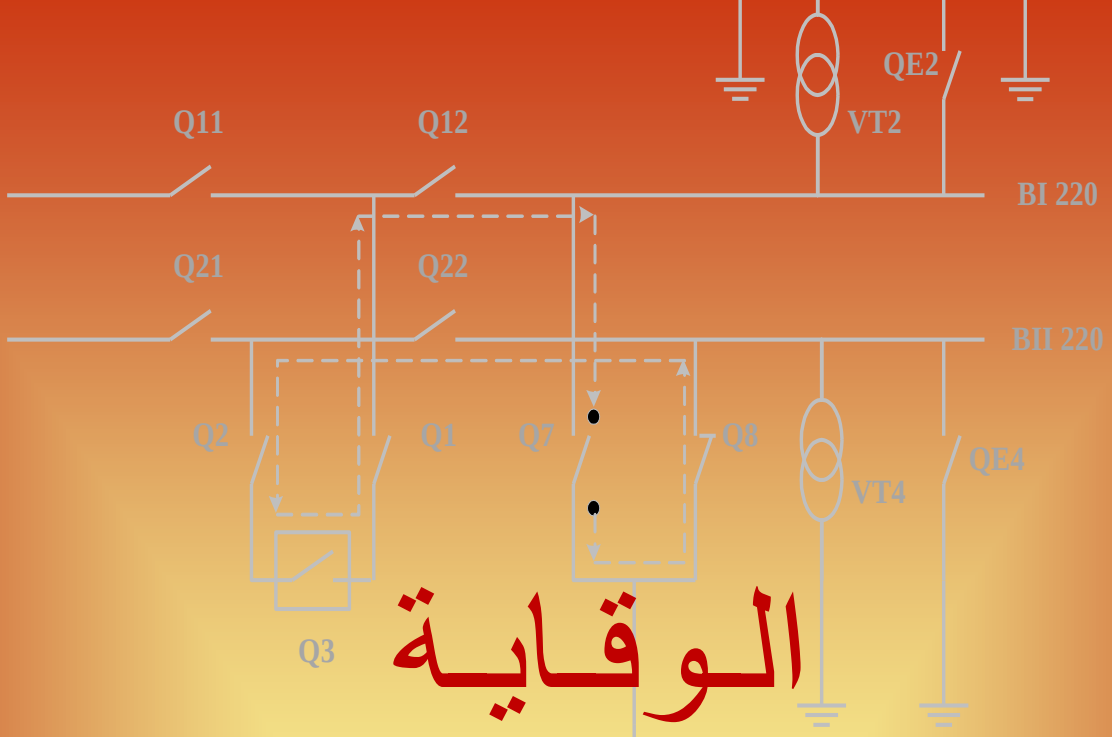


الـوقـايـة

من الناحية العملية

فى

مـحـطـات الـمـحـولات

د. أحمد صفى الدين

اللـهم تـقـبل

أدعو الله أن يتقبل هذا العمل خالصا لوجهه الكريم. وأسأل الله عز و جل أن يجازى خيرا كل من شارك فى اخراج هذا العمل بتلك الصورة. فالمساهمون فى هذا العمل كثيرون فمنهم من ساهم مساهمة مباشرة بالمعلومات الفنية أو من خلال النصح والارشاد الذى أثر على أسلوب تفكيرى أو طريقة بحثى عن المعلومة أو من خلال المشاركة فى حل بعض الشكلات الفنية وذلك من خلال الكثير من النقاشات الجادة و المثمرة و أيضا الذين تحملوا انشغالى عنهم و ضحوا كثيرا فى سبيل اتمام هذا العمل و أخيرا اللذين شاركوا فى أعمال الكتابة و المراجعة و أسأل الله أن يجعل ذلك فى ميزان حسناتهم جميعا.

د.م. أحمد صفى الدين

مهندس أول وقاية
الشركة المصرية لنقل الكهرباء

تمهيد

الوقاية فى منظومات القوى الكهربية

تعتبر الوقاية فى منظومات القوى الكهربية من المجالات البالغة الأهمية لما لها من تأثير على سلامة و صحة العاملين فى هذا المجال بالإضافة إلى دورها فى سلامة تشغيل المهمات الكهربية و من ثم دورها فى استمرار التغذية و بالتالى إستقرار الشبكة الكهربية. وتعتبر دراسة الوقاية من الدراسات الشيقة، فالباحثين فى هذا المجال يجدون متعة كبيرة أثناء تلك الدراسة لإحساسهم بأن هذا العلم لا ينتهى و يقف عند حد معين و هذا هو سر تلك المتعة.

الوقاية من الناحية العملية فى منظومات القوى الكهربية

يتمتع مجال الوقاية بغزارة مصادر المعلومات بتوافر الكثير من الكتب التى صدرت فى هذا المجال خلال الحقبات الزمنية السابقة و تنوعت طرق تناولها لموضوعات الوقاية المختلفة . وعلى الرغم من هذا التنوع إلا إننى لم أجد أن المجال العملى قد تمت تغطيتة بالصورة الكافية مما دفعنى إلى عمل هذا الكتاب آملاً أن يغطى جزء من موضوع الوقاية من الناحية العملية فى محطات المحولات.

محتوى الكتاب

يتكون كتاب ***الوقاية من الناحية العملية فى محطات المحولات*** من ستة فصول بالإضافة إلى خمسة ملاحق بحيث يتناول ***الفصل الأول*** فكرة عامة عن مكونات محطة المحولات و ***الفصل الثانى*** يتم فيه إستعراض لدوائر التوصيل و الفصل للسكاكين و القواطع و دوائر الانترلوك الخاصة بكل منها بالاضافة لدراسة الدائرة الكهربية لكل من السكينة و القاطع من الداخل. و قد تم شرح بعض الدوائر تفصيلياً لتناسب حديثى العهد بالوقاية و الراغبين فى فهم الموضوع من العاملين فى الأقسام الآخرى. ويمكن تجاوز هذا الفصل و الدخول مباشرة إلى أجهزة الوقاية و تطبيقاتها المختلفة و التى تم تناولها فى الفصول من الثالث و حتى السادس بحيث يهتم ***الفصل الثالث*** بأجهزة الوقاية ضد زيادة التيار و التسرب الأرضى بأنواعها المختلفة و طريقة حساب قيم الضبط لها. و ***الفصل الرابع*** يهتم بدراسة أجهزة الوقاية للخطوط و الكابلات و طرق حساب قيم الضبط لأجهزة الوقاية المسافية و الفصل عن طريق دوائر الاتصالات بالإضافة إلى بعض الوظائف الإضافيةالتى من الممكن أن يشملها جهاز الوقاية المسافية فى حين يتناول ***الفصل الخامس*** أجهزة الوقاية الكهربية و

الميكانيكية لمحولات القدرة. أما **الفصل السادس** فيوضح فكرة عمل الوقاية التفاضلية للقضبان وأنواعها و دوائر الفصل لها وبعض الملاحظات المهمة أثناء اختبارها الاضافة الى اجهزة الوقاية ضد فشل القاطع.
والملاحق الموجودة فى نهاية الكتاب تتناول دراسة المركبات المتماثلة ودور المكثفات فى تحسين معامل القدرة وبعض اختبارات الاتزان لاجهزة الوقاية التفاضلية و تجربة عملية لقياس معاوقة الخطوط و الشروط اللازم توافرها لتوصيل المحولات على التوازى.

