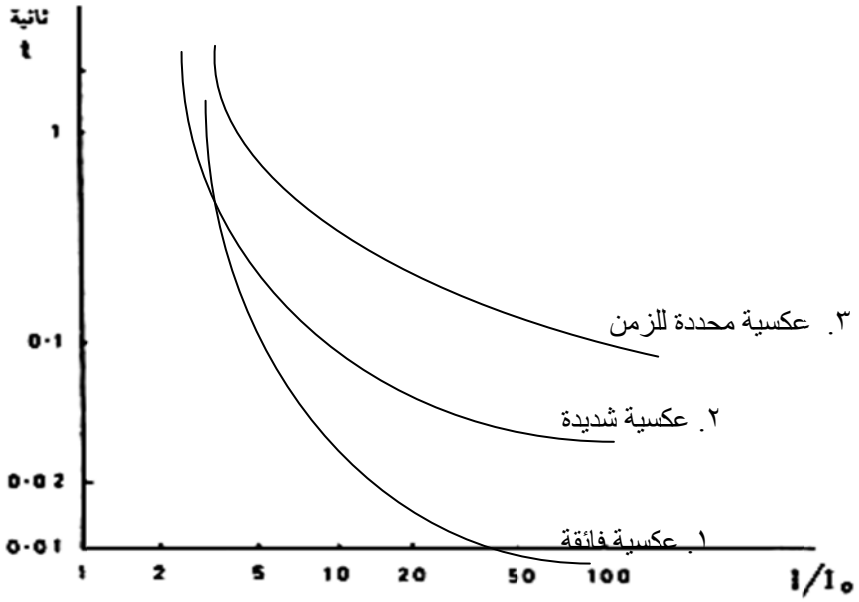
شكل (٢ ـ ٥٥) : دائرة مرحل تجاوز تيار ترانزستور فوري

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

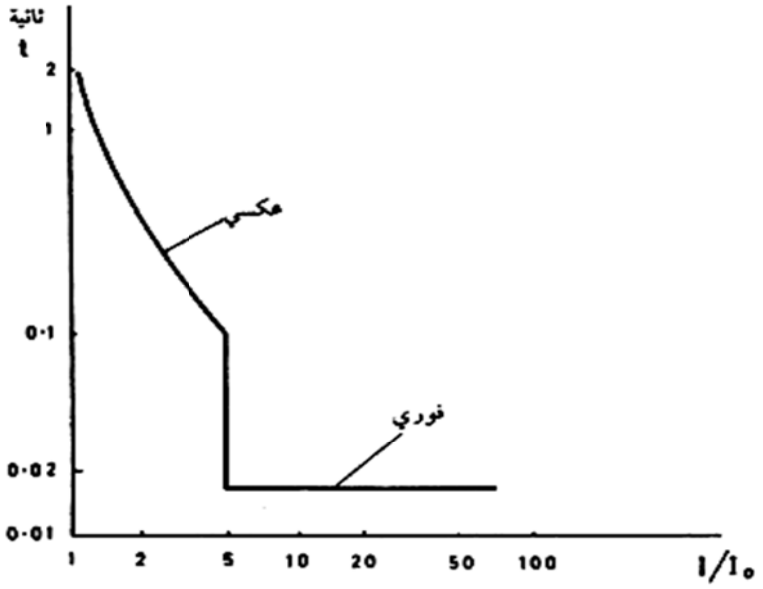
إن نظام الحماية ضد زيادة التيار هو أكثر النظم شيوعًا واستخدامًا في حماية منظومات التوزيع. يعتمد هذا النوع من الحماية أساسًا على مرحلات تجاوز التيار. وتكون هذه المرحلات عادة إما مرحلات الذراع المنجذب أو مرحلات حثية ذات كمية تشغيل واحدة.

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 ازدياد التيار بحيث يكاد يكون التشغيل فوريًا بالنسبة لتيارات القصر. وهذه الخاصية غير مرغوب فيها 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 (magnetic saturation) في دائرة المغناطيس الكهربائي للحصول على منحني خصائصي يصل إلى قيمة دنيا محددة لزمن التشغيل كما هو مبين بالشكل (٢ ـ ٥٦ a). ويعرف هذا النوع من المرحلات بمرحل عكسي ذي قيمة صغرى محددة الزمن (Inverse – Definite – Minimum Time Relay; IDMT) . ويبين الشكل (٢ ـ ٥٦ a) المنحنيات الخصائصية لثلاثة أنواع من المرحلات العكسية. ويمكن في بعض الأحيان

الحصول على المنحني الخصائصي المبين بالشكل (٢ ـ ٥٦ b) عن طريق استخدام مرحل له عنصران، أحدهما حثي له علاقة عكسية والآخر كهرومغناطيسي يعمل فوريًا. 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 حثية ذات علاقات عكسية

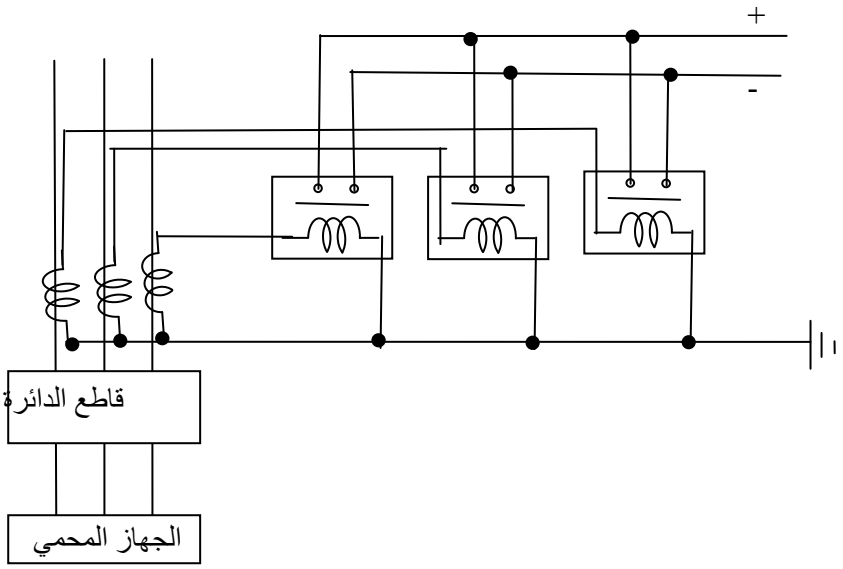


(b) مرحل ذو علاقة عكسية بقيمة صغرى محددة للزمن

شكل(٢ ـ ٥٦) : خصائص مرحلات تجاوز التيار

أ- طريقة التوصيل

توجد عدة طرق مختلفة لتوصيل مرحلات تجاوز التيار. أكثر هذه الطرق شيوعًا تلك التي تستخدم ثلاثة محولات للتيار وثلاثة مرحلات توصل كما هو مبين بالشكل (٢ ـ ٥٧).



شكل (٢ ـ ٥٧) منظومة حماية باستخدام ثلاثة محولات تيار وثلاثة مرحلات تجاوز التيار

ب- استخدامات مرحلات زيادة التيار

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

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.

ج- 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

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

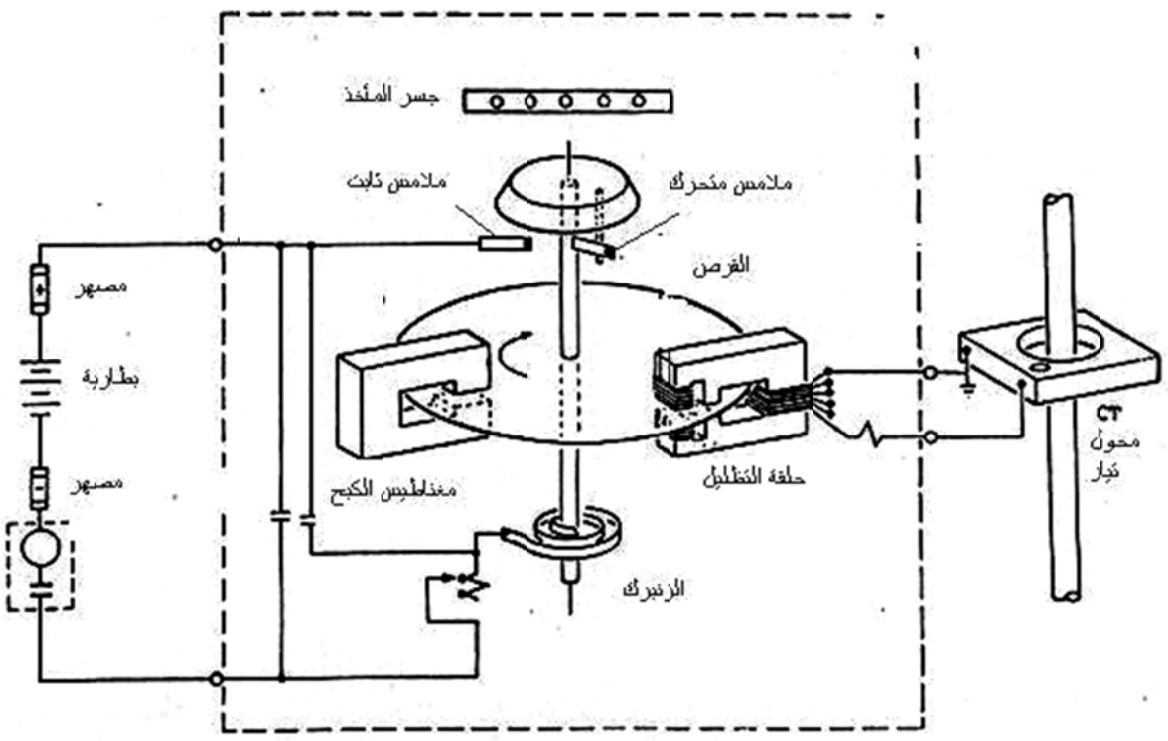
يمثل الشكل (٢ ـ٥٨) الرسم التفصيلي لمرحل زيادة التيار من النوع الحثي الذي سبق شرحه. وسوف نستعرض باختصار وظيفة الأجزاء الرئيسية لهذا المرحل :-

- جسر الآخذ Tap Block : وظيفته التحكم في قيمة التيار الذي يبدأ المرحل بالعمل عنده (تيار اللقط). ويتم ذلك عن طريق اختيار وضعية مأخذ التيار المناسبة.
- حلقة التظليل Shading Ring : وظيفتها 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 : الأول هو توليد عزم مضاد لعزم دوران القرص كاف لمنع القرص من الدوران تحت ظروف التحميل العادية. أما القسم الثاني فهو أن يضمن الزنبرك رجوع الملامسات المتحركة أوتوماتيكيًا 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:

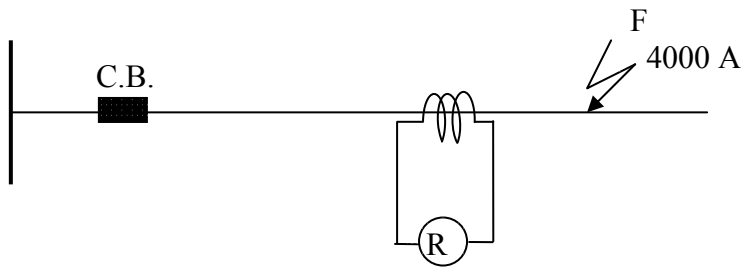
١.تخفيض تيار الشبكة المطلوب حمايتها إلى تيار مناسب لعمل المرحل. مقنن التيار الثانوي لمحول التيار عادة 1A أو 5A

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



شكل (٢ ـ ٥٨) رسم تفصيلي لمرحل زيادة التيار من النوع الحثي

مثال : مرحل زيادة تيار حثي وله مقنن تيار 1 A ومضبوط عند وضعية مأخذ تيار 125 % من التيار المقنن ومضاعف زمن T.M.S = 0.6 . يتغذى المرحل من محول تيار 1 : 400 وتيار العطل 4000 A كما هو موضح في الشكل (٢ ـ ٥٩) . المطلوب حساب زمن عمل المرحل.



شكل (٢ ـ ٥٩)

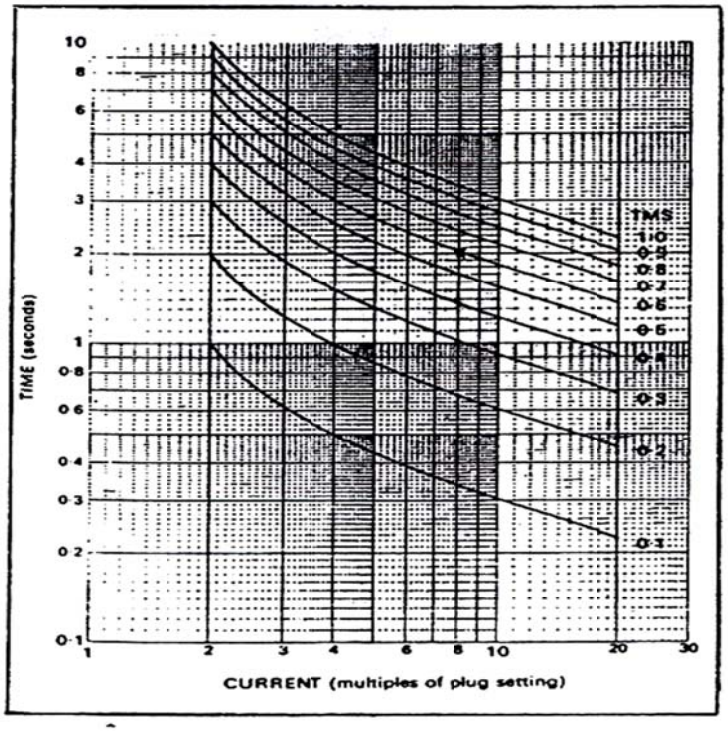
الحل :

التيار المار في المرحل : $I = 4000 / 400 = 10$ A

التيار المضبوط عنده المرحل : $I_0 = 1 \times (125 / 100) = 1.25$ A

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

ومن الشكل (٢ ـ ٦٠) يكون زمن التشغيل للمرحل $t = 2$ Seconds



شكل (٢ ـ ٦٠)

٢.٦.٥- 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 فإن مغناطيس التيار يخلق قوة أو عزماً ($k\ I^2$) يحاول إغلاق ملامس المرحل ومغناطيس الجهد يخلق قوة أو عزماً مقاوماً ($k'\ V^2$) يحاول أن يبقي الملامس مفتوحاً. ويحدث العمل في المرحل عندما يتغلب عزم التيار على عزم الجهد:

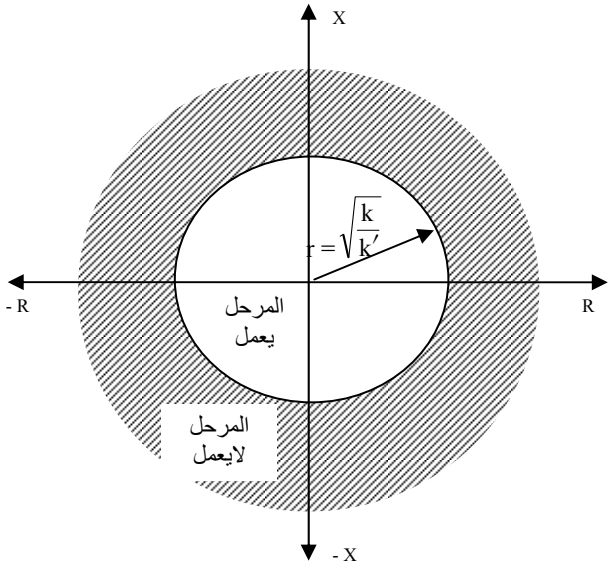
$$k\left|I^2\right| \rangle\ k'\left|V^2\right|$$

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

$$Z \langle \sqrt{\frac{k}{k'}}$$

بعبارة أخرى ، يعمل المرحل عندما تكون الممانعة Z أقل من $\sqrt{\frac{k}{k'}}$

ويظهر من المعادلة الأخيرة أن مميزات التشغيل على مخطط الممانعة دائرة نصف قطرها $\sqrt{\frac{k}{k'}}$ ومركزها في مركز الإحداثيات الشكل (٢ ـ ٦١). ويعمل المرحل عندما تنخفض الممانعة عن قيمة محددة. وبما أن ممانعة الخطوط تتناسب مع الطول لذلك تستعمل هذه الحماية للحماية من الخطأ ضمن منطقة معينة. ويعير المرحل بحيث تصبح ممانعة الجزء المحمي مساوية $\sqrt{\frac{k}{k'}}$ حيث k' , k ثوابت.

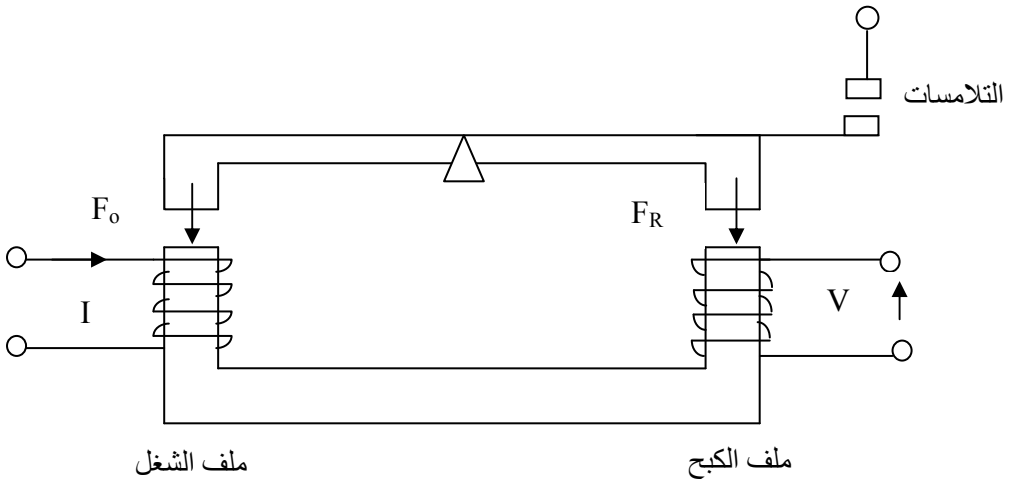


شكل (٢ ـ ٦١) خصائص الحماية المسافية

ملاحظة

يمكن كذلك تحقيق المرحل المسافي (أو مرحل الممانعة) باستخدام المرحل ذو الدعامة الأفقية المتزنة (Balanced-Beam Relay Element) كما موضح بالشكل (٢- ٦٢) .

إن ملف الكبح (Resraining coil) يكون متصلاً بالجهد الذي يجب مراقبته ، وينتج عن ذلك قوة ($F_R = k' V^2$). أما ملف التيار فيمر عبره التيار الذي يجب مراقبته وينتج عن ذلك قوة ($F_o = k I^2$)



الشكل (٢- ٦٢) : المرحل ذو الدعامة الأفقية المتزنة

وحيث أن F_R قد تم معايرتها لكي تكون أكبر بقليل من F_o، فإن ملامسات المرحل تبقي مفتوحة :

فلهذا لدينا : $k\left|I^2\right| \rangle\ k'\left|V^2\right|$

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

ومنها يتضح أن المعاوقة المقاسة بواسطة المرحل تكون :

$$Z = \frac{V}{I} \langle \sqrt{\frac{k}{k'}}$$

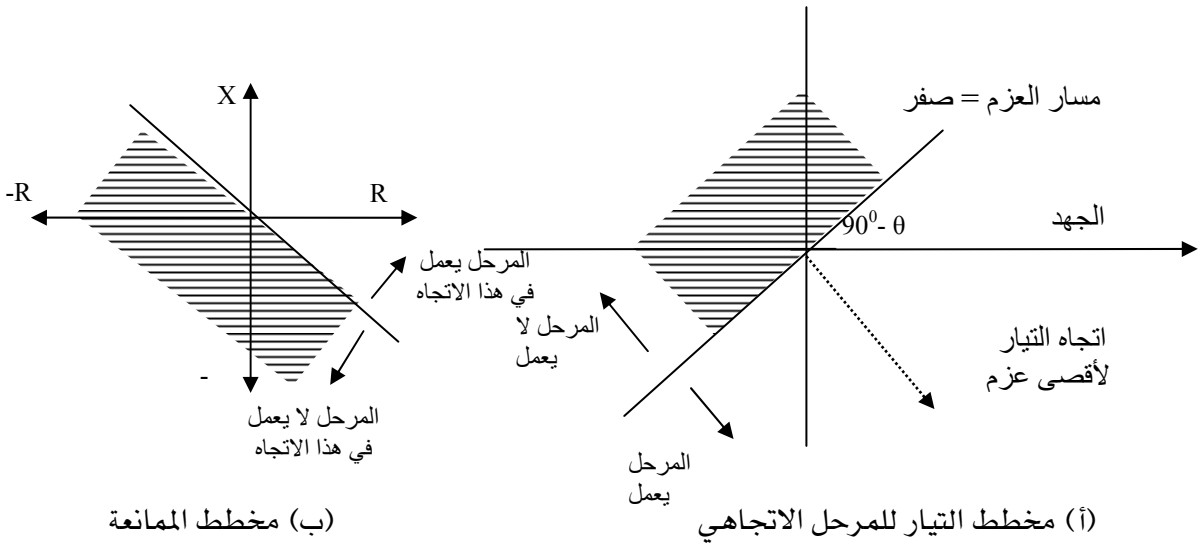
٦.٦.٢ - المرحلات الاتجاهية Directional Relays

إن المرحلات مثل مرحلات زيادة التيار ومرحلات المانعة تستجيب للأخطاء في أي اتجاه للتيار. ولمنع هذه المرحلات من فصل الخطوط السليمة فإنه يتم مراقبتها بالمرحلات الاتجاهية التي تستجيب لسريان التيار من القضبان المجمعة إلى الخط فقط.

ويكون عزم المرحل كالتالي : $T = |V|\ |I| \cos(\varphi - \theta)$

حيث φ هي الزاوية بين التيار I والجهد V

و θ هي قيمة الزاوية φ عند أكبر عزم للمرحل الشكل (٢- ٦٣) .



(ب) مخطط الممانعة (أ) مخطط التيار للمرحل الاتجاهي

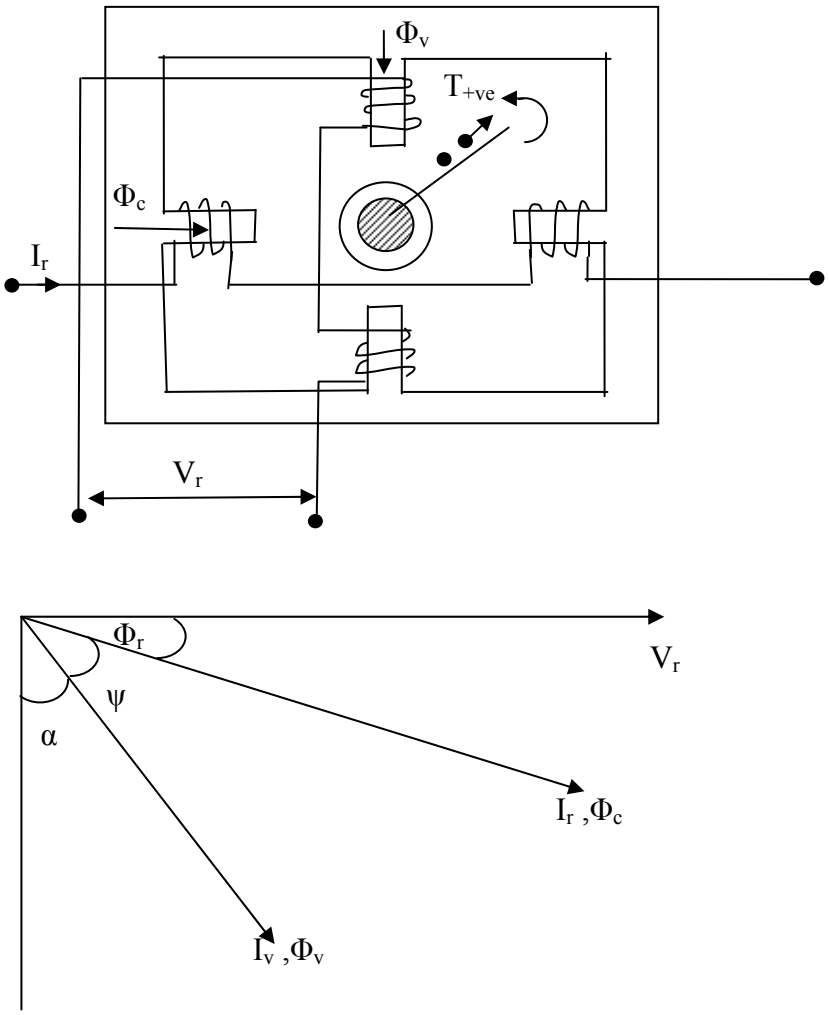
شكل (٢ ـ ٦٣) مميزات المرحلات الاتجاهية

أ- حماية زيادة التيار الاتجاهية Directional Over Current Protection

تستخدم الحمايات الاتجاهية في أنظمة القدرة والشبكات الكهربائية 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 ولا تستجيب لسريان التيار بالاتجاه المعاكس مهما كانت قيمته.

ب- طريقة عمل المرحلات الاتجاهية Method of Operation for Directional Relays

معظم المرحلات الاتجاهية هي عبرة عن مرحل حثي Induction Relay مزود بملفين (ملف للتيار وملف للجهد) . الشكل (٢ ـ ٦٤) يوضح طريقة توصيل مرحل حثي اتجاهي.



شكل (٢ ـ ٦٤) : (أ) طريقة توصيل مرحل حثي اتجاهي (ب) المخطط الاتجاهي

فلو فرضنا أن الجهد V_r يعطي فيضًا مغناطيسيًا φ_v والتيار I_r يعطي فيضًا مغناطيسيًا φ_c يمكن كتابة معادلة العزم الناتج عنهما كما يلي :

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

حيث :

(α) هي الزاوية الداخلية للمرحل و φ_r هي الزاوية بين التيار والجهد للدائرة المحمية. بناء علي هذه المعادلة :

- فإذا كانت φ_r حادة فإن العزم يكون موجبًا ويستجيب المرحل ويعمل.

- أما إذا كانت الزاوية φ_r منفرجة فإن العزم يكون سالبًا ولا يستجيب المرحل مهما كانت قيمة التيار.

وعلى هذا فإن هذا المرحل يعمل في اتجاه واحد فقط ولا يعمل في الاتجاه الآخر للتيار ولذلك سمي بمرحل زيادة تيار اتجاهي.

وهناك حالات خاصة لهذا المرحل منها :

- مرحل لقياس القدرة غير الفعالة($\alpha = 90^o$) وتصبح معادلة العزم كما يلي :

$$T = k_2 \ Vr \ . \ Ir. \ Sin \ \varphi_r$$

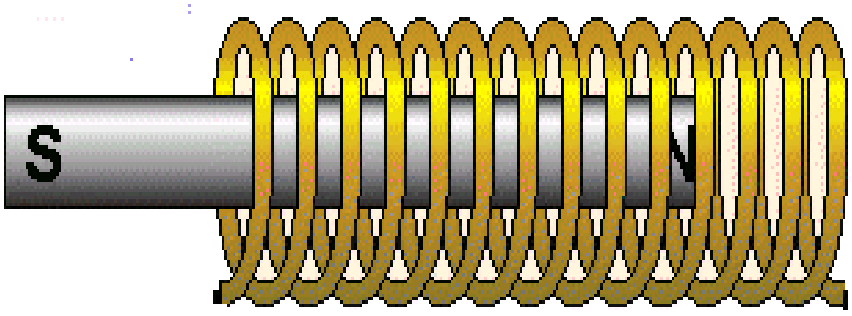
- مرحل لقياس القدرة الفعالة ($\alpha = 0^o$) وتصبح فيها معادلة العزم كما يلي :

$$T = k_2 \ Vr \ . \ Ir. \ Cos \ \varphi_r$$

٧،٢- الملف اللولبي Solenoid coil

الملف اللولبي هو عبارة عن مجموعة كبيرة من اللفات الملفوفة بشكل حلزوني حول قلب من الفراغ

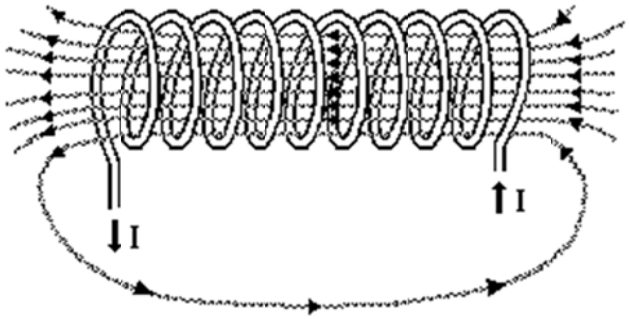
(الهواء) أو حول قلب من الحديد (الشكل ٢ ـ ٦٥).



شكل (٢ ـ ٦٥) ملف لولبي ملفوف حول قلب حديدي

٢.٧.١- المجال المغناطيسي للملف اللولبي

عند مرور تيار كهربائي في اللفات يولد الملف اللولبي في داخله مجالًا مغناطيسيًا منتظما تكون خطوط الفيض فيه متوازية مع محور الملف اللولبي (الشكل ٢ ـ ٦٦). أما خارج الملف فإن هذا المجال ضعيف ويتم إهماله عمومًا.



شكل (٢ ـ ٦٦) 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 $\mu_0 = 4\pi\ 10^{-7}$

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

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

ملاحظة

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

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

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

محاثة الملف اللولبي (L)

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

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

والفيض المغناطيسي $\emptyset$:

$$\emptyset = \mu_0 \mu_r \frac{Ni}{l} A$$

حيث A هي مساحة مقطع الملف اللولبي.

والمحاثة :

$$L = \frac{N\emptyset}{i} = \mu_0 \mu_r \frac{N^2}{l} A \qquad (4)$$

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

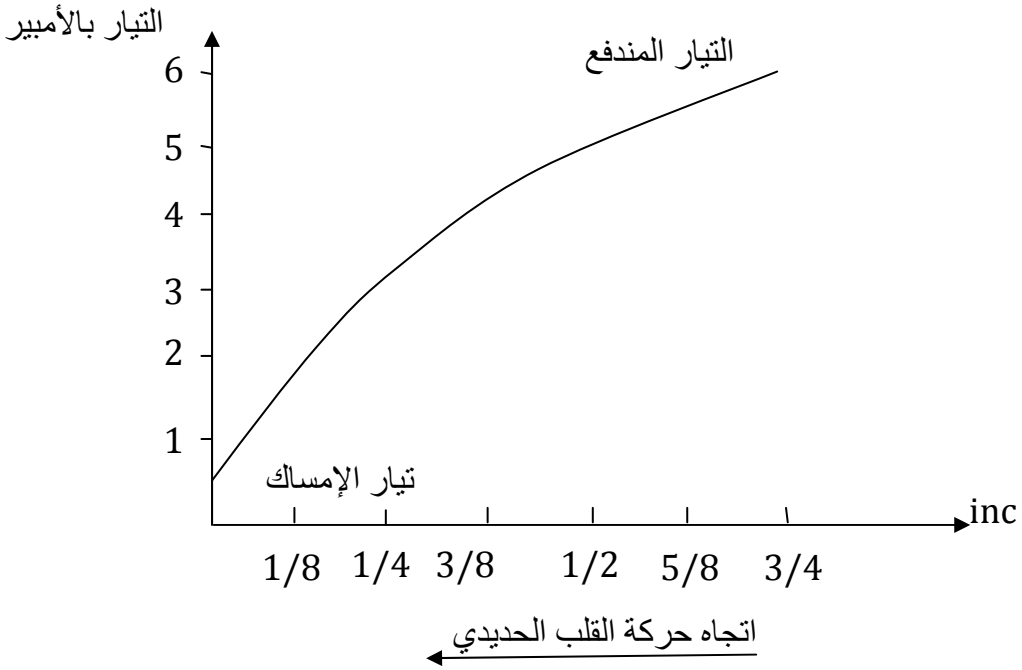
في الملفات التي تحتوي على مواد مغناطيسية تعتمد النفاذية النسبية μ_r (وبالتالي المحاثة L) على الفيض المغناطيسي $\emptyset$ وبالتالي على شدة التيار المار في الملف. ولا يمكن حساب المحاثة لهذه الملفات بالمعادلة المذكورة سابقًا وإنما تستخدم العلاقة الأساسية لتعريف المحاثة :

$$L = \frac{N\emptyset}{i} \qquad (5)$$

٢. ٧. 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 مرتفعًا مما قد يؤدي إلى إتلافه.

الشكل (٢ ـ ٦٧)التالي يبين العلاقة بين التيار في الملف وحركة القلب داخل الملف. ويمكن أن نلاحظ ماذا يحدث عندما لا يصل القلب إلى وضع الصفر.



شكل (٢ ـ ٦٧) : **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.

٢. ٧. ٣ - تطبيقات الملف اللولبي

يستخدم الملف اللولبي في تطبيقات عديدة تعتمد أساسًا 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.

