

حماية النظم الكهربائية

أساسيات الحماية الكهربائية

وصف المقرر :

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

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 بإذن الله سبحانه من :

- الإلمام بأساسيات حماية النظم الكهربائية وبالمصطلحات المستعملة في هذه الحماية.
- الإلمام بمبدأ تشغيل المصهرات وبأنواعها.
- الإلمام بمبدأ تشغيل القواطع الكهربائية وبأنواع المختلفة لهذه القواطع
- الإلمام بأنواع المختلفة للمرحلات حسب التركيب وحسب الوظيفة.
- 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.

الجدارة : فهم أساسيات الحماية الكهربائية

الأهداف :

- عند إتمام دراسة هذه الوحدة يتمكن المتدرب بإذن الله سبحانه من :
١. معرفة أساسيات نظم الحماية الكهربائية.
 ٢. فهم التعاريف والمصطلحات المستعملة في حماية نظم القوى الكهربائية.
 ٣. التعرف على الحماية المركبة لعناصر المنظومة الكهربائية.

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

الوقت المتوقع للتدريب : ساعتان

الوسائل المساعدة :

استخدام الوسائل التعليمية المختلفة.

متطلبات الجدارة :

يجب أن يكون المتدرب ملماً بتقنية التوزيع الكهربائي وكذلك الشبكات الكهربائية.

١.١ المقدمة

إن منظومة القوى الكهربائية هي من أكبر النظم التي ابتدعها الإنسان على وجه الأرض حيث إنها الأكبر في عدد المكونات وعدد العاملين بها وعدد المستفيدين منها والأوسع انتشاراً جغرافياً ، فلو نظرنا إلى منظومة القوى الكهربائية بالملكة لوجدناها تغطي كامل مساحة المملكة تقريباً 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 بعمود 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 لانهايار عزل موصلات المحول أو المولد أو الكابل.

وهذه الأخطاء تؤدي إلى حدوث إما دوائر قصر short circuits والتي ينتج عنها مرور تيار كبير جداً 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 وخصوصاً 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 وتأمينها لضمان استمرارية تغذية الأحمال المهمة كالمصانع والمستشفيات والدوائر الحكومية والبنوك والمنشآت الأمنية.

وفي هذا الباب نعرض بعض المفاهيم الأساسية لحماية النظم حيث سنقدم عرضاً موجزاً لأنواع الأخطاء وأسبابها والخصائص المطلوبة لنظام الحماية والتي ستنم دراستها بالتفصيل في فصول لاحقة. ونظراً 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" كترجمة 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" كترجمة لكلمة fault.

٢.١ - الأخطاء وأنواعها Faults and fault types

كما هو معروف إن منظومات القوى الكهربائية هي أنظمة التيار المتردد ثلاثي الأوجه ، وشروط التشغيل السليم الآمن هو :

- أن تكون الأوجه الثلاثة متزنة balanced 3 phase
- أن يكون التيار ضمن الحدود المسموح بها
- أن لا يمر أي تيار خارج الدوائر المعدة لنقل التيار من محطات التوليد إلى الأحمال
- أن لا تنقطع التغذية عن الأحمال
- أن يكون الجهد والتردد ثابتين كل عند القيمة المحددة 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 ، أو انهيار عوازل الخطوط الهوائية ، أو انهيار 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 جنباً إلى جنب بقصر الموصلين معاً ، أو ثعبان

يصل بين خطين من خطوط القدرة ، أو شجرة تقع على أحد الخطوط ، أو رياح قوية تجعل الموصلات تتلامس ، أو طائفة 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 نتائجها 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 أيضاً أخطاء متزامنة simultaneous faults أي أخطاء تحدث في نفس الوقت بعضها مع بعض ولا يشترط أن تكون في نفس المكان ، فقد يكون نظام القدرة معرضاً لدائرة قصر بين خطين في مكان ما وخطأ في ملف أحد المحولات في مكان آخر ومثل هذه الأخطاء نادرة الحدوث وأغلب الحالات التي يحدث فيها أخطاء متعددة هو قطع أحد الخطوط وملامسة البرج فيكون بذلك خطأ الدائرة مفتوحة مع الخطأ الأرضي في نفس الوقت.

٣ - وأيضاً يمكن تصنيف الأخطاء تبعاً لزمن حدوثها إلى :

- أخطاء عابرة temporary faults وهي الأخطاء التي تحدث وتنتهي سريعاً. 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 .