لمن هذا الكتاب

أعتقد أن العاملين فى مجال الوقاية فى محطات المحولات هم أكثر المستفيدين من هذا الكتاب و أيضا العاملين فى مجال التشغيل لما يتناوله من دراسة لدوائر الفصل و التوصيل لكثير من السكاكين و القواطع و التى يتعلق تشغيلها بالعاملين فى مجال التحكم و التشغيل.

فهرس الكتاب

مقدمة

منظومات القوى الكهربية **2**

الفصل الأول

محطات المحولات و مكوناتها **5**

1-1 محطة المحولات **5**

2-1 مكونات محطة المحولات **10**

الفصل الثاني

دوائر التوصيل و الفصل **14**

1-2 مقدمة **14**

2-2 دوائر التوصيل والفصل للقواطع والسكاكين **16**

1-1-2 القاطع من الداخل **16**

2-2-2 السكينة من الداخل **20**

1-2-1-2 توصيل وفصل السكينة محليا Local **22**

2-2-2-2 توصيل وفصل السكينة عن بعد Remote **22**

3-2 مكونات محول القدرة **23**

1-3-2 دوائر التوصيل للقاطع **27**

2-3-2 دوائر الفصل للقاطع **30**

3-3-2 دوائر التوصيل و الفصل لسكينة القضبان **31**

4-3-2 دوائر التيار الثانوية **37**

4-2 مكونات الخطوط (الدوائر) **39**

1-4-2 دوائر الانترلوك للقاطع **40**

2-4-2 دوائر الانترلوك لسكينتي الخط و الارضى..... 42
2-4-4 دوائر التيار والجهد 43
2-5 الرابط العرضي للقضبان 44
2-5-1 دوائر الانترلوك للقاطع 45
2-5-2 دوائر الانترلوك للسكاكين العرضية 46
2-5-3 دوائر الانترلوك للسكاكين الطولية 47
2-5-4 دوائر الانترلوك لسكينه الارضى 48
2-6 محولات الجهد لقضبان 49
2-6-1 جهاز التوافق 50
2-6-2 دوائر الجهد الخاصة بمحولات القدرة 51

الفصل الثالث

وقاية منظومات القوى الكهربية 55
3-1 مقدمة 55
3-2 الأعطال فى منظومات القوى الكهربية 55
3-3 فلسفة الوقاية فى منظومات القوى الكهربية 56
3-4 خصائص منظومة الوقاية 59
3-5 أجهزة الوقاية فى منظومات القوى الكهربية 59
3-5-1 جهاز الوقاية ضد زيادة التيار 60
3-5-1-1 جهاز الوقاية ضد زيادة التيار اللحظي 60
3-5-1-2 جهاز الوقاية ضد زيادة التيار بزمن محدد Definite Time Over Current Relay 62
3-5-1-3 قيم الضبط لجهاز الوقاية ضد زيادة التيار بزمن محدد..... 63
3-5-1-4 جهاز الوقاية ضد زيادة التيار العكسى 69
3-5-2 جهاز الوقاية ضد التسرب الأرض 75

3-5-1 جهاز الوقاية ضد التسرب الأرضي اللحظي 75
3-5-2-2 جهاز الوقاية ضد التسرب الأرضي بتأخير زمني محدد..... 76
3-5-2-3 الصور الأخرى لجهاز الوقاية ضد التسرب الأرضي 77
3-5-2-4 قيم الضبط لأجهزة الوقاية ضد التسرب الأرضي بزمن محدد..... 79
3-5-2-5 جهاز الوقاية ضد التسرب الأرضي من النوع Inverse time 80
3-5-3 أجهزة الوقاية الاتجاهية..... 84
3-5-3-1 جهاز الوقاية ضد زيادة التيار الاتجاهى 85
3-5-3-2 جهاز الوقاية ضد التسرب الأرضي الإتجاهي 87
3-5-4 الاختبارات التى تتم على أجهزة الوقاية ضد زيادة التيار و التسرب الأرضي 88

الفصل الرابع

أجهزة الوقاية للخطوط..... 92
4-1 مقدمة..... 92
4-2 جهاز الوقاية المسافية..... 92
4-2-1 الشروط الواجب توافرها لاشتغال جهاز الوقاية المسافية..... 96
4-2-2 التدرج الزمني لأجهزة الوقاية المسافيةة..... 97
4-2-3 كيفية اختيار قيم الضبط لأجهزة الوقاية المسافية 102
4-2-4 بداية اشتغال جهاز الوقاية المسافية 103
4-2-4-1 بداية اشتغال عن طريق زيادة التيار Over Current Starting 103
4-2-4-2 بداية اشتغال عن طريق انخفاض الجهد Under Voltage Starting 103
4-2-4-3 بداية اشتغال عن طريق انخفاض المعاوقةUnder Impedance Starting 104
4-2-5 تمثيل المعاوقة فى جهاز الوقاية المسافية 104
4-2-6 قيم الضبط لأجهزة الوقاية المسافية 106
4-2-7 التقديرات الخاطئة لأجهزة الوقاية المسافية..... 107
4-2-7-1 ظاهرة Under Reach 107
4-2-7-2 ظاهرة Over Reach 109

3-7-2-4 ظاهرة تأرجح القدرة 110

8-2-4 الوقاية المسافية و الاتصالات Distance Scheme 111

1-8-2-4 (DTT) Direct Transfer Trip 112

2-8-2-4 (PUTT) Permissive Under Reach Transfer Trip 113

3-8-2-4 (POTT) Permissive Overreach Transfer Trip 115

4-8-2-4 Blocking Scheme 116

9-2-4 الوظائف الإضافية لجهاز الوقاية المسافية..... 117

1-9-2-4 الوقاية ضد فتح الموصلات Broken Conductor 118

2-9-2-4 التوصيل على عطل Switch ON to Fault 119

3-9-2-4 إعادة التوصيل الأتوماتيكى (Auto Reclosure (AR 119

4-9-2-4 التأكد من التوافق Check Synchronization 123

3-4 جهاز الوقاية التفاضلية للخطوط والكابلات

124 Line Differential Protection

1-3-4 أساس عمل جهاز الوقاية التفاضلية للخطوط 124

2-3-4 أسباب الاشتغال الخاطئ لجهاز الوقاية التفاضلية للخطوط 127

الفصل الخامس

وقاية المحولات..... 130

1-5 مقدمة..... 130

2-5 أجهزة الوقاية للمحولات..... 130

1-2-5 الوقاية التفاضلية..... 131

1-1-2-5 جهاز الوقاية التفاضلية للمحولات..... 131

2-1-2-5 أساس عمل جهاز الوقاية التفاضلية للمحولات..... 132

3-1-2-5 الأعطال الخارجية فى الوقاية التفاضلية..... 132

4-1-2-5 الأعطال الداخلية فى الوقاية التفاضلية..... 133

5-1-2-5 Biased Differential Relay 134
6-1-2-5 مثال عملي للوقاية التفاضلية 136
7-1-2-5 منحنى الفصل لجهاز الوقاية التفاضلية 139
8-1-2-5 الوقاية التفاضلية و التيار العابر Inrush Current 140
2-2-5 التسرب الارضى المقيد Restricted Earth Fault Relay (REF) 141
1-2-2-5 لماذا التسرب الارضى المقيد 142
2-2-2-5 فكرة عمل جهاز الوقاية ضد التسرب الارضى المقيد 143
3-2-2-5 قيم الضبط لجهاز الوقاية ضد التسرب الارضى المقيد 144
3-2-5 الوقايات الميكانيكية للمحول 153
1-3-2-5 الوقاية الغازية Buchholz Relay 153
2-3-2-5 الوقاية ضد زيادة الضغط 155
3-3-2-5 الوقاية ضد زيادة درجة الحرارة 156