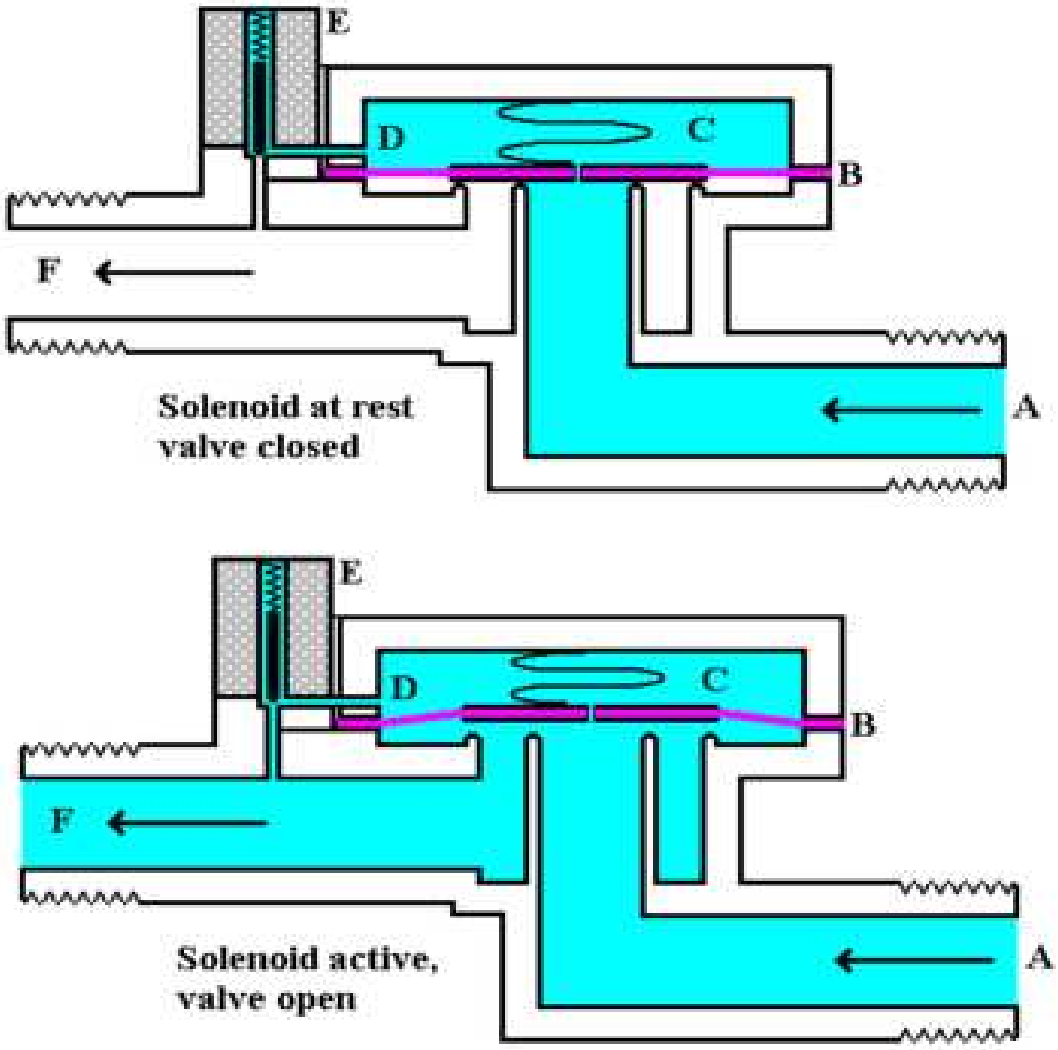
أ- الملف اللولبي الصمام

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 ثنائي المنفذ تختصر وظيفة الملف على وضع التشغيل (فتح الصمام : تدفق السائل أو الغاز) أو إيقاف التشغيل (غلق الصمام : غلق التدفق). وفي حالة الصمام ثلاثي المنافذ يعمل الملف على تدفق السائل أو الغاز بين منفذين اثنين.

تمتاز الملفات اللولبية الصمام بعدة خصال تجعلها الأكثر استخداما في عمليات التحكم في الضغط والتدفق للسوائل حيث أنها 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 رئيسين : الملف اللولبي والصمام. يقوم الملف اللولبي بتحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة ميكانيكية والتي ،بدورها، تفتح أو تغلق ميكانيكيا الصمام.

الرسومات التالية (٢ ـ ٦٨) تعرض التصميم الأساسي للملف اللولبي الصمام ووضعيات التشغيل وإيقاف التشغيل.



شكل (٢ ـ ٦٨) التصميم الأساسي للملف اللولبي الصمام ووضعيات التشغيل وإيقاف التشغيل.

الشكل الأعلى يوضح وضعية إيقاف التشغيل. الماء تحت الضغط يدخل من A. B هو 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 كثيرًا 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 أساسا على الفرق في الضغط بين الدخل والخرج وبالتحديد يجب أن يكون الضغط عند الدخل أكبر من الضغط عند الخرج.

في بعض الملفات اللولبية الصمام، قد يؤثر الملف مباشرة على الصمام. وفي أنواع أخرى تستخدم ملفات لولبية صمام صغيرة ، تعرف باسم القائد (pilot) ، لتشغيل صمام كبير. هذا النوع الأخير يتكون من عنصرين اثنين : ملف لولبي صمام وصمام ذو 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 كاملة لفتح الصمام وكذلك طوال الوقت الذي يبقى فيه الصمام مفتوحا . في حين أن الملف الصمام المباشر يحتاج الطاقة كاملة لفترة قصيرة لفتح الصمام وقليلاً من الطاقة لمواصلة الصمام مفتوحًا.

ب- الملف اللولبي لبدء تشغيل السيارة (starter solenoid)

هذا الملف هو جزء من نظام بداية التشغيل في السيارة. يتلقى الملف قسطًا كبيرًا من التيار الكهربائي من البطارية وقسطًا صغيرًا من التيار من مفتاح الاشتعال (ignition switch) .

عند إدارة مفتاح الاشتعال (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 ، صدأ في أسلاك التوصيل، عدم إحكام في التوصيلات. ويؤدى ذلك إلى عدم توفير القدرة الكافية لإحكام غلق التلامسين ولا تستطيع السيارة أن تشتغل.

أسئلة الوحدة الثانية

أسئلة الجزء الأول (المصهرات) :

١- عرف المصهر ثم اذكر أهم العناصر التي يتكون منها المصهر بشكل عام.

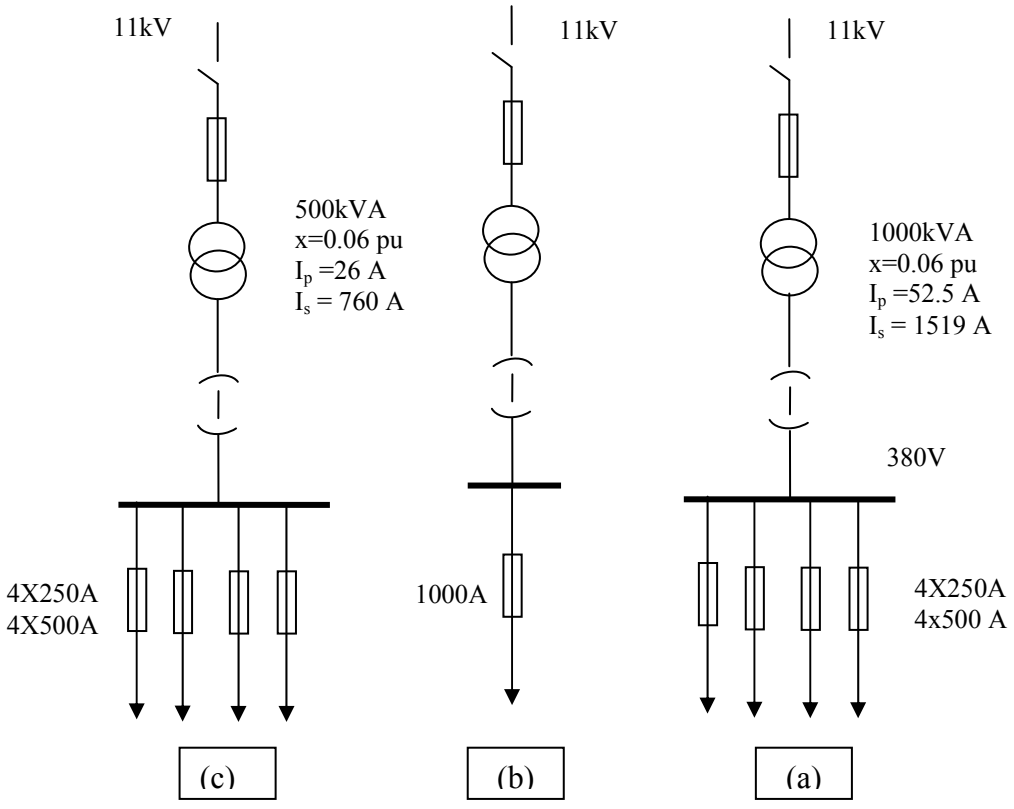
٢- اذكر أهم المتطلبات اللازمة في عمل المصهر.

٣- تصنف المصهرات إلى أنواع كثيرة و متنوعة. اذكر الأنواع الرئيسية للمصهرات.

٤- تنقسم المصهرات بصفة عامة إلى قسمين رئيسين بالنسبة لتعاملها مع التيار اذكرهما مع توضيح نظرية عمل كل منهما.

٥- اذكر الطرق المستخدمة للتنسيق بين المصهرات.

٦- باستخدام الجدول (٢- ١) والجدول (٢- ٢) وضح كيف يمكن التنسيق بين المصهرات في الأشكال المرفقة.



أسئلة الجزء الثاني (القواطع الكهربية) :

١- تنقسم المفاتيح الكهربائية إلى نوعيين 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 يعني بالقوس الكهربائي الذي يحدث في القواطع الكهربائية. ثم اذكر الطرق المستخدمة لإخماد هذا القوس في القواطع الكهربائية.

٥- تصنف القواطع الكهربائية على حسب نوع الوسط الذي يتم فيه إطفاء القوس الكهربائي إلى عدة أنواع اذكر هذه الأنواع مع كتابة المصطلح العلمي لكل منها.

٦- تصنف القواطع الكهربائية من حيث قيم جهد التشغيل إلى أربعة أنواع اذكر هذه الأنواع مع كتابة 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 الأساسي الذي يعمل عليه المرحل مع القاطع.

٢- يمكن تصنيف المرحلات حسب مبدأ عملها أو تركيبها إلى أنواع كثيرة. اذكر الأنواع المختلفة للمرحلات مع كتابة المصطلح العلمي لكل منا.

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.

الوحدة الثالثة

حماية التركيبات الكهربائية

الهدف العام للوحدة : فهم كيفية حماية التركيبات الكهربائية

الأهداف التفصيلية :

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

الوحدة الثالثة: حماية التركيبات الكهربائية

٣. ١ - مقدمة

تستخدم الحماية الاتجاهية في أنظمة القدرة والشبكات الكهربائية التي تتغذى من مصدرين و في الشبكات الحلقية (Ring Systems) و الدوائر المتوازية (Parallel Circuits) وليس من الضروري استخدام هذه الحماية 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.

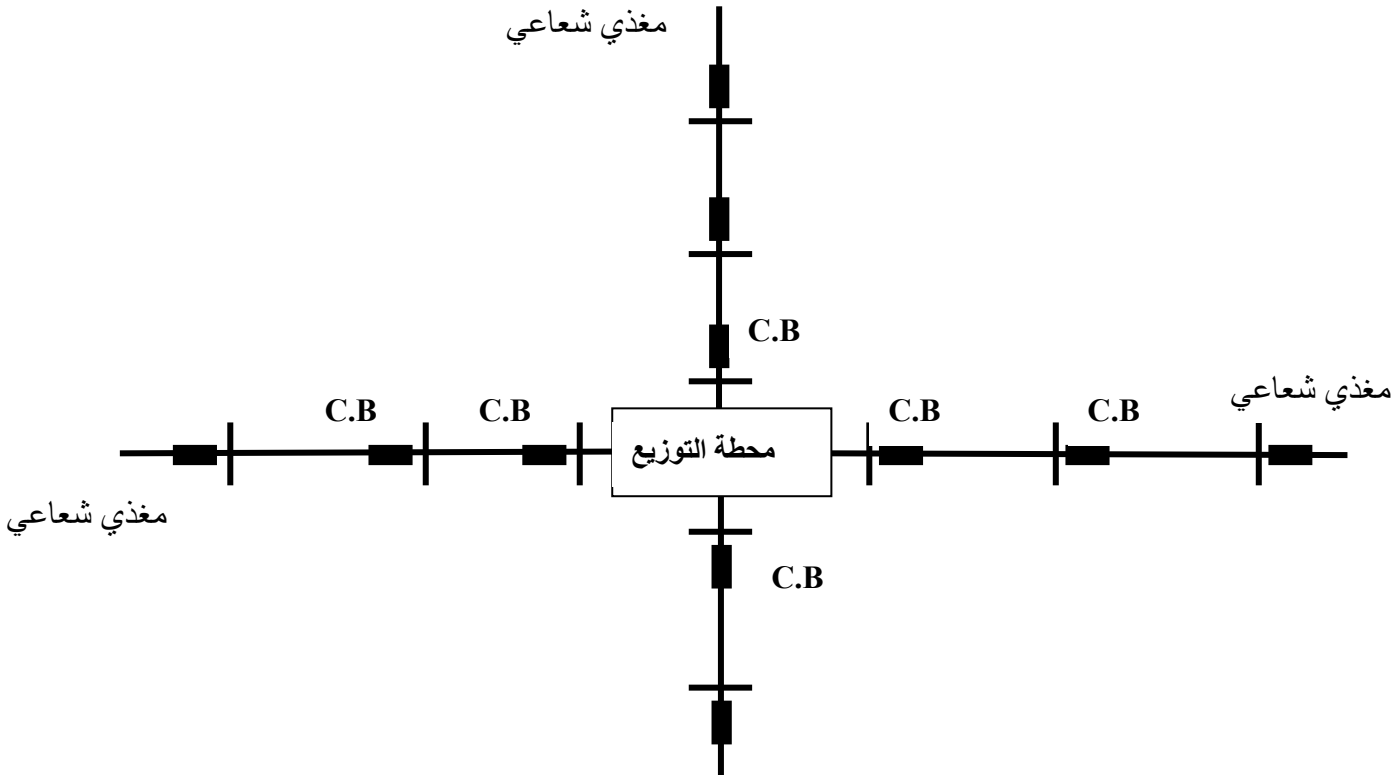
٣. ٢ - حماية المغذيات

وتشمل المغذيات التالية:

- المغذيات الشعاعية التي تتغذى من مصدر واحد
- المغذيات الشعاعية التي تتغذى من مصدر من مصدرين اثنين
- المغذيات الحلقية
- الخطوط المتوازية

٣. ٢. ١- حماية الخطوط الشعاعية المغذاة من مصدر واحد Protection of Single Source Radial circuit

الطريقة العامة لحماية الخطوط الشعاعية التي تتغذى من مصدر واحد تتم باستخدام قاطع كهربائي عند بداية كل قسم من أقسام المغذي (الشكل ٣- ١).



الشكل (٣- ١) :طر مغذي شعاعي ، الشعاعي الذي يتغذى من مصدر واحد

التنسيق بين مرحلات المغذي الشعاعي

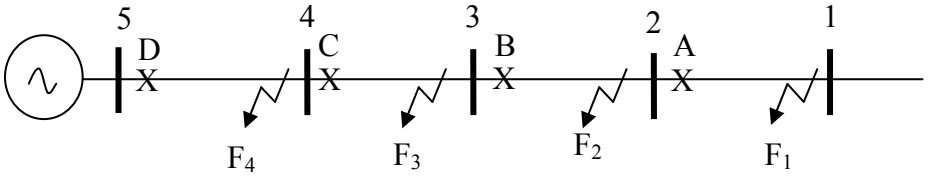
يمكن التوصل إلى التنسيق المطلوب بطريقتين اثنين :

- التنسيق عن طريق التدرج الزمني
- التنسيق عن طريق التدرج التياري

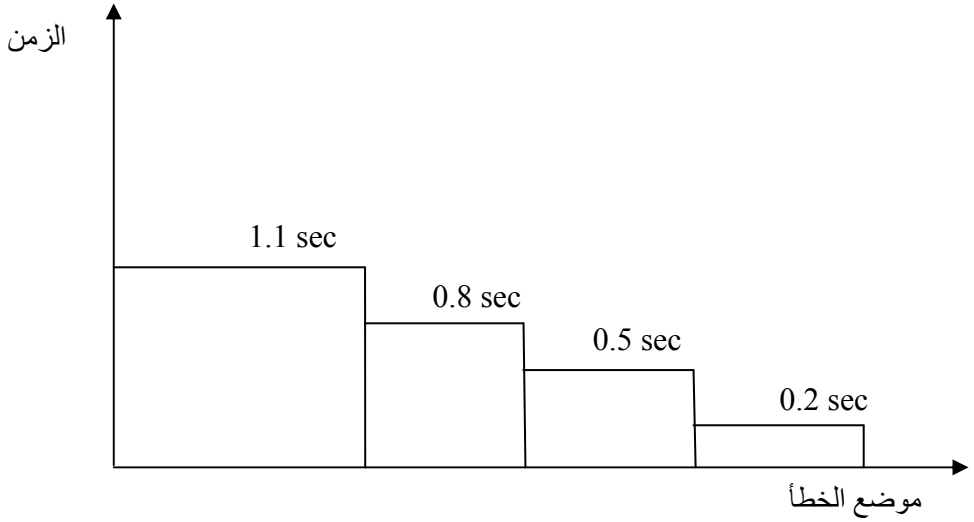
أ- التنسيق عن طريق التدرج الزمني

نفترض الشكل (٣- ٢). 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 0.3 إلى 0.4 ثانية بين زمن تشغيل كل مرحل والذي يليه وذلك للسماح لأجهزة الحماية والقطع بالعمل.

عند حدوث خطأ عند F_1 يعمل المرحل A بعد 0.2 sec فيعزل الخطأ ولا يعمل باقي المرحلات. وبالمثل عند حدوث خطأ عند F_2 يعمل المرحل B بعد 0.5 sec ..... وهكذا لباقي المرحلات. ويبين الشكل (٣ ـ ٣) عملية التنسيق باستخدام التدرج الزمني.



شكل (٣ ـ ٢) منظومة القوى للمثال



شكل (٣ ـ ٣) طريقة التدرج الزمني

يتضح مما سبق أن لهذه الطريقة عيبًا ذاتيًا أساسيًا 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 الخطأ من مصدر التيار.

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

ب- التنسيق عن طريق التدرج التياري

نفترض من جديد منظومة القوى المعطاة في المثال السابق شكل (٣ ـ ٣). لنستخدم طريقة التدرج التياري بين المرحلات للحصول على التمييز المطلوب.

نعتبر جهد المنظومة 66 kV والمفاعلات بالأوم كالآتي :

$X_{12} = 0.05\ \Omega$ $X_G = 0.8\ \Omega$ $X_{23} = 0.05\ \Omega$

$X_{34} = 0.125\ \Omega$ $X_{45} = 0.2\ \Omega$

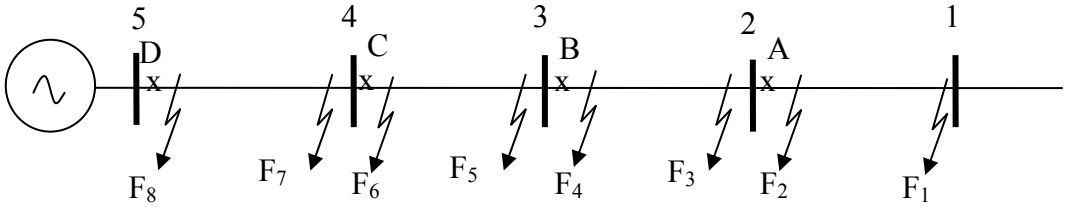
الحل

يمكن الحصول على تيار الخطأ عند أي موضع من العلاقة :

$$I_F = \frac{V}{\sqrt{3}\, X_F}$$

حيث X_F هي المفاعلة بين المولد وموضع الخطأ

نعتبر الأخطاء المبينة في الشكل (٣ ـ ٤) مع ملاحظة أن F_2 هو خطأ بعد المرحل A مباشرة و F_3 قبله مباشرة. وكذلك بالنسبة للأخطاء F_4, F_5, F_6, F_7 .



شكل (٣ ـ ٤) تحديد مواقع الأخطاء $F_1, F_2, F_3, F_4 \ldots$

$I_{F8} = 66000 / (\sqrt{3} *(0.8)) = 47633$ A.

$I_{F7} \approx I_{F6} = 66000 / (\sqrt{3} *(0.8 + 0.2)) = 38106$ A.

$I_{F5} \approx I_{F4} = 66000 / (\sqrt{3} *(0.8 + 0.2 + 0.125)) = 33872$ A.

$I_{F3} \approx I_{F2} = 66000 / (\sqrt{3} *(0.8 + 0.2 + 0.125 + 0.05)) = 32431$ A.

$I_{F1} = 66000 / (\sqrt{3} *(0.8 + 0.2 + 0.125 + 0.05 + 0.05)) = 31107$ A.

ويتم ضبط المرحلات كالآتي:

- المرحل A يستجيب للأخطاء الواقعة بين كل من F_1 & F_2 ويضبط بذلك على قيمة لقط تناظر تيار خطأ مقداره ($I_A = I_{F1} = 31107$ A) .

- المرحل B يستجيب للأخطاء الواقعة بين كل من F_3 & F_4 ويضبط بذلك على قيمة لقط تناظر تيار خطأ مقداره ($I_B = I_{F3} = 32432$ A) .

- المرحل C يستجيب للأخطاء الواقعة بين كل من F_5 & F_6 ويضبط بذلك على قيمة لقط تناظر تيار خطأ مقداره ($I_C = I_{F5} = 33872$ A) .

- المرحل D يستجيب للأخطاء الواقعة بين كل من F_7 & F_8 ويضبط بذلك على قيمة لقط تناظر تيار خطأ مقداره ($I_D = I_{F7} = 38106$ A) .

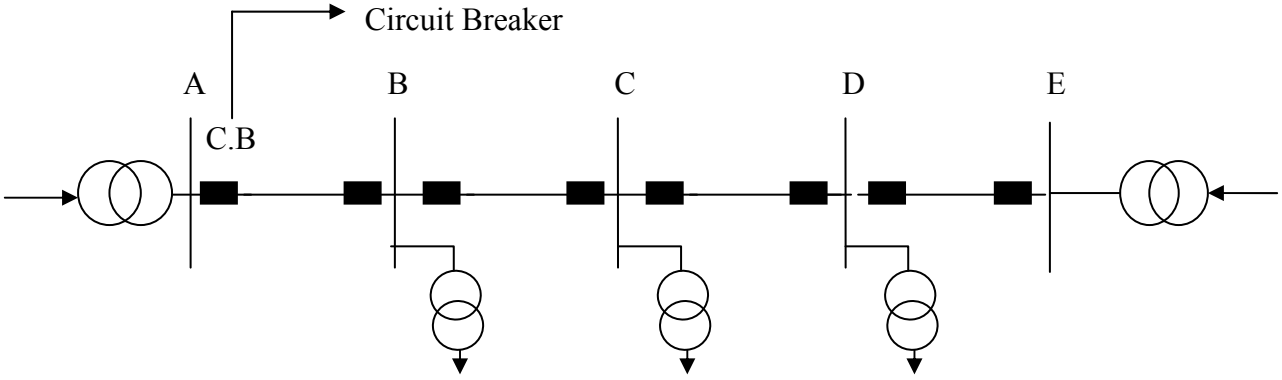
نلاحظ مما سبق أن هناك عيبًا واضحًا في هذه الطريقة. فلو حدث خطأ مثل F_2 قريب جدًا من المرحل A بحيث يتساوى بالفعل كل من I_{F2} & I_{F3} فإن ذلك قد يؤدي إلى عمل المرحل B دون ضرورة. وكذلك بالنسبة لخطأ F_4 قريب جدًا من المرحل B فقد يؤدي إلى عمل المرحل C دون ضرورة.

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

٣.٢.٢- حماية الخطوط الشعاعية المغذاة من مصدرين
Protection of Double Source Radial Networks

الطريقة العامة لحماية المغذيات الشعاعية التي تتغذى من مصدرين اثنين تكون باستخدام قاطع كهربائي على جانبي كل قسم من أقسام المغذي .

يوضح الشكل (٣ ـ ٥) نظام قدرة نموذجي مكون من خط شعاعي يتغذى 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 وبداية كل قسم من الخط بحيث إذا حصل خطأ ما تقوم القواطع الآلية بعزل الخطأ فقط ويبقى بقية نظام الخدمة دون حدوث أي انقطاع. وليتحقق ذلك لابد من تعيير المرحلات بشكل سليم.

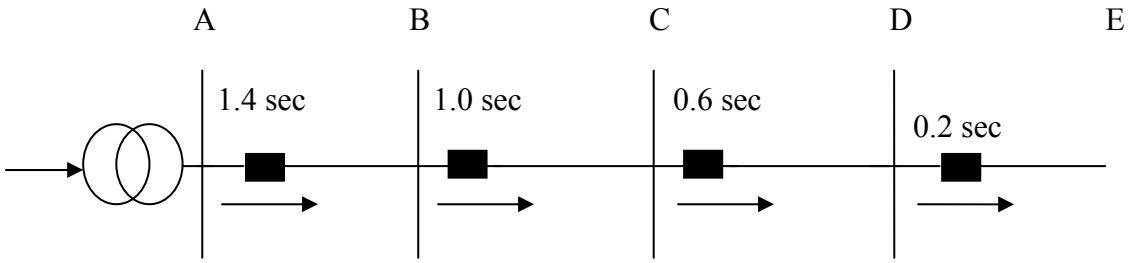


شكل (٣ ـ ٥) رسم توضيحي على استخدام المرحلات الاتجاهية

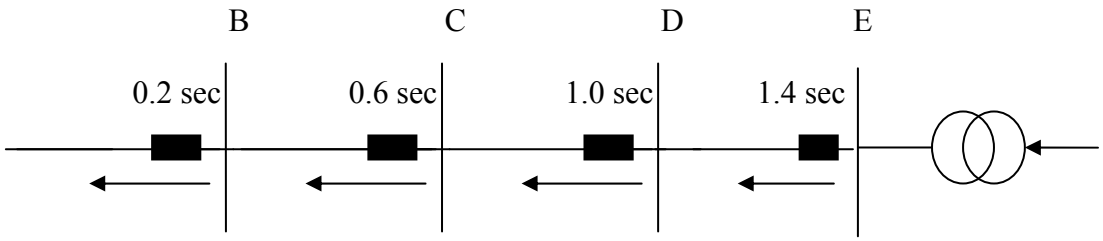
باتباع نفس المبدأ المستخدم في حماية الخطوط الشعاعية نجد صعوبة في الحصول على العمل الانتقائي السليم وعلى استمرارية التغذية عند حدوث خطأ ما في هذا النظام. لذلك لابد من اتباع أسلوب آخر للحماية وذلك بتصنيف القواطع الآلية والمرحلات إلى نظامين متعاكسين بالاتجاه في نظام تدرجهما.

ولتسهيل معالجة الموضوع نقدم الشكل رقم (٣ ـ ٦ a) حيث يوضح هذا الشكل التدرج الزمني للحمايات عند تغذية الخط من المنطقة A . ويلاحظ أن التدرج الزمني يكون متزايدًا كلما اقتربا من المنبع A وزمن الحماية عند النقطة A هو 1.4 sec بينما عند النقطة D يكون 0.2 sec . وبنفس الأسلوب يعالج الموضوع عند تغذية الخط من النقطة E حيث يكون زمن عمل الحماية عند E يساوي 1.4 sec وفي B يكون 0.2 sec وذلك باعتبار هامش

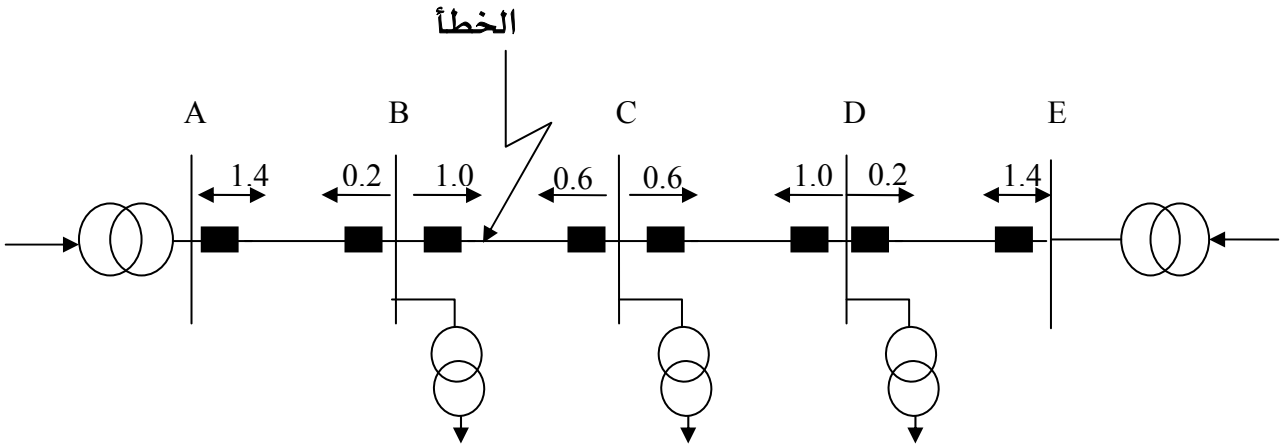
زمني بين كل مرحلتين متتاليين 0.4 sec كما بالشكل (٣ ـ ٦ b). كما يوضح شكل (٣ ـ ٦ c) دمج الشكلين السابقين مع بعض حيث يصبح الخط مغذى من الطرفين A & E وقد تم هنا استخدام مرحلات الزمن المحدود وهامش زمني 0.4 sec بين كل مرحليين متتاليين ، كما يمكن استخدام مرحلات الزمن العكسي.



شكل (٣ ـ ٦ a) مركبة التغذية الشعاعية من اليسار إلى اليمين



شكل (٣ ـ ٦ b) مركبة التغذية الشعاعية من اليمين إلى اليسار



شكل (٣ ـ ٦ c) الشكل النهائي لحماية خط مغذى من مصدرين

مثال : عند حدوث عطل كما هو موضح بالشكل (٣ ـ ٦ 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 :

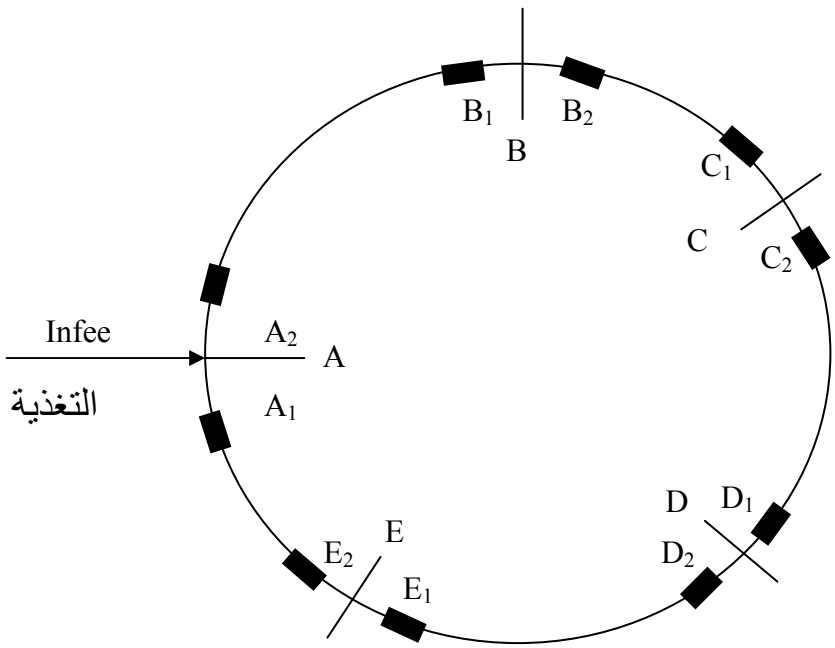
١- عند حدوث عطل ما مثل المبين في شكل (٣ ـ ٦ c) فإن المرحلات على يسار القضبان المجمعة B وعلى يمين القضبان المجمعة D تفصل قواطعها وبالتالي تعزل منطقة العمل وتصبح الأحمال المغذاة من القضبان B , C, D خارج الخدمة. ويلاحظ أن استخدام مبدأ التدرج الزمني في مرحلات زيادة التيار العادية لحماية الخطوط المغذاة من 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 مرحل إلى اتجاه الفصل. ويلاحظ عدم الحاجة لاستخدام المرحلات الاتجاهية عند مصادر التغذية حيث يكون دائمًا للتيار اتجاه واحد. عند حصول نفس الخطأ في المنطقة BC فإن المرحل المركب على يمين B يفصل بعد 1 sec والمرحل المركب على يسار C يفصل بعد 0.6 sec . وتصبح المنطقة بين القاطعين المفصولين معزولة عن التغذية الكهربية مع الحفاظ على الخدمة لباقي المناطق السليمة.