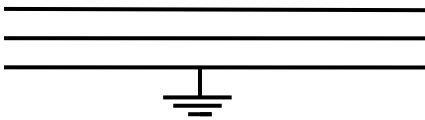
٤ - كما يمكن تصنيف الأخطاء تبعاً لمكونات منظومة القوى كالاتي :

- 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

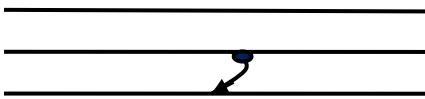
أ- أخطاء دوائر القصر Short Circuit Faults

وتشمل هذه الأخطاء :

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

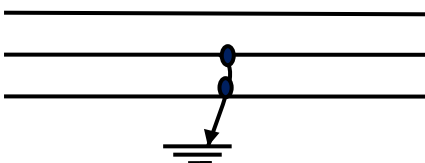


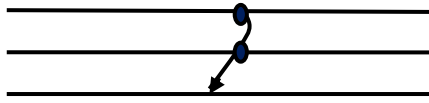
- قصر وجهين معاً Phase to phase fault



- قصر وجهين مع اتصال بالأرض

Two phase to ground fault





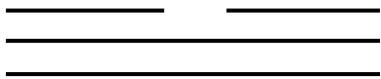
- الخطأ المتماثل Symmetrical fault

ويسمى أيضاً القصر الثلاثي الأوجه Three phase fault

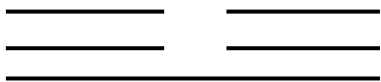
والتيار في حالة الخطأ المتماثل هو أكبر من تيارات الخطأ في الحالات الأخرى ولذا يستخدم هذا الخطأ لحساب مستويات أخطاء النظام وتحديد المقننات المطلوبة لمعدات الحماية من قواطع وغيرها.

ب- أخطاء الدائرة المفتوحة Open Circuit Faults

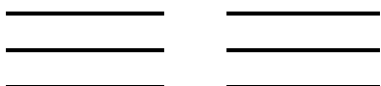
تحدث هذه الأخطاء غالباً على الخطوط الهوائية والكابلات الأرضية والسبب الرئيس لها هو فشل أحد الأوجه لقاطع أو مفتاح عزل في إتمام التوصيل. وتشمل هذه الأخطاء الأنواع التالية :



- انقطاع أحد الأوجه



- انقطاع وجهين



- انقطاع الأوجه الثلاثة.

ويؤدي انقطاع وجه واحد أو وجهين إلى حدوث عدم اتزان unbalance في منظومة القدرة مما يشكل خطراً على الآلات الكهربائية وخصوصاً 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 ملامساً 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 عادياً بينما يكون التيار في الملفات المقصورة كبيراً جداً مما يؤدي إلى ارتفاع درجة حرارتها وقد يؤدي إلى انهيار الموصل نفسه.

- قطع في أحد الملفات

وهي حالة نادرة وغالباً ما تحدث في الملف الذي حدث فيه دائرة قصر عند نقطة العطل أو قريباً 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 تعرضاً لحدوث الأخطاء وذلك لكونها مكشوفة ومعرضة للعوامل الجوية واحتمال سقوط الأجسام الغريبة عليها. وتحدث هذه الأخطاء نتيجة البرق ، والخطأ في عمليات الفصل والتوصيل والجليد والرطوبة وتلوث العوازل وتصدعها. وأكثر الأخطاء حدوثاً هي الأخطاء الأحادية 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 عدداً من أخطاء الخطوط الهوائية بنسب كبيرة وذلك لأنها معزولة ومدفونة في الأرض.

- أخطاء الكابلات الأرضية تكون من الأخطاء الدائمة وليست عابرة كما في الخطوط الهوائية.

- الأخطاء التي تتعرض لها الكابلات الأرضية 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.

٣.د - أخطاء محولات القدرة Power Transformers

- الأخطاء التي يتعرض لها محول القدرة تنقسم إلى قسمين :
- ج١- أخطاء ناتجة عن أسباب خارجية كالأخطاء التي تحدث نتيجة للجهود العالية التي تنتج عن عمليات الفصل والتوصيل أو عن ضربات الصواعق.
- ج٢- 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 السيء للأحمال على المحولات التي تعمل على التوازي ،
- عدم إحكام التوصيلات الخارجية ،
- عطل في قلب المحول نتيجة لانهيار عازل شرائح القلب.

٤.د - 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 الثلاثية الأوجه 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 الوجه الواحد 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 حدوثاً 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 إنه 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 جداً وإن لم يتم فصله بسرعة يؤدي إلى حدوث عواقب وخيمة جداً 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 معداً 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 ضعفاً من التيار المقنن مثلاً ، فإن كمية الحرارة المتولدة تكون ٤٠٠ ضعف كمية الحرارة المصممة 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 جداً لا يتعدى الثانية الواحدة بكثير.