الفصل السادس

وقاية القضبان و الوقاية ضد فشل القاطع

1-6 مقدمه 160
2-6 الوقاية التفاضلية للقضبان 161
1-2-6 الأعطال الخارجية للقضبان 162
2-2-6 الأعطال الداخلية للقضبان 162
3-2-6 مثال عملي للوقاية التفاضلية للقضبان 164
4-2-6 دوائر الفصل لجهاز الوقاية التفاضلية للقضبان 165
5-1-6 ملاحظات أثناء اختبار أجهزة وقاية القضبان 167
3-6 الوقاية ضد فشل القاطع 170
1-3-6 فكرة عمل جهاز الوقاية ضد فشل القاطع 170
2-3-6 الشروط الواجب توافرها لعمل جهاز الوقاية ضد فشل القاطع 171

الملاحق

ملحق أ المركبات المتماثلة..... 174

ملحق ب المكثفات و تحسين معامل القدرة 182

ملحق ج اختبار الاتزان لأجهزة الوقاية التفاضلية 188

ملحق د قياس المركبة الموجبة و الصفرية لمعاوقة الخطوط 201

ملحق هـ توصيل المحولات على التوازي..... 208

مقدمة

منظومات القوى الكهربية

مقدمة

منظومات القوى الكهربية

منذ بداية الخليقة و التقدم الحضاري مرتبطا بمدى قدرة الإنسان على التحكم في مصادر الطاقة المختلفة و اعتمد الإنسان على بعض مصادر الطاقة الطبيعية حتى يبقى حيا فنجده قد اعتمد اعتمادا مباشرا على الشمس في الإضاءة و بصورة غير مباشرة في تنمية المحاصيل الزراعية و مع مرور الزمان حدث تطورا كبيرا في مصادر الطاقة و دائما ما كانت مقدرة الإنسان على زيادة الإنتاج مرتبطة بمدى قدرته على تطوير هذه المصادر لخدمة أهدافه.

وتعتبر الطاقة الكهربية من أهم صور الطاقة التي اعتمد عليها الإنسان نظرا لإمكانية الحصول على كميات كبيرة منها بأسعار رخيصة نسبيا و ذلك باستخدام محطات التوليد ذات القدرات الفائقة. الطاقة الكهربية يمكن تطويعها لخدمة الإنسان في أغراضه اليومية عن طريق تحويلها إلى صور أخرى مثل الطاقة الضوئية و مثال ذلك لمبات الإنارة و يمكن استخدامها في التدفئة و التسخين و ذلك عن طريق تحويلها إلى طاقة حرارية كما هو الحال في السخانات و الدفايات كما يمكن تحويلها إلى طاقة ميكانيكية و ذلك أثناء تشغيل المحركات بأنواعها المختلفة. و مع مرور الوقت حدث تطور كبير في طرق توليد الطاقة الكهربية و في منظومات القوى الكهربية بصفة عامة بداية من محطات التوليد إلى لوحات التوزيع و منها إلى المستهلك و يمكن تقسيم منظومات القوى الكهربية إلى ثلاث أقسام رئيسية و هي محطات التوليد و محطات المحولات و لوحات التوزيع و كل من هذه الأقسام تشمل العديد من العناصر الأساسية تختص بنظم التشغيل و الوقاية بالإضافة إلى أجهزة القياس و دوائر الاتصالات التي تقوم بالربط بين المحطات المختلفة و لعل العنصر البشري يعتبر من أهم العناصر في هذه المنظومة حيث أن كفاءة و خبرة العاملين في هذه المنظومة يؤدي إلى سلامة تشغيل المعدات المكونة للمنظومة و يحافظ على استمرار عملها بالصورة المرجوة. و سوف نقوم بعرض فكرة عمل كل من هذه المكونات في الأجزاء التالية.

محطات التوليد

يعتبر توليد الطاقة من أهم صور تحويل الطاقة من صورة إلى أخرى حيث يتم فيها تحويل الطاقة الحركية إلى طاقة كهربية و غالبا ما يكون توليد الكهرباء عند مستوى جهد منخفض نسبيا تجنبا لحدوث انهيار في عزل الموصلات داخل المولدات. من المعروف أن الفقد في القدرة الكهربية يكون مرتبطا بصورة مباشرة بزيادة تيار الحمل المار في الموصلات و باستخدام محولات رفع يزداد قيمة الجهد الذي يتم النقل من خلاله و هذا يؤدي إلى انخفاض في قيمة التيار مما يؤدي إلى انخفاض قيمة الفقد في القدرة و هذه القدرة يتم نقلها إلى محطات المحولات حيث الخطوة الثانية من منظومات القوى الكهربية.

شبكات النقل و محطات المحولات

تعتبر محطات المحولات و ما تحتويه من خطوط لنقل الكهرباء هي الوسيط بين المرحلة الأولى حيث توليد الكهرباء و المرحلة الثالثة و التي يتم فيها توزيع الكهرباء من خلال لوحات التوزيع إلى المستهلك النهائي. وتتكون محطات المحولات من مجموعة من محولات الخفض حيث يتم فيها إعادة خفض مستوى الجهود إلى قيم مناسبة و تتراوح هذه القيم من 11 ك.ف إلى 33 ك.ف أو منها إلى اللوحات التي يتم من خلالها توزيع الكهرباء.

لوحات التوزيع

تعتبر لوحات التوزيع هي المرحلة الثالثة و الأخيرة في منظومات القوى الكهربية حيث يكون مصدر تغذيتها هو محطات المحولات و من خلال هذه اللوحات تتم تغذية المستهلكين إما بصورة مباشرة لنفس مستوى الجهد الخارج من محطات المحولات و ذلك غالبا ما يتم في المصانع الكبيرة أو عن طريق إعادة خفض مستوى الجهد من خلال محولات خفض أخرى و ذلك لتغذية المناطق السكنية.