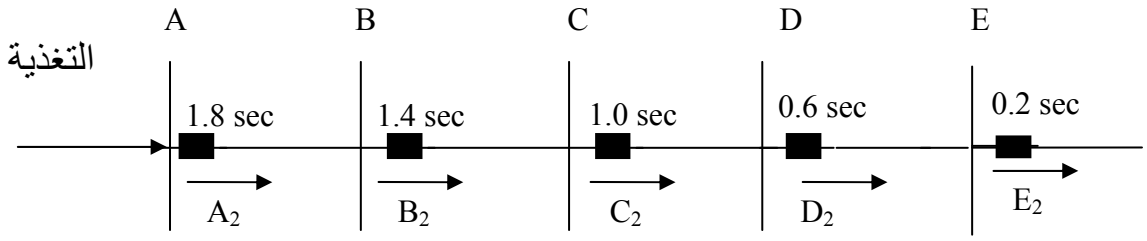
والمرحل على يسار B والمعير على 0.2 sec لا يفصل بالرغم من صغر زمن فصله لأن اتجاه التيار بعكس الاتجاه الذي يعمل عنده المرحل وهذا الكلام ينطبق على المرحل 0.6 sec على يمين C والمرحل 0.2 sec على يمين D حيث أن تيار الخطأ عبرها في اتجاه معاكس لعملها. أما بقية المرحلات 1.4 sec على يمين A و 1.4 sec على يسار E و 1 sec على يسار D فإنها لن تعمل (رغم مرور تيار الخطأ في اتجاه عملها) لأن المرحلات الموجودة داخل القسم BC أسرع منها.

٣.٢.٣ - حماية الخطوط الحلقية المغذاة من مصدر واحد Protection of Single In-feed Ring Systems

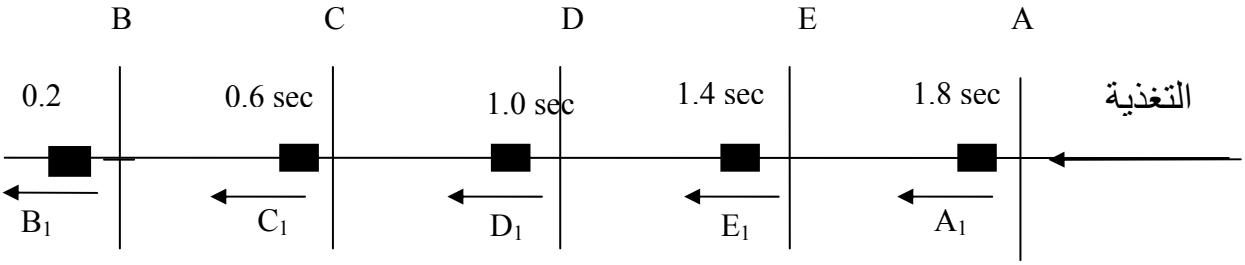
يبين الشكل (٣ ـ٧) خطة حماية متدرجة باستخدام المرحلات الاتجاهية لحماية الحلقة المبينة والمغذاة من مصدر تغذية واحد. تركب القواطع الآلية على نهايتي كل قسم من الخط، ويمكن اعتبار هذا النظام كنظام خطي تغذية شعاعين كما هو موضح في شكل (٣ ـ ٧ a) و شكل (٣ ـ ٧ b).



شكل (٣ ـ ٧) حماية منظومة تغذية حلقية

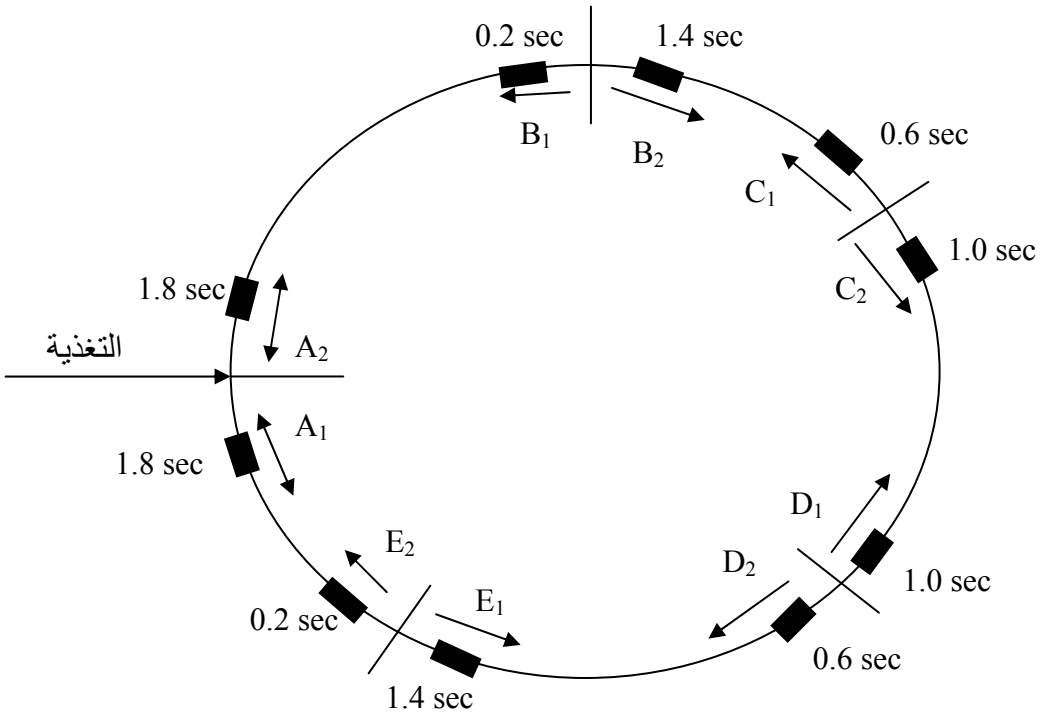


شكل (٣ ـ ٧ a) مركبة التغذية الشعاعية من اليسار إلى اليمين



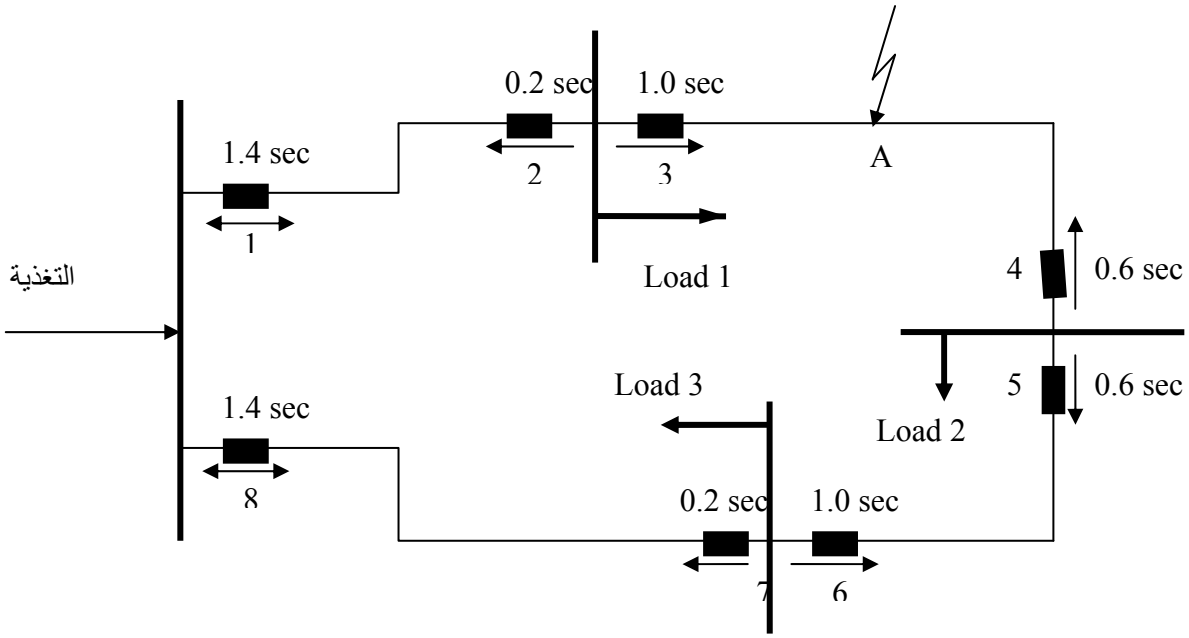
شكل (٣ ـ ٧ b) مركبة التغذية الشعاعية من اليمين إلى اليسار

وباستخدام هامش زمني مقداره 0.4 sec بين المرحلات المستخدمة تكون قيم التدرج الزمني : 0.2, 0.6, 1.0, 1.4, 1.8 sec وتشير الأسهم على جانب كل مرحل إلى اتجاه الفصل وذلك في الشكل (٣ ـ ٧ c). أما من المنبع عند نقطة A فإن القدرة تسري باتجاه واحد (من المحطة) لذلك فلا حاجة لاستخدام المرحلات الاتجاهية عند A_1 & A_2 . أما المرحلات المستخدمة في النقاط الأخرى من الدائرة فهي مرحلات اتجاهية متعاكسة في عملها على جانبي كل قسم من أقسام المغذي ويمكن أن يكون لها تأخير زمني مختلف.



شكل (٣ ـ ٧ c) خطة التدرج النهائية لمنظومة حلقية مغذاة من مصدر واحد

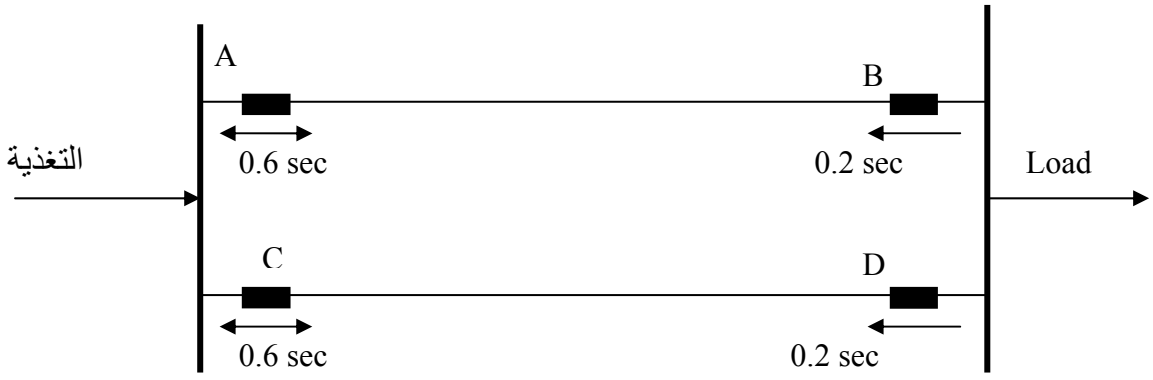
كما يبين الشكل (٣ ـ ٨) مثالاً على حماية خط نقل حلقي مغذى من مصدر واحد. فعند حدوث خطأ في المنطقة A فإن تيار الخطأ يسري إلى نقطة الخطأ عبر طريقين. الطريق الأول عبر القواطع الآلية (3- 2- 1) والطريق الثاني عبر القواطع الآلية (-7-6-5-4 8) وعند كل قاطع يوجد مرحل وتشير الأسهم المبينة على الشكل إلى اتجاه تشغيل المرحلات الاتجاهية. فمثلا عند حصول عطل عند A تتهيج جميع المرحلات ولكن يفصل المرحل رقم 4 بتأخير زمني 0.6 sec والمرحل 3 بتأخير زمني 1.0 sec وتعزل منطقة الخطأ دون أي انقطاع في التغذية في بقية المناطق.



شكل (٣ ـ ٨) حماية خط نقل حلقي مغذى من مصدر واحد

٣ . ٢ . ٤ - حماية الخطوط المربوطة على التوازي Protection of Parallel Lines

يبين الشكل (٣ ـ ٩) حماية خطين مربوطين على التوازي ومغذيين 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 0.4 sec .



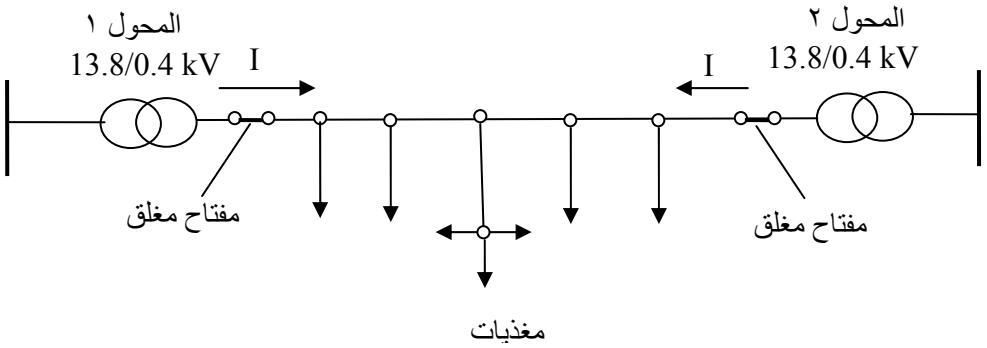
شكل (٣ ـ ٩) حماية الخطوط المتوازية

٣.٣- حماية الشبكات الكهربائية

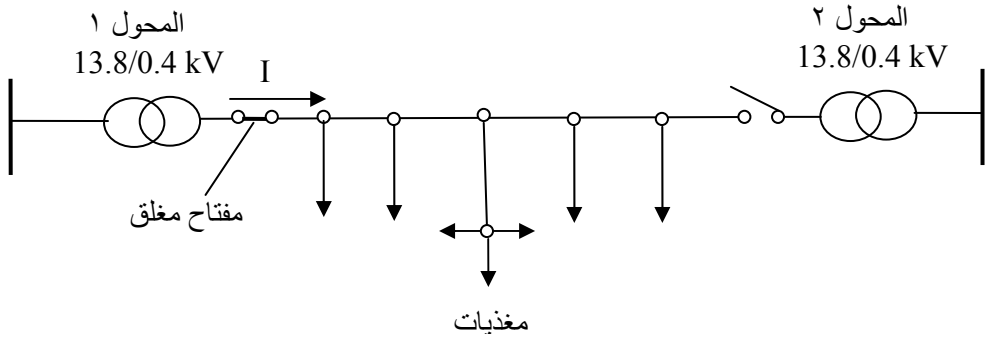
أمان الشبكة الكهربائية يتضح عند تشغيلها. ويمكن التفرقة بين نوعين من التشغيل وهما التشغيل العادي وتشغيل الشبكة عند وجود خطأ. والتشغيل العادي عادة ما يكون بدون مشاكل. ولكي تعمل الشبكة عند حدوث خطأ ما بحيث لا يعاني المستهلك من انقطاع التيار الكهربائي تشغل شركات الكهرباء تجهيزات لحماية الشبكة أثناء هذه الحالات.

يمكن أن تتعرض الشبكات الكهربائية للأخطاء التالية : تيار كبير جدًا نتيجة التحميل الزائد أو جهود زائدة أو دائرة قصر أو تماس أرضي. كما يمكن أيضا أن تحدث عدة أخطاء في نفس الوقت.

يبين الشكل (٣ ـ ٩) شبكة جهد منخفض تتغذى عن طريق محولين من شبكة الجهد المتوسط. فإذا وجب فصل محول لصيانته مثلاً تتواصل تغذية جميع المغذيات من المحول الثاني . لكن من الممكن أن يصبح التحميل زائدا على هذا المحول فيفصل وتصبح الشبكة في هذه الحالة معطلة.



شكل (٣ ـ ٩- أ) الشبكة عند التشغيل العادي



شكل (٣ ـ ٩- ب) التشغيل تحت ظروف صعبة: المحول ٢ مفصول ولذا قد يكون المحول ١ محملا تحميلاً زائدًا

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 اللازم. كأن يوصل في شبكة الجهد المنخفض قرص الطبخ 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 قد تعمل الحماية وتقوم بفصل هذا الطور. وينجر عن ذلك حالة عدم اتزان بحيث تصبح مغذيات التيار الثلاثي الأطوار موصلة بطورين فقط على الشبكة وهذه الحالة قد تؤدي إلى تلف الأجهزة.

خطأ في الشبكة نتيجة الجهود الزائدة

الجهود الزائدة على الشبكات الكهربائية تنتج أساسًا لأسباب خارجية مثل ضربات الصواعق (وهي الأخطر) أو لأسباب داخلية نتيجة عمليات الفصل والوصل أو التغيير المفاجئ للحمل ....

وقاية شبكات الجهد المنخفض

في شبكات الجهد المنخفض، تقتصر الحماية عادة على الحماية من الجهد الزائد والحماية من التيار الزائد. وأهم أجهزة الحماية 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 واقعًا على جهد والآخر على الأرض. يتم اختيار طور ثغرة الشرر بحيث يقفز الشرر عند جهد زائد محدد فقط.

أما بالنسبة للمفرغ الأنبوبي فهو تطوير لثغرة الشرر المألوفة. القوس الكهربائي يوجه إلى داخل ماسورة معزولة. الغاز المتكون يبرد القوس الكهربائي بشدة مما يؤدي إلى إطفائه.

المفرغ الأنبوبي (أو المقاومة اللاخطية) يتكون من ثغرة شرر موصل بعدها مقاومة معتمدة على الجهد. هذه المقاومة تحد من التيار بعد الانهيار بحيث يخمد القوس الكهربائي في الثغرة.

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

أما بالنسبة لتجهيزات الحماية من التيار الزائد فهي :

- المصهرات
- القاطع عند التيار الزائد المؤخر حراريا
- المرحلات الكهرومغناطيسية عند التيار الزائد
- مفاتيح الحماية.

٣.٤- حماية دوائر التوزيع ضد الخطأ الأرضي

يسمى الخطأ أرضيا إذا كان مسار رجوع تيار الخطأ هو الأرض. وتدل الإحصائيات أن أغلب الأخطاء في شبكات التوزيع 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.

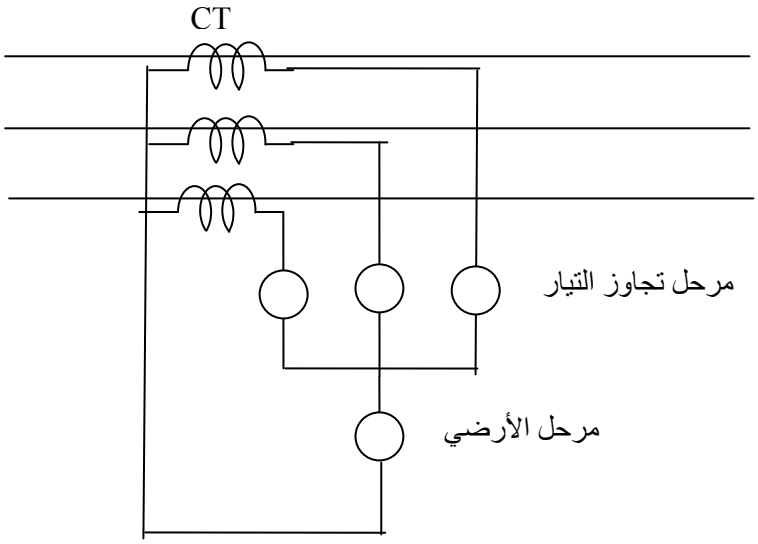
إن السبب الرئيسي الذي يؤدي إلى حدوث أخطاء أرضية هو الانهيار في العزل الكهربائي. وجدير بالذكر أنه في كثير من الأحيان يتخذ الخطأ الأرضي شكل قوس كهربائي يمتد

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. إتلاف في المعدات
٤. انقطاعات ممتدة في القوي
٥. احتمال ظهور جهود عابرة مرتفعة.

٣.٤.١- 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 مرحل 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 التيارات يساوي صفرًا. كما لا يمر تيار في مرحل الأرضي أيضا عند حدوث قصر بين خطين. أما عند حدوث خطأ بين أي طور والأرض فإنه يمر في مرحل الأرضي تيار يتناسب مع تيار الخطأ.

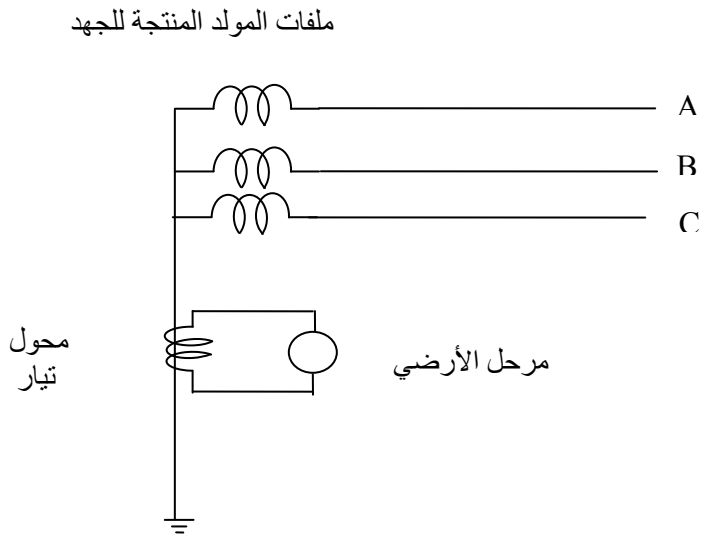


شكل (٣ ـ ١٠) منظومة حماية باستخدام ثلاثة مرحلات تجاوز حمل ومرحل أرضي

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.

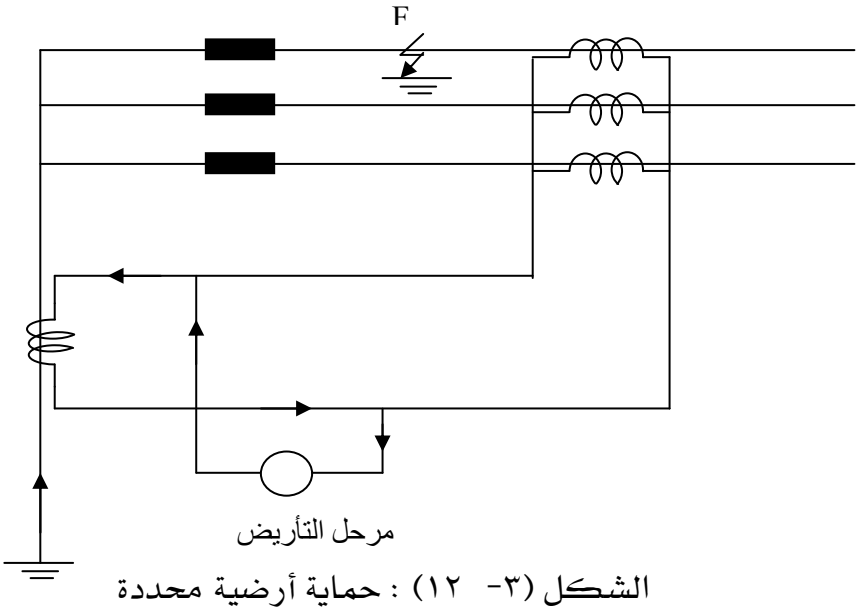
ويبين الشكل (٣ ـ ١١) طريقة أخرى لتوصيل المرحل الأرضي حيث يوصل المرحل بين طرفي الثانوي لمحول للتيار يكون ملفه الابتدائي عبارة عن موصل تأريض نقطة التعادل للمنظومة والذي يحمل تيار العودة عند حدوث أي خطأ أرضي.

نلاحظ 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

ويمكن تحديد المنطقة المحمية ضد الأخطاء الأرضية باستخدام النظام المعروف باسم الحماية الأرضية المحددة (Restricted Earth Protection) والمعروف أيضا بالحماية الفرقية الأرضية (Differential Earth Protection) . ويتطلب هذا النظام تأريض نقطة التعادل كما هو مبين بالشكل (٣- ١٢). والتيار الذي يمر بمرحل الأرضي هو الفرق بين التيار المار في موصل التأريض ومجموع تيارات الخطوط الثلاثة. وواضح من هذا الشكل أن المرحل لا يمر فيه تيار إلا في حالة حدوث خطأ عند نقطة F داخل المنطقة المحمية.

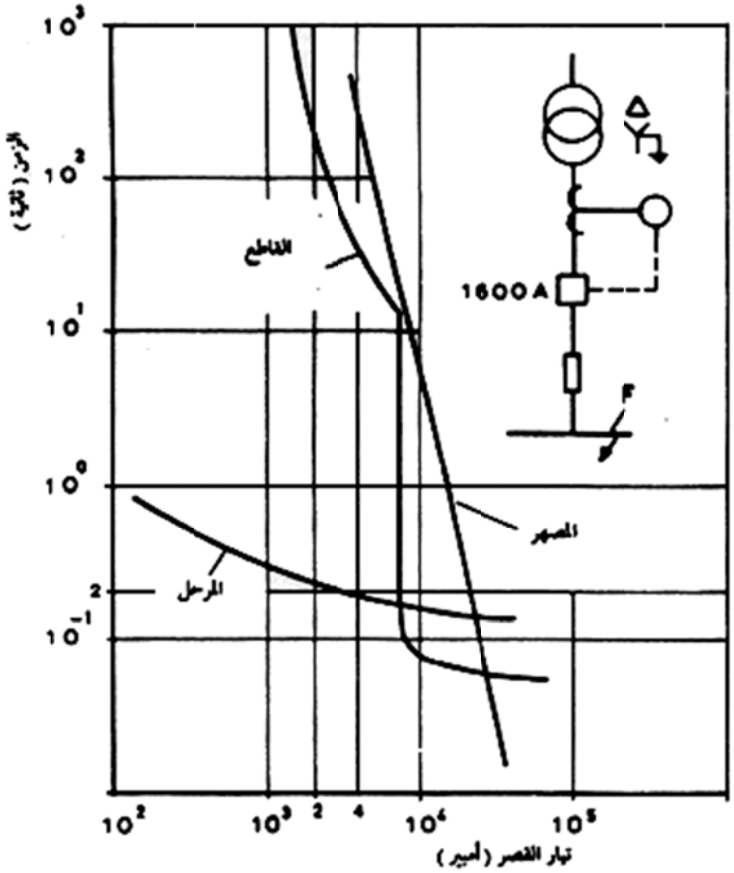


الشكل (٣- ١٢) : حماية أرضية محددة

٣. ٤. ٢- نظم حماية دوائر التوزيع الثانوية

لقد زاد الاهتمام بتطبيق الحماية ضد الخطأ الأرضي في دوائر التوزيع الثانوية نظرا للخسائر المادية الهائلة 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 أخطار كثيرة على حياة الإنسان والمعدات والأجهزة الكهربائية وغيرها. ويمكن توضيح ذلك بالمثال المبين في الشكل (٣ ـ ١٣) . فإذا فرضنا أن تيار الخطأ الأرضي عند النقطة F هو 1500 أمبير فإن القاطع أو المصهر (المعير على 1600 أمبير) لن يشعر بهذا التيار وقد يتواصل لفترة طويلة مع كل الأخطار التي قد تنجر عنه. في حين أن مرحلا أرضيا له تأخير زمني 0.2 ثانية عند 4000 أمبير يؤدي إلى فتح القاطع في خلال 0.33 ثانية. وفي حالة ما إذا كان تيار الخطأ 4000 أمبير فإن القاطع يحتاج إلى 33 ثانية لإزالة الخطأ بينما يحتاج المصهر إلى 5 دقائق.

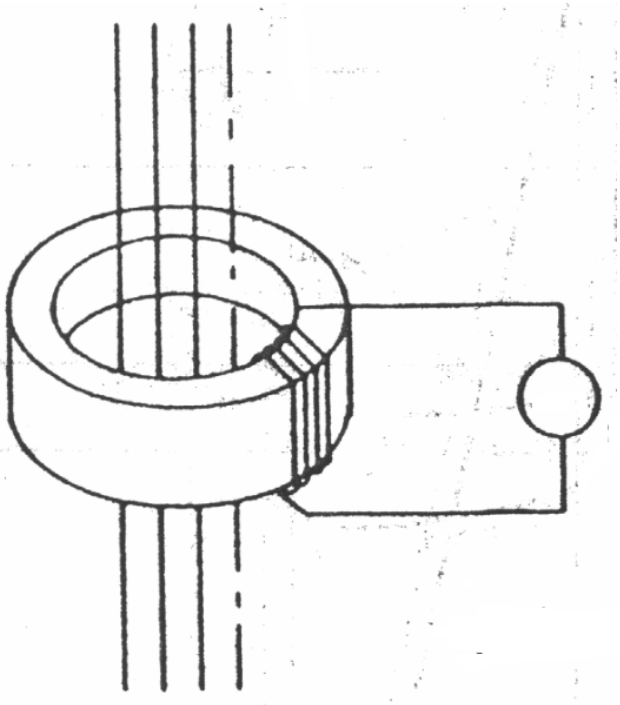
وخلاصة القول وأنه حتى إذا كان تيار الخطأ الأرضي في مجال استشعار القاطع أو المصهر فإن زمن العمل سيكون كبيرًا ويمثل خطرًا على حياة الإنسان بالخصوص. لذلك يستخدم محول تيار خاص في نظام الحماية ضد أخطاء الأرضي في دوائر الجهد المنخفض يعرف بمحول اتزان القلب (Core Balance Transformer)



الشكل(٣ـ ١٣) : خطة حماية بمصهر وقاطع ومرحل أرضي

المبدأ الأساسي الذي يعمل عليه هذا المحول هو أن تمر جميع الموصلات بما فيها موصل التعادل عبر القلب الحلقي لمحول التيار وتمثل بذلك الملف الابتدائي لهذا المحول. ويوصل مرحل التأريض بين طرفي الثانوي لهذا المحول (الشكل ٣- ١٤). تحت ظروف التشغيل المشتملة على الحالات المتزنة وغير المتزنة وحالات القصر بين الأطوار، مجموع التيارات الخارجة من القلب تكون دائما مساوية لمجموع التيارات الداخلة إليه. أي أن محصلة الفيض في القلب تساوي صفرًا 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 مجموع التيارات ليس صفرًا وينشأ نتيجة ذلك فيض مغناطيسي في قلب المحول يتناسب مع التيار المار في الأرض.

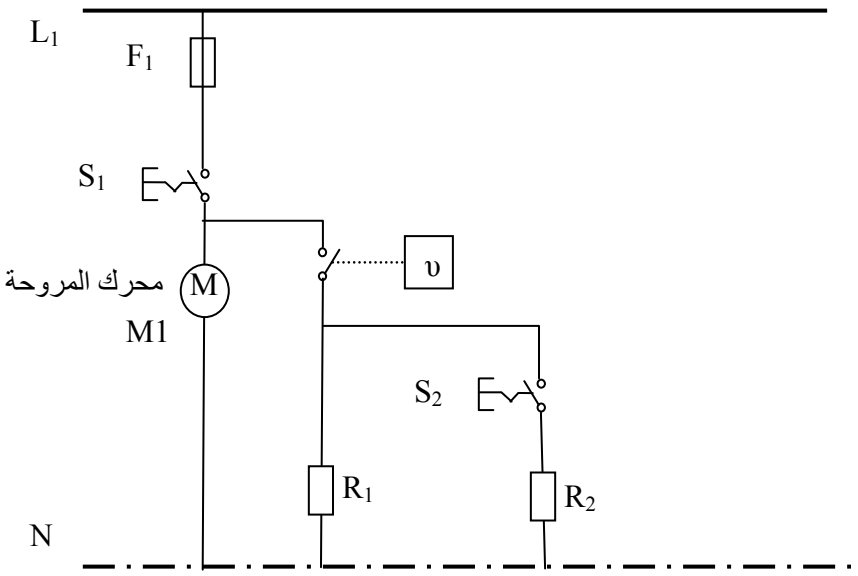
ويولد هذا الفيض تيارًا في دائرة مرحل الأرضي. ويتميز هذا النوع من المحولات بحساسية عالية بحيث يمكنه أن يكتشف تيارات صغيرة في حدود الملي أمبير. أما المرحل نفسه فيمكن ضبطه بالنسبة لزمن التشغيل وبالنسبة لتيارات التشغيل وقد يكون المرحل من النوع التقليدي أو من النوع الإلكتروني.



الشكل(٣ ـ ١٤) : حماية ضد الخطأ الأرضي باستخدام محول اتزان القلب

٣ . ٥- حماية الأجهزة الكهربائية المستعملة في التسخين

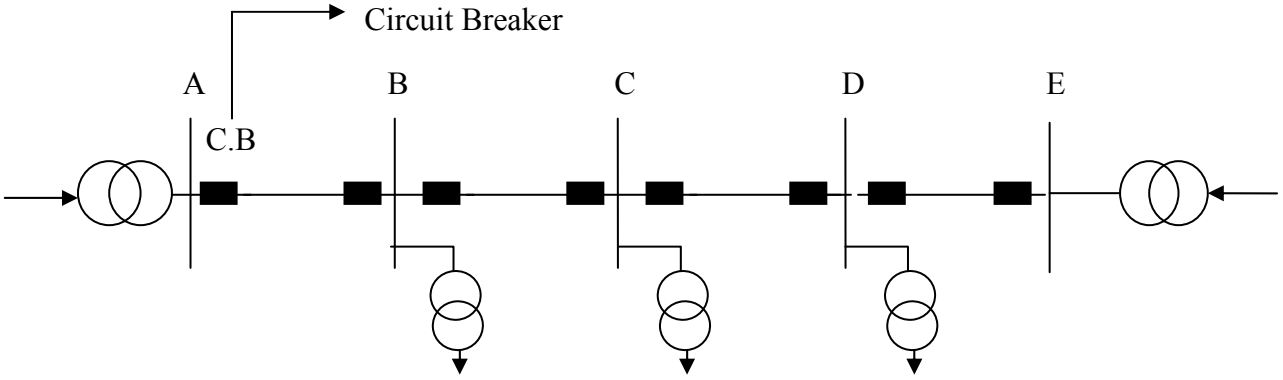
في الأجهزة التي تنتج حرارة يجب توفر وسيلة حماية لفصل الجهاز عند درجة الحرارة الزائدة عن حد معين. والشكل (٣ ـ ١٥) يبين الدائرة الكهربائية لمسخن هواء مروحي. المفتاح S_1 يوصل المسخن R_1 والمروحة بالشبكة. وباستعمال المفتاح S_2 يمكن أن يوصل المسخن R_2 إضافة إليهما. وعند زيادة درجة الحرارة تفصل المسخنات لكن المروحة تبقى على الشبكة لتصرف الحرارة.