ب - القوى الكهرومغناطيسية Electromagnetic forces

من المعروف أنه تنشأ قوى كهرومغناطيسية بين موصلين يحملان تياراً كهربائياً 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 ضعفاً من التيار المقتن مثلاً، تزيد القوة بين الموصلات إلى ٤٠٠ ضعف قيمتها عند ظروف التشغيل العادية مما يؤدي إلى تلف ميكانيكي للموصلات حيث إن هذه القوى تكون أكبر بكثير جداً 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.

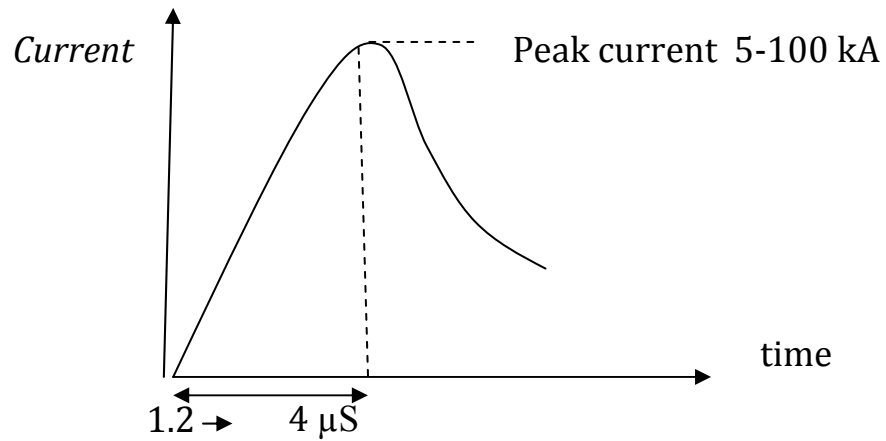
٢.٣.١ الأضرار الناتجة عن ارتفاع الجهد Damage due to overvoltage

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

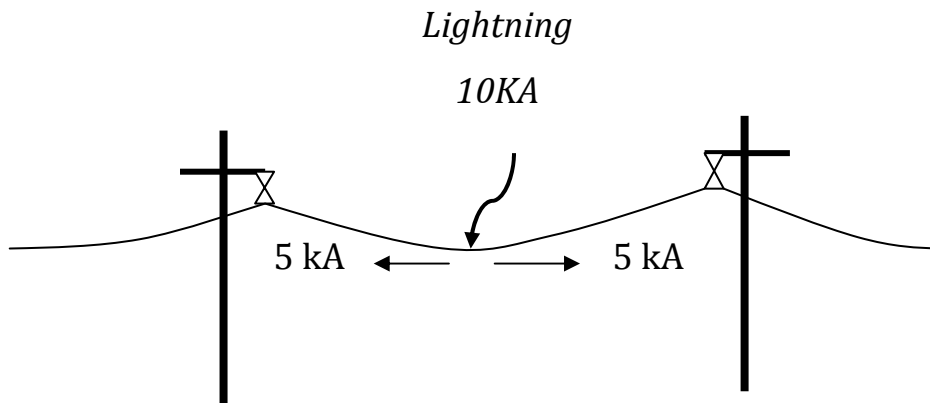
- ارتفاع الجهد نتيجة عمليات الفصل والتوصيل Switching overvoltage
- ارتفاع الجهد نتيجة تغيير مفاجئ في الحمل overvoltage due to sudden change in load
- ارتفاع الجهد نتيجة قطع مفاجئ في الدائرة الكهربائية overvoltage due to load loss
- ارتفاع الجهد نتيجة حدوث رنين توازي بين مكثفات تحسين معامل القدرة وممانعة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

أما السبب الرئيس 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 μ s – 3 ms



شكل (١,١) : شكل موجة تيار الصاعقة



شكل (٢,١) : ضربة صاعقة على خط هوائي

عند سقوط ضربة برق بتيار قدره 10 kA على خط ممانعته المميزة 400Ω (الممانعة المميزة للخط تعتمد على محاثية 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 :

$$V = Z \cdot I = 5000 \cdot 400 = 2000000 \text{ V}$$

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

٣.٣.١ 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 الأحادية الوجه.
 - ولكن عدم التوازن في هذه الحالة لا يكون خطيراً 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 تأريضاً جيداً بحيث إن تيار الخطأ يكون صغيراً 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 الثلاثية 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 الكهربائية

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، وجهاز لإعطاء الأمر للقاطع ليفصل الدائرة حالاً عندما يصبح أحد تلك الكميات أكبر من العادي أي Abnormal (حالة العطل للدائرة المحمية).