الفصل الأول

محطات المحولات و مكوناتها

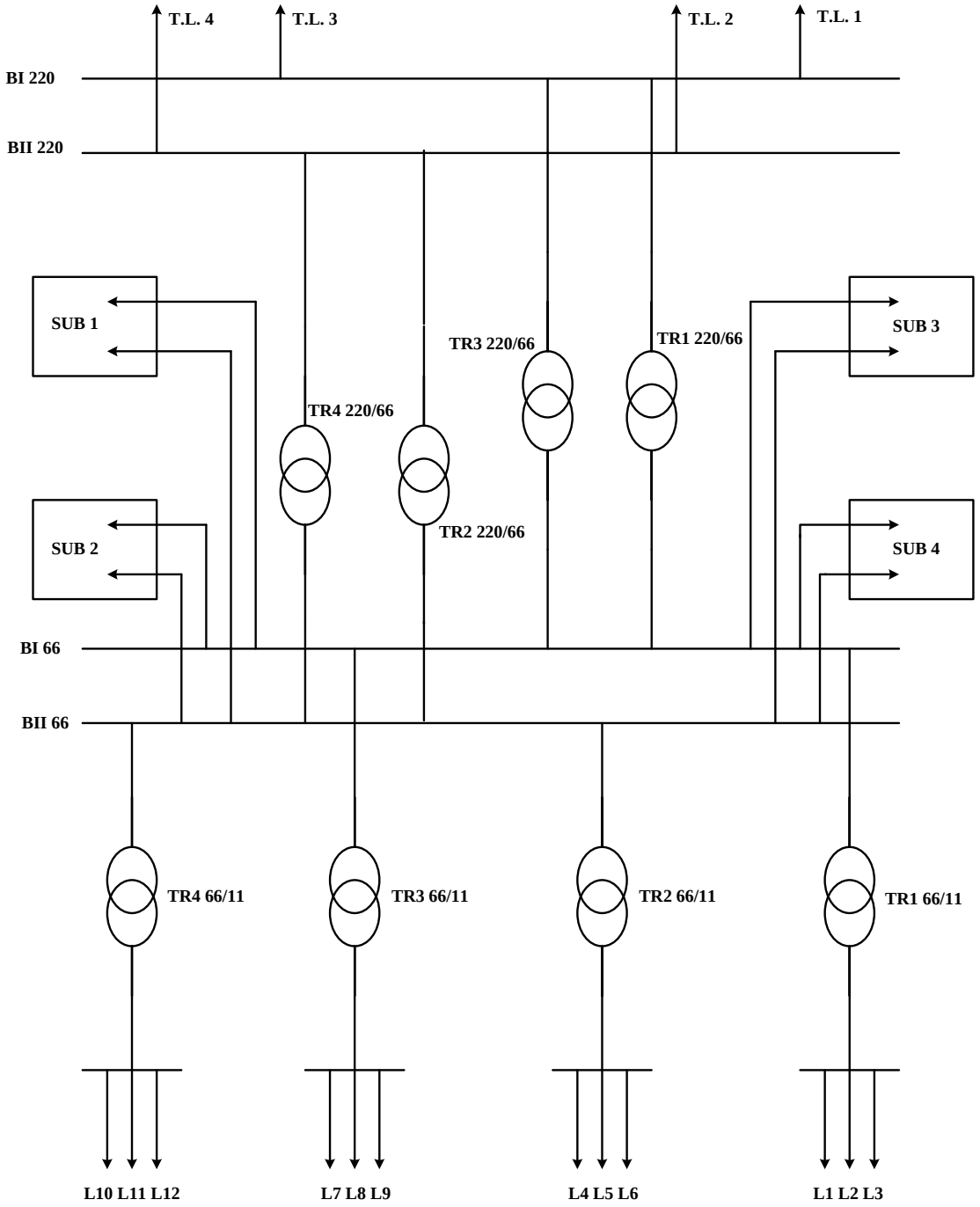
الفصل الأول

محطات المحولات و مكوناتها

1-1 محطة المحولات

تعتبر محطة المحولات هى الوسيط بين محطات التوليد ولوحات التوزيع كما عرفنا خلال دراستنا السابقة و لكى نقوم بدراسة تفاصيل محطات المحولات و المهمات الموجودة بها و الدور الذى تقوم به كل من هذه المهمات نتخيل أننا نقوم بعمل دراسة لجزء من الشبكة الكهربية كما هو موضح بالشكل رقم (1-1) بحيث يتكون النظام الذى نقوم بدراسته من 4 خطوط (دوائر) جهد 220 كف و تكون هذه الخطوط وعن طريق ربطها بمحطات التوليد مصدرا لتغذية قضبان التوزيع الرئيسية جهد 220 كف (BII 220, BI 220) و التى بدورها تقوم بتغذية المحولات (Tr1 : Tr4). جهد 66/220 كف و منها إلى قضبان التوزيع جهد 66 كف (BII 66, BI 66) و التى تقوم بتغذية المحطات الفرعية (sub1 : sub4) جهد 66كف بالإضافة إلى المحولات (Tr5 : Tr8) جهد 66/ 11 كف و التى يعتبر كل واحد منها مصدرا لتغذية لمجموعة من مغذيات التوزيع جهد 11 كف و التى تعتبر الجزء الأخير فى محطات المحولات و كل مغذى أو أكثر من هذه المغذيات يقوم بتغذية لوحة من لوحات التوزيع و التى تخص شركات توزيع الكهرباء و التى تقوم بدورها بنقل هذه التغذية إلى المستهلكين.

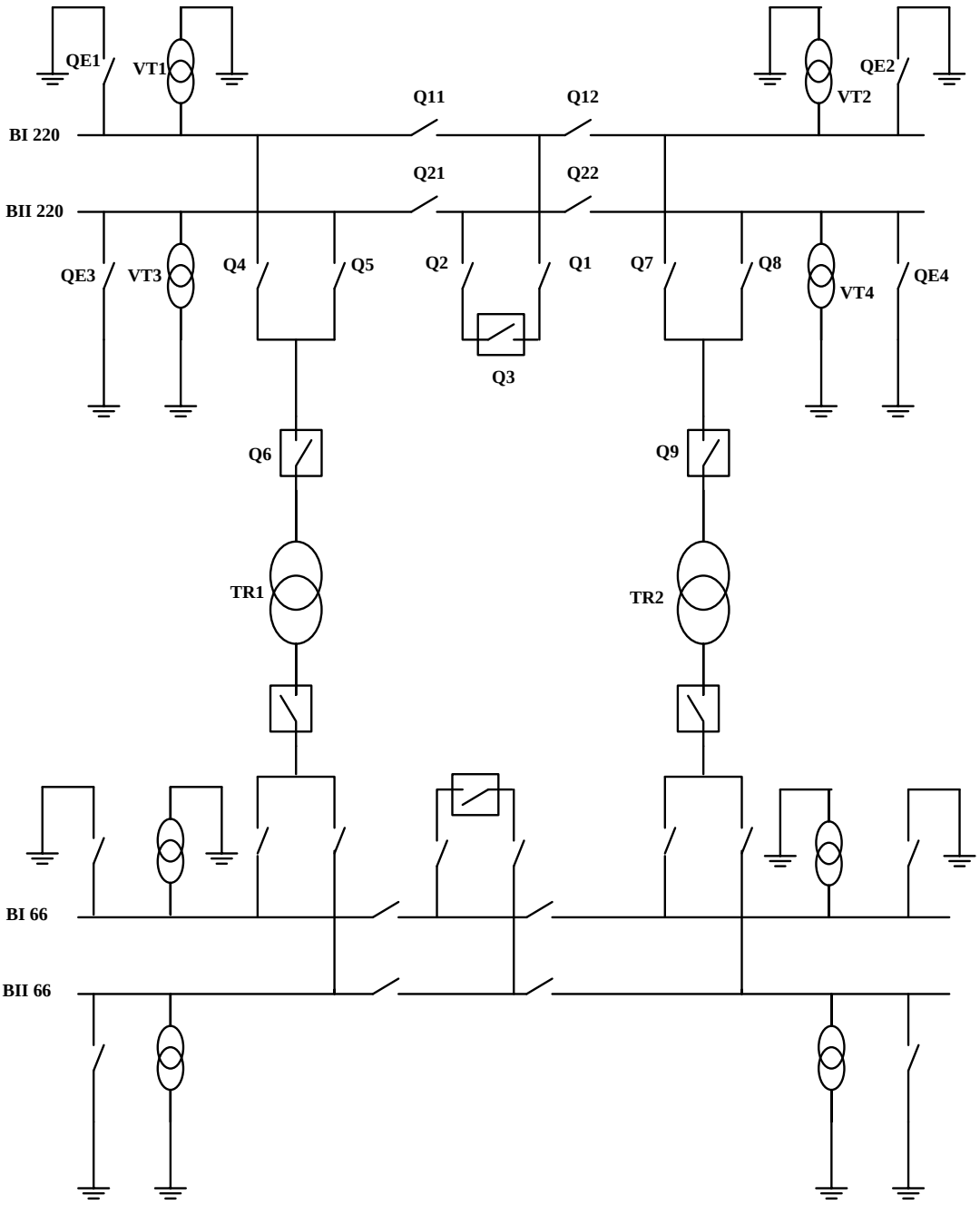
إن الهدف الأساسى لشركات الكهرباء هو استمرار التغذية و جودتها للمستهلكين و تقليل فترات الإنقطاعات و الوصول بها إلى أقل فترة ممكنة .تحقيق هذا الهدف يلزمه مجهود كبير و منظم بين جميع العاملين فى هذا المجال و إن كنا هنا سنقوم بالتركيز على العاملين بإدارات الوقاية و الدور المطلوب منهم للوصول إلى أفضل جودة ممكنة.