شكل (٣ ـ ١٤) التحكم في مسخن هواء مروحي

أسئلة الوحدة الثالثة

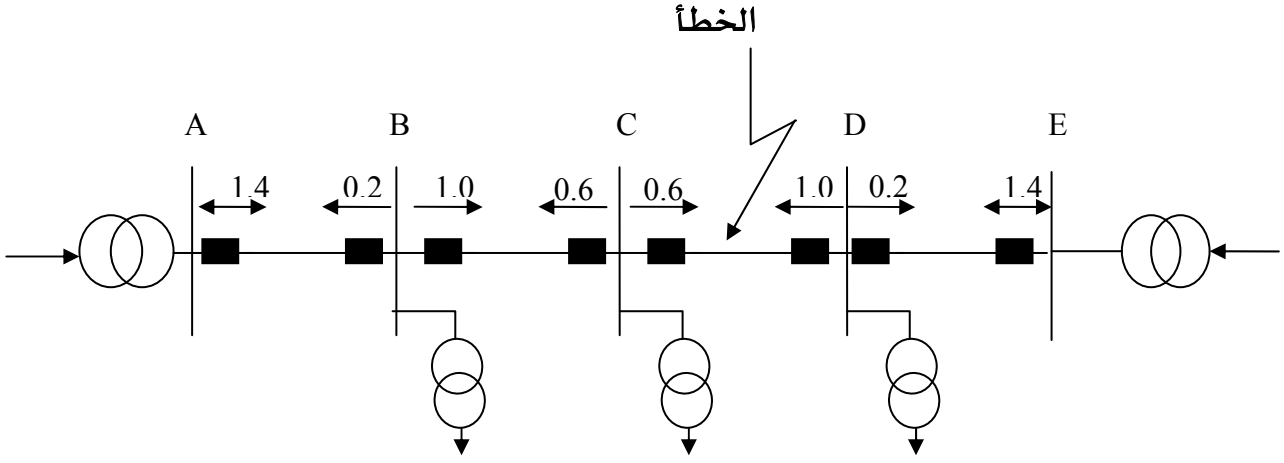
١- اشرح مع التوضيح على الرسم كيف يمكن استخدام مبدأ التدرج الزمني بين المرحلات لحماية هذه المنظومة باستخدام المرحلات الاتجاهية. (استخدم الهامش الزمني 0.3 sec).



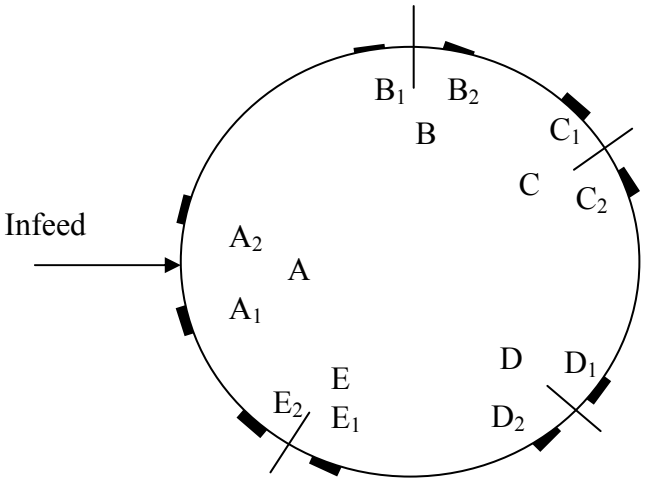
٢- عند حدوث عطل كما هو موضح بالشكل التالي اذكر مع التوضيح بالشرح المرحلات التي يجب أن تعمل في الحالات الآتية :

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

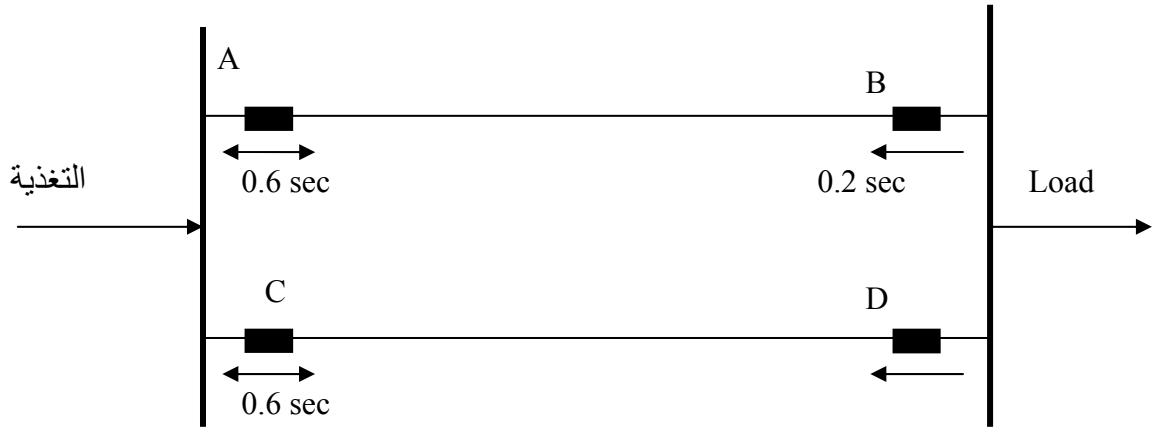
ب- عند استخدام مرحلات زيادة التيار الاتجاهية بالتعيير الزمني المذكور أمام كل منها.



٣- اشرح مع التوضيح على الرسم على الشكل التالي كيف يمكن استخدام المرحلات الاتجاهية لحماية الحلقة المبينة والمغذاة من مصدر واحد. (باعتبار الهامش الزمني 0.4 sec)



٤- اشرح مع التوضيح على الرسم في الشكل التالي كيف يمكن استخدام طريقة التدرج الزمني بين المرحلات الاتجاهية لحماية الخطوط المتوازية. حدد أي القواطع تعمل عند حدوث الخطأ الموضح بالشكل.



٥- نظم الوقاية في شبكات الجهد المنخفض تقتصر عادة على الوقاية من الجهد الزائد والوقاية من التيار الزائد في ضوء ذلك أجب عن الآتي :

أ- اذكر الأجهزة المستخدمة للوقاية من الجهد الزائد.

ب - اذكر الأجهزة المستخدمة للوقاية من التيار الزائد.

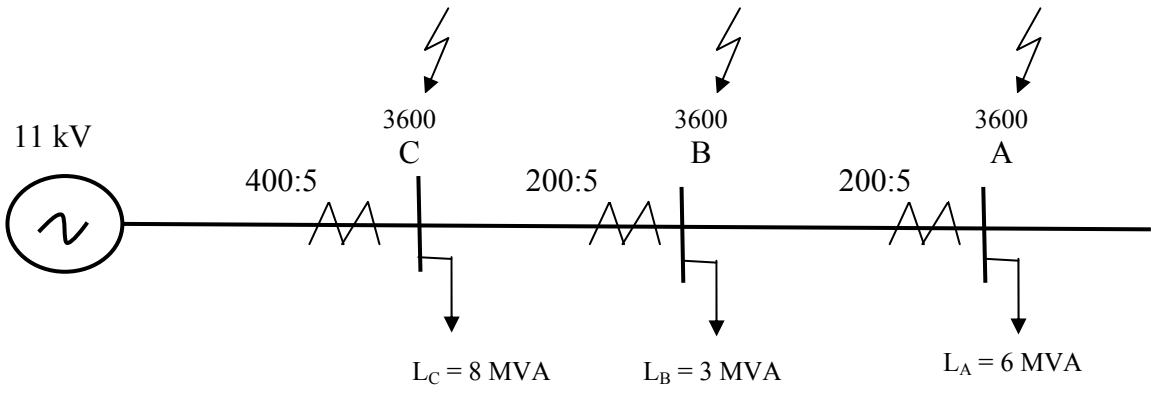
٦- اشرح مع التوضيح بالرسم للدائرة المستخدمة حماية نظم التوزيع الأولية المؤرضة مباشرة أو عن طريق مقاومة للحد من قيمة تيار الخطأ.

٧- بالإشارة إلى منظومة القوى المبينة بالشكل(٣- ١٥) ، المطلوب عمل خطة ضبط المرحلات A و B و C للحصول على التنسيق اللازم للتمييز وذلك باستعمال مرحلات ذات المنحنيات الخصائصية العكسية المبينة بالشكل (٣- ١٦). وهذه المرحلات مزودة بوسيلة لتغيير موضع القابس بحيث يمكن الحصول على قيم تيارات اللقط التالية : 4 و 5 و 6 و 7 و 8 و 10 و 12 و16 أمبير.

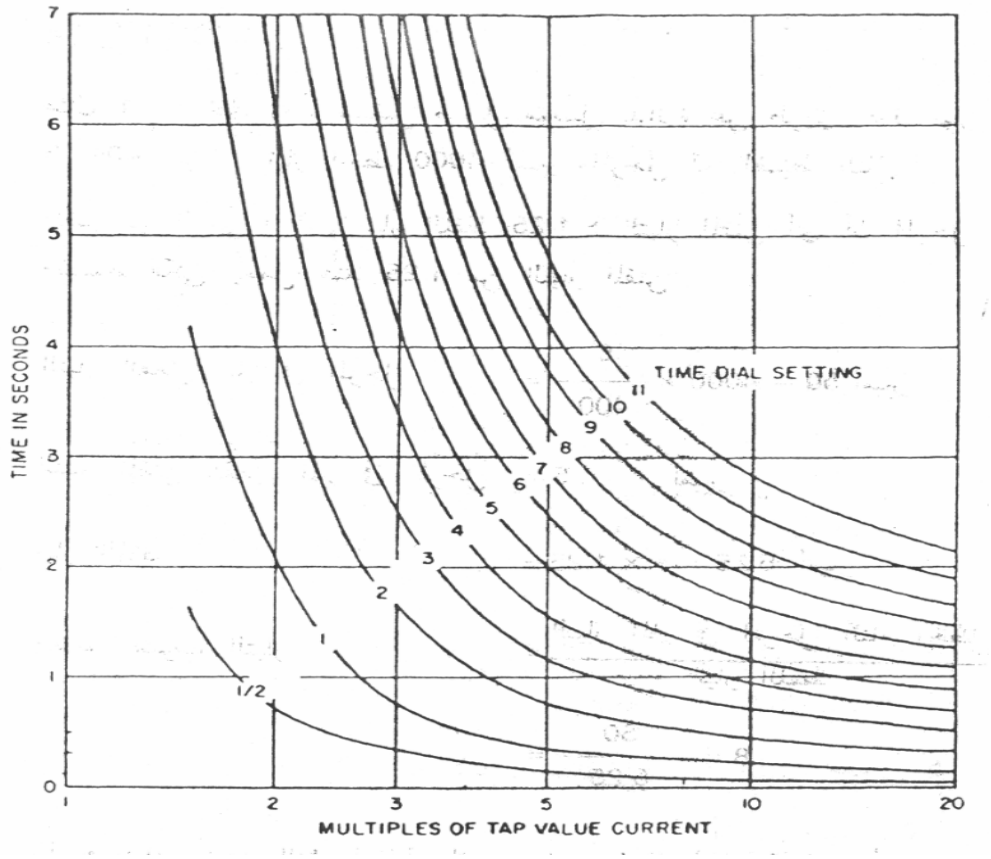
تيارات القصر عند قضبان التوزيع هي كما يلي :

$I_{scA} = 2000$ A , $I_{scB} = 3000$ A , $I_{scC} = 3600$ A

والأحمال لها نفس معامل القدرة.



الشكل (٣- ١٥)



الشكل (٣- ١٦)

الحل

إن إجراء عملية التنسيق للمرحلات العكسية عملية دقيقة ومطولة ويجب إجراؤها بدقة وعناية. وعلى ذلك فسوف نوضح بتفصيل كامل جميع خطوات هذه العملية.

أولاً : يجب معرفة التيار المار في كل مرحل أثناء التشغيل العادي بعد اختيار محول التيار المناسب لكل مرحل . وهذه الخطوة لازمة لتحديد تيارات اللقط في المرحلات المختلفة بحيث يكون تيار اللقط في المرحل أكبر من تيار التشغيل المقنن.

التيار المار في الملف الابتدائي لمحول المرحل A هو :

$$I_A = \frac{S_A}{\sqrt{3}U} = \frac{6\times10^6}{\sqrt{3}\times11\times10^3} = 314.92 \quad A$$

والتيار المار في الملف الابتدائي لمحول المرحل B هو :

$$I_B = 314.92 + \frac{S_B}{\sqrt{3}U} = 314.92 + \frac{3\times10^6}{\sqrt{3}\times11\times10^3} = 472.38 \quad A$$

والتيار المار في الملف الابتدائي لمحول المرحل هو :

$$I_C = 472.38 + \frac{S_C}{\sqrt{3}U} = 472.38 + \frac{8\times10^6}{\sqrt{3}\times11\times10^3} = 892.28 \quad A$$

والتيارات المقننة المارة في كل مرحل هي إذن :

$$i_A = 314.92\times\frac{5}{200} = 7.87 \quad A$$

$$i_B = 472.38\times\frac{5}{200} = 11.809 \quad A$$

$$i_C = 892.28.92\times\frac{5}{400} = 11.15 \quad A$$

وعلى ذلك نختار قيمة تيار اللقط لكل مرحل بحيث توافق أول قيمة تلي قيمة تيار المرحل المقنن ، أي :

المرحل A : $I^0_A = 8$ A

المرحل B : $I^0_B = 12$ A

المرحل C : $I^0_C = 12$ A

ثانيًا : يجب أن تكون خطة الحماية واضحة ومحددة . ففي هذا المثال نحدد المطلوب من خطة الحماية كالآتي :

أ- إذا حدث خطأ ابتداء من محول تيار المرحل A أو أبعد منه يعمل نظام الحماية على A في أقل زمن ممكن ، فإن لم يعمل هذا النظام لأي سبب يعمل نظام الحماية على B بعد إعطاء

تأخير زمني معين عن A في حدود ثانية 0.3 ثانية، وذلك للسماح لأجهزة الحماية والقطع عند A بالعمل.

ب- إذا حدث خطأ ابتداء من محول تيار المرحل B أو أبعد منه وحتى محول تيار المرحل A يعمل نظام الحماية على B في أقل زمن ممكن ، فإن لم يعمل هذا النظام لأي سبب يعمل نظام الحماية على C بعد إعطاء تأخير زمني معين عن B في حدود ثانية 0.3 ثانية، وذلك للسماح لأجهزة الحماية والقطع عند B بالعمل.

ج- إذا حدث خطأ ابتداء من محول تيار المرحل C أو أبعد منه وحتى محول تيار المرحل B يعمل نظام الحماية على C في أقل زمن ممكن .

نبدأ بضبط المرحل A كما يأتي :

تيار القصر في المرحل A نتيجة الخطأ على A أو أبعد منه هو :

$$2000 \times \frac{5}{200} = 50 \quad A$$

وهذه القيمة تساوي I^0_A 6.25 = 50/8 . أي أن معامل ضرب التيار يساوي 6.25. بالرجوع إلى الشكل(٣- ١٦) الذي يعطي المنحنيات الخصائصية للمرحل العكسي نجد أن أقل زمن ممكن للحصول عليه هو باستخدام مضروب زمني مقداره 1/2 وهو يساوي 0.15 ثانية. وبهذا يضبط المرحل A على مضروب زمني 1/2 ومضروب تيار6.25 بحيث يعطي زمن تشغيل مقداره 0 .15 ثانية :

($t_A = 0.15$ sec)

نبدأ بعد ذلك بضبط المرحل B كما يأتي :

يعطي المرحل B تأخيرًا زمنيًا قدره 0 .3 ثانية لنفس الخطأ الواقع على المرحل A أو أبعد منه. وبذلك يكون زمن تشغيل المرحل B لخطأ على المرحل A أو أبعد منه هو :

$$t_B = 0.15 + 0.3 = 0.45 \text{ sec}$$

وتيار القصر المار في المرحل B لهذا الخطأ بالنسبة لتيار اللقط هو I^0_B 4.161 = 50/12 أي أن معامل ضرب التيار يساوي 4.167 وزمن التشغيل هو 0.45 sec. وبالرجوع إلى

الشكل(٣- ١٦) نجد أن المنحنى الذي يحقق هذا الشرط هو المنحنى ذو المضروب الزمني وبذلك يكون قد تحدد منحنى تشغيل المرحل B.

ولخطأ على B نحدد زمن تشغيل المرحل B بمعرفة تيار القصر المار فيه وهو يساوي:

$$3000 \times \frac{5}{200} = 75 \quad A$$

وهذه القيمة تساوي I^0_B 6.25 = 75/12 وبالرجوع إلى منحنى تشغيل المرحل B الذي يناظر مضروبا زمنيا مقداره 1 نجد أن زمن تشغيل المرحل لهذا الخطأ هو 0.35 ثانية.

يضبط المرحل C بعد ذلك بإعطائه تأخيرا زمنيا قدره 0.3 ثانية عن زمن تشغيل B لخطأ بين A و B ،أي أن :

$$T_C = 0.35 + 0.3 = 0.65 \text{ sec}$$

وتيار القصر المار في المرحل C لهذا الخطأ (نسبة إلى تيار اللقط) هو:

$$3000 \times \frac{5}{400} \times \frac{1}{12} = 3.125 \quad I^0_C$$

وبنفس طريقة ضبط المرحل B ، لتيار مقداره I^0_C 3.125 وزمن تشغيل مقداره 0.65 ثانية نجد أن المضروب الزمني المناظر هو 1.

ولتحديد زمن عمل المرحل C لخطأ بين B و C ،تيار القصر المار في المرحل C لهذا الخطأ هو:

$$3600 \times \frac{5}{400} \times \frac{1}{12} = 3.75 \quad I^0_C$$

وزمن التشغيل المناظر على منحنى المضروب الزمني 1 يساوي 0.5 ثانية.

وبذلك تكون عملية الضبط والتنسيق بين المرحلات الثلاث قد تمت.

نلاحظ أن اختيار المرحل له تأثير كبير على زمن التشغيل. ففي هذا المثال إذا كانت الأزمنة التي تم الحصول عليها للمرحلات A و B و C غير ملائمة لظروف التشغيل الأخرى أو لاعتبارات معينة كمواصفات الكابلات وقواطع التيار مثلا ، فيمكن اختيار مرحلات ذات منحنيات تشغيل أخرى (من عكسية فائقة إلى عكسية محددة للزمن)

الوحدة الرابعة

حماية المحولات والمولدات والمحركات الكهربائية

الهدف العام للوحدة:

١- فهم طرق حماية المحولات من الأخطاء الداخلية والخارجية.
٢- معرفة الطرق المختلفة التي تستعمل في حماية المولدات الكهربائية
٣- معرفة الطرق المختلفة التي تستعمل في حماية المحركات الكهربائية
٤- معرفة تركيب وأسس عمل المحركات.

الأهداف التفصيلية :

١- أن يفهم المتدرب الحماية التفاضلية وكيفية استخدامها لحماية المحولات..
٢- أن يعرف المتدرب طرق حماية المحولات ضد زيادة الحمل.
٣- أن يتعرف المتدرب على جهاز البوخولز لحماية المحول
٤- أن يعرف المتدرب كيفية حماية المولدات الكهربائية باستخدام الحماية التفاضلية.
٥- أن يعرف المتدرب كيفية حماية المولدات الكهربائية ضد القصر بين اللفات.
٦- أن يعرف المتدرب كيفية حماية المولدات الكهربائية ضد زيادة الحمل.
٧- أن يعرف المتدرب كيفية حماية المحركات الكهربائية متوسطة الحجم.
٨- أن يعرف المتدرب كيفية حماية المحركات الكهربائية من التيار المفرط.
٩- أن يعرف المتدرب كيفية اختيار مرحلات الحمل الزائد.

الوحدة الرابعة : حماية المحولات والمولدات والمحركات الكهربائية

الجزء الأول : حماية المحولات الكهربائية Transformer Protection

١.٤ - حماية المحولات الكهربائية Transformer Protection

١.١.٤ - مقدمة

طريقة حماية المحولات الكهربائية تعتمد اعتمادًا كليًا على وظيفة وموقع المحول في الشبكة بالإضافة إلى مقنن المحول. فمثلا محولات التوزيع ذات مقنن أقل من 2.5 MVA يتم حمايتها بواسطة المصهرات أما المحولات التي يتراوح مقنن قدرتها الظاهرية من 2.5 MVA to 5 MVA 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) .

٢،١.٤ - 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.

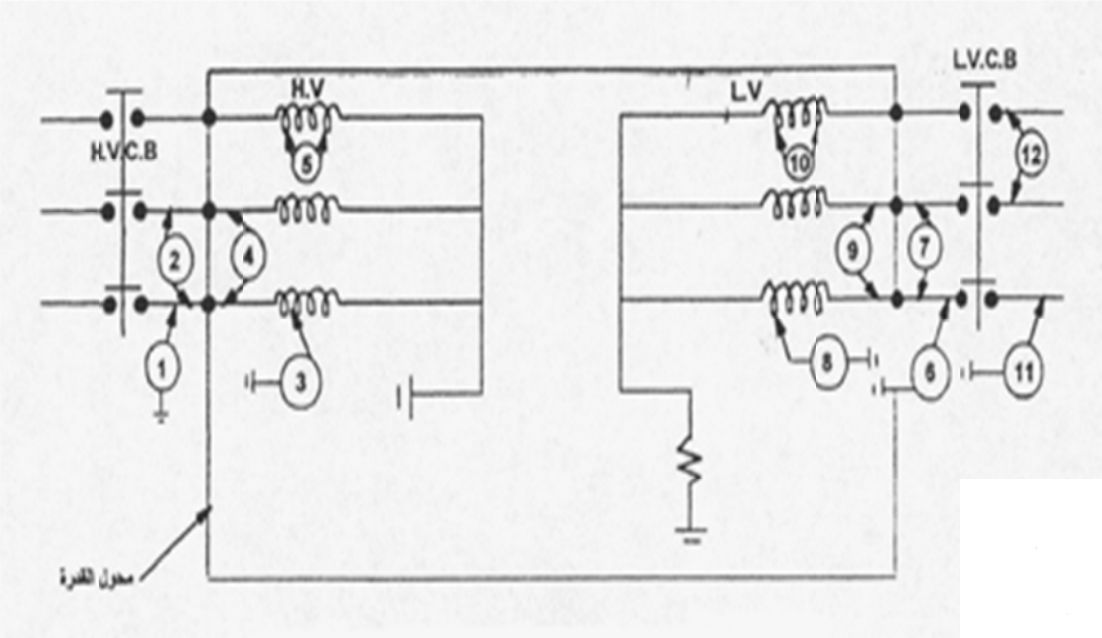
٨. قصر داخلي (أرضي) على أحد ملفات الجهد المنخفض.

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.



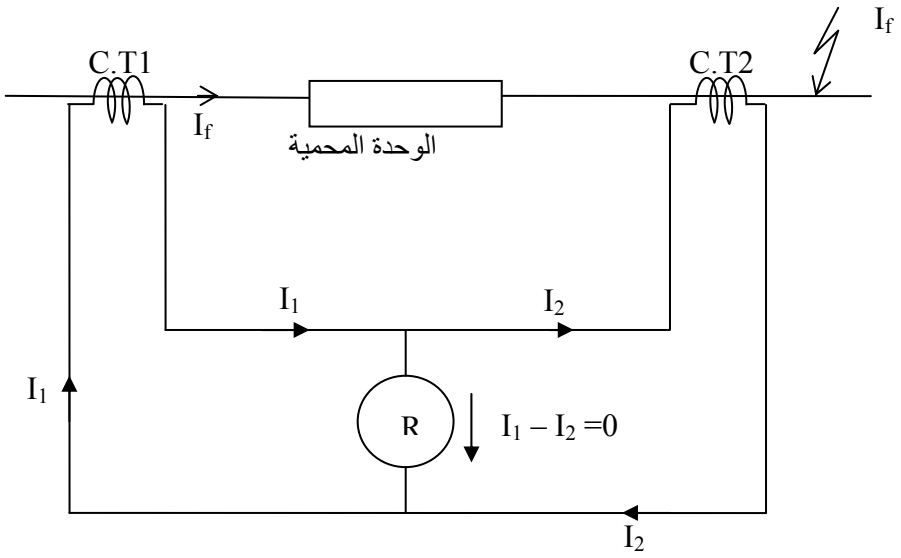
شكل (٤ ـ ١) الأخطاء الشائعة في محول القدرة

٤.١.٣ - الحماية التفاضلية Differential Protection

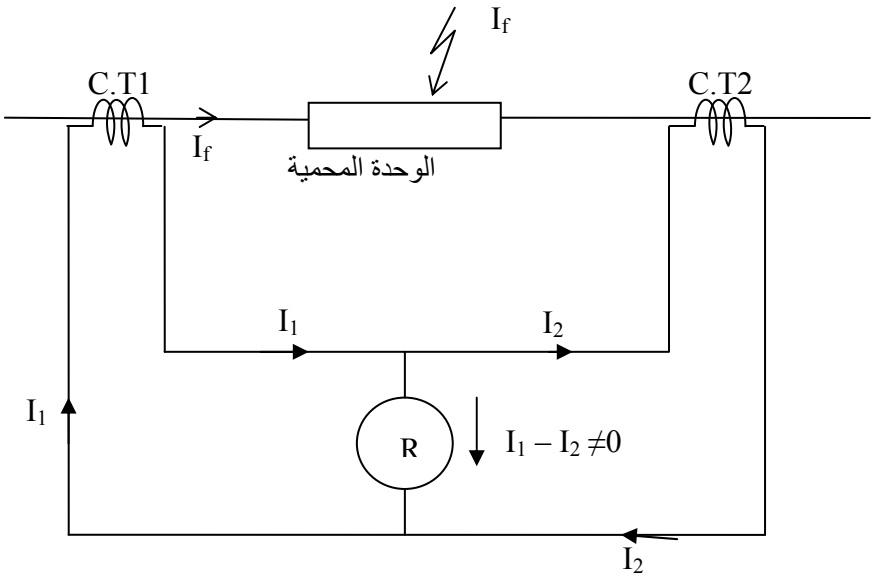
إن استخدام مرحلات زيادة التيار لا يفي بجميع الشروط الوقائية اللازمة في منظومة القدرة الكهربائية. فقد لاحظنا بأن زمن الفصل يزيد دائمًا باتجاه المصدر بغض النظر عن طريقة التدرج المستخدمة. وهذا بدوره قد يشكل خطرًا على محطات التوليد وكذلك على محطات التحويل بالإضافة إلى التأثير المباشر على اتزان الشبكة. لذلك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

أ- 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 ألا 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 صفرًا وهذا هو المطلوب. ولكن في الحقيقة نجد أن التيار المار في المرحل في هذه الحالة يساوي الفرق بين تيارات المغنطة Magnetising currents المارة في محولات التيار CT_1 , CT_2 . وحتى لو استخدمنا محولات تيار متشابهة تماما من حيث التيار المقنن والشركة المصنعة ونسبة التحويل فإننا لا نضمن بأن يكون لهما نفس تيارات المغنطة. بمعنى آخر فإنه من الناحية العملية سيكون هنالك فرق في الخواص المغناطيسية للمحولات. هذا الفرق مهما كان طفيفا سيؤدي إلى عدم اتزان في عمل المرحل وخصوصا نتيجة الأعطال خارج منطقة الحماية. وعمليا تحل هذه المشكلة بإحدى الطريقتين:

١.استخدام مرحلات تفاضلية عالية المعاوقة High impedance differential relays

٢.استخدام مرحلات تفاضلية انحيازية Biased differential relays

٤،١،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

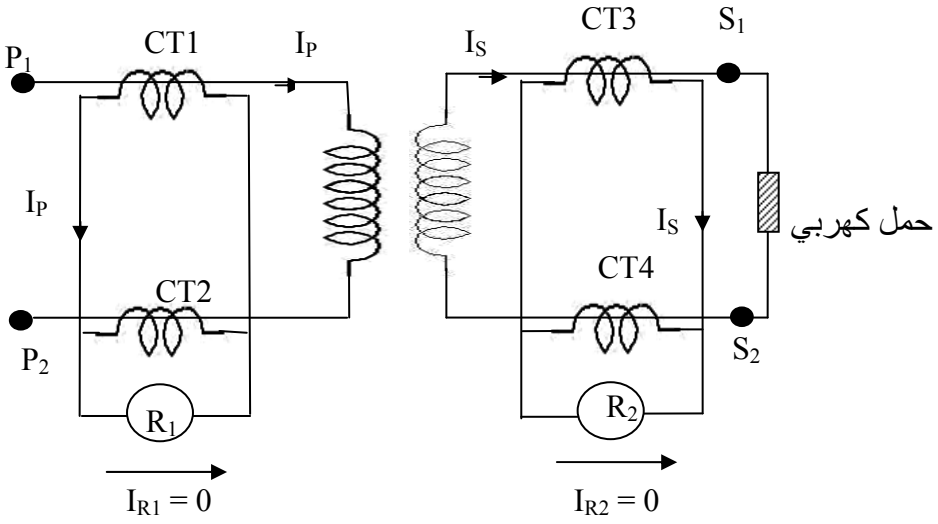
٢.الحماية التفاضلية المتكاملة Overall winding differential protection

أ- 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 :

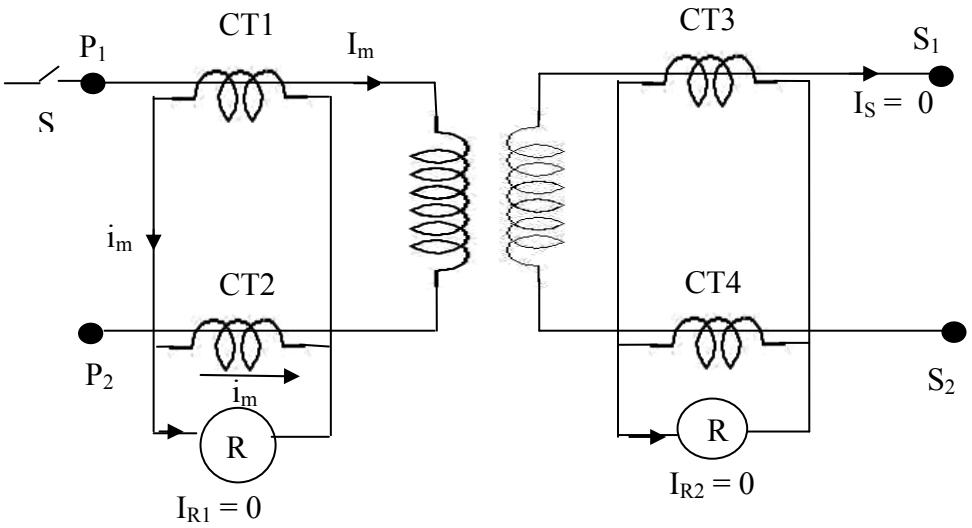
- يجب ألا تعمل الحماية تحت ظروف التشغيل العادية.
- يجب ألا تعمل الحماية نتيجة تيار المغنطة اللحظي المار في محول القدرة لحظة إدخاله إلى الشبكة.
- يجب ألا تعمل الحماية نتيجة خطأ خارجي.
- يجب أن تعمل الحماية نتيجة الخطأ الواقع خلال منطقة الحماية.

الشكل (٤ ـ ٤) يمثل المحول في حالة تحميل عادية. ولذلك فإن التيارات في محول التيارات $C.T_1$, $C.T_2$ متساوية القيمة ومتضادة في الاتجاه وبالتالي فإن المرحل R_1 لا يعمل وكذلك الحال بالنسبة للمرحل R_2



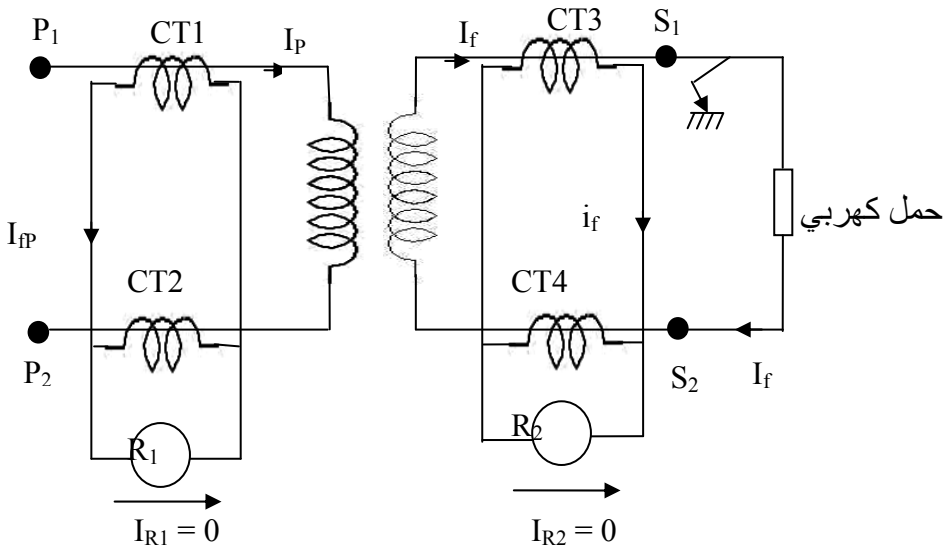
شكل (٤ ـ ٤) المحول في حالة تشغيل عادية

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_2 لا يعمل. أما التيار الابتدائي لحظة قفل المفتاح S يبدأ بقيمة كبيرة قد تصل إلى (8 – 10) من مقنن تيار المحول. وهذا التيار يسمى تيار المغنطة اللحظي (Magnetising inrush current) وسيمر هذا التيار (i_m) في كل من محولي التيار CT_1 و CT_2 , وفي اتجاهات متعاكسة فتكون محصلة التيار المار في المرحل R_1 صفرا وبالتالي فإن المرحل لا يعمل وهذا هو المطلوب.