• إن اصطلاح Normally Open Contact (NOC) يعني أن الملامس للمرحل مفتوح في الحالة الطبيعية أي عندما يكون المرحل غير مهيج. كما تشير إلى أن الملامس يقوم بإغلاق الدائرة عندما يعمل المرحل ويسمى هذا الملامس بلامس 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 أيضاً 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 يحدد 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 معاً.

• 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

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

• الحساسية Sensitivity

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

• المتانة Consistency

وهي قدرة المرحل على إمكانية إعادة خواصه الكهربائية والزمنية بعد عملية الفصل.

• زمن التشغيل Operating Time

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

• المرحلات اللحظية Instantaneous Relays

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

• مرحلات التأخير الزمني Time-delay Relay

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

• مرحلات زيادة التيار Over Current Relays

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

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

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

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

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

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

Inverse-definite time Relay

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

٥.١ - 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 المتعطل فقط من النظام المحمي دون بقية الأجزاء السليمة.

ومن أجل أن تكون أجهزة الحماية قادرة على فعل ذلك، فإنها يجب أن تكون قادرة وبدون أي تأخير على تقرير أي من القواطع الآلية يجب فصله لعزل الجزء المتعطل فقط من الشبكة المراد حمايتها. كما تعتبر أجهزة الحماية شكلاً من أشكال التأمين من وجهة النظر الاقتصادية. فهي تحمي نظام القدرة ذا 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 (الأعطال) وأهم ما يتضمنه العطل زيادة التيار وهبوط الجهد وتحدث الأعطال في أغلب الأحيان نتيجة حدوث دائرة قصر أو انهيار في العوازل أو التعرض لصدمات البرق أو نتيجة عمليات خاطئة في الدائرة.

وبالإضافة إلى مهمة أجهزة الحماية بفصل الأجزاء المتعطله 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 الأعطال وتحديد حالة المنظومة.
٣. عزل الجزء المتعطل من الشبكة بواسطة القواطع الآلية.
٤. القيام بالتصحيح اللازم لاستفادة العمل النظامي باستخدام أجهزة تحكم مناسبة.
٥. التنبيه أو الإنذار لكي يتدخل العنصر البشري ليقوم بالتصحيح اللازم.

وتشتمل أجهزة الحماية على :

- المصهرات Fuses
- القواطع الآلية Circuit Breakers

• المرحلات Relays

• مانعات الصواعق Lightning Arrestors

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

ويجب أن تركيب أجهزة الحماية في الأماكن المناسبة التي تلائم عملها وذلك لضمان موثقية 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 (الأعطال). وتعتبر الكميات الكهربائية الأساسية التي يمكن أن تتغير أثناء التحول من الحالة السليمة إلى حالة العطل هي التيار والجهد والاتجاه والتردد وعامل القدرة (زاوية الطور). ومن الضروري أن تكون الحماية من أجل الاستجابة لأكثر من كمية من هذه الكميات الكهربائية وذلك بسبب أن تيار العطل أثناء حالة التوليد الصغرى يمكن أن يكون أقل من تيار الحمولة العادية أثناء حالة التوليد القصوى.

٦.١ - وظيفة وأسلوب عمل أجهزة الحماية

يلاحظ مما تقدم أن المرحلات تعمل عمل المراقب الذي لا يتعب فهي تقيس باستمرار الكميات الكهربائية للدائرة المحمية ، وجهازه لتفصل الدائرة حالاً عندما يصبح أحد هذه الكميات غير عادي (حالة العطل). فمثلاً المرحلات المسافية نوع المفاعلة (Distance Relay type reactance) من أجل حماية خط نقل فإنها تفصل الخط من القضبان المجمعة إذا حدث العطل ضمن المنطقة المحمية ولا تفصله إذا حدث العطل خارج تلك المنطقة المحمية وليتم تحقيق ذلك فإنها تقيس التيار والجهد ومعامل القدرة

($\cos \Phi$) وتحسب المقدار $\left(\frac{|V|}{|I|} \sin \varphi \right)$ بشكل صحيح بدقة تصل إلى ٢٪ وتغلق ملامساتها أو لا تغلقها ويعتمد ذلك على موقع العطل ضمن المنطقة المحمية أو خارجها.