شكل 1-1 : رسم أحادى لمنظومة قوى كهربية

لمعرفة الدور المكلف به الأفراد العاملين بالوقاية يلزمنا فى البداية معرفة مكونات محطات المحولات بصورة أكثر قربا و تفصيلا فبالنظر الى الشكل السابق مع التركيز على الجزء المحصور بين قضبانى التوزيع جهد 220كف و مروراً بالمحولات جهد66/220كف وصولاً إلى قضبانى التوزيع جهد 66 كف كما هو مبين بالشكل رقم (1-2) بحيث يكون:

- كل قضبان من قضبانى التوزيع مقسمة إلى جزئين و بالتالى تصبح المحطة مقسمة إلى 4 أجزاء.
- كل جزء من الأجزاء الأربعة موصل علية محول جهد و يكون فائدته معرفة قيمة الجهد لكل من هذه الأجزاء و هو أيضا المسئول عن تغذية الجهد إلى أجهزة الوقاية و القياس الخاصة بمحولات القدرة الموصلة على هذا الجزء (نظرا لعدم وجود محولات جهد خاصة بمحولات القدرة).
- إمكانية ربط كل جزئين عن طريق سكينتين طويلتين Q21,Q11 مثلا ليمثلا قضبان التوزيع رقم I وبالمثل السكينتين Q22,Q12 لتمثيل قضبان التوزيع رقم II.
- يمكن ربط قضبانى التوزيع عن طريق توصيل السكينتين العرضيتين Q2,Q1 مع توصيل القاطع Q3.
- كل مهمة من مهمات المحطة يمكن توصيلها على أى من قضبانى التوزيع عن طريق وجود سكينة لهذة المهمة على كل من قضبانى التوزيع فمثلا المحول رقم T1 يمكن توصيلة على قضبان التوزيع رقم I عن طريق توصيل السكينة رقمQ4 أو توصيلة على قضبان التوزيع رقم II عن طريق توصيل السكينة رقم Q5 و بالمثل السكينتين Q7,Q8 بالنسبة للمحول T2
- كل جزء من الأجزاء الأربعة يمكن توصيلة بالأرض عن طريق سكينة الارضى الخاصة به و ذلك بعد فصل كل المهمات الموصلة علية و بالتالى التخلص من الشحنات الساكنة الموجودة بعد عملية الفصل و ذلك لتأمين العاملين فى أعمال الصيانة للمهمات المختلفة.

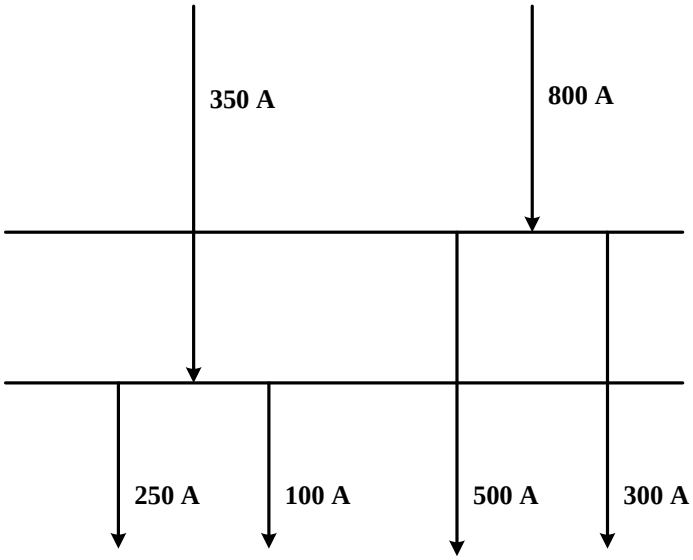


شكل (1-2) رسم أحادى لجزء من محطة محولات

ولمعرفة مدى الفائدة من وجود سكينتين للقضبان لكل مهمة مع وجود رابط القضبان فيتم ذلك من خلال دراسة المثال التالى كما هو موضح فى الشكل (1-3) و الذى يكون فيه:-

- قضبان التوزيع رقم I موصل عليها الأحمال 500A,300A و بالتالى لابد أن يكون مصدر التغذية كافياً لمجموع هذه الأحمال و بالتالى تصبح قيمته 800A.

- بالمثل بالنسبة لقضبان التوزيع رقم II يكون مصدر التغذية هو 350 مساويا لمجموع الأحمال الموصلة على نفس القضبان وهى 100 A ، 250 A.



شكل (1- 3) توزيع الأحمال بين قضبانى التوزيع

لو نظرنا إلى قضبانى التوزيع فنجد أن مصدرى التغذية قيمتهما هى 800A و 350 على الترتيب وهنا نجد أنه هناك فرق كبير بين أحمال قضبانى التوزيع والقيمة العالية االتيار تزيد من الفقد فى القدرة الكهربية المنقولة بالاضافة الى الحاجة الى موصلات ذات مساحات مقطع أكبر وهذه المشكلة يمكن حلها بأحد طريقتين:

- إما عن طريق توصيل رابط القضبان وفى هذه الطريقة يتم تقسيم الأحمال بين المصدريين و بالتالى يصبح كل منهما قيمته

$$(800 + 350) / 2 = 575 \text{ A}$$

- أو تبديل الحمل 300A الموصل على قضبان التوزيع رقم I مع الحمل 100A الموصل على قضبان التوزيع رقم II وبالتالى يصبح التيار المار فى مصدر التغذية لقضبان التوزيع رقم I هو

$$100 + 500 = 600 \text{ A}$$

وقضبان التوزيع رقم II هو

$$300 + 250 = 550\ A$$

و بالتالى يحدث اتزاناً نسبياً بين قضبانى التوزيع عن طريق تقليل التيار المسحوب من مصدر التغذية مما يؤدى إلى :

- تقليل التحميل على مصدرى التغذية حتى لا يتعرض أحدهما للفصل التلقائي نتيجة زيادة الأحمال
- تقليل الفقد فى القدرة حيث أنها تتناسب طرديا مع مربع التيار
- البعد عن الحد الأقصى للتحميل للموصلات

مما سبق يتضح لنا مدا أهمية سلامة جميع دوائر التوصيل والفصل و أجهزة القياس والوقاية وغيرها حتى يتسنى لرجل التشغيل القيام بمهام وظيفته بصورة سليمة مما يقودنا إلى رجل الوقاية وهو المسئول عن سلامة هذه التوصيلات وسلامة أداء أجهزة القياس والوقاية وهذا ما يجعلنا نركز فى الأجزاء القادمة من هذا الكتاب على دور مهندسي وفنيي الوقاية فى محطات المحولات. ولدراسة كل ما تقوم به إدارة الوقاية فلابد فى البداية من معرفة مكونات محطة المحولات.