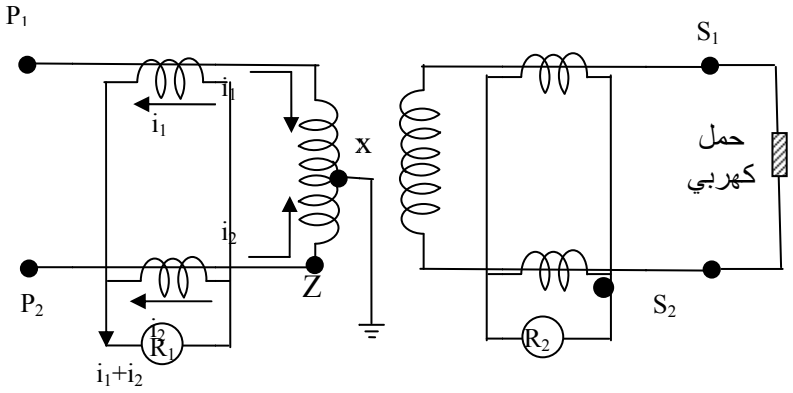
شكل (٤ ـ ٥) المحول في حالة إدخال إلى الشبكة

شكل (٤ ـ ٦) يمثل حالة قصر أرضي خارجي على أطراف الملف الثانوي وعليه فإن تيار القصر سوف يمر في محولات التيار CT_4 , CT_3 وفي اتجاهين متضادين وبالتالي فإن التيار الذي يمر في المرحل R_2 سيكون صفر ($I_{R2} = 0$) . والأمر نفسه ينطبق على المرحل R_1 وهذا هو المطلوب.



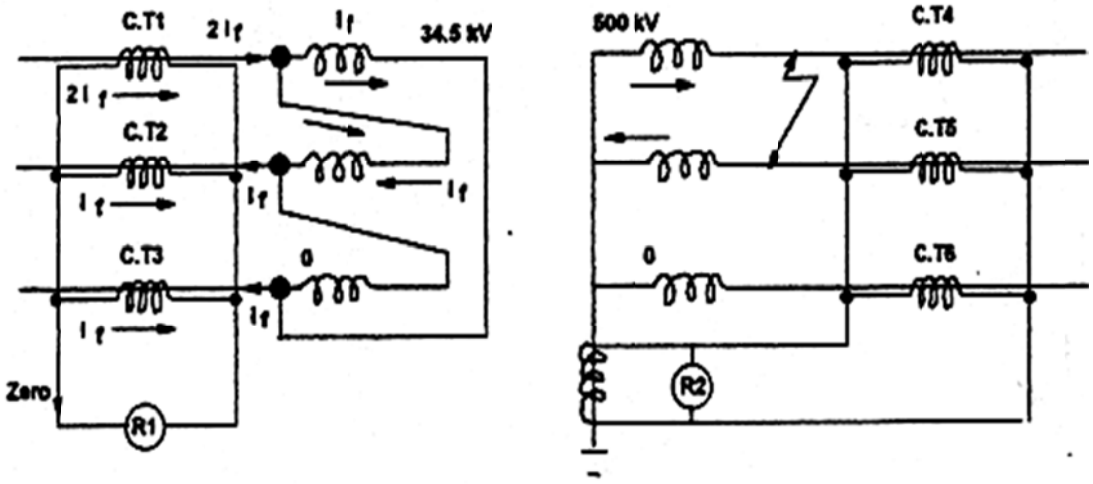
شكل (٤ ـ ٦) المحول في حالة خطأ أرضي خارجي

الشكل (٤ ـ ٧) يمثل حالة قصر بين ملفات الابتدائي والأرضي عند النقطة X (خطأ داخلي). من الواضح أن التوازن بين التيارات المارة في محولات التيار CT_1 , CT_2 قد انعدم في هذه الحالة. وكلما اقتربت نقطة الخطأ من Z سيزيد I_2 ويقل I_1 وسيعمل المحول في هذه الحالة كمحول ذاتي. ومحصلة التيارين I_1 , I_2 ستمر في المرحل R_1 وتكون كافية لعمل المرحل نتيجة خطأ داخلي.



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

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



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

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

مزايا الوقاية التفاضلية المنفصلة للمحولات يمكن تلخيصها كما يلي :

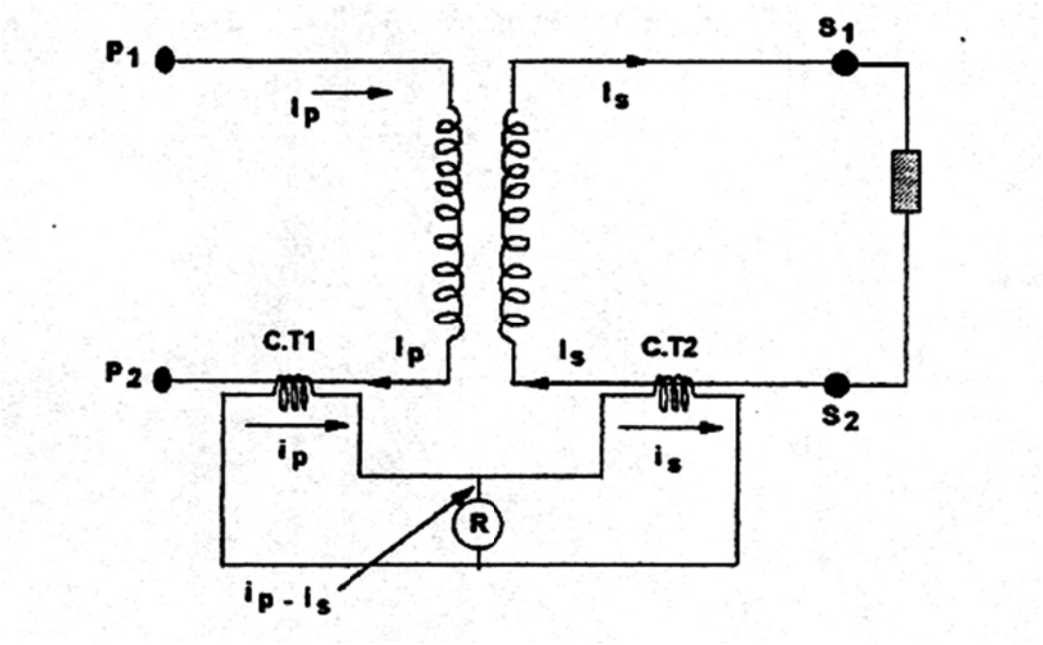
- لا تتأثر بتيار الحمل ولا الأخطاء الخارجية أو تيار المغنطة اللحظي.
- لا تتأثر بنسبة التحويل لمحول القدرة أو محولات التيار.
- تؤمن وقاية كاملة لملفات المحول إذا كانت نقطة تعادل النجمة مؤرضة تأريضًا مباشرًا.

أما عيوب هذه الطريقة من الوقاية فتتلخص فيما يلي:

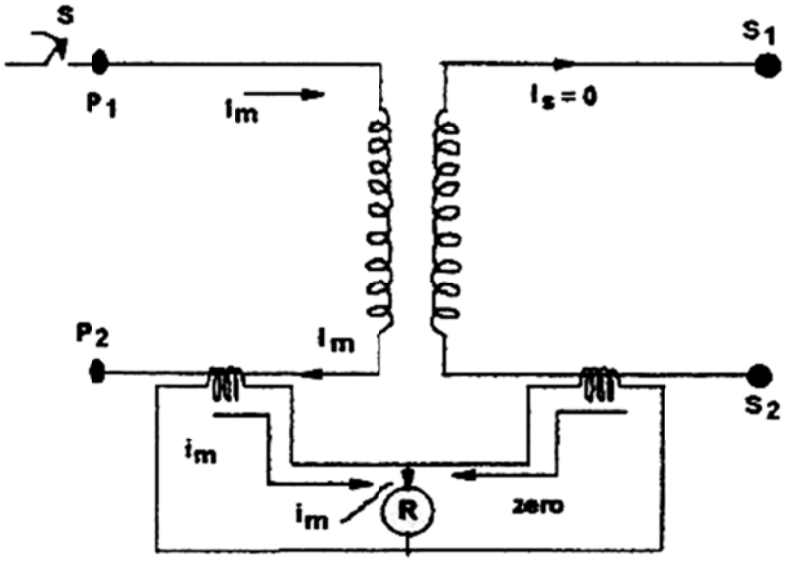
- لا يمكنها كشف حالة القصر الداخلية بين وجهين أو ثلاثة أوجه.
- لا تؤمن وقاية كاملة لملفات المحول إذا كانت نقطة التعادل النجمة مؤرضة من خلال معاوقة أو مقاومة عالية.

ب- الحماية التفاضلية المتكاملة Overall differential protection

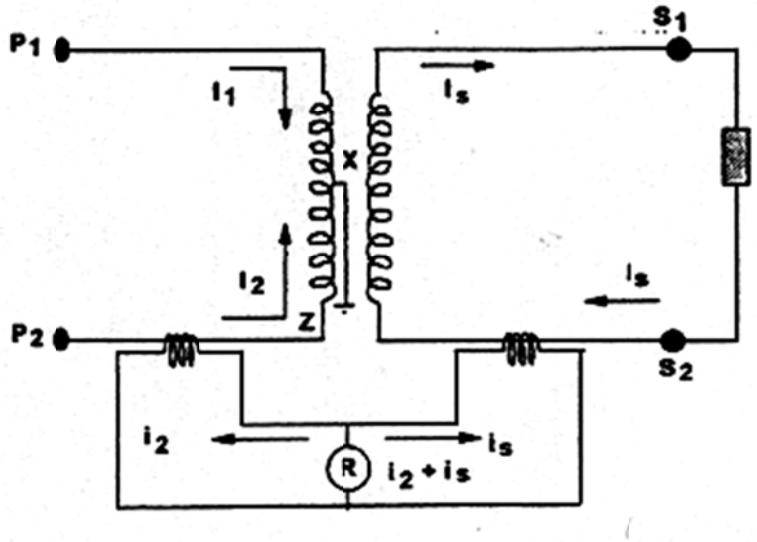
في هذه الحالة يتم وقاية المحول كوحدة متكاملة أي أن شروط التوازن يجب أن تتحقق بين تيار الابتدائي والثانوي كما هو مبين في شكل (٤ ـ ٩) ، شكل (٤ ـ ١٠) ، شكل (٤ ـ ١١) وكذلك شكل (٤ ـ ١٢) .



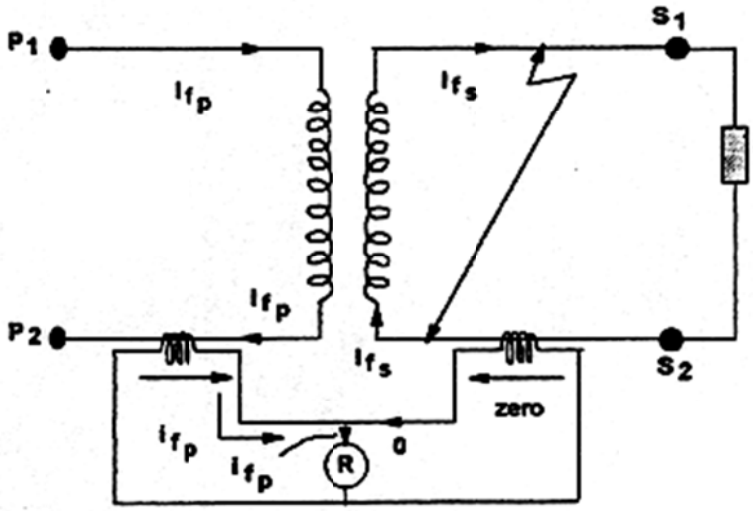
شكل (٤ ـ ٩) المحول في حالة تشغيل عادية



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 مصحوبًا بتيارات توافقية عالية التردد من الدرجة الثانية والثالثة .....وهذا شيء غير مرغوب فيه.

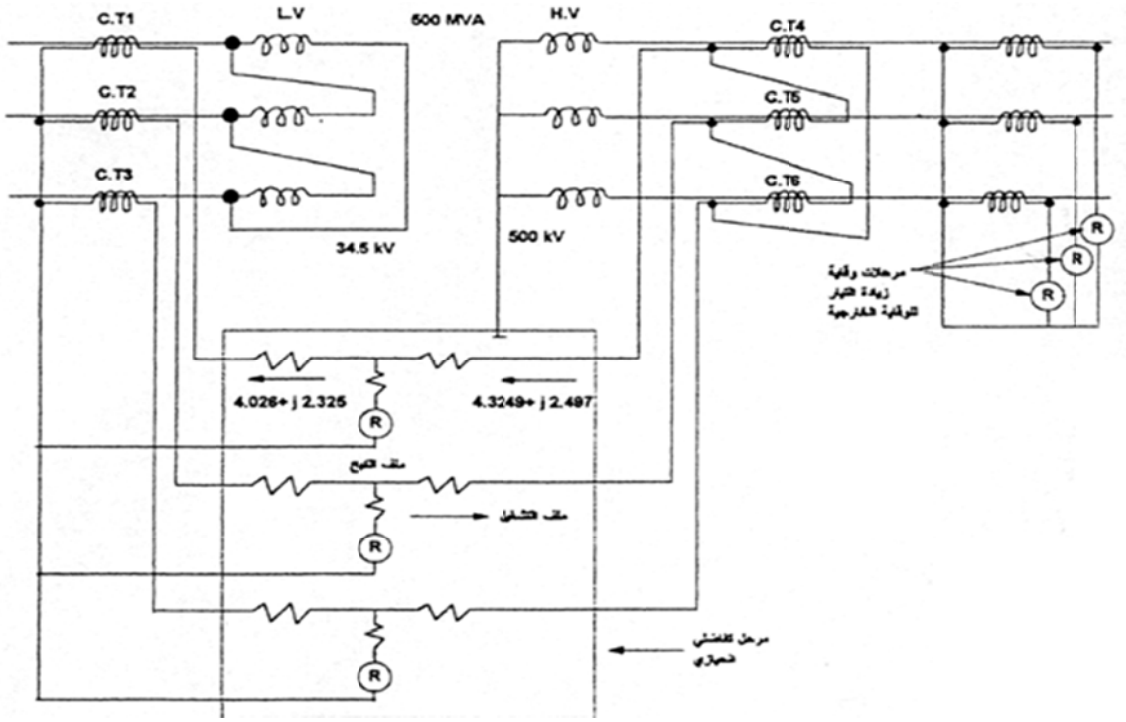
- يتأثر هذا النظام من الحماية بالأخطاء الداخلية الأرضية والأخطاء الخارجية بين الأوجه وهذا مطلوب.

- يبقى متزنا تحت ظروف التشغيل العادية والأخطاء الخارجية بشرط أن يتحقق تطابق كلي بين CT_1, CT_2 وهذا يصعب تحقيقه عمليًا.
- أي عدم تطابق بين CT_1 , CT_2 من ناحية نسبة التحويل أو تيار المغنطة قد يؤدي إلى عمل المرحل تحت ظروف التحميل العادية أو خارج منطقة الحماية أضف إلى ذلك العوامل التالية.

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

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

وعلى 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 500 MVA والجهد ناحية الدلتا هو 34.5 kV والجهد ناحية النجمة 500 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 :

$$I_a = \frac{500 \times 10^6}{\sqrt{3} \times 500 \times 1000} = 577.35 \angle 0°$$

والتيار في خط الدلتا (الوجه A) هو

$$I_{a\Delta} = \frac{500 \times 10^6}{\sqrt{3} \times 34.5 \times 1000} = 8367.165 \angle 30°$$

إذا نختار نسبة التحويل لمحول التيار CT_1 كما يلي : 5 / 9000

وبالتالي فإن القيمة المطلقة لتيار الثانوي في CT_1 تساوي

$$\frac{8367.165}{1800} = 4.65 \text{ A}$$

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

$$4.65 \angle 30° = 4.026 + j2.325 \text{ A}$$

إذا حتى يكون تيار الكبح ن الجزء الثاني من ملف الكبح مساويا (4.65 A) يجب أن تكون نسبة تحويل CT_4 بحيث يكون تيار الثانوي المار فيه مساويا ($\sqrt{3}$ / 4.65) .و حيث إن I_a = 577.35 A فإن نسبة التحويل لمحول التيار CT4 هي :

$$CT_4 = - (577.35 / 2.68) = 1077.16 : 5$$

وعلى ذلك نختار نسبة التحويل لمحول التيار CT_4 بنسبة 5 : 1000 .

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 : $I_1 - I_2 = 0.2989 + j0.172 \ A$

وعليه فإن :

$$K_1 = \left| I_1 - I_2 \right| = 0.344 \ A$$

ولكن :

$$[(I_1 + I_2) / 2] = 4.17545 + j \ 4.822$$

وبالتالي :

$$K_2 = \left| (I_1 + I_2) / 2 \right| = 6.374 \ A$$

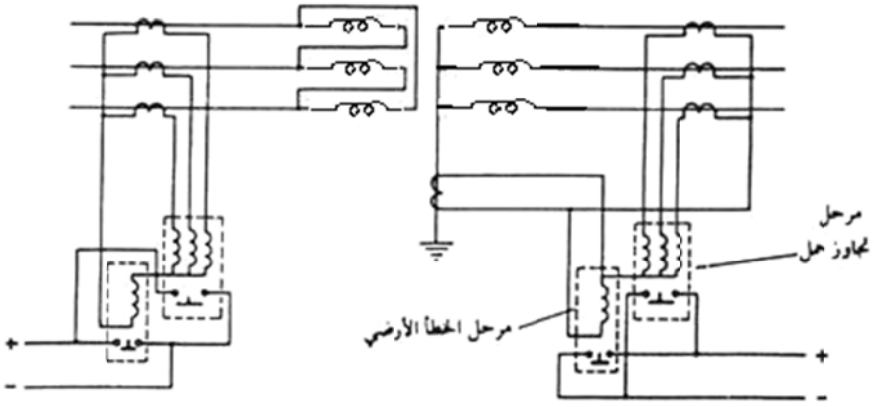
وعلى هذا فإن :

$$K_1 / K_2 = 0.344 / 6.374 = 0.054 = 5.4 \ \%$$

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 5.4 % أي عند K = 10 % .

٥،١،٤- حماية المحول ضد زيادة الحمل

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



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

٦،١،٤- 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.

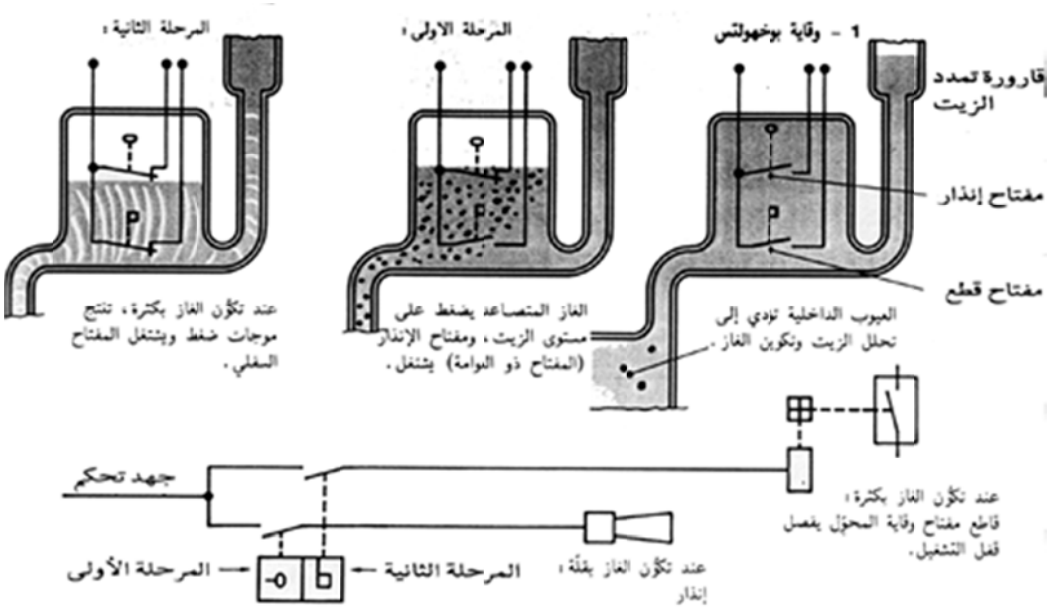
وبالنسبة لنظرية عمل هذا المرحل فهي كالتالي :

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 شديدًا جدًا وعلى شكل

٣.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 أيضًا 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 يدويًا 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 .فمثلاً وجود غاز الهيدروجين وغاز الإسيتلين يدل على وجود قوس كهربائي 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

أسئلة الوحدة الرابعة – الجزء الأول

١- ما هي العوامل التي يتوقف عليها طريقة حماية المحولات الكهربائية..

٢- اذكر ما هي الحماية الأساسية التي يتم استخدامها لحماية المحولات الكهربائية بنوعيها محولات التوزيع ومحولات القدرة .

٣- لتصميم نظام حماية مناسب لمحولات القدرة لابد من الإلمام بمعظم الأخطاء التي يتعرض لها المحول. اذكر أهم هذه الأخطاء.

٤- اشرح مع التوضيح بالرسم نظرية وطريقة عمل المرحلات التفاضلية لحماية الوحدات الكهربائية.

٥- تمثل تيارات المغنطة في المحولات مشكلة في عمل المرحلات التفاضلية عند استخدامها لحماية المحولات. ما هي الطرق المستخدمة لحل هذه المشكلة عمليًا.

٦- اشرح مع التوضيح بالرسم كيف يمكن استخدام الحماية التفاضلية لحماية محولات القدرة الكهربائية.

٧- ما هي الشروط التي يجب أن تتحقق كي يكون نظام الحماية المستخدم في محولات القدرة متزنًا.

٨- اشرح مع التوضيح بالرسم الفرق بين الحماية التفاضلية المنفصلة للمحول والحماية التفاضلية المتكاملة

الجزء الثاني : حماية المولدات الكهربائية Generator protection

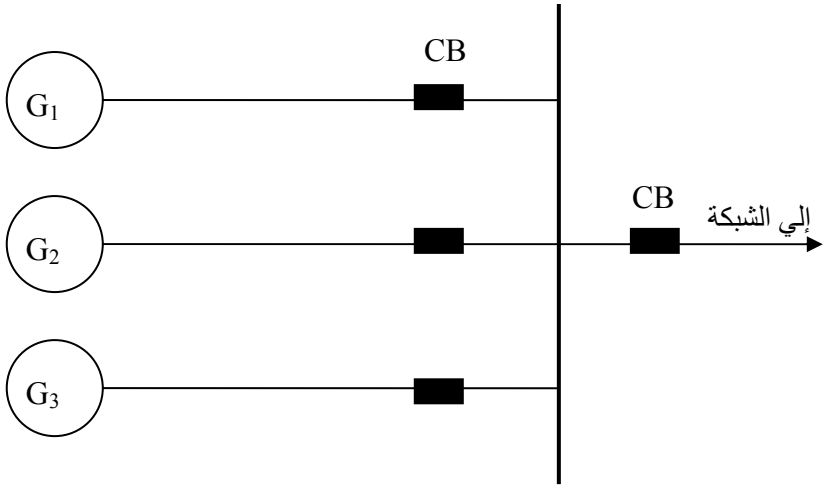
٢.٤ . حماية المولدات الكهربائية

١.٢.٤- مقدمة

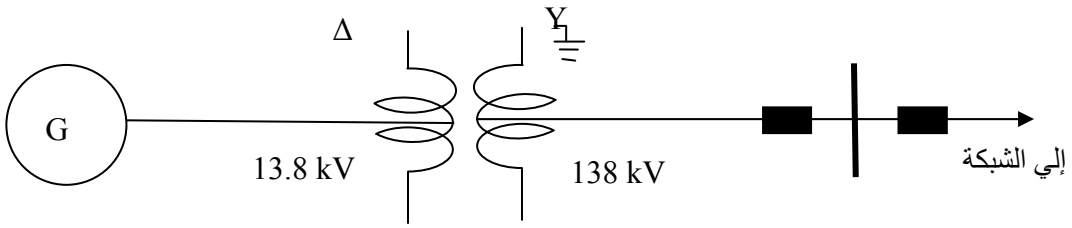
مقنن المولدات الكهربية يعتمد اعتمادًا كليًا على نوع المحرك الميكانيكي (prime Mover) والمقننات النموذجية للمولدات هي كما يلي :

- مولد يعمل بواسطة محرك ديزل 10kVA – 1.7 MVA
- مولد يعمل بواسطة تربينة الغاز 10MVA – 150 MVA
- مولد يعمل بواسطة تربينة بخارية 100 MVA – 600 MVA
- مولد يعمل بواسطة تربينة هيدروليكية 50 MVA – 300 MVA

المولدات الصغيرة يتم ربطها إلى الشبكة الكهربائية مباشرة من خلال قاطع آلي كما هو موضح في شكل (٤ ـ ١٧) . 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 (٤ ـ ١٦).



شكل (٤ ـ ١٦) ربط المولدات الصغيرة بالشبكة الكهربائية



شكل (٤ ـ ١٧) ربط المولدات الكبيرة بالشبكة الكهربائية

٤ .٢ .٢- أعطال المولدات Generators Faults

أ- 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.

ب- 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 الثابت 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 500 V بينما يعمل العضو الثابت عند جهد يتراوح بين 13.8 – 23 kV .

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

ج- أعطال أخرى Other generators faults

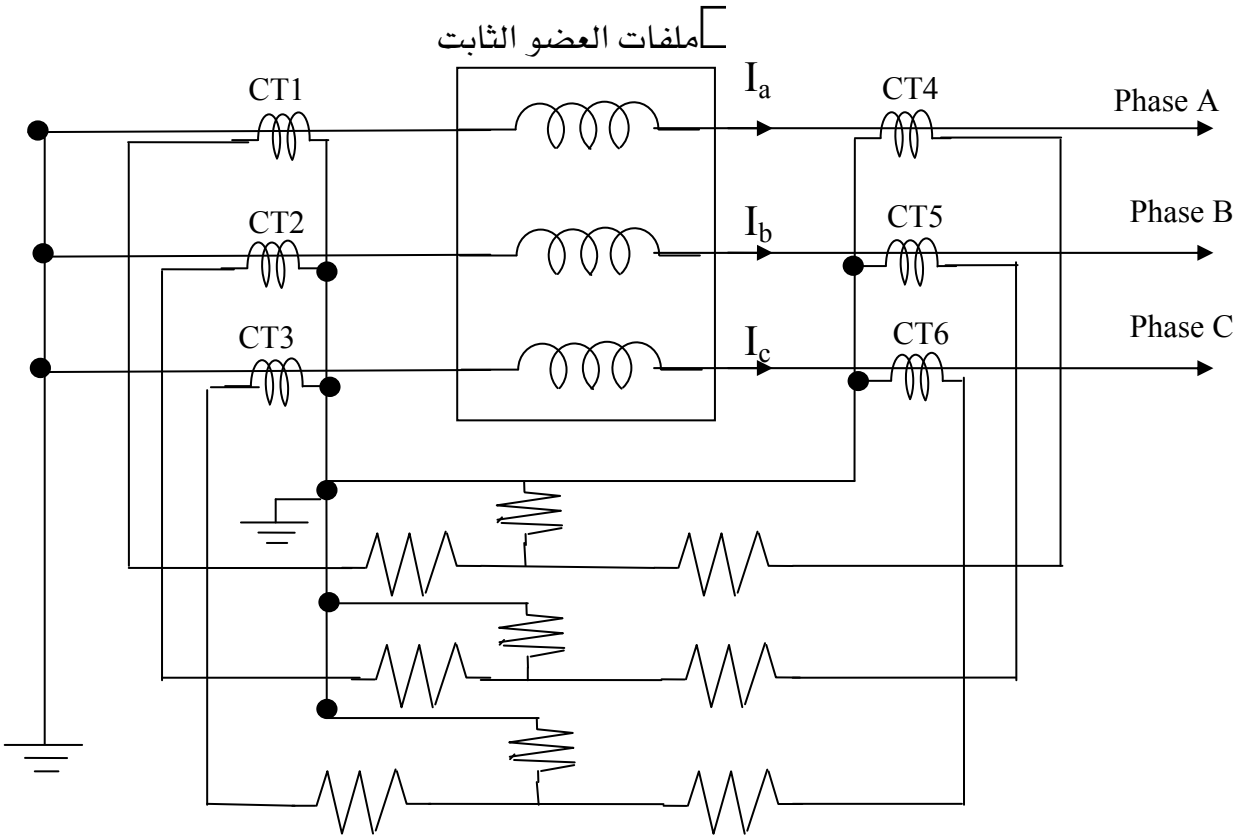
بعض الأعطال التي يتعرض لها المولد بشكل عام يمكن أن تتلخص فيما يلي :

- 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.

٤.٢.٣- الحماية الأساسية للعضو الثابت Stator Main Protection

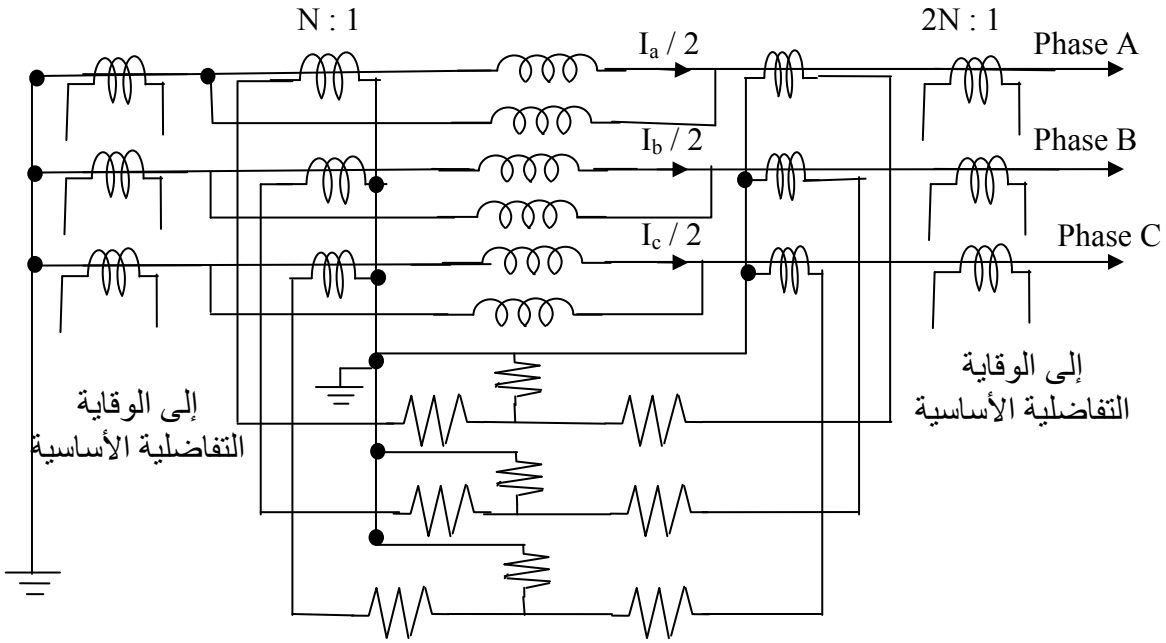
أ- الحماية التفاضلية Differential Protection

الوقاية الأساسية لملفات العضو الثابت ضد الأخطاء الداخلية تتم عادة عن طريق استخدام الوقاية التفاضلية الانحيازية كما هو موضح في الشكل (٤ ـ ١٨).



شكل (٤ ـ ١٨) حماية ملفات العضو الثابت بواسطة الوقاية التفاضلية.

أما بالنسبة للمولدات الكبيرة (ذات مقنن تيار عال جدًا) فإنه يتم تجزئة ملفات العضو الثابت إلى ملفان لكل وجه split winding . وبالتالي فإن الوقاية التفاضلية الموضحة في شكل (٤ ـ ١٨) لا يمكنها كشف عطل الدائرة المفتوحة. لذلك لابد من استخدام وقاية تفاضلية إضافية في هذه الحالة كما هو موضح في شكل (٤ ـ ١٩).



شكل (٤ ـ ١٩) حماية ملفات العضو الثابت المجزئة بواسطة الوقاية التفاضلية الانحيازية

ب- 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.