ومن أجل المحافظة على حجم وتكاليف أجهزة الحماية إلى قيم مقبولة فإن التيارات العالية والجهود للدائرة الأولية لا تطبق مباشرة على أجهزة الحماية وإنما تنقص إلى قيم صغيرة نسبياً باستخدام محولات

القياس - وهي محول الجهد (Potential Transformer) ومحول التيار (Current Transformer) والتي تكون مهمتها ما يلي :

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

٢. عزل دائرة الأجهزة المستخدمة عن الدائرة الأولية والتي تكون غير مناسبة في الجهد والتيار.

٣. تحويل قيم التيار والجهد في الدائرة الأساسية إلى قيم نظامية عالمية مستخدمة لكافة الأجهزة .

وتؤخذ تيارات الحماية من الدائرة الثانوية لمحولات التيار كما تؤخذ جهود الحماية من الدائرة الثانوية لمحولات الجهد أو من عناصر جهد سعوية. وتكفي مجموعة واحدة من محولات الجهد مربوطة إلى القضبان المجمعة لتأمين تغذية الحماية بالجهد لكافة الدوائر المرتبطة بهذه القضبان وتعتمد الدقة والموثوقية لخطط الحماية بشكل كبير على دقة محولات القياس المستخدمة وخصوصاً 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 الحماية المسافية أو حمايات القدرة بوشيعة 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.

٧.١ - المبادئ الأساسية لعمل دائرة الحماية

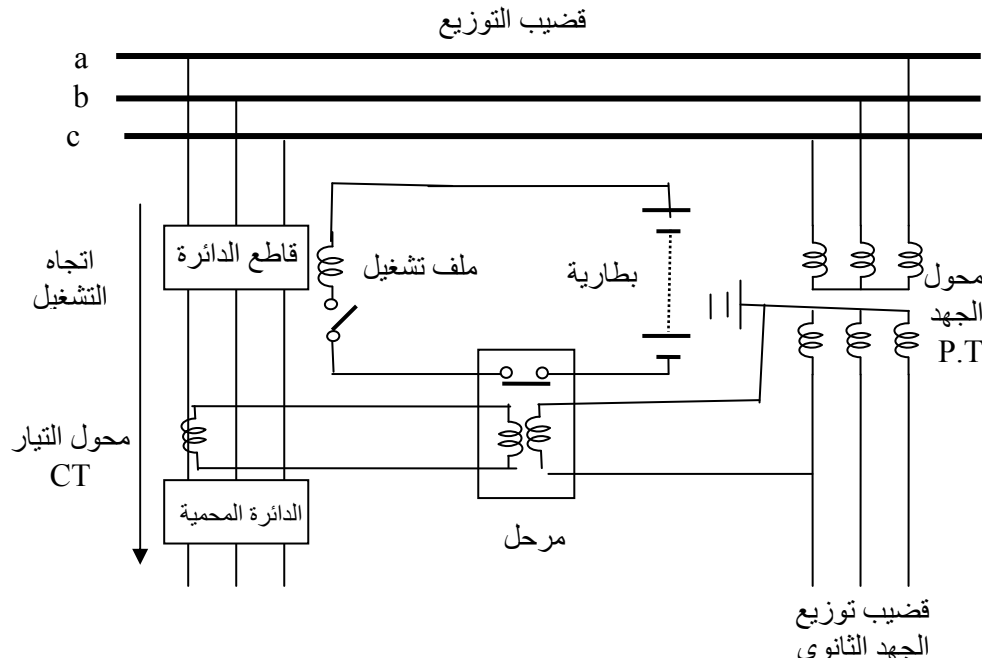
إن لجميع مرحلات الحماية (Protective Relays) وضعيتين الوضع الأول وهو الوضع النظامي ويكون الملامس عادة مفتوح الدائرة والوضع الثاني وهو وضع العطل ويكون الملامس مغلقاً وتتغير وضعيته

الملامس في الحماية إلى الوضعية المغلقة (وضعية العطل) عندما تزيد كميات العطل غير النظامية (زيادة التيار مثلاً) على الكميات النظامية.