2-1 مكونات محطة المحولات

- الحوش (marshalling) و به جميع مهمات الضغط العالى بداية من قضبانى التوزيع و التى من الممكن أن تكون كل منها مقسمه إلى جزئيين كما يوجد رابط القضبان الذى هو عباره عن سكينتين عرضيتين بالإضافة إلى القاطع. ويوجد أيضا محولات التيار والجهد ومفرغات الشحنة والسكاكين والقواطع الخاصة بالمحولات والدوائر بالإضافة إلى خليه للتحكم فى جميع مهمات المحطة من داخل الحوش (marshalling).
- غرفه التحكم والوقاية: التى يوجد بها العديد من الخلايا ومنها
  - خلايا للتحكم بجميع مهمات المحطة ويوجد بها أجهزه لقياس التيار والجهد و القدرة و الطاقة والتردد ودرجات حرارة المحولات ولوحه للإشارات المرئية و المسموعة و التى عن طريقها يمكن تحديد أى عطل يحدث على هذه المهمة و بالتالى كيفيه إصلاحه.

- خلايا الوقاية: يوجد بها أجهزه الوقاية وبعض الأجهزة المساعدة لأجهزة الوقاية بالإضافة إلى خليه وقاية القضبان وهذه تكون عامه لجميع المهمات لنفس مستوى الجهد (220كف مثلا) كما يمكن ان تحتوى وقاية القضبان على الوقاية ضد انهيار القواطع.
- مسجل أحداث: لتسجيل الأحداث بجميع مهمات المحطة من فصل وتوصيل واشتغال لأجهزه الوقاية.
- خليه الإشارات المركزية: وفيها إشارات لبعض الوظائف العامة مثل وقاية القضبان والإشارات الخاصة بالأعطال فى نظام التيار المستمر أو المتردد.
- خليه التوافق: وفيها يتم المقارنة بين القضبان و الدائرة التى سوف يتم توصيلها على هذا القضبان من حيث الجهد كقيمه وزاوية وتردد و لا يسمح بالتوصيل إلا إذا كان الفرق بين القيمتين أقل من قيمه معينه (قيمه الضبطيات).

- خلايا توزيع التيار المتردد: تحتوى على مفاتيح لتغذيه خدمات المحطة من إنارة و تكيفات و شواحن البطاريات بالإضافة إلى تغذيه مراوح التبريد للمحولات والموتور الخاص بمغير الجهد بحيث يكون مصدر تغذيتها هو المحولات المساعدة.
- نظام التيار المستمر: يتكون من ثلاثة عناصر أساسيه وهى الشواحن والبطاريات وخلايا توزيع التيار المستمر ويكون بها مفتاح او أكثر لتغذيه كل مهمة من مهمات المحطة بالإضافة لمفاتيح رئيسيه خاصة بالشواحن والبطاريات ومبين لوجود أرضى على دوائر التيار المستمر.
- غرفه الاتصالات: و التى عن طريقها يتم نقل بعض الإشارات الخاصة بإشتغال أجهزه الوقاية أو أوضاع القواطع والسكاكين بالإضافة إلى إمكانية نقل قيمة التيار والجهد والقدرة الفعالة و الغير فعالة عن طريقها.
- غرفه الحريق: التى تحتوى على نظام الفصل بالوقاية ضد الحريق.
- مجارى الكابلات: تحتوى على الكابلات الثانوية و التى عن طريقها يتم ربط خلايا المهمات بعضها البعض.

محولات التيار والجهد

انه من المهام الأساسية للعاملين بتشغيل المهمات الكهربية هى متابعة الأحمال والجهود للمهمات المختلفة ونظرا للقيمة العالية جدا للتيارات والجهود لمهمات الجهد العالى فإنه يلزم وجود وسيط

يعبر هذه القيم ولكن بصورة مناسبة واقل خطورة على الأفراد والأجهزة مما دعا إلى استخدام محولات التيار والجهد و التى تعتبر صورة مصغرة للقيم الأصلية بحيث يمكن قياسها والتعامل معها و التى تستخدم فى أجهزة القياس مثل الأميتر (Ammeter) والفولتميتر(Voltmeter) و الواتميتر(Watt meter) و الفارميتر(VAR meter) و الوات ساعة(Watt-hour meter) و الفار ساعة(Var-hour meter). بالإضافة إلى أهمية محولات التيار والجهد فى دوائر القياس فان لهم أهمية أخرى لتغذية أجهزة الوقاية المركبة على جميع المهمات.