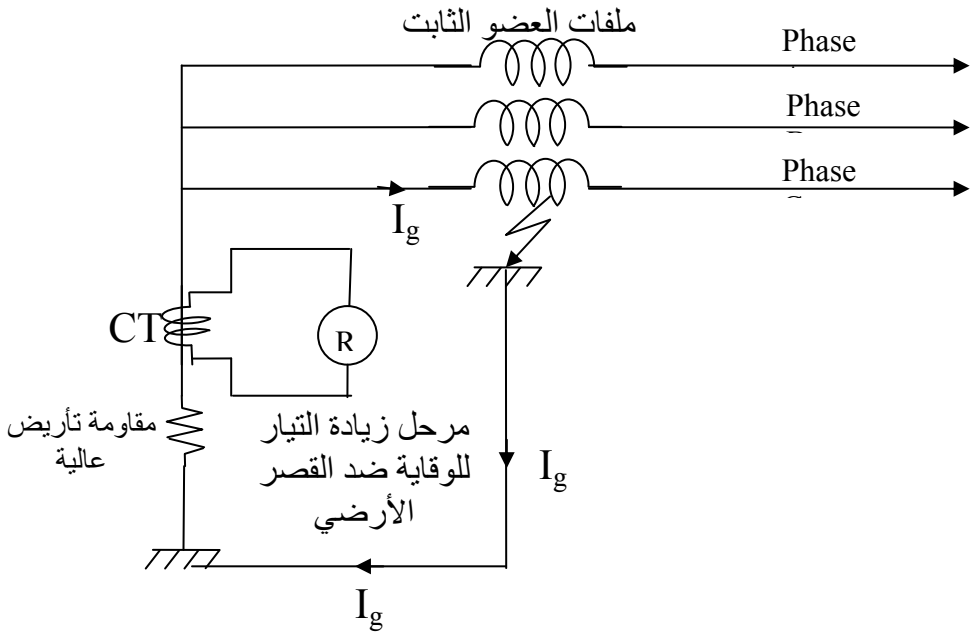
في المولدات الصغيرة أو المتوسطة الحجم تتم عملية التأريض من خلال مقاومة عالية High resistance . والهدف من وجود هذه المقاومة هو خفض تيار الخطأ الأرضي إلى قيمة مساوية للتيار المقنن للمولد، يتم توصيل محول التيار CT في دائرة الأرضي لمراقبة وقياس تيار الخطأ. ملفات الثانوي لمحول التيار توصل إلى مرحل زيادة التيار 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 5

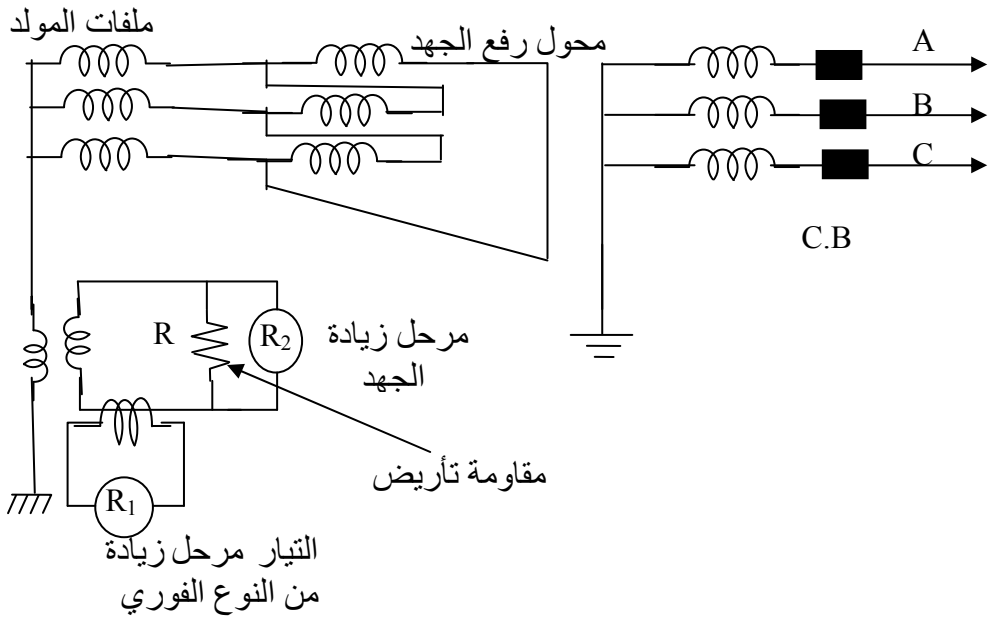
و 10 kVA وجهد الثانوي يتراوح بين 100, 500 V . مقاومة التأريض نفسها يتم توصيلها على أطراف ملفات الثانوي لمحول الجهد وقيمتها تتراوح بين 100, 200 Ω . ويتم اختيار مقاومة التأريض بحيث لا يزيد تيار القصر الأرضي المار في ملفات العضو الثابت عن 10 A .

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 10 V شكل (٤ ـ ٢٠) 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 (٤ ـ ٢٠) حماية المولدات الصغيرة أو متوسطة الحجم ضد التيار الأرضي

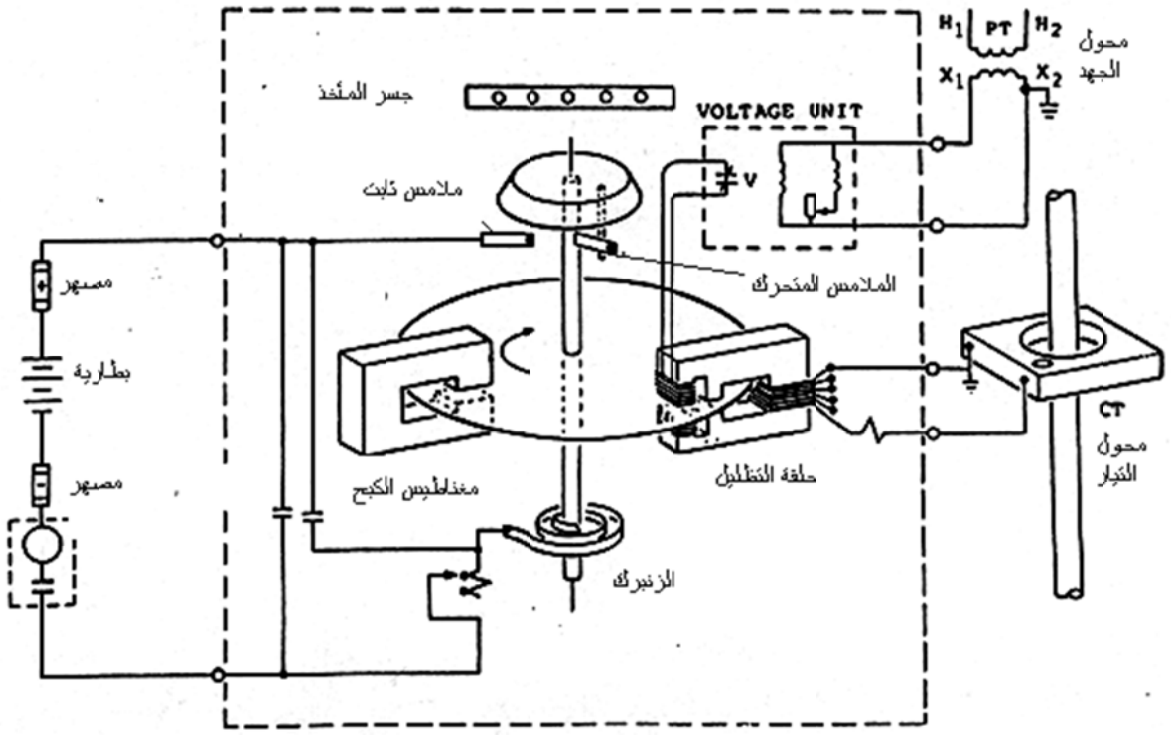


شكل (٤ ـ ٢١) حماية المولدات الكبيرة ضد القصر الأرضي

٤ . ٢ . 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 مصحوبًا بانخفاض مفاجئ في جهد التوليد. لذلك فإن مرحل زيادة التيار المحكوم بالجهد هو عبارة عن مرحلين معا مرحل زيادة التيار ومرحل نقص الجهد شكل (٤ ـ ٢٢).

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 % 80 من جهد التوليد). ولكن بمجرد حصول خطأ داخل المولد وفشل الوقاية التفاضلية في العمل فإن جهد التوليد سينخفض إلى قيمة أقل من % 80 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 (٤ ـ ٢٢) مرحل زيادة التيار المحكوم بالجهد

٤ . ٢ . 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 الارتفاع زائد في درجة الحرارة فإن هذا يؤدي إلى عمل أجهزة الإنذار وتدخل الفني لفصل بعض الأحمال عن المولد بدلا من فصل المولد كليًا عن الشبكة.

أسئلة الوحدة الرابعة : حماية المولدات الكهربائية

١- من المعروف أن مقنن المولدات الكهربائية يعتمد اعتمادًا كليًا على نوع المحرك الميكانيكي. اذكر المقننات النموذجية للمولدات الكهربائية.

٢- اذكر الأعطال الميكانيكية التي يمكن أن تحدث على المولدات الكهربائية.

٣- اذكر الأعطال الكهربائية التي يمكن أن تحدث على العضو الثابت للمولد.

٤- اذكر الأعطال الكهربائية التي يمكن أن تحدث على العضو الدوار للمولد.

٥- اشرح مع التوضيح بالرسم كيف يمكن استخدام الحماية التفاضلية لحماية ملفات العضو الثابت للمولدات.

٦- اشرح مع التوضيح بالرسم كيف يمكن حماية المولدات الكهربائية الصغيرة والمتوسطة الحجم ضد التيار الأرضي.

٧- اشرح مع التوضيح بالرسم كيف يمكن حماية المولدات الكبيرة ضد القصر الأرضي.

الجزء الثالث : حماية المحركات الكهربائية Motor protection

٣.٤ - حماية المحركات الكهربائية

١،٣،٤ - مقدمة

يعتمد نوع الحماية المستخدم بالنسبة للمحركات أولاً وأخيرًا 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 استخدامًا 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 تيارًا كبيرًا سيمر في ملفات العضو الدوار. إذا فإن التيار المسحوب من مصدر التغذية لحظة البدء سيكون كبيرًا جدًا من 8 – 7 مرات من التيار المقنن للمحرك. وبمجرد أن يبدأ العضو الدوار بالحركة فإن التيار المسحوب من مصدر التغذية سيقل إلى 6 – 5 مرات من التيار المقنن ويبقى التيار ثابتًا حتى يصل المحرك إلى 80 % 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.

٢،٣،٤- الأخطاء المحتملة الحدوث في المحركات الكهربائية Possible Motor Faults

الأخطاء الشائعة الحدوث في المحركات الكهربائية 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

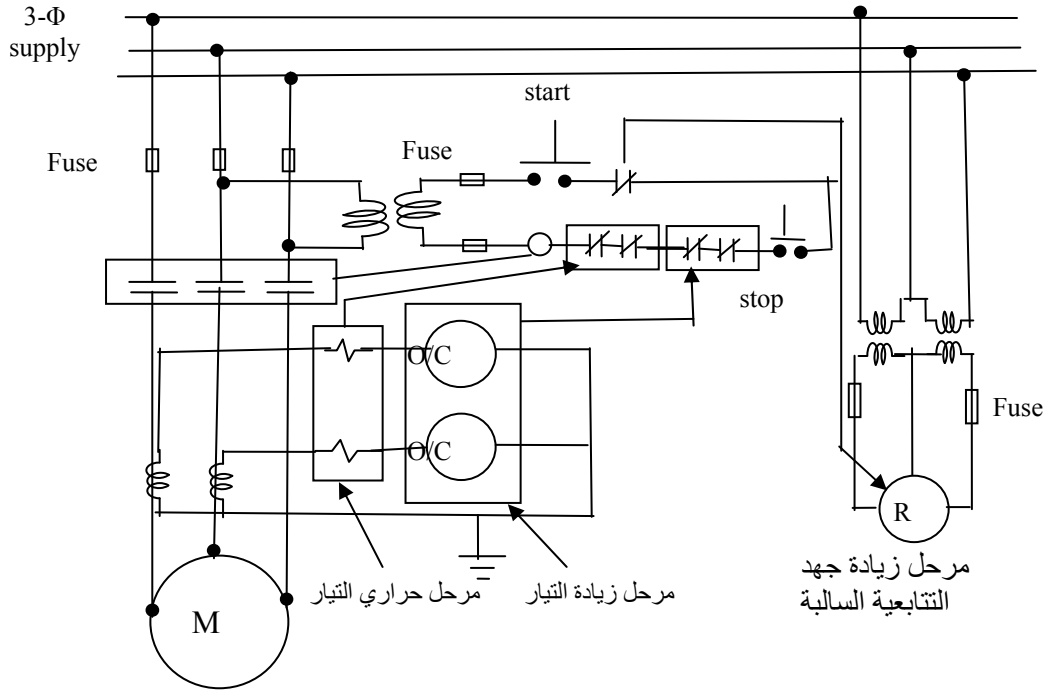
٤- عدم توازن في جهد التغذية Unbalanced power supply

٥- نقص جهد التغذية Under Voltage

٦- نقص التيار Under current

٣،٣،٤ - حماية المحركات متوسطة الحجم من التيار المفرط
Protection of medium size motors (300 HP – 1000 HP)

بشكل عام فإن المحركات الكهربائية ذات مقنن خرج أقل أو يساوي 1000 HP تعمل عند جهد 600 V أو أقل بينما تعمل المحركات الكبيرة عند جهود عالية قد تصل إلى 13.8 kV . والشكل (٤- ٢٣) يبين الحماية الأساسية لمحرك متوسط الحجم أقل من 1000 HP .



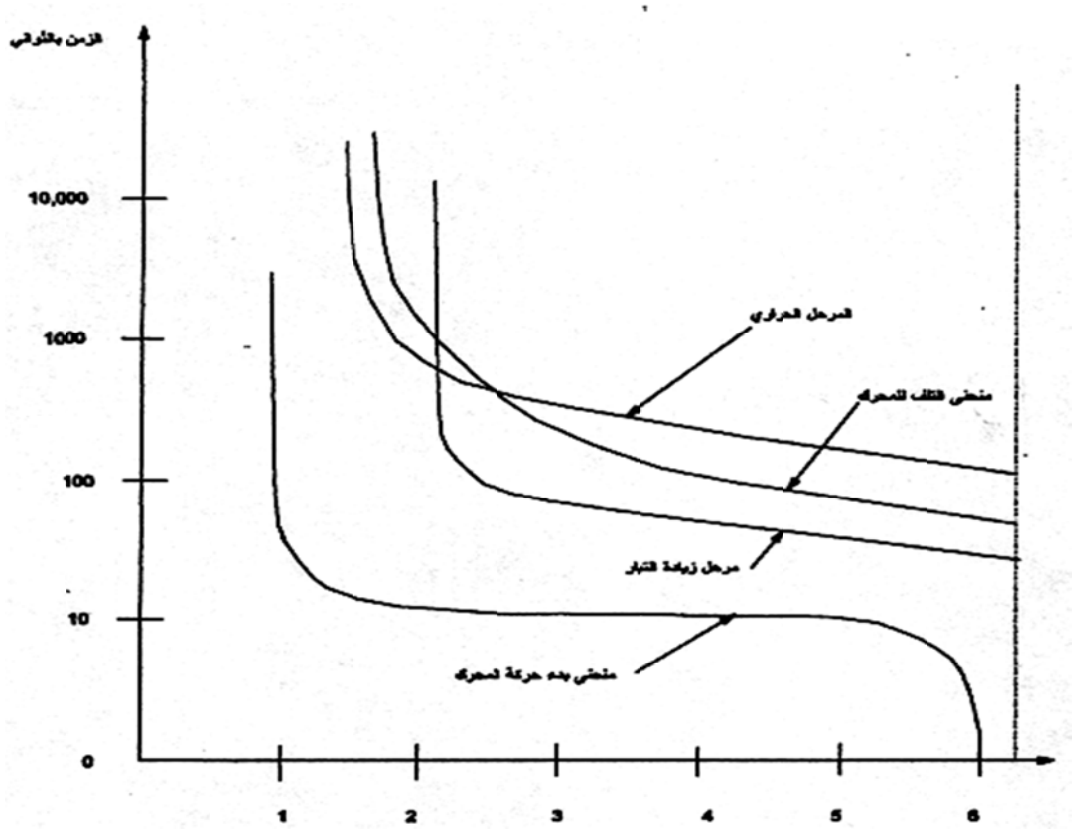
شكل (٤- ٢٣) الحماية الأساسية لمحرك كهربائي ذي مقنن أقل من 1000 HP

أ- كيفية اختيار مرحلات الحمل الزائد

من الشكل (٤ ـ ٢٣) 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 (٤- ٢٤). ويتم ضبط المرحل عادة للبدء في العمل عند تيار

أكبر أو يساوي 105 % من التيار المقنن للمحرك. من الشكل (٦ ـ ٢) نرى أنه من المسموح مرور ضعف التيار المقنن في ملفات المحرك لمدة 1000 Sec أو 17 دقيقة تقريبا .بينما بمقدور المحرك تحمل 6 أضعاف التيار المقنن لمدة 15 ثانية فقط. وعلى العموم لا يمكن الحصول عمليا على تطابق كلي بين منحنى التلف للمحرك ومنحنى خصائص المرحل. من شكل (٤-٢٤) نجد أن المرحل الحراري بطيء عند تيار أكبر أو يساوي 2.5 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 180 % 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 (٤- ٢٤) 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 4% من جهد التغذية. السبب وراء استخدام هذا النوع من المرحلات يرجع إلى أن عدم التوازن في الجهد يسبب تتابعيه 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 أسوأ حالات عدم التوازن لأن المحرك سيعمل في هذه الحالة بوجهين فقط $2 - \Phi$. وبالتالي فإن التيار الذي سيمر في كل من الوجهين المتصلين بمصدر التغذية قد يصل إلى 250 % 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.

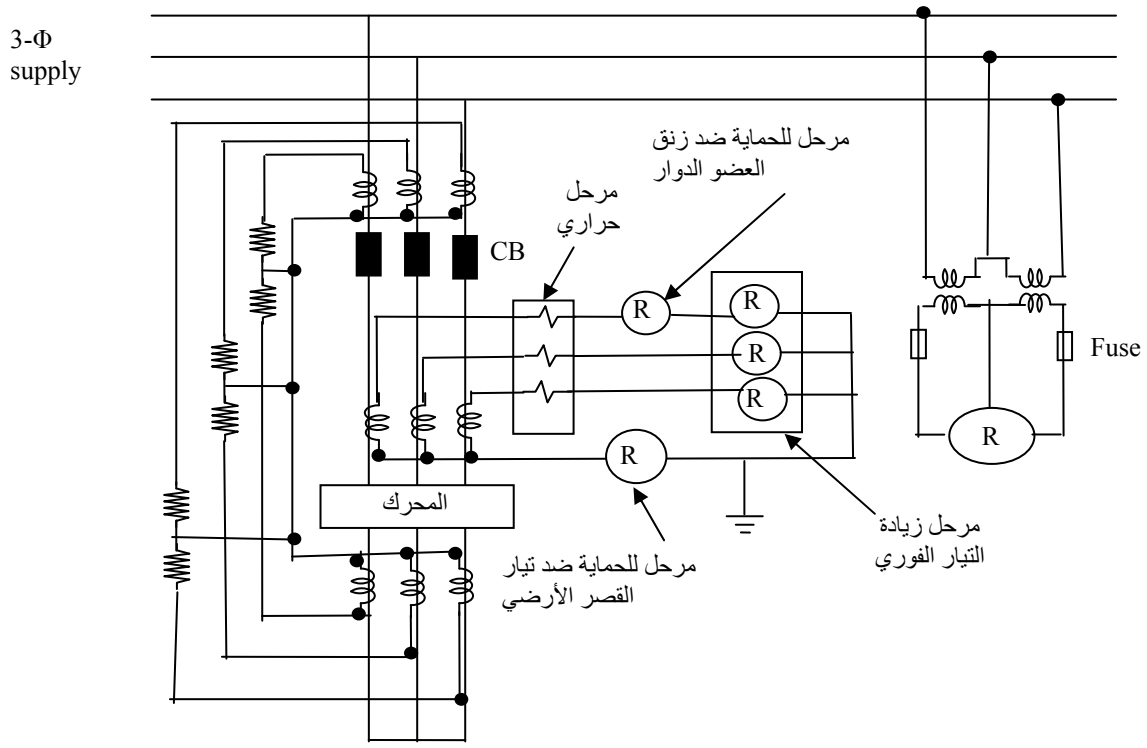
أخيرا لحماية المحركات من تيارات القصر العالية فإننا نستخدم مصهرات (هذا ينطبق فقط على المحركات المتوسطة الحجم) . والأسباب الرئيسية وراء استخدام المصهرات لفصل تيارات القصر العالية هي :

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،٣،٤ - 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 1000 HP وحماية هذه المحركات يوضحه شكل (٤- ٢٥).



شكل (٤- ٢٥) الحماية الأساسية لمحرك 5000 HP

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 180 % 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 40 % - 10 % من التيار المقنن للمحرك.
- بالإضافة إلى هذا فإننا نستخدم الوقاية التفاضلية لوقاية المحرك من تيارات القصر المنخفضة نسبيًا بسبب خطأ داخلي.

- أيضًا نستخدم في بعض الأحيان مرحلا 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 جدًا 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 40 % من التيار المقنن للمحرك.

٥،٣،٤ - الوقاية ضد زيادة أو انخفاض الجهد

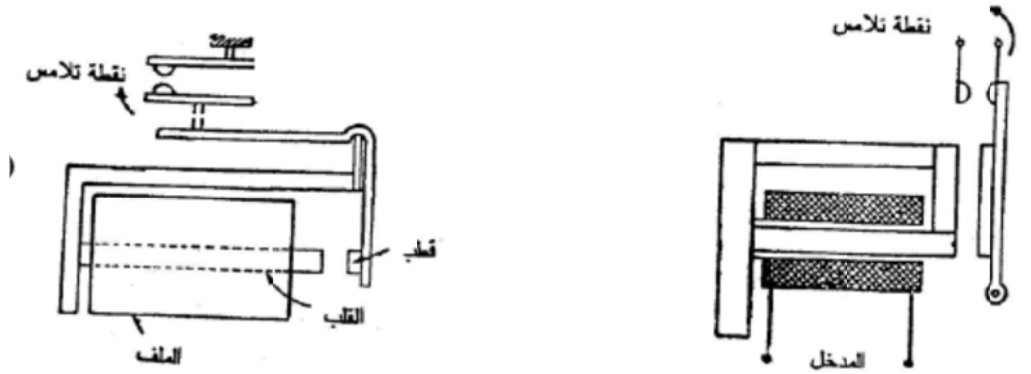
Over-voltage and under-voltage protection

تغذى مرحلات الوقاية ضد زيادة أو انخفاض الجهد من الملفات الثانوية لمحولات الجهد. وتعمل ملفات المرحل بجهد مقنن 100 or 110 or 220 Volt . وفي مرحلات الوقاية الإستاتيكية يضاف محول (أو محولات) جهد مساعدة لتخفيض الجهد المقنن إلى قيمة مناسبة لتغذية الدوائر الإلكترونية. وفيما يلي توضيح لأنواع مرحلات الوقاية ضد زيادة وانخفاض الجهد.

مرحلات الوقاية ضد زيادة أو انخفاض الجهد الكهرومغناطيسية

هناك أنواع متعددة من هذه المرحلات منها:

- مرحل وقاية ذو حافظة مفصلية وهو مرحل يعمل لحظي كما هو مبين بالشكل (٤- ٢٦ a)
- مرحل وقاية ذو جزء حديدي متحرك ويعمل لحظيا كما هو مبين بالشكل (٤- ٢٦ b)



(a) مرحل وقاية ذو حافظة مفصلية (b) مرحل وقاية ذو جزء حديدي متحرك

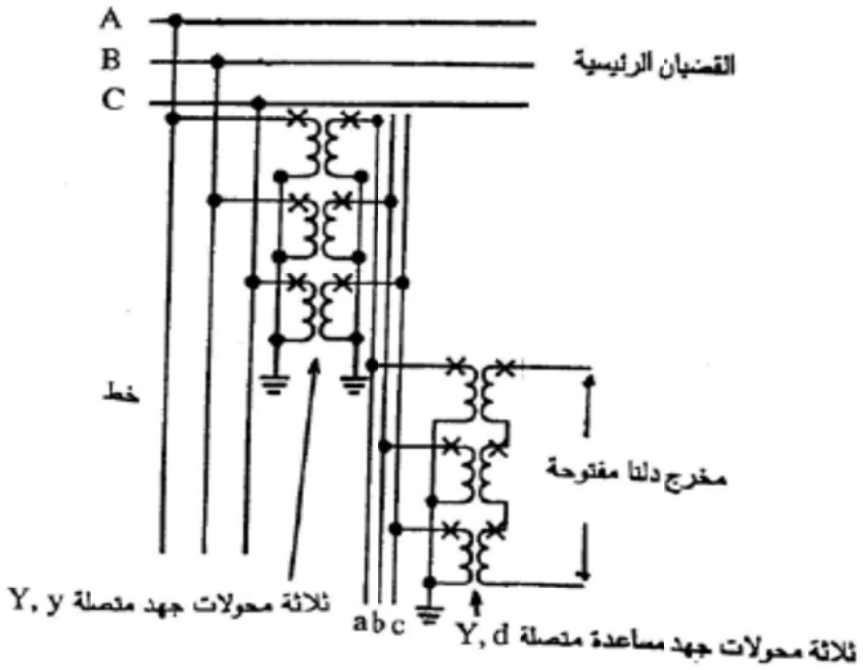
شكل (٤- ٢٦) مرحلات زيادة أو انخفاض الجهد

ويوضح الشكل (٤ - ٢٧) طريقتين لتوصيل محولات الجهد ، أحدهما توصيلة نجمة مؤرضة للحصول على جهد ثانوي ثلاثي الأوجه. والأخرى توصيلة دلتا للحصول قيمة جهد عدم الاتزان للأوجه الثلاثة. وفيما يلي أمثلة لمرحلات الوقاية ضد تغير الجهد :

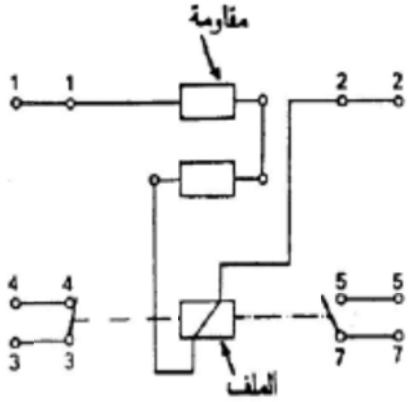
- مرحل وقاية ضد زيادة الجهد حسب المبين في شكل (٤ - ٢٨) ويعمل بجهد مقنن يساوي 220 V وتردد 50 Hz وحدود ضبط المرحل ذو جزء حديدي متحرك ويعمل لحظيا ويحتوي على :

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

أما عند تشغيل المحرك في حالة انخفاض الجهد فإن انخفاض الجهد يسبب زيادة التيار وبالتالي ممكن حماية المحرك بأجهزة زيادة الحمل أو أجهزة استشعار درجة الحرارة.



شكل (٤- ٢٧) طرق توصيل محولات الجهد

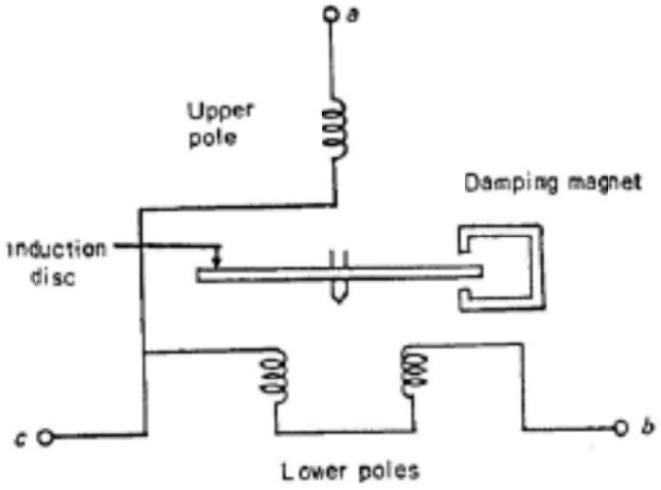


شكل (٤- ٢٨) مرحل الوقاية ضد زيادة الجهد

٦،٣،٤ - الحماية ضد انعكاس أحد الأوجه

يتغير اتجاه دوران المحرك في حالة تغير تتابع الأوجه. وفي بعض التطبيقات لا يسمح بانعكاس دوران الحركة في المحرك ولذلك تعتبر هذه الخاصية مهمة جدًا ويجب حمايتها.

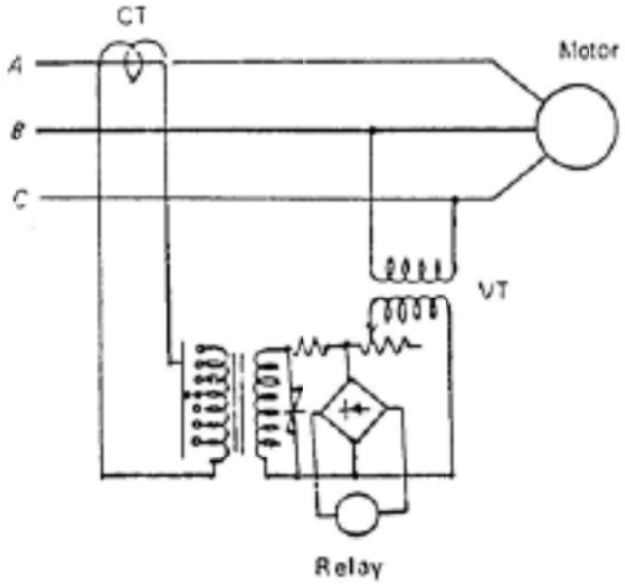
ويوجد أنواع متعددة من المرحلات والتي تستخدم في حماية المحرك ضد انعكاس الأوجه أو في حالة البدء وأحد الأوجه مفتوح منها مرحل الجهد متعدد الأوجه من نوع القرص الحثي شكل (٤ - ٢٩)



شكل (٤ - ٢٩) المرحل المستخدم للحماية ضد انعكاس أو فتح أحد الأوجه

٧،٣،٤- الحماية ضد فقدان التزامن

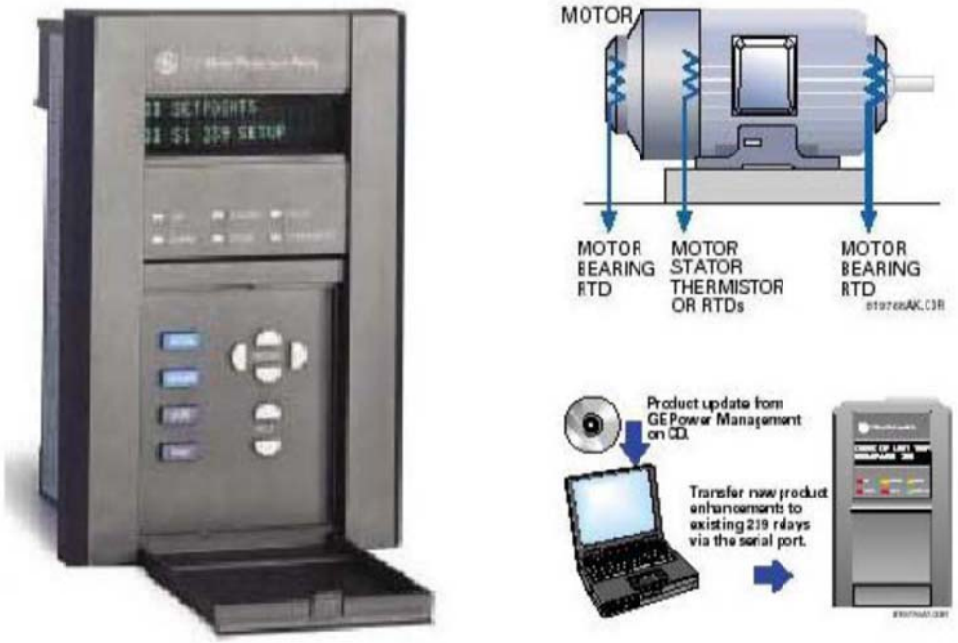
المحركات المتزامنة ممكن خروجها من التزامن نتيجة لحمل زائد كبير جدًا أو نتيجة لتعرضها لانخفاض في الجهد. مثل هذه الحالة ممكن حمايتها بمرحل يستجيب إلى التغير في معامل القدرة. شكل (٤ - ٣٠) يبين مرحل الحماية ضد فقد التزامن.



شكل (٤ - ٣٠) مرحل الحماية ضد عدم التزامن

٨،٣،٤ - الحماية الكلية الرقمية للمحرك

الشكل (٤ - ٢١) يمثل إحدى الحمايات الرقمية الحديثة المستخدمة للمحرك وكيفية توصيله وضبطه باستخدام الحاسب الآلي.



شكل (٤- ٣١) الحماية الرقمية الحديثة للمحرك

أسئلة الوحدة الرابعة : الجزء الثالث (المحركات الكهربائية)

١- ما هي العوامل التي يعتمد عليها نوع الحماية المستخدمة بالنسبة للمحركات.