ويبين الشكل (٣.١) التوصيلات الأساسية لمرحل حماية من الأعطال التي تحدث على القسم المراد حمايته. ويوضح الشكل القضبان المجمعة (Bus-Bars) لمحطة توزيع وأحد المغذيات (Feeders) ومحولات الجهد لأغراض القياس والحماية. كما يبين موقع أحد محولات التيار في الدائرة المراد حمايتها. ويجب أن تتضمن الدائرة المراد حمايتها ثلاث محولات تيار من أجل نظام الحماية الفعال وتغذي الدائرة الثانوية لمحولات التيار ملف التيار في جهاز الحماية (المرحل) ويتغذى ملف الجهد في المرحل من الدائرة الثانوية لمحولات الجهد. وقد مثل المرحل بأحد ملفات التيار وملف الجهد وأحد ملامس التحكم، ووجود ملف للجهد دلالة على أن المرحل يفصل بشكل اتجاهي حسب السهم في الشكل الموضح كما يتضح أن في الدائرة وشيعة الفصل للقاطع الآلي (Trip Coil t.c.) واللامس المساعد (auxiliary switch) للقاطع الآلي. كما توصل في الدائرة مجموعة من البطاريات حسب الشكل من أجل تغذية أجهزة الحماية والقاطع الآلي. ويمكن شرح عملية فصل القاطع الآلي عند حصول عطل في الدائرة المحمية بالشكل التالي:

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

كما يجب أن نذكر أنه عندما تغلق ملامس المرحل فإن النسبة العالية (L/R) لوشيعة الفصل للقاطع الآلي تؤخر تعاظم التيار، وهكذا فإن القاطع السريع يفصل قبل أن يصل التيار إلى القيمة الثابتة. وبعد أن يفصل القاطع الآلي فإن الملامس المساعد (a) يفتح ومن ثم فإن دائرة وشيعة الفصل تصبح غير مهيجة ويفتح المرحل ملامساته وتعود إلى وضعها الأساسي (rest). ومن الأمور المهمة المطلوبة من ملامس المرحل ألا يتذبذب بسرعة أثناء استمرار تيار الفصل وإلا فإن الملامسات سوف تحترق وتصبح سيئة.



الشكل (١ - ٣) مبادئ عمل دائرة الحماية

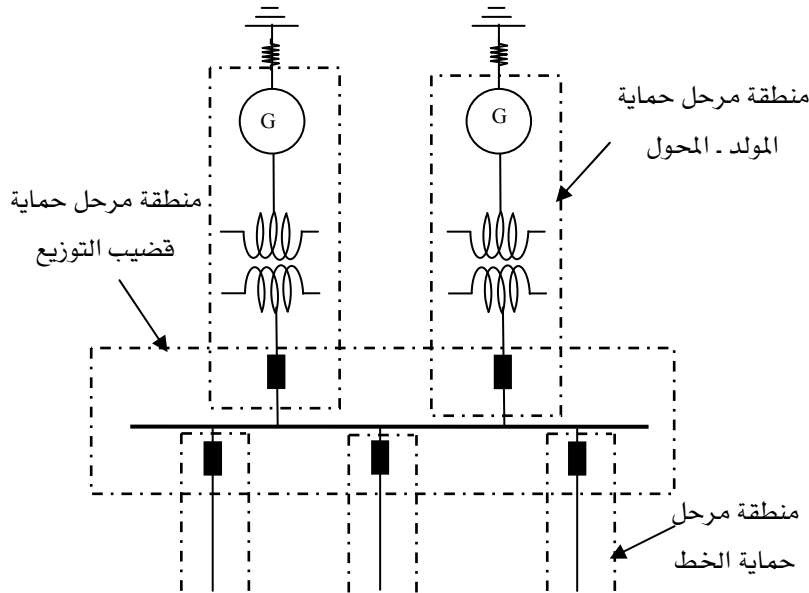
٨.١ - المتطلبات العامة لأجهزة الحماية

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 عن 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 - الانتقائية Selectivity

إن صفة الانتقائية لجهاز الحماية هو قدرته على عزل الجزء المتعطل من الشبكة دون بقية الأجزاء السليمة واستمرار التغذية في بقية الشبكة الكهربائية. وفي هذه الحالة فإن الحماية لها القدرة على اكتشاف وجود الأعطال في النظام المراد حمايته وتحديد القواطع الآلية التي تعمل لعزل العطل. ويبين

الشكل (١ - ٤) محطة توليد صغيرة مكونة من مجموعتي توليد كل مجموعة مكونة من مولد ومحول تغذي قضباناً مجمعة، يخرج منها عدة مخارج أو مغذيات خارجية.