الفصل الثانى

دوائر التوصيل والفصل

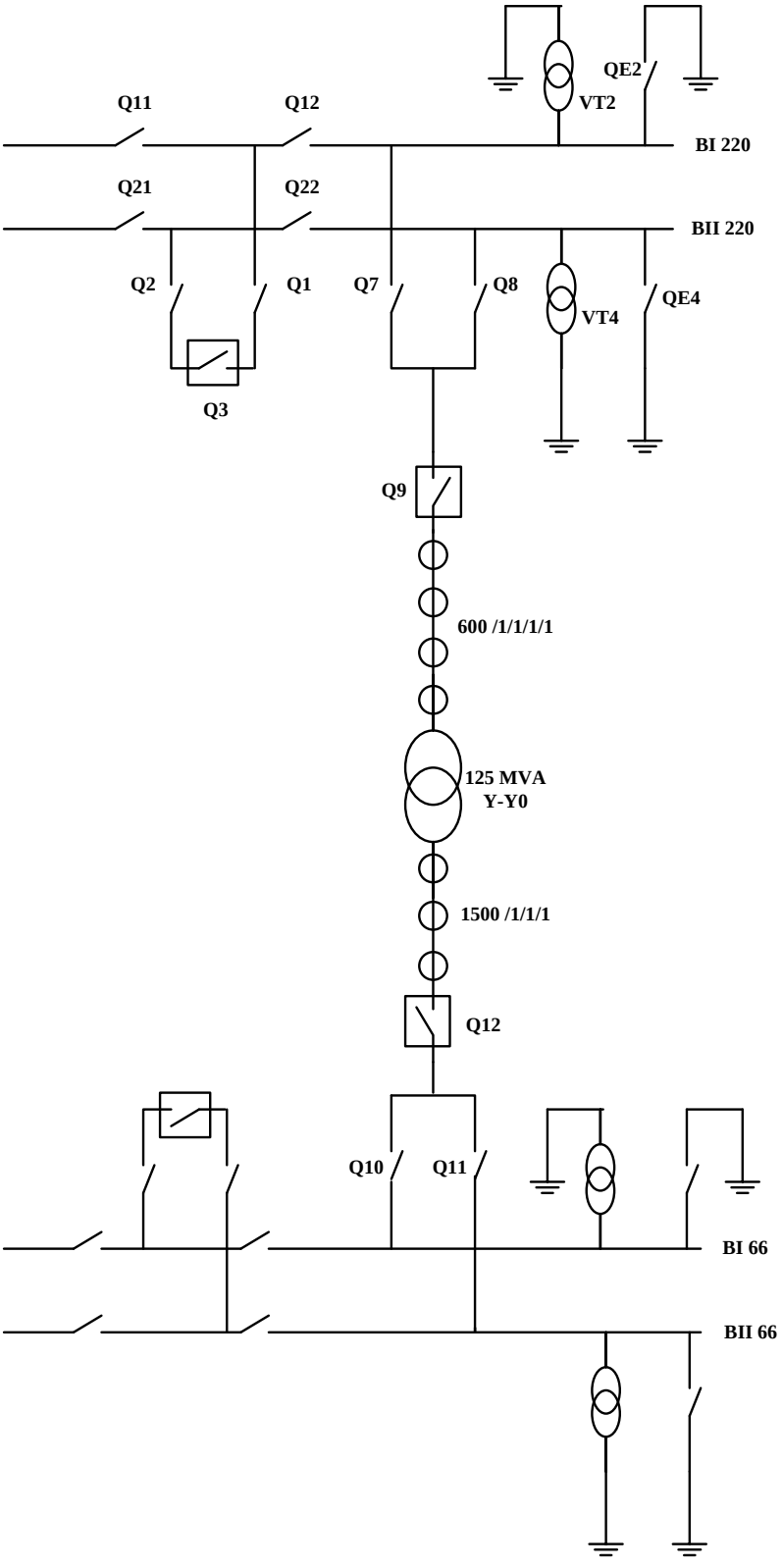
الفصل الثانى

دوائر التوصيل و الفصل

1-2 مقدمة

تتكون محطة المحولات من مجموعة من محولات القدرة و مجموعة من الخطوط (الدوائر) بالإضافة إلى رابط القضبان لكل مستوى من مستويات جهود المحطة فهناك مثلا رابط بين قضبانى التوزيع جهد 220 كف و أخر بين قضبانى التوزيع جهد 66 كف .....الخ. لإجراء أى عملية توصيل او فصل لاى من هذه المهمات يلزم توصيل او فصل عدد من القواطع و السكاكين الخاصة بتلك المهمات و نظرا لاختلاف طبيعة تركيب و عمل القاطع و السكينة فان عملية التوصيل و الفصل لابد و أن تتم وفقا لترتيب محدد حتى لا تحدث مشاكل لأحد هذه المهمات و تجنبا للخطأ و النسيان الوارد حدوث أى منهما للعاملين المكلفين بتشغيل هذه المحطات كان لابد من توافر دوائر تأمين لمنع توصيل او فصل احد القواطع او السكاكين إلا فى حالة توافر بعض الشروط اللازمة لإتمام تلك العملية و دوائر التأمين هذه يطلق عليها دوائر الانترلوك Interlock Circuits و سوف نقوم بدراسة الشروط اللازم توافرها لإتمام عملية التوصيل و الفصل للعديد من القواطع و السكاكين و بداية سوف نقوم بدراسة الشروط اللازمة لإتمام عملية التوصيل و الفصل لمهمات محول القدرة و المبين فى الشكل (2-1).

يتكون المحول كما هو مبين بالشكل من سكينتين للقضبان جهة 220 كف احدهما على قضبان التوزيع رقم I والأخرى على قضبان التوزيع رقم II ثم قاطع و منه إلى محول تيار جهة 220 كف ثم بعد ذلك محول القدرة نفسه ومن بعده محول تيار ثم القاطع ثم سكينتى القضبان جهة ال66 كف. وقبل أن نخوض فى كيفية التعامل مع التوصيلات الثانوية لمهمات المحول وكيفية ربطها بعضها البعض نقوم بعمل تذكره لبعض الأساسيات المتعارف عليها فى محطات المحولات.



شكل (2-1) رسم أحادى لمهمات محول القدرة

- السكاكين لا يمكن توصيلها او فصلها على حمل لأنها ليست لديها القدرة على إطفاء الشرارة المتولدة بين طرفيها لحظة غلق او فتح الدائرة الكهربية بالإضافة لكبر زمن التوصيل والفصل لها بالمقارنة بالقواطع التى يتوفر لديها القدرة على إطفاء الشرارة و بالتالى يجب توصيل القواطع فى نهاية التوصيل (بعد السكاكين) وفصلها فى البداية (قبل السكاكين).
- محول التيار للمحول من جهة ال220 نسبة التحويل له هى 1/ 600 ويتكون من عدد 4 ملفات ثانوية ويتضح ذلك من 4 (1) الموجودة فى 600/1/1/1/1 وأيضا من ال4 دوائر الموجودة فى الرسم الأحادي.
- وبالمثل تكون نسبة التحويل من جهة ال66 هى 1500/1 ويتكون من عدد3 ملفات ثانوية

الآن بعد التعرف على بعض تفاصيل المحول نتعرف على كيفيه التوصيل والفصل لمهمات المحول وكيف تتم تغذيه أجهزة الوقاية وفى حالة اشتغالها فما هو رد الفعل المصاحب لهذا الاشتغال.

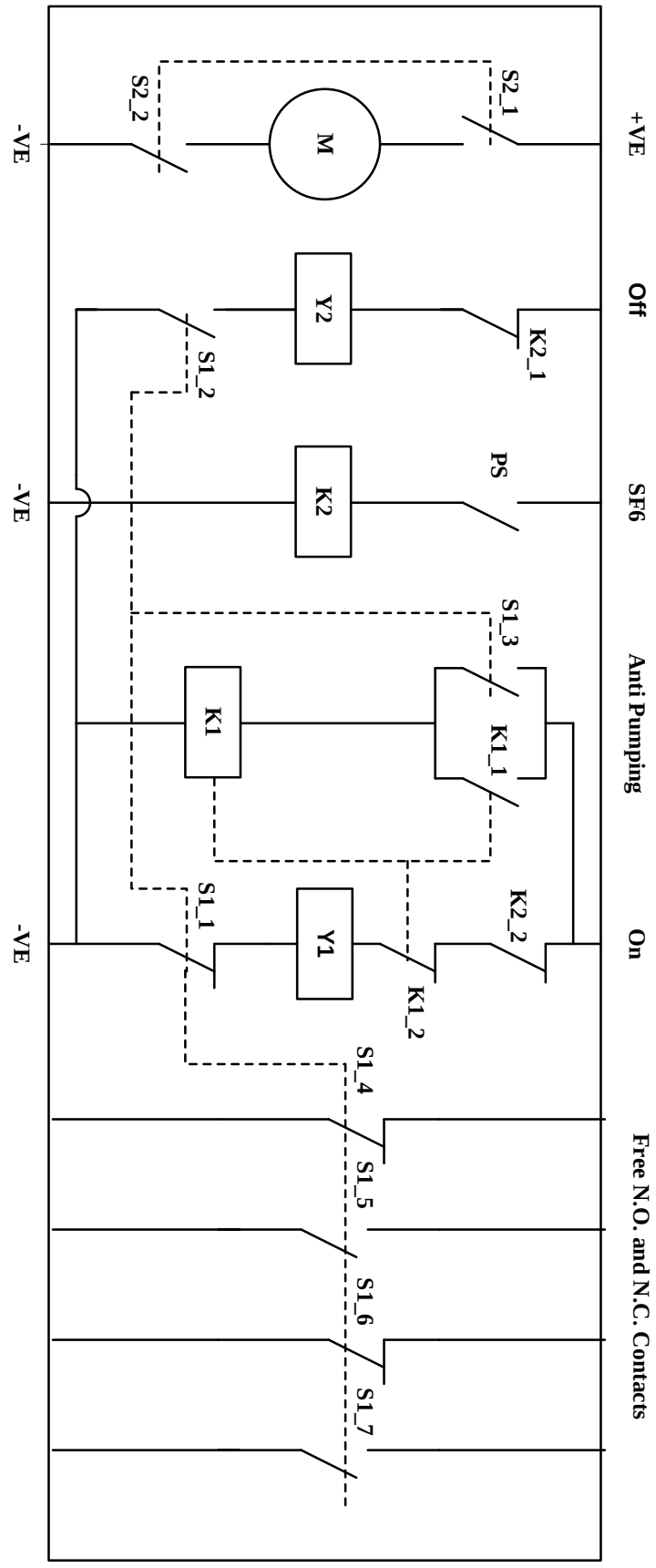
2-2 دوائر التوصيل والفصل للقواطع والسكاكين

لقد علمنا سابقا ما هو الفرق بين السكينة والقاطع مما يجعلنا أكثر إحساسا بأهمية كل منهما فى الدوائر الكهربية ولكن عندما نريد أن نتعامل مع دوائر التوصيل والفصل لهما فلابد فى البداية من التعرف على التوصيلات الثانوية الداخلية لكل منهما.