٢- اذكر أنواع الأخطاء المحتملة الحدوث في المحركات الكهربائية.

٣- ما هي المرحلات المستخدمة في حماية المحركات الكهربائية وما دور كل منها في حماية المحرك.

٤- تستخدم المصهرات عادة لحماية المحركات متوسطة الحجم من تيارات القصر العالية . اشرح الأسباب الرئيسية وراء استخدام المصهرات لفصل تيارات القصر العالية بالنسبة للمحركات.

٥- اشرح مع التوضيح بالرسم كيف يمكن حماية المحركات الكهربائية الكبيرة الحجم.

الوحدة الخامسة

القصر الكهربائي في خطوط النقل الكهربائية

الهدف العام للوحدة: دراسة القصر الكهربائي في خطوط النقل الكهربائية

الأهداف التفصيلية:

١- أن يلم المتدرب بأنواع دوائر القصر المختلفة وأسبابها
٢- أن يلم المتدرب بكيفية حساب تيار القصر ومقنن القصر لخطأ متماثل ثلاثي الأوجه
٣- أن يلم المتدرب بتأثير كل من القصر وزمن الفصل على الشبكة

الوحدة الخامسة : القصر الكهربائي في خطوط النقل الكهربائية

١.٥- مقدمة

في وضع التشغيل العادي تعمل منظومة القوى عند جهد ثابت القيمة والتردد وتكون الجهود على الأوجه الثلاثة وكذلك التيارات متزنة، وتكون قيم التيارات في مختلف أجزاء المنظومة داخل حدود القيم المسموح بها للتشغيل الآمن. ولكن نظرًا للانتشار الجغرافي الكبير لمنظومة القوى ولكون معظم مكوناتها موجودة في مساحات مكشوفة - كخطوط النقل والتوزيع التي تقطع مسافات طويلة في الصحاري وداخل المدن والقرى- فإنها تكون عرضة لحدوث أعطال أو أخطاء تؤدي إلى خلل ببعض شروط التشغيل الآمن أو بها جميعا. ولعل أكبر الأعطال خطرًا وأشدها تأثيرا ضارا على منظومة القوى هو حدوث دوائر قصر. والمقصود بدوائر القصر هو سلوك التيار مسلكًا غير نظامي خارج الموصلات المعدة لسريانه كأن يجد مسارًا مباشرًا بين أحد الموصلات والأرض أو بين الموصلات نتيجة لانهيار العازل الذي يحكم سريان التيار داخل الموصلات أو سقوط جسم موصل بين الموصلات . ونتيجة للمقاومة الصغيرة جدا لدوائر القصر - تعتبر صفراً نظرًا لصغرها مقارنة بمعاوقات أجزاء المنظومة- فإن التيار الناتج عن حدوث دوائر القصر يكون كبيرًا جدا وقد يصل إلى أكثر من عشرين ضعف التيار المقنن. وهذا التيار الكبير له آثار تدميرية خطيرة على أجزاء منظومة القوى نتيجة للارتفاع الشديد في درجة الحرارة وكذلك نتيجة للقوى الكهرومغناطيسية الكبيرة الناتجين عن تيار القصر.

ولأنه لا يمكن منع حدوث دوائر القصر فيجب إعداد التجهيزات الخاصة بحماية منظومة القوى بطريقة تمكنها من فصل تيارات القصر بطريقة آمنة. ومن هنا جاءت أهمية دراسة دوائر القصر الكهربائي حيث عن طريقها يمكن تحديد تيارات القصر في الأماكن المختلفة من منظومة القوى لتحديد سعة القطع اللازمة للقواطع التي سيتم تركيبها في الدوائر المختلفة لفصلها حالة حدوث خطأ بها. و لضبط مرحلات الحماية يلزم أيضا إجراء تحليل دوائر القصر عند كل نقطة من نقاط المنظومة. والجدير بالذكر هنا أن تحليل دوائر القصر الذي يتم لتحديد سعة القطع للقواطع يختلف عن ذلك الذي يتم لضبط تيار وزمن التشغيل للمرحلات، حيث يجب أن يكون القاطع قادرًا على فصل أقصى تيار قصر ممكن حدوثه

وبالتالي يتم حساب مقنن القطع للقاطع على أساس من أكبر تيار قصر، في حين أنه يجب ضبط المرحل بحيث يشعر بأقل تيار قصر ممكن حدوثه وبالتالي فإنه يتم إجراء التحليل مع فرض حدوث دائرة القصر عند أبعد مكان من موقع المرحل.

وفي هذه الوحدة سوف نستعرض الأسباب التي تؤدي إلى حدوث دوائر القصر في منظومات القوى، ونتعرف على المصادر التي تغذي دوائر القصر و على أنواع دوائر القصر المختلفة وإن كنا سنكتفي هنا بدراسة القصر المتماثل فقط. ولأن منظومة القوى تحتوي على كثير من المكونات وخصوصا المحولات التي تفصل الشبكة إلى أجزاء ذات جهود مختلفة يصعب معها إجراء التحليل بطريقة مباشرة فسوف ندرس كيفية تمثيل مكونات المنظومة المختلفة بطريقة تسهل إجراء الحسابات وتتغلب على الصعوبات التي يسببها وجود المحولات، حيث يتم تمثيل مكونات المنظومة بنظام الوحدة.

٢.٥- أسباب حدوث القصر في منظومات القوى

إن الأسباب التي تؤدي إلى حدوث دوائر القصر في الدوائر الكهربائية كثيرة منها ما هو خارجي ومنها ما هو نابع من منظومة القوى ذاتها، وينشأ القصر الكهربائي عمومًا عندما يجد التيار مسارًا خارج الموصلات الكهربائية وذلك عندما يحدث تلامس مباشر – نتيجة انهيار العازل – بين الموصل والأرض أو موصلين مع بعضهما ومن أمثلة الأسباب الخارجية لدوائر القصر:

- الطيور والأفاعي عندما تسبب قصرًا بين موصلات خطوط النقل أو بين أحد الموصلات وجسم البرج
- اصطدام طائرة بخطوط النقل الهوائي
- اصطدام سيارة بمحول أو عمود
- الفئران عندما تأكل عازل الكابلات وتجعل الموصل مكشوفًا ملامسًا للأرض أو عندما تدخل في لوحات التوزيع فتسبب توصيل أحد القضبان بجسم اللوحة أو توصيل قضيبين ببعضهما
- سقوط شجرة على موصلات خط النقل
- الأعمال التخريبية المتعمدة
- الرياح الشديدة قد تسبب التواء أسلاك خط النقل وملامستها لبعضها

- انقطاع أحد الموصلات تحت تأثير التحميل الميكانيكي الزائد نتيجة لتراكم ثلوج عليه وملامسته لموصل آخر أو لجسم البرج
- صواعق البرق عندما تضرب خط النقل وتسبب ارتفاع الجهد بطريقة كبيرة تؤدي إلى انهيار عوازل خط النقل أو المحولات

و الأسباب الداخلية تتلخص في انهيار عازل الموصلات في المولد أو المحول أو المحرك وتصبح هذه الموصلات كما لو كانت مكشوفة وتتسبب في قصر إما بين لفتين لنفس الوجه أو بين لفات أحد الأوجه وجسم المولد أو المحول أو المحرك، أو تسبب قصراً بين ملفات وجهين مختلفين.

٣.٥ - مصادر دوائر القصر

أثناء حدوث القصر تمر تيارات كبيرة جدًا نتيجة للمقاومة الصغيرة للشبكة أثناء حدوث القصر، وهذه التيارات تكون أكبر بكثير من تيار الحمل ولذا فإنه يتم إهمال جميع الأحمال الموجودة بالشبكة قبل حدوث الخطأ. والمصادر التي تقوم بتغذية تيار القصر هي:

١.٣.٥ - المولدات التزامنية

حيث إن هذه المولدات هي مصادر الجهد التي تغذي المنظومة في حالة التشغيل العادي، فعند حدوث القصر تستمر هذه المولدات في إمداد المنظومة بالجهد فتدفع بتيار كبير خلال دائرة القصر وذلك قبل أن تعمل أجهزة الحماية وأجهزة التحكم المختلفة. وفي اللحظات التي تلي حدوث القصر مباشرة يرتفع التيار بصورة كبيرة قبل أن تبدأ أجهزة التحكم في العمل لضبط قيمة الجهد فلذلك تكون القوة الدافعة للمولد ثابتة رغم ارتفاع التيار بهذه الصورة الكبيرة والسبب في ذلك يرجع إلى أنه عند حدوث الخطأ فإن قيمة ممانعة المولد تختلف عن قيمتها في وضع التشغيل العادي بسبب تغير قيمة المفاعلة الحثية له نتيجة التغيرات التي تطرأ على المجال المغناطيسي داخل المولد، حيث تنخفض مفاعلة المولد بثلاث مراحل هي:

أ- ممانعات المولد

١. مفاعلة دون الحالة العابرة (x''_d) sub-transient reactance

وهي قيمة المفاعلة لحظة حدوث الخطأ، وهي صغيرة جدًا حيث يكون تيار الخطأ في هذه اللحظات أكبر ما يمكن، وهذه القيمة هي التي تستخدم عند حساب تيار القصر.

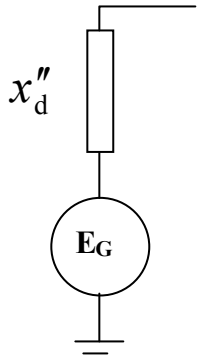
٢. مفاعلة الحالة العابرة (x'_d) transient reactance

وهي قيمة المفاعلة بعد حدوث الخطأ بفترة زمنية قصيرة لا تتعدى بضع دورات، وهي أكبر من مفاعلة دون الحالة العابرة، وهذه القيمة تستخدم في دراسة اتزان المنظومة بعد إزالة الخطأ وعمل أجهزة التحكم.

٣. مفاعلة التزامن (x_s) synchronous reactance

وهي قيمة المفاعلة في وضع التشغيل العادي أو بعد فترة طويلة من حدوث الخطأ، وتستخدم هذه المفاعلة في حساب أداء المولد في ظروف التشغيل العادية.

وتكون الدائرة المكافئة للمولد حالة حدوث خطأ عبارة عن جهد ثابت يساوي القوة الدافعة الكهربية للمولد بالتوالي مع مفاعلة دون الحالة العابرة وتهمل المقاومة، كما هو موضح في شكل (٥- ١) :



شكل (٥- ١) الدائرة المكافئة للمولد

٢.٣.٥ - المحركات والمكثفات التزامنية

المكثف التزامني هو آلة تزامنية متصلة بالقضبان العمومية ولكنها لا تدار بمحرك أولي لتعمل كمولد ولا تغذي حملا ميكانيكيا للعمل كمحرك – وإن كان من الممكن تشغيل نفس الآلة كمحرك والاستفادة منها كمكثف تزامني- وإنما يتم تغذية أقطابها بتيار كبير يجعلها تدفع بقدرة غير فعالة إلى الشبكة أي إنها تعمل عمل المكثف ولذا يطلق عليها المكثف التزامني.

رغم أن المحركات والمكثفات التزامنية لا تدار بواسطة محرك أولي إلا أنه عند حدوث القصر ونتيجة للقصور الذاتي للأجزاء الدوارة في كل منهما والطاقة الميكانيكية

المختزنة في هذه الأجزاء الدوارة يستمر كل من المحرك والمكثف التزامني في الدوران وتوليد جهد يقوم بتغذية دائرة القصر.

وفي حالة التشغيل العادي تتشابه الدائرة المكافئة للمحرك والمكثف التزامني مع الدائرة المكافئة للمولد إلا أن اتجاهات سريان القدرة في المولد تختلف عنها في المحرك والمكثف. وفي حسابات تيار القصر، لا تختلف الدائرة المكافئة للمحرك ولا للمكثف التزامني عن المولد في شيء ، بل تكون الدائرة المكافئة للمولد هي نفسها للمحرك وللمكثف التزامني ولكن طبعا قد تختلف القيم العددية للجهد و للمعاوقة.

٣.٣.٥ - المحركات الحثية

للمحركات الحثية ذات القدرات الأكبر من ٥٠ حصان (50 hp) تكون الطاقة الميكانيكية المختزنة في العضو الدائر كافية لدفع المحرك لتوليد جهد يقوم بتغذية تيار القصر ويعامل معاملة المولد التزامني من حيث الدائرة المكافئة. أما المحركات الأصغر من ذلك فيمكن إهمال مساهمتها في تغذية تيار القصر.

٤.٣.٥ - منظومة الإمداد

ومنظومة الإمداد تحتوي على مجموعة كبيرة من المولدات وشبكة نقل وتوزيع ذات مقاومة صغيرة، ويمكن النظر إلى منظومة الإمداد على أنها مصدر ذو جهد ثابت و ممانعة كهربائية على التوالي في الغالب تكون صغيرة بدرجة كبيرة، ومثل هذه المنظومة تساهم في تغذية تيار القصر حيث إن جهدها يظل ثابتا حتى أثناء حدوث القصر.

٤.٥ - النظام بالوحدة

في دراستك للآلات الكهربية رأيت كيف أن المحول يقسم الدائرة الكهربائية إلى جزأين غير مرتبطين عن حساب طريق التوصيل حتى يمكن تطبيق قوانين كيرشوف للتيار والجهد، وإنما يرتبطان معا عن طريق الحث الكهرومغناطيسي و كل منهما له جهد مختلف عن الآخر. ولحساب أداء المحول كان لزامًا نسبة معاملات أحد الجانبين إلى الجانب الآخر و إجراء الحساب في جانب واحد ثم للحصول على القيم الحقيقة للجانب الآخر نعيد القيم المحسوبة بنسب التحويل العكسية. ولعلك لا تزال تذكر كم كانت هذه الحسابات مزعجة وخصوصًا بما فيها من أعداد مركبة.والجهد ينقل بنسبة اللفات والتيار بعكس نسبة

اللفات والمعاوقات بمربع نسبة اللفات و لو كان المحول ثلاثي الأوجه وكان أحد جانبيه متصلاً دلتا والآخر متصلاً نجمة، فما بالك عند العمل على منظومة قوى تحتوي على أكثر من محول بل ربما تصل إلى مئات أو آلاف المحولات؟!!! هل سيكون الأمر صعبًا أم مستحيلاً أم لا يجب أن نفكر في مثل هذا الأمر من البداية؟ الإجابة على السؤال الأخير طبعًا لا لن يكون صعبا ولا مستحيلا ولن نشغل تفكيرنا بالمحولات قلت أو كثرت طالما أن هناك النظام بالوحدة.

ففي النظام بالوحدة يتم تمثيل معاوقات مكونات منظومة القوى كنسب من قيم إسنادية يتم تحديدها بطريقة تحقق المميزات الآتية:

١. في النظام بالوحدة لا تمثل المحولات مشكلة حيث إن قيم المعاوقات- مقدرة بالوحدة- تكون ثابتة بغض النظر عن الجهة التي تسند إليها في حين أنه عند تقدير المعاوقات بالأوم يلزم أن تنسب جميع المعاوقات إلى جهة واحدة أو جزء واحد من المنظومة.
٢. في النظام بالوحدة لا تؤثر كيفية توصيل المحولات على قيمة المعاوقة
٣. معاوقات الآلات الكهربية تختلف اختلافًا كبيرًا إذا ما قيمت بالأوم تبعًا لحجمها أما في النظام بالوحدة فإنها تختلف في حدود ضيقة للغاية وعلى ذلك يمكن تقدير معاوقة آلة بمقارنتها بأخرى من نفس النوع بغض النظر عن الحجم.
٤. معاوقات الآلات الكهربائية تعطى عادة مقدرة بالوحدة على لوحة البيانات الاسمية للآلة مما يجعلها مهيأة للاستعمال بأخذ مقننات الآلة كقيم إسنادية.

وعموما في معظم الحالات في حياتنا العامة تكون الأرقام الحقيقية غير ذات مدلول إلا إذا وضعت في صورة نسبة، فمثلاً إذا قلنا أن عدد الطلبة الناجحين في مادة الشبكات هو ٩٠ طالباً فسيتبادر إلى الذهن سؤال آخر ، كم عدد الطلاب الذين أدوا الاختبار أو كم عدد الراسبين فيها؟ ولكن إذا قلنا إن نسبة الطلبة الناجحين في مادة الشبكات هي ٧٥٪ فهي أكثر دلالة لأنها في نفس الوقت تعطي فكرة عن عدد الذين لم يجتازوا الاختبار. وأول خطوة لتمثيل مكونات منظومة القوى بنظام الوحدة هي تحديد أو تعريف القيم النسبية.

١.٤.٥- تعريف القيم النسبية

في الكثير من النظم يكون تحديد القيم الإسنادية مباشرا ففي مثال نتيجة الاختبار تم أخذ عدد الطلاب الذين أدوا الاختبار كقيمة إسنادية وإذا أردنا أن نحدد معدل النمو السكاني في المملكة أخذنا عدد السكان كقيمة إسنادية. والأمر في منظومة القوى يختلف بعض الشيء وذلك لأن:

- يلزم تحديد قيم إسنادية لأكثر من كمية كهربائية وهي القدرة والجهد والتيار والمعاوقة
- هذه الكميات ليست مستقلة عن بعضها ولكن تربطها علاقات يجب أن تؤخذ في الاعتبار عند تحديد القيم الإسنادية

و لتحديد القيم الإسنادية للكميات الكهربائية الأربعة (القدرة والجهد والتيار و المعاوقة) لا يمكن تحديد قيمة إسنادية لكل كمية بطريقة منفصلة عن البقية، ولكن يتم تحديد قيم إسنادية لاثنتين من هذه الكميات ثم حساب القيم الإسنادية للكميتين الأخريين من القيم المحددة. وعادة يتم تحديد القيمة الإسنادية للقدرة والجهد وحساب القيم الإسنادية للتيار والمقاومة.

ويتم تحديد القيم الإسنادية لمنظومة القوى كالآتي:

يتم اختيار قيمة إسنادية للقدرة في الأوجه الثلاثة (total three phase power) وسوف نرمز لها بالرمز (MVA_b) لأنها عادة تكون مقدرة بالميجا فولت أمبير (١ ميجا فولت أمبير = ١٠٠٠ كيلو فولت أمبير = ١٠٠٠٠٠٠ فولت أمبير)، وهذه القيمة تكون ثابتة لجميع أجزاء المنظومة ولا تتأثر بوجود المحولات حيث إن المحولات لا تغير من قيمة القدرة. ويفضل اختيار قيمة إسنادية تتناسب مع مقننات عناصر منظومة القوى وإلا عادة ما تؤخذ MVA_b = 100 MVA، ويفضل أيضًا وضع هذه القيمة في مستطيل أعلى مخطط منظومة القوى لتوضيحها.

١. تحديد قيمة إسنادية لجهد الخط (line to line voltage) مقدرة بالكيلو فولت في أحد أجزاء المنظومة وسوف نرمز لها بالرمز (kV_b)، و الفواصل بين أجزاء المنظومة هي المحولات، ولذلك في حالة عدم وجود محولات تعتبر المنظومة جزءًا

واحدًا، أما كل محول فيضيف جزءًا آخر للمنظومة، فالمنظومة التي تحتوي على محول واحد تنقسم إلى جزأين والتي تحتوي على محولين تنقسم إلى ثلاثة أجزاء والتي بها ١١ محول تنقسم إلى ١٢ جزءاً، مع مراعاة أن المحولات المتصلة على التوازي تعد كأنها محول واحد. وبمجرد تحديد القيمة الإسنادية للجهد في أحد أجزاء المنظومة لا يكون لنا الخيار في تحديد القيم الإسنادية للجهد في باقي الأجزاء حيث إنه يتم حسابها من القيمة المحددة ونسب تحويل المحولات، حيث إنه يجب أن تكون القيم الإسنادية للجهد في جميع أجزاء المنظومة متناسبة مع نسبة تحويل المحولات (نسبة جهد الخط في المنظومات ثلاثية الأوجه وبذلك لا يكون لكيفية توصيل جانبي المحول أي تأثير على الحسابات). ويفضل أن توضع القيمة الإسنادية للجهد في كل من أجزاء المنظومة داخل شكل بيضاوي للوضوح وسهولة الوصول إلى القيم الإسنادية عند الحاجة إليها.

٢. تحسب القيمة الإسنادية للتيار (I_b) مقدرة بالأمبير في كل من أجزاء المنظومة من القيمة الإسنادية للجهد في هذا الجزء والقيمة الإسنادية للقدرة. من العلاقة التالية:

$$I_b = \frac{MVA_b \times 10^3}{\sqrt{3}.kV_b} \qquad (5.1)$$

٣. يتم حساب القيمة الإسنادية للمعاوقة (Z_b) في أي من أجزاء المنظومة مقدرة بالأوم من العلاقة التالية:

$$Z_b = \frac{(kV_b)^2}{MVA_b} \qquad (5.2)$$

في كثير من الأحيان تكون لدينا المعاوقة مقدرة بالوحدة على أساس قيم إسنادية معينة ونحتاج إلى تقدير نفس المعاوقة بالوحدة على أساس من قيم إسنادية أخرى، وكثيرا ما نواجه هذه الحالة مع المولدات والمحركات والمحولات والتي تكون معاوقاتها مقدرة بالوحدة باستخدام القدرة المقننة للآلة والجهد المقنن لها كقيم إسنادية و في الغالب يحدث اختلاف بين هذه القيم والقيم الإسنادية المحددة للمنظومة. ولإجراء التعديل على أساس القيم الإسنادية الجديدة نحتاج لحساب المقاومة الحقيقية للآلة مقدرة بالأوم ثم نقسمها على القيمة الإسنادية الجديدة. ولكن هذه العمليات يمكن اختصارها باستخدام العلاقة الآتية:

$$Z_{new} = Z_{old} \times \left(\frac{MVA_{new}}{MVA_{old}}\right)\left(\frac{kV_{old}}{kV_{new}}\right)^2 \qquad (5.3)$$

حيث :

Z_{old} هي قيمة المعاوقة مقدرة بالوحدة على أساس القيم الإسنادية القدي

kV_{old} هي القيمة الإسنادية القديمة للجهد والتي عادة ما تكون هي الجهد المقنن للآلة

MVA_{old} هي القيمة الإسنادية القديمة للقدرة والتي عادة ما تكون هي القدرة المقننة للآلة

Z_{new} هي قيمة المعاوقة مقدرة بالوحدة على أساس القيم الإسنادية الجديدة

KV_{new} هي القيمة الإسنادية الجديدة للجهد

MVA_{new} هي القيمة الإسنادية الجديدة للقدرة

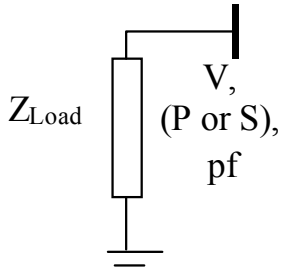
وقد تعمدنا كتابة هذه المعادلة بهذا الخط الكبير نظرا لأهميتها القصوى، لأن تمثيل أية منظومة حقيقية بنظام الوحدة لا يمكن أن يتم بدون استعمال هذه المعادلة لتعديل قيم معاوقات الآلات على أساس من القيم الإسنادية للمنظومة بدلا من قيمتها المحسوبة على أساس مقنناتها. وقبل التعامل مع منظومة كاملة وتمثيلها سنوضح أولا كيفية تمثيل عناصر منظومة القوى المختلفة.

٢.٤.٥- تمثيل عناصر منظومة القوى

سبق أن أشرنا أنه لحساب تيار القصر في منظومة القوى نهمل جميع الأحمال الموجودة قبل حدوث الخطأ ونهمل كذلك المقاومات الموجودة و جميع أفرع التوازي يتم أيضًا إهمالها ونفرض أن جهود جميع مصادر تغذية القصر متساوية وتساوي الوحدة. وفى ضوء هذه الفروض سوف نرى الآن كيف يتم تمثيل عناصر منظومة القوى.

أ- تمثيل الأحمال

يمثل الحمل بمعاوقة كما هو موضح بشكل (٥- ٢). ويكفي لتحديد معاوقة الحمل معرفة القدرة التي يستهلكها هذا الحمل عندما يعمل عند جهد معين وكذلك معامل القدرة له. ويتم حساب معاوقة الحمل كالآتي:



$$Z_L = \frac{V^2}{S} \angle \pm \cos^{-1}(pf) = \frac{V^2 . pf}{P} \angle \pm \cos^{-1}(pf) \quad \Omega$$

شكل(٥- ٢): تمثيل الحمل

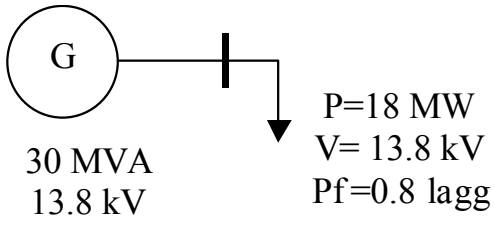
حيث (V) هو جهد الحمل بالفولت، S و هي القدرة الظاهرية للحمل بالفولت أمبير، وP هي القدرة الفعالة للحمل بالوات، و pf معامل القدرة للحمل. وتؤخذ الإشارة الموجبة لزاوية المعاوقة إذا كان معامل القدرة متأخرًا و تؤخذ الإشارة السالبة في حالة معامل القدرة المتقدم.

ب- تمثيل المولد

كما وضحنا سابقًا يتم تمثيل المولد كما في شكل (٤- ١) بمصدر جهد بالتوالي مع معاوقة تساوي مفاعلة الحالة دون العابرة، وكذلك المحركات والمكثفات التزامنية والمحركات الحثية. والآن سنورد مثالاً على كيفية تمثيل كل من المولد والحمل بنظام الوحدة.

مثال(٤- ١)

شكل(٣- ٣) يوضح مخطط منظومة قوى مبسطة مكونة من مولد وحمل بياناتهما كما هو موضح على الرسم فإذا كانت مقاومة المولد ٢أوم ومفاعلتة ١٠ أوم. ارسم مخطط المعاوقة لهذه المنظومة مع تقدير كافة المعاوقات بالوحدة معتبرا القيم الإسنادية للقدرة والجهد مساوية لمقننات المولد



شكل (٥- ٣)

الحل

القيمة الإسنادية للقدرة وهي ثابتة للمولد والحمل

$$MVA_b = 30\ MVA$$

القيمة الإسنادية للجهد هي نفسها للمولد والحمل لأنهما غير مفصولين بمحول وتساوي

$$kV_b = 13.8\ kV$$

معاوقة الحمل:

$$Z_L = \frac{V^2.pf}{P} \lfloor \pm \cos^{-1}(pf) = \frac{(13.8)^2 \times 0.8}{18} \lfloor \cos^{-1}(0.8)$$

$$= 8.464 \lfloor 36.87^\circ = 6.7712 + j5.0784\ \Omega$$

القيمة الإسنادية للمعاوقة

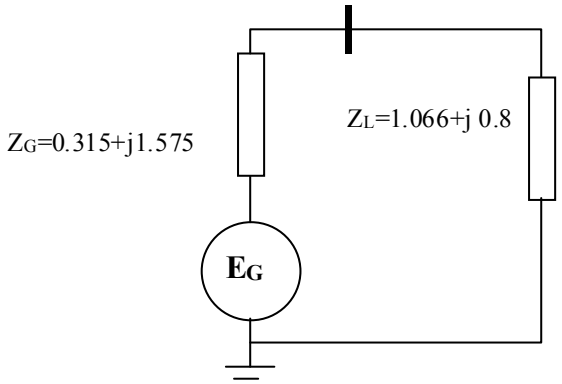
$$Z_b = \frac{(kV_b)^2}{MVA_b} = \frac{(13.8)^2}{30} = 6.348\,\Omega$$

وتكون قيم المعاوقات مقدرة بالوحدة مساوية لخارج قسمة المعاوقة مقدرة بالأوم على القيمة الإسنادية للمعاوقة، فتكون:

$$Z_G = \frac{2 + j10}{6.348} = 0.315 + j1.575\ \ pu$$

$$Z_L = \frac{6.7712 + j5.0784}{6.348} = 1.0667 + j0.8\ \ pu$$

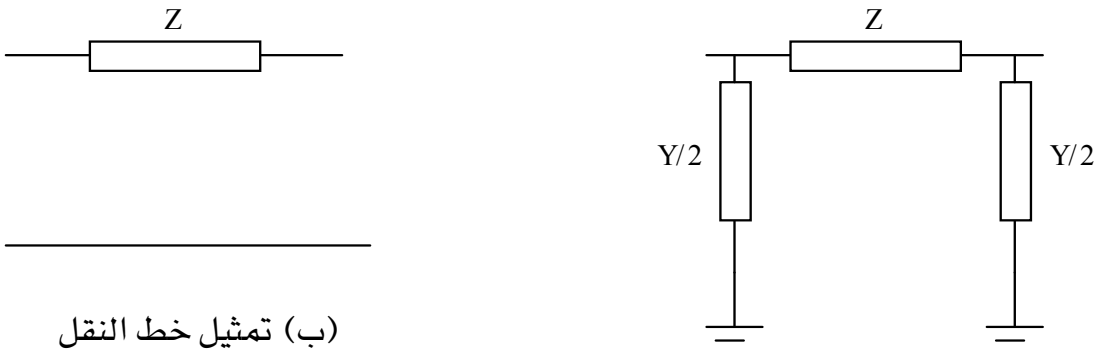
والرمز (pu) يعني وحدة، ومخطط المعاوقة لهذه المنظومة موضح في شكل (٥- ٤) .



شكل (٥- ٤) مخطط المعاوقة للمنظومة

ج- تمثيل الخطوط

لدراسة أداء المنظومة في الحالة المستقرة يتم تمثيل الخط بدائرة Π المكافئة حيث تقسم سعة الخط إلى نصفين يوضع أحدهما في بداية الخط والآخر في نهايته (شكل ٥- ٥- أ). وهذا التمثيل بالإضافة إلى أنه يقرب أداء الخط بدقة مقبولة فإنه لا يضيف نقاطًا nodes جديدة إلى الدائرة المكافئة لمنظومة القوى كما هو الحال في حالة تمثيله بدائرة T و بالتالي لا يزيد في أعباء الحسابات للمنظومة. وفي دراسة القصر تهمل سعة الخط ويمثل بمعاوقة على التوالي فقط (شكل ٥- ٥ – ب) وتقدر معاوقة الخط بالوحدة وذلك بقسمة المعاوقة مقدرة بالأوم على القيمة الإسنادية للمعاوقة في دائرة الخط.



(أ) تمثيل خط النقل بدائرة π

(ب) تمثيل خط النقل لدراسات القصر

شكل (٥- ٥) تمثيل خط النقل

د- تمثيل المحول

يتم تمثيل المحول بمعاوقة على التوالي – بإهمال دائرة التوازي الممثلة لتيار اللاحمل - كما في حالة خط النقل وتكون الدائرة المكافئة للمحول مماثلة تمامًا للدائرة المكافئة لخط النقل (شكل ٥- ٥- ب) وأيضا يتم تقدير المعاوقة بالوحدة وكما ذكرنا أن قيمة معاوقة المحول لا تعتمد على أي جانب تمت نسبتها مع مراعاة أنه يوجد قيمة إسنادية للجهد لكل جانب من جانبي المحول تختلف عن نظيرتها في الجانب الآخر، وسنوضح هذه المزية لنظام الوحدة بمثال.

مثال (٤- ٢)

محول 13.8/1.38 KV قدرته المقننة 30 MVA ، وكانت معاوقة ملفات الجهد العالي $Z_1= 1.25 + j\ 2\ \Omega$ ومعاوقة ملفات الجهد المنخفض $Z_2= 0.0175 + j\ 0.02\ \Omega$.
احسب المعاوقة الكلية للمحول مقدرة بالوحدة مرة بنسبة المعاوقات إلى ناحية الجهد العالي وثانية بنسبتها إلى الجهد المنخفض و ثالثة بدون نسبة أي ببقاء مقاومة كل جانب مكانها.

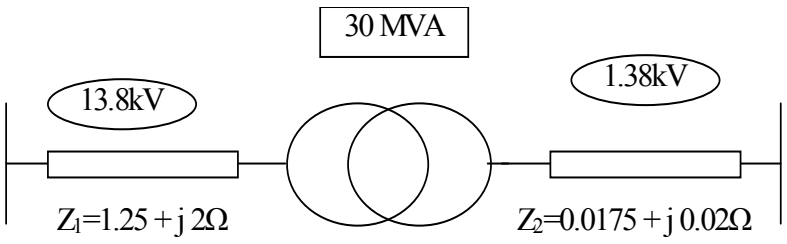
الحل

شكل (٥- ٦) يوضح مخطط المحول ومعاوقاته وعلى الرسم أيضا تم وضع القيم الإسنادية للقدرة والجهود على جانبي المحول. وقد تم اختيار القيمة الإسنادية للقدرة مساوية للقدرة المقننة للمحول طالما أنه ليس هناك عناصر أخرى فهي أنسب قيمة. أي إن $MVA_b= 30\ MVA$ والقيمة الإسنادية للجهد في جانب الجهد العالي أخذت مساوية لجهد المحول أيضًا $KV_{b1}= 13.8\ kV$

أما القيمة الإسنادية للجهد في جانب الجهد المنخفض فتم حسابها باستخدام نسبة جهود المحول كالآتي:

$$kV_{b2} = kV_{b1} \times \frac{V_2}{V_1} = 13.8 \times \frac{1.38}{13.8} = 1.38\ kV$$

والقيمة الإسنادية للقدرة موضوعة داخل مستطيل وهي ثابتة لجانبي المحول، في حين أن القيم الإسنادية للجهد لكل جانب موضوعة داخل شكل بيضاوي كل في الجانب الخاص بها.