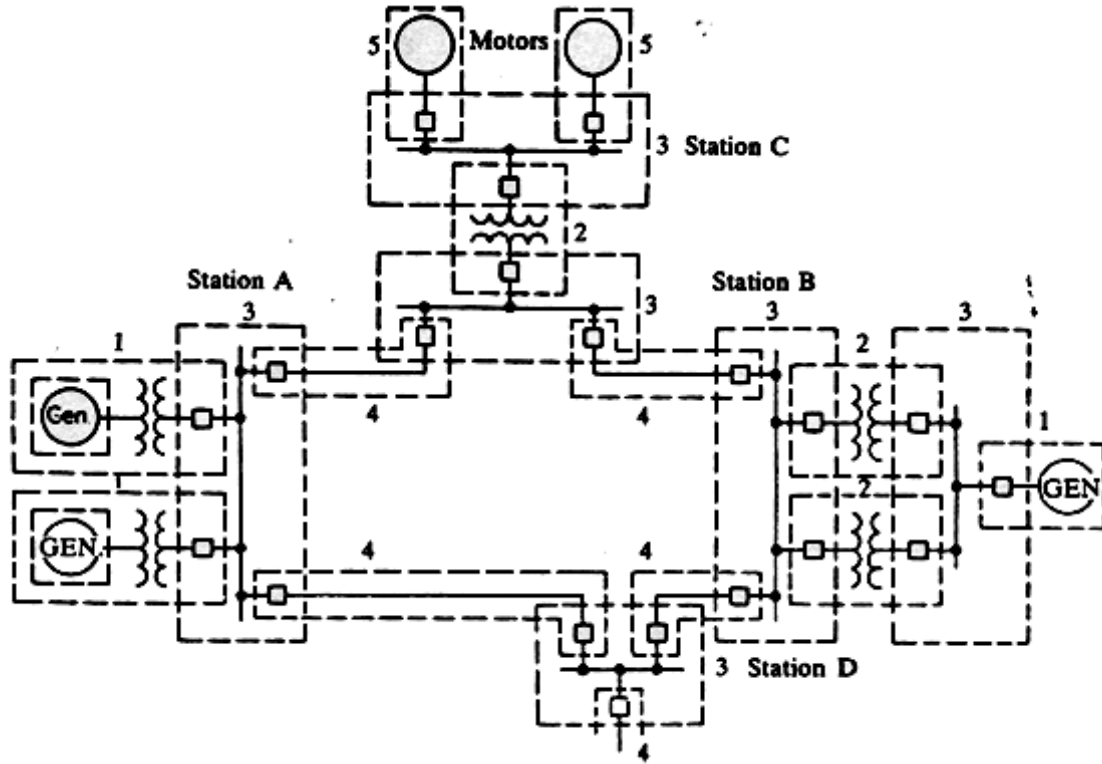


الشكل (١ - ٤) تأمين مناطق الحماية المتراكبة لتفادي المناطق الميتة بدون حماية

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

أما إذا حدث العطل ضمن منطقة مجموعة (المولد - المحول) فإن الحماية لهذه المنطقة تعطي أمر الفصل فقط للقواطع الآلي الخاص بهذه المنطقة. ويلاحظ أن المنشأة مقسمة إلى عدة مناطق محمية، كل منطقة لها حماية مستقلة. كما يلاحظ أن مناطق الحماية تتراكب (over lapping) وذلك من أجل الحماية الكاملة وعدم وجود مناطق ميتة بدون حماية. ويلاحظ أن منطقة حماية القضبان المجمعة تتراكب مع حماية المغذيات الخارجية وكذلك مع منطقة الحماية لمجموعة المولد والمحول. ويبين الشكل (١ - ٥) نظام قدرة نموذجي أشد تعقيداً مكوناً من مجموعات توليد تغذي عدة محطات تحويل مع ارتباطها بخطوط نقل القدرة. وقد تم تقسيم هذا النظام إلى عدة مناطق حماية مع تأكيد أن تكون هذه المناطق متراكبة. فإذا حدث عطل على أحد هذه المناطق فإن كافة القواطع الآلية الواقعة بين تلك المنطقة وبين بقية المناطق يجب أن تفصل. ويظهر في الشكل أن الرقم ١ يشير إلى منطقة الحماية لمجموعة المولد

والمحول والرقم ٢ يشير إلى منطقة حماية محول الاستطاعة والرقم ٣ يشير إلى حماية قضبان مجمعة و٤ إلى حماية الخطوط و ٥ إلى حماية المحركات.