2-1-1 القاطع من الداخل

بداية نقوم بعرض الفكرة العامة لمكونات الدائرة الكهربية للقواطع من خلال الرسم الموجود فى الشكل (2-2) و الذى يمثل قاطع من النوع الغازى (sf6) ويتكون من:

- ملف التوصيل Y1
- ملف الفصل Y2
- ملف عدم التوصيل على عطل k1(antipumping relay)
- متمم مساعد لمنع التوصيل والفصل فى حالة انخفاض ضغط الغاز عن قيمه معينه K2



شكل (2-2) التوصيلات الثانوية للقاطع من الداخل

- ملامس مساعد من حساس الضغط PS
- ملامسات مساعده من وضع القاطع S1
- limit switch من وضع سوسته شحن الموتور s2

الرسم الموجود فى الشكل (2-2) يمثل حالة القاطع وهو فى وضع الفصل و لكى تتم عملية التوصيل فلا بد من وصول التغذية(ve+, ve–) لطرفى الملف Y1 وبالمثل لإتمام عملية الفصل بعد ذلك لابد من وصول التغذية (ve+, ve–) لطرفى الملف Y2 ولكى نتفهم دور كل من مكونات دائرتى التوصيل والفصل للقاطع فلا بد من معرفة مايلى :

- هذا الرسم للقاطع وهو فى وضع الفصل والسوسته فى وضع الشحن وضغط الغاز كافى لإتمام عملية التوصيل والفصل وبالتالى القاطع جاهز لإتمام عملية التوصيل.
- لكى تتم عملية التوصيل للقاطع كما علمنا فانه لابد من وصول التغذية لطرفى ملف التوصيل ومن الرسم يتضح انه هناك ثلاثة شروط لإتمام هذه العملية فلابد أن يكون كل من هذه الشروط متحققا وهى.
  - القاطع نفسه فى وضع الفصل عن طريق وضع الملامس المساعد S1-1 والذي يكون مغلقا فى وضع الفصل ومفتوحا مع توصيل القاطع حتى يمنع عملية التوصيل على توصيل او بمعنى أخر منع وصول التغذية إلى ملف التوصيل إذا كان القاطع فى وضع التوصيل حتى لا يتعرض هذا الملف للاحتراق من استمرار وصول التغذية إليه.
  - ضغط الغاز كافى وبالتالى فان الملامس المساعد PS يكون فى وضع الفتح وبالتالى يكون المتمم المساعد K2 فى وضع عدم الاشتغال وبالتالى يكون الملامس المساعد K2-2 فى وضع الغلق مع ملاحظة انه فى حالة انخفاض الغاز عن قيمة معينه فان الملامس المساعد PS يتحول إلى وضع الغلق مما يودى إلى اشتغال المتمم المساعد K2 وهذا بدوره يودى إلى فتح الملامس المساعد K2-2 وبالتالى تكون دائرة توصيل القاطع غير مكتملة وهذا يودى إلى حماية القاطع من الانفجار ما دام ضغط الغاز غير كافى لإطفاء ألشراره.
  - الشرط الثالث مرتبط بالAntipumping relay ودوره هو منع توصيل القاطع بعد فصله بأجهزة الوقاية مادام المشغل ضاغطا على الزر المخصص لتوصيل القاطع فلو تخيلنا أن ملف التوصيل موصل إليه تغذيه ve– من الطرف السفلى وعند الضغط على زر التوصيل يتم نقل ve+ إلى الطرف العلوي للملف (وبفرض أن المشغل مازال

ضاغطا على زر التوصيل) ومع عمليه توصيل القاطع يتحول الملامس المساعد S1-3 والى وضع الغلق مؤديا بدوره إلى اشتغال المتمم المساعد K1 مما يؤدى إلى تحول الملامس المساعد K1-2 إلى وضع الفتح و بالتالى فتح دائرة التوصيل وقطع التغذية عن ملف التوصيل مع ملاحظه أن الملامس المساعد K1-1 قد تغيرت حالته الى وضع الغلق و بالتالى يحافظ على استمرار التغذية الى الملف K1 وفى حاله اشتغال أجهزه الوقاية وإرسال أمر فصل للقاطع وتحول الملامس S1-3 إلى وضع الفصل مره أخرى ولا تنقطع التغذية عن ملف K1 إلا إذا رفع المشغل يده عن زر التوصيل وللإحساس أكثر بأهمية هذه الوظيفة نتخيل عدم وجود المتمم المساعد K1 فى الدائرة و بالتالى فى حاله توصيل القاطع (مازال المشغل ضاغطا على زر التوصيل) و اشتغال أجهزه الوقاية نتيجة للتوصيل على عطل وإرسال أمر فصل للقاطع (مازال المشغل ضاغطا على زر التوصيل) فان القاطع سوف يفصل ويعاود التوصيل مره أخرى ومن الممكن أن تتكرر هذه العملية عده مرات وهذا لا يتحمله القاطع حيث انه من المعروف انه لابد من توفير تأخير زمني بين عمليه (توصيل – فصل- توصيل).

- بالإضافة إلى هذه الشروط الثلاث فلابد أن تكون السوسته فى حاله شحن حتى تتم عمليه التوصيل ومن الممكن أن يكون هناك شرطا رابعا من وضع السوسته فى الدائرة الكهربية للتوصيل حيث يمنع وصول التغذية إلى ملف التوصيل إلا إذا كانت السوسته فى حاله الشحن التام و يتم شحن السوسته عن طريق الموتور M و الذى تتم تغذيته غالبا بالتيار المستمر وتنقطع التغذية عنه عند اكتمال عملية شحن السوسته عن طريق فتح الملامسين المساعدين S2-1 , S2-2 وهما فى وضع الغلق حتى تمام عملية شحن السوسته ثم يتحولا إلى وضع الفتح لحماية الموتور من الاحتراق فى حالة استمرار التغذية عليه.

- لإتمام عمليه الفصل فلابد من توفر شرطين احدهما مرتبط بضغط الغاز والأخر بالملامس المساعد من القاطع نفسه وهما مشابهان لمثيليهما فى عمليه التوصيل مع الفارق فى انه الملامس المساعد من وضع القاطع نفسه S1-2 يكون مفتوحا فى وضع الفصل ومغلقا فى وضع التوصيل.

2-2-2 السكينة من الداخل

تعتمد فكرة توصيل وفصل السكينة على دوران موتور يعمل بنظام التيار المستمر فى اتجاه معين إذا تم تغذية طرفيه بالموجب والسالب وبذلك تتم عملية التوصيل. وإذا ما تم عكس تغذية الموتور فانه يدور فى الاتجاه المعاكس مما يودى إلى فصل السكينة. فالرسم الموجود بالشكل (