شكل (٥- ٦) مخطط المحول ومعاوقاته

والآن لنحسب القيم الإسنادية للمعاوقة على جانبي المحول بالنسبة لجانب الجهد العالي:

$$Z_{b1} = \frac{(kV_{b1})^2}{MVA_b} = \frac{(13.8)^2}{30} = 6.348\,\Omega$$

وبالنسبة لجانب الجهد المنخفض:

$$Z_{b2} = \frac{(kV_{b2})^2}{MVA_b} = \frac{(1.38)^2}{30} = 0.06348\,\Omega$$

أ: نسبة المعاوقات إلى جانب الجهد العالي

$$Z_{eq} = Z_1 + Z_2' = Z_1 + Z_2 \times \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^2$$

$$= 1.25 + j2 + (0.0175 + j0.02)\left(\frac{13.8}{1.38}\right)^2 = 1.25 + j2 + 1.75 + j2 = 3 + j4\,\Omega$$

وتكون معاوقة المحول مقدرة بالوحدة (Z_{pu}):

$$Z_{pu} = \frac{Z_{eq}}{Z_{b1}} = \frac{3 + j4}{6.348} = 0.4726 + j0.63 \text{ pu}$$

ب : نسبة المعاوقات إلى جانب الجهد المنخفض

$$Z_{eq} = Z_2 + Z_1' = Z_2 + Z_1 \times \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^2$$

$$= 0.0175 + j0.02 + (1.25 + j2)\left(\frac{1.38}{13.8}\right)^2 = 0.0175 + j0.02 + 1.25 + j2 + = 0.03 + j0.04\,\Omega$$

وتكون معاوقة المحول مقدرة بالوحدة (Z_{pu}):

$$Z_{pu} = \frac{Z_{eq}}{Z_{b2}} = \frac{0.03 + j0.04}{0.06348} = 0.4726 + j0.63 \text{ pu}$$

وواضح أنها نفس القيمة التي حصلنا عليها في (أ). والآن سنقوم بحساب معاوقة كل جانب بالوحدة ثم نوجد المعاوقة المكافئة للمحول مقدرة بالوحدة

ج : **بدون نسبة المعاوقات**

نحسب معاوقة الجهد العالي بالوحدة

$$Z_{1pu} = \frac{Z_1}{Z_{b1}} = \frac{1.25 + j2}{6.348} = 0.1969 + j0.315 \text{ pu}$$

نحسب معاوقة الجهد المنخفض بالوحدة

$$Z_{2pu} = \frac{Z_2}{Z_{b2}} = \frac{0.0175 + j0.02}{0.06348} = 0.2757 + j0.315 \text{ pu}$$

وتكون المعاوقة الكلية للمحول مقدرة بالوحدة :

$$Z_{pu} = Z_{1pu} + Z_{2pu} = 0.1969 + j0.315 \text{ pu} + (0.2757 + j0.315)$$
$$= 0.4726 + 0.63 \text{ pu}$$

وهي نفس القيمة التي حصلنا عليها في الحالتين السابقتين. ولعله من الواضح الآن أن تقدير المعاوقات بالوحدة لا يتأثر بوجود المحولات.

٥.٥ - أنواع القصر الكهربائي:

نذكر بدوائر القصر التي يمكن أن تحدث في منظومة القوى وهي:

أ- القصر المتماثل ثلاثي الأوجه symmetrical three phase fault

وفيه تكون الأوجه الثلاثة مقصورة معا ولذلك تكون التيارات في الأوجه الثلاث متماثلة ، ويستوي في هذه الحالة اتصال الأوجه الثلاثة بالأرض وعدم اتصالهم بها. وهذا النوع هو الأقل حدوثا ولكنه أشد دوائر القصر خطرًا على منظومة القوى حيث يكون تيار القصر أكبر منه في باقي حالات القصر ولذلك يتم استخدام تيار القصر في هذه الحالة لتحديد مقننات القواطع.

ب- القصر خط – أرض single line to ground fault

وفي هذا النوع يحدث اتصال بين وجه والأرض وهو الأكثر حدوثًا في منظومات القوى وأكثر ما يحدث في خطوط النقل، والتيار الناتج عن هذا القصر يكون هو الأقل في معظم الحالات،ويكون التيار في الوجه الذي حدث عليه القصر كبيراً في حين يكون التيار في الوجهين الآخرين صفراً ولذلك تكون المنظومة في حالة عدم اتزان unbalance كبير في الجهد وفي التيار.

ج- القصر خط – خط line to line fault

في هذا النوع يحدث اتصال بين خطين بعيدًا عن الأرض وهو أيضًا خطأ غير متماثل لأن الأوجه الثلاث ليست معرضه لنفس الظروف، فهنا نجد أن خطين اتصلا فأصبح جهد كل منهما مساوياً لجهد الآخر و التيار في أحدهما مساو ومعاكس للتيار في الآخر في حين أن الخط السليم تياره صفر وجهده مختلف عن الآخرين .

د- القصر خطين – أرض double line to ground fault

وفيه يحدث اتصال بين خطين مع الأرض وهو أيضًا خطأ غير متماثل لنفس السبب وهو أن الأوجه الثلاثة ليست معرضة لنفس الظروف، وهنا فإن جهد الخطين المتصلين بالأرض يصبح صفرا ويكون تيار القصر المار إلى الأرض هو مجموع تياري القصر في كل من الخطين.

وكما أوضحنا أنه فيما عدا الخطأ ثلاثي الأوجه فجميع الأخطاء الباقية غير متماثلة و عدم التماثل ليس نتيجة لعدم تماثل التيارات والجهود فحسب ولكن لعدم تماثل الأوجه الثلاث للشبكة نفسها، وبالتالي لا يمكن تحليل هذه الأخطاء بإجراء الحسابات لوجه واحد كما نفعل في حسابات الأداء في الظروف العادية أو لحساب تيار القصر في حالة الخطأ المتماثل، بل يلزم هنا إيجاد دوائر التتابع الموجب والسالب والصفري للشبكة وتوصيلها معا بطريقة تعتمد على نوع الخطأ للحصول على المركبات المتماثلة لتيار القصر. وفي هذا المقرر سنكتفي بحساب تيار القصر المتماثل ثلاثي الأوجه فقط ولن نتعرض لحساب تيار القصر غير المتماثل.

٦.٥ - حساب تيار القصر لخطأ متماثل ثلاثي الأوجه

لحساب تيار القصر لخطأ متماثل ثلاثي الأوجه عند نقطة معينة في منظومة القوى يكفي تمثيل وجه واحد فقط وإجراء الحسابات له وما يحدث في هذا الوجه هو نفسه ما يحدث في الوجهين الآخرين ولكن مع إزاحة في زاوية الطور مقدارها 120 درجة بين كل وجه

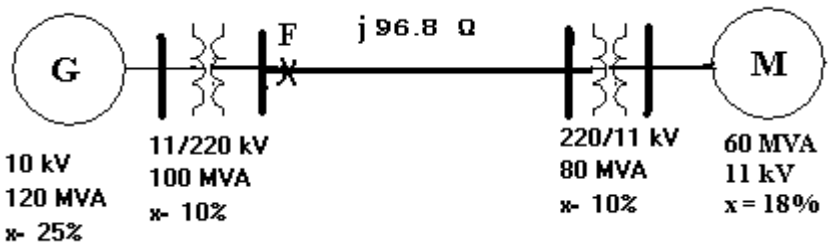
والآخر. وإذا بدأنا بمخطط الخط الواحد لمنظومة القوى فإن خطوات حساب تيار القصر تتمثل في الآتي:

١. تحديد قيمة إسنادية للقدرة للمنظومة وقيمة إسنادية في أحد أجزاء المنظومة وحساب القيم الإسنادية للجهد في باقي أجزاء المنظومة باستخدام نسب تحويل المحولات، ومن ثم تقدير قيم معاوقات عناصر المنظومة بالوحدة على أساس هذه القيم الإسنادية.
٢. نرسم مخطط المعاوقة للمنظومة في حالة حدوث الخطأ، ولتنفيذ ذلك بسهولة، نرسم خطا أفقيا يمثل الأرض (G) وخطا آخر مواز له ويبعد عنه مسافة كافية يمثل النقطة التي حدث عندها الخطأ (F).
٣. نبدأ بتوصيل الدائرة المكافئة لمصدر من مصادر تغذية الخطأ بخط الأرض ثم الدوائر المكافئة للعناصر المتصلة بهذا المصدر وتشكل مسارا متصلا حتى نقطة الخطأ ونكرر هذا لجميع المسارات الممكنة لتغذية الخطأ عن طريق هذا المصدر.
٤. نكرر الخطوة ٣ لجميع مصادر تغذية تيار القصر وبعد الانتهاء نبدأ في اختصار الدائرة الكهربية الناتجة، حيث نبدأ بتوصيل القوى الدافعة لجميع المصادر على التوازي والاستعاضة عنها بقوة دافعة كهربائية وحيدة تساوي الوحدة، ثم نبدأ في اختصار المعاوقات إلى معاوقة واحدة.
٥. بعد اختصار المعاوقات تصبح الدائرة عبارة عن مصدر جهد واحد بالتوالي مع معاوقة واحدة حيث تعرف هذه الدائرة بدائرة التتابع الموجب ، ويكون تيار الخطأ عبارة عن خارج قسمة جهد المصدر على قيمة المعاوقة. ولنرى كيف يتم ذلك بمثال على منظومة قوى.

مثال (٤- ٣):

لمنظومة القوى الموضحة بالشكل التالي (٥- ٧- أ) احسب تيار القصر إذا حدث خطأ متماثل ثلاثي الأوجه عند النقطة F في بداية خط النقل من ناحية المولد بفرض أن القوة الدافعة الكهربائية لكل من المولد والمحرك قبل حدوث الخطأ كانت مساوية 10 kV،

بيانات جميع مكونات المنظومة موجودة على الرسم. اعتبر القيمة الإسنادية في دائرة المولد هي 100 MVA للقدرة، و 10 kV للجهد. احسب توزيع تيار القصر في كل جزء من أجزاء المنظومة مقدرًا بالوحدة وبالأمبير.



شكل (٥- ٧- أ) بيانات منظومة القوى

الحل

نظرًا للاختلاف في مقننات مكونات منظومة القوى فإنه سيلزم تعديل قيم المعاوقات على أساس القيم الإسنادية المحددة.

فالقيمة الإسنادية للقدرة هي $MVA_b = 100\ MVA$ وقد أعدنا رسم مخطط المنظومة ووضع القيمة الإسنادية في مستطيل أعلى مخطط المنظومة وهذه هي القيمة الإسنادية للقدرة لكل أجزاء المنظومة وليس لدائرة المولد فقط.

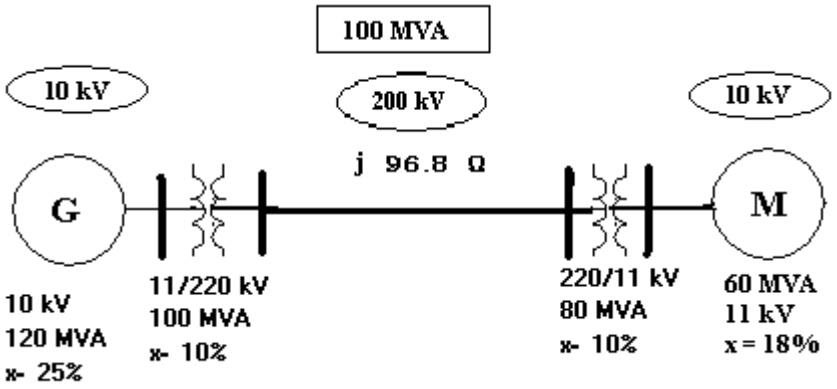
والقيمة الإسنادية للجهد في دائرة خط النقل = القيمة الإسنادية للجهد في دائرة المولد * نسبة تحويل المحول الأول :

$$kV_b \text{ (خط النقل في دائرة)} = 10 \times \frac{220}{11} = 200\ kV$$

والقيمة الإسنادية للجهد في دائرة المحرك = القيمة الإسنادية للجهد في دائرة خط النقل * نسبة تحويل المحول الثاني:

$$kV_b \text{ (المحرك في دائرة)} = 200 \times \frac{11}{220} = 10\ kV$$

وهذه القيم موضحة على مخطط المنظومة داخل شكل بيضاوي أعلى كل جزء من شكل(٥- ٧- ب) .



شكل (٥- ٧- ب) البيانات المعدلة لمنظومة القوى

وبالنظر إلى الشكل ومقارنة القيم الإسنادية بمقننات أجزاء المنظومة نجد اختلافاً مما يستوجب تعديل قيم معاوقات عناصر المنظومة طبقاً للقيم الإسنادية الجديدة.

معاوقة المولد:

$$Z_{G\,new} = Z_{G\,old} \times \left(\frac{MVA_{new}}{MVA_{old}}\right)\left(\frac{kV_{old}}{kV_{new}}\right)^2 = \mathrm{j}0.25 \times \frac{100}{120} \times (\frac{10}{10})^2$$

$$\therefore Z_G = \mathrm{j}0.2083\,\mathrm{pu}$$

معاوقة المحول الأول:

للمحول جانبين لكل منهما جهده المقنن ويقع كل منهما في دائرة لها قيمة إسنادية للجهد تختلف عن الأخرى، فيجب مراعاة أننا إذا اعتبرنا $\mathrm{kV_{old}}$ هي الجهد المنخفض للمحول كان لزاما أن نعتبر القيمة الإسنادية ناحية الجهد المنخفض على أنها $\mathrm{kV_{new}}$ وإلا حدث خطأ كبير في الحساب، فلهذا المحول سنعمل ناحية الجهد المنخفض وللمحول الثاني سنعمل ناحية الجهد العالي للتوضيح فقط مع التأكيد على أن لنا مطلق الحرية في اختيار أي من جانبي المحول .

$$Z_{T1\,new} = Z_{T1\,old} \times \left(\frac{MVA_{new}}{MVA_{old}}\right)\left(\frac{kV_{old}}{kV_{new}}\right)^2 = \mathrm{j}0.1 \times \frac{100}{100} \times (\frac{11}{10})^2$$

$$\therefore Z_{T1} = \mathrm{j}0.121\,\mathrm{pu}$$

خط النقل:

حيث إن معاوقة خط النقل معطاة بالأوم سيلزم حساب القيمة الإسنادية للمعاوقة في دائرة خط النقل أولاً

$$Z_{\mathrm{b}} = \frac{(kV_{\mathrm{b}})^2}{MVA_{\mathrm{b}}} = \frac{(200)^2}{100} = 400\ \Omega$$

وتكون معاوقة خط النقل مقدرة بالوحدة

$$Z_{TL\,\mathrm{pu}} = \frac{Z_{\mathrm{TL}\,\Omega}}{Z_b} = \frac{j96.8}{400} = \mathrm{j}\,0.242\ \mathrm{pu}$$

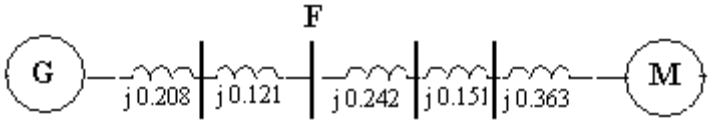
بالنسبة للمحول الثاني:

$$Z_{new} = Z_{old} \times \left(\frac{MVA_{new}}{MVA_{old}}\right)\left(\frac{kV_{old}}{kV_{new}}\right)^2 = \mathrm{j}\,0.1 \times \frac{100}{80} \times (\frac{220}{200})^2 = \mathrm{j}\,0.1513\ \mathrm{pu}$$

معاوقة المحرك :

$$Z_{new} = Z_{old} \times \left(\frac{MVA_{new}}{MVA_{old}}\right)\left(\frac{kV_{old}}{kV_{new}}\right)^2 = \mathrm{j}\,0.18 \times \frac{100}{60} \times (\frac{11}{10})^2 = \mathrm{j}\,0.363\ \mathrm{pu}$$

والشكل التالي (٥- ٧- ج) يوضح مخطط المعاوقة للمنظومة بعد تعديل قيم المعاوقات على أساس القيم الإسنادية الجديدة

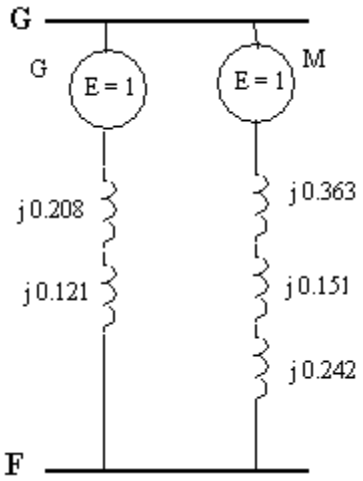


شكل (٥- ٧- ج) البيانات النهائية لمنظومة القوى

ورغم أن هذه المنظومة بسيطة ويمكن إيجاد تيار الخطأ بطريقة مباشرة بقسمة القوة الدافعة للمولد على المعاوقة بينه وبين نقطة الخطأ وكذلك بالنسبة للمحرك ولكن سوف نجري الخطوات المتبعة بصفة عامة سواء كانت المنظومة بسيطة أم لا لتوضيح هذه الخطوات.

ولحساب تيار القصر عند النقطة F:

قيمة الجهد المحددة لكل من المولد والمحرك هي 10kV ويجب تحويلها إلى قيمة بالوحدة لأن جميع الكميات الكهربائية يجب أن تكون مقدرة بالوحدة.

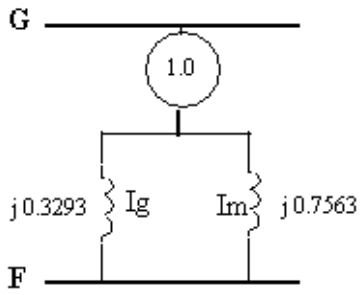


$$E_{G\,pu} = \frac{E_{G\,kv}}{kV_b} = \frac{10}{10} = 1pu, \qquad E_{M\,pu} = \frac{E_{M\,kv}}{kV_b} = \frac{10}{10} = 1pu$$

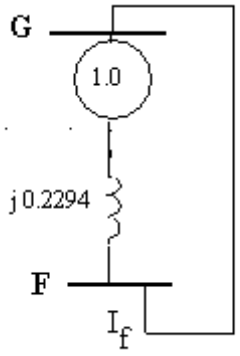
نرسم الدائرة المكافئة لمنظومة القوى في حالة حدوث الخطأ

- كما هو موضح بالرسم المقابل، رسمنا خطًا يمثل الأرض G وآخر يمثل نقطة الخطأ F

- مصادر تغذية الخطأ هي المولد والمحرك، ولذلك بدأنا بالمولد ورسمنا مسارات تغذية الخطأ منه (في هذه الحالة مسار واحد فقط الذي يضم المولد والمحول الأول) وفعلنا نفس الشيء للمحرك وله أيضا مسار واحد يشمل المحرك والمحول الثاني وخط النقل



نبسط هذه الدائرة المكافئة و أولى خطوات التبسيط هو الاستعاضة عن جميع مصادر الجهد في الدائرة بمصدر وحيد كما هو موضح بالرسم المقابل، وكذلك نوجد المقاومة المكافئة لكل فرع من أفرع الدائرة، ونصل إلى معاوقتين على التوازي تكون المعاوقة المكافئة لهما:



$$Z_{eq} = \frac{j0.3293 \times j0.7563}{j0.3293 + j0.7563} = j0.2294\,pu$$

وبهذا نكون حصلنا على دائرة التتابع الموجب لمنظومة القوى لخطأ عند F في أبسط صورها أي مصدر جهد مع معاوقة على التوالي وقد اصطلح على تسمية المعاوقة المكافئة لدائرة التتابع الموجب X_1، وذلك لأن المقاومة مهملة وحيث إن الخطأ حصل عند F تكون المقاومة بينها وبين الأرض مساوية للصفر ولذلك نكمل الدائرة بتوصيل نقطة الخطأ بالأرض .

شكل(٥- ٨) الدائرة المكافئة لمنظومة القوى

حساب تيار القصر الكلي (I_f)

من دائرة التتابع الموجب التي حصلنا عليها يكون:

$$I_f = \frac{E}{X_1} = \frac{1.0}{0.2294} = 4.359\,pu$$

و لأن الخطأ حدث في دائرة خط النقل، فإن القيمة الحقيقية لتيار القصر تساوي حاصل ضرب قيمة تيار القصر بالوحدة و القيمة الإسنادية للتيار في دائرة خط النقل.

ولذلك نحسب القيمة الإسنادية للتيار في دائرة خط النقل

$$I_b = \frac{MVA_b \times 10^3}{\sqrt{3}.kV_b} = \frac{100 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 200} = 288.675 \text{ A}$$

القيمة الحقيقية لتيار القصر

$$I_f = I_{f\,pu} \times I_b = 4.359 \times 288.675$$

$$I_f = 1258.33 \text{ A}$$

ولإيجاد تيار القصر في كل من المولد والمحرك نستخدم قانون تجزيء التيار بين معاوقتين على التوازي.

تيار المولد:

$$I_g = 4.359 \frac{j0.7563}{j0.7563 + j0.3293} = 3.037 \text{ pu}$$

القيمة الإسنادية للتيار في دائرة المولد

$$I_b = \frac{MVA_b \times 10^3}{\sqrt{3}.kV_b} = \frac{100 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 10} = 5773.5 \text{ A}$$

القيمة الحقيقية لتيار القصر في المولد

$$I_g = I_{g\,pu} \times I_b = 3.037 \times 5773.5$$

$$I_g = 17534 \text{ A}$$

تيار المحرك:

$$I_m = 4.359 \frac{j0.3293}{j0.7563 + j0.3293} = 1.322 \text{ pu}$$

القيمة الإسنادية للتيار في دائرة المحرك

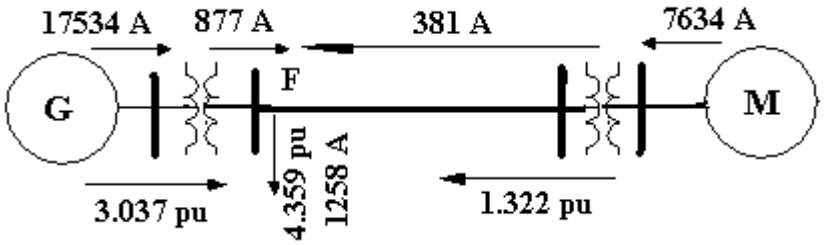
$$I_b = \frac{MVA_b \times 10^3}{\sqrt{3}.kV_b} = \frac{100 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 10} = 5773.5 \text{ A}$$

القيمة الحقيقية لتيار القصر في المحرك

$$I_m = I_{m\,pu} \times I_b = 1.322 \times 5773.5$$

$$I_m = 7634 \text{ A}$$

والشكل التالي يبين مخطط المنظومة موقعًا عليه توزيع تيارات القصر في أجزاء المنظومة وقيم التيارات مقدرة بكل من الوحدة والأمبير.



شكل (٥- ٩) تيارات القصر في أجزاء منظومة القوى

٧.٥ - حساب مقنن القصر لخطأ متماثل ثلاثي الأوجه

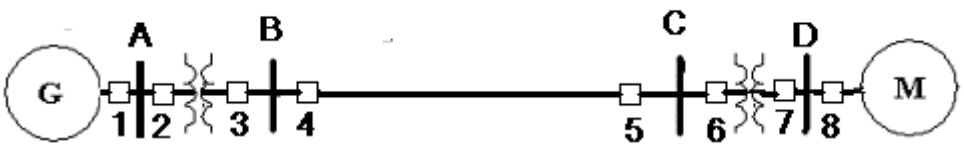
يتم حساب مقننات القصر لتحديد سعات القطع المطلوبة للقواطع التي ستقوم بحماية منظومة القوى ضد أخطار القصر، ولأن تيار القصر يكون أكبر ما يمكن في حالة الخطأ المتماثل ثلاثي الأوجه فإنه يتم حساب سعة القصر على أساس تيار القصر لخطأ متماثل ثلاثي الأوجه. ولأن القواطع تكون متصلة على القضبان العمومية للمحطات التي تحتوي هذه القواطع فإن سعة القاطع تحسب على أساس مقنن القصر لخطأ ثلاثي الأوجه على القضبان العمومية المتصل عليها القاطع. ويتم حساب مقنن القصر من المعادلة الآتية:

$$MVA_{sc} = \sqrt{3}.kV_r \times I_{sc} \times 10^{-3}$$

حيث : kV_r هو الجهد المقنن للقضبان العمومية المتصل عليها القاطع مقدرًا بالكيلو فولت .

I_{sc} هو تيار القصر لخطأ متماثل ثلاثي الأوجه على نفس القضبان العمومية مقدرًا بالأمبير .

MVA_{sc} هي مقنن القصر عند القضبان .



شكل (٥- ١٠) منظومة القوى مع تحديد القواطع

ففي الشكل (٤- ١٠) يمثل نفس النظام الموجود في شكل (٥- ٩) مع تحديد القواطع ، ولحساب مقنن القصر للقواطع 1 , 2 نحسب تيار القصر لخطأ متماثل عند القضبان العمومية A وكذلك للقواطع 3 , 4 نحسب تيار القصر لخطأ متماثل عند القضبان العمومية B وللقواطع 5 , 6 نحسب تيار القصر لخطأ متماثل عند القضبان العمومية C وللقواطع 7 , 8 نحسب تيار القصر لخطأ متماثل عند القضبان العمومية D.

مثال (٤- ٤)

احسب مقنن القصر للقواطع 3,4 في شكل (٤-١١). استخدم نتائج حسابات تيار القصر في المثال السابق.

الحل:

بمقارنة بسيطة للشكلين (٤- ١١) ، (٤- ١٠) نستنتج أن نقطة F في شكل (٤- ١٠) يمكن اعتبارها هي نفسها القضبان العمومية B وذلك لأننا فرضنا أن الخطأ وقع في بداية خط النقل من ناحية المولد وبداية خط النقل هي نفسها القضبان العمومية المتصل بها خط النقل ألا وهي B أي أن قيمة تيار القصر عند القضبان B هي نفسها قيمة تيار القصر عند النقطة F في المثال السابق.

ويكون لدينا:

$I_{sc} = 1258$ A

($kV_r = 220$ kV) يساوي الجهد المقنن للمحول المتصل بهذه القضبان

وتكون سعة القصر:

$$MVA_{sc} = \sqrt{3}.kV_r \times I_{sc} \times 10^{-3} = \sqrt{3} \times 220 \times 1258 \times 10^{-3}$$

$$\therefore MVA_{sc} = 479.36 \text{ MVA}$$

وبالطبع لن تجد قاطعاً له سعة قطع تساوي القيمة المحسوبة بالضبط وذلك لأنه يتم تصنيع هذه القواطع بسعات قياسية وقد يكون أقرب سعة قياسية لمقنن القصر الذي تم حسابه هو 500MVA ولذلك عند اختيار سعة القاطع نأخذ هذه القيمة القياسية وليست المحسوبة.

٨.٥ - تأثير القصر وزمن الفصل على الشبكة:

لكي نتصور مدى تأثير تيار القصر على الشبكة هناك عدة نقاط بسيطة يجب أن نستحضرها:

١. تيار القصر أكبر من تيار التشغيل العادي والذي تم تصميم و تركيب عناصر الشبكة على تحمله بعشرات المرات
٢. الطاقة الحرارية الناتجة عن التيار الكهربائي تتناسب مع حاصل ضرب مربع القيمة الفعالة لشدة التيار والزمن
٣. القوة الكهرومغناطيسية الناتجة بين موصلات تحمل تيار تتناسب مع حاصل ضرب قيم التيارات في الموصلات.

ومن هذه النقاط الثلاثة يمكن تحديد تأثير تيار القصر في الآتي:

- التسخين الزائد لعناصر منظومات القوى التي يمر بها تيار القصر كالمحولات والمولدات والكابلات والخطوط والذي يصل إلى مئات المرات مقدار التسخين الناتج في حالات التشغيل العادي والذي يؤدي حتما إلى تدمير عوازل الكابلات والمحولات والمولدات وإلى انصهار الموصلات نفسها إذا استمر القصر لزمن طويل.
- القوى الكهرومغناطيسية بين الموصلات تكون أضعافا كثيرة للقيمة التي تم تصميم هذه الموصلات لتحملها وخصوصا القضبان العمومية وأدوات تثبيتها تكون أكبر تأثرًا بهذه القوى.

بالإضافة إلى هذه التأثيرات يحدث شيء آخر ويكون خطيرًا جدًا إذا تأخر زمن الفصل، فمن المعلوم أنه أثناء القصر تنخفض الجهود في الشبكة بدرجة كبيرة مما يؤدي إلى أن تكون القدرة الكهربية المنقولة عبر الشبكة أقل بكثير من القدرة الميكانيكية الداخلة للمولدات. في مثل هذه الحالة تبدأ سرعة المولد الواقع تحت تأثير القصر في التسارع نتيجة لأن القدرة الميكانيكية الداخلة له أكبر من الخارجة وشيئا فشيئا إن لم يتم فصل الخطأ قبل زمن يعرف بزمن الفصل الحرج يخرج المولد عن العمل بالتزامن مع المولدات الأخرى وتستمر سرعته في الزيادة بشكل كبير إلى أن يتم فصله بواسطة أجهزة الحماية ضد زيادة السرعة. وبعد خروج المولد الأول من الخدمة وفي حالة استمرار القصر تتداعى المولدات الباقية واحدًا تلو الآخر حتى يحدث إظلام كامل ويلزم استعادة الشبكة من جديد.

٩.٥ - المانعات الصناعية

كما شرحنا باختصار في الجزء السابق الآثار التدميرية للقصر إذا تأخر فصله، ورأينا أن هذه الآثار تحدث كنتيجة مباشرة لتيارات القصر الكبيرة جدًا، وتكون تيارات القصر كبيرة نظرًا لكون ممانعة الشبكة في حالة القصر تكون صغيرة، ولذلك يلزم أحيانًا إضافة ممانعات صناعية للحد من تيارات القصر. وأشهر هذه الممانعات هي الممانعات التي تضاف بين نقطة التعادل للمولد والأرض وكذلك تلك التي تضاف إلى خطوط النقل إما بالتوازي أو بالتوالي.

١.٩.٥ - ممانعات المولد

تضاف الممانعات بين نقطة التعادل والمولد للحد من تيار القصر وخصوصا تيارات القصر الأرضية. وذلك لأنه في حالة المولد تكون ممانعة التتابع الصفري أصغر من ممانعة التتابع الموجب ولذلك فإنه إذا حدث خطأ أرضي على أطراف المولد يكون تيار القصر أكبر منه في حالة القصر المتماثل ولذلك تضاف الممانعة للحد من هذا التيار، وهذه الممانعة لا تؤثر بحال في مقدار تيار القصر للخطأ المتماثل وإنما تقلل تيارات القصر للأخطاء المتصلة بالأرض. وهذه الممانعة قد تكون مفاعلة حثية أو مقاومة.

٢.٩.٥ - ممانعات المغذيات

تضاف الممانعات للمغذيات بعدة طرق ولأسباب مختلفة. فتضاف مفاعلات سعوية على التوازي لتحسين الجهد وتعويض القدرة غير الفعالة، وقد تضاف نفس المفاعلات السعوية على التوالي لتعويض ممانعة المغذي وتحسين أدائه ولزيادة قدرة الشبكة على نقل القدرة (زيادة حدود الاستقرار لمنظومة القوي).

وقد تضاف مقاومات أو مفاعلات حثية للتأريض بهدف الحد من تيار القصر.وكذلك يمكن استخدام تجميعات من المكثفات والملفات بغرض تعويض الحمل load compensation والهدف منه جعل الأحمال على الأوجه الثلاثة متزنة ، أو ملف مع مكثف مع نظام للتحكم في سريان القدرة عبر الخطوط والمغذيات في الشبكة .

فيما يعرف بأنظمة النقل المرنة للتيار المتغير Flexible AC Transmission SystemsFACTS

المراجع

اسم المرجع	المؤلف
Electric Power Systems, 2001	Sayed A. Nassar and F.C. Trutt, Taylor and Fracis
Electric Power Cable Engenneering, 2nd Edition, 2003	William And Thue, Taylorand Fracis
Electric Power Systems. McGraw Hill, 1996	J.A. Harrison
Power Systems Analysis, 1997	C.A. Gross
Element of Power Systems Analysis, McGraw Hill	W. D. Stevenson
Power System Relaying , 2nd Edition, Research Studies Press	Stanley H. Horowitz and Arun G. Phadke
Power Systems	Behic R. Gungor
حساب الأخطاء ونظم الوقاية ، منشأة المعارف بالاسكندرية ، ١٩٩٠	آسر علي زكي و عبدالمنعم موسى
موسوعة هندسة الحمايات الكهربائية ، دار الراتب الجامعية	محمد خضير حمادي
معدات القطع والوصل والحماية ، دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع	وحيد مصطفى أحمد
التأريض الوقائي والحماية ضد الصواعق ، منشأة المعارف بالاسكندرية	آسر علي زكي