الشكل (١ - ٥) نظام قدرة نموذجي مع مناطق الحماية المتراكبة

٢.٨.١ - سرعة العمل Speed of operation

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

وتعتبر خاصية السرعة ضرورية لأنها تفصل القسم المتعطل خلال فترة زمنية قصيرة مما يؤدي إلى التخفيف أو الحد من التلف والدمار للتجهيزات كما يتم تجنب فقدان الاستقرار في عمل مجموعات التوليد ومجموعات القدرة، ويتحدد زمن عزل العطل بعدة أمور منها مواصفات وجودة أجهزة الحماية ونوعيتها، كما يعتمد على استطاعة وجهد وتكاليف نظام القدرة، كما يعتمد أيضاً على نوعية العطل.

وحتى تحافظ مجموعات القدرة على استقرارها يجب إزالة العطل ضمن زمن معين وستتعرف على بعض الأزمنة التقريبية للفصل.

فمثلاً لخطوط النقل ذات الجهد الفائق فإن زمن الفصل للخط المتعطل يتراوح بين (٠,١ وحتى ٠,١٢) من الثانية. وبالنسبة لخطوط نقل الجهد العالي فإن زمن الفصل يتراوح بين ٠,١٥ وحتى ٠,٣ من الثانية أما في شبكات الجهد المتوسط فإن زمن الفصل للعطل يتراوح بين ١,٥ حتى ٣ ثوانٍ. ويمكن أن تعدل هذه الأزمنة حسب بقية العوامل المحددة للزمن المسموح به وإن الأزمنة المعطاة تحدد بحسابات خاصة لاستقرار مجموعات القدرة وإن زمن عزل العطل عبارة عن مجموع زمنين هما زمن عمل المرحل وزمن عمل القاطع الآلي، وحتى يعزل العطل بسرعة يجب تسريع عمل المرحلات والقواطع الآلية، وأن معظم القواطع الآلية المستعملة يقع زمن عملها بين (٠,٠٦ حتى ٠,١٥) من الثانية، ولعزل عطل خلال ٠,٢ ثانية مثلاً فإن المرحل يجب أن يعمل في المجال ٠,٠٥ وحتى ٠,١٤ من الثانية وإذا كان زمن العطل ٠,١٢ ثانية وزمن عمل القاطع ٠,٠٨ ثانية فإن زمن عمل الحماية يجب ألا يزيد على ٠,٠٤ من الثانية وتعتبر المرحلات التي تعمل ضمن مجال ٠,١ إلى ٠,٢ من الثانية سريعة العمل ولكن هناك مرحلات حديثة سريعة جداً يمكنها العمل خلال ٠,٠٢ وحتى ٠,٠٤ من الثانية. وإن عملية تطوير وإنتاج المرحلات السريعة جداً تعتبر هامة وصعبة ومثل هذه المرحلات تكون مكلفة ومعقدة لذلك يجب ألا تستعمل إلا للتجهيزات ذات الأهمية الكبيرة.

٣.٨.١ - الحساسية Sensitivity

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

٤.٨.١ - الموثوقية Reliability

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

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

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

٥.٨.١ - الاستقرار Stability

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

٩.١ - الحماية الرئيسية والحماية الاحتياطية Main and Back-up Protection

إن وضع أجهزة حماية احتياطية لأجهزة الحماية الرئيسية مطلب مهم ورئيس 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 الرئيس ليقوم بفصل العطل أولاً. والشكل (١ - 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 الأسس التالية :

١. الوسائل الفنية الممكنة لتأمين الحماية الاحتياطية.

٢. أهمية الجزء المحمي حماية احتياطية.

٣. تكاليف الطرق المختلفة لتأمين الحماية الاحتياطية.
٤. احتمالات الأعطال واحتمالات فشل أجهزة الحماية الأساسية.
٥. تأثير انقطاع التيار على العمليات الصناعية أو المحولات المختلفة بصورة مؤقتة.

أسئلة الوحدة الأول

١. اكتب باختصار ماذا يعني بكل من المصطلحات الآتية في مجال حماية النظم الكهربائية :
 - المرحلات الأولية
 - المرحلات الثانوية
 - المرحلات الرئيسة
 - المرحلات الداعمة أو الاحتياطية
 - الانتقائية
 - الحساسية
 - زمن التشغيل
 - مرحلات التأخير الزمني
 - مرحلات زيادة التيار
٢. اذكر الأنواع المختلفة لمرحلات زيادة التيار ثم وضع نظرية عمل كل منها.
٣. اذكر المهام الأساسية لأجهزة الحماية الكهربائية.
٤. تشمل دوائر الحماية على أجهزة أساسية ما هذه الأجهزة؟
٥. اشرح مع التوضيح بالرسم المبادئ الأساسية لعمل دائرة الحماية الكهربائية.
٦. ما المتطلبات العامة لأجهزة الحماية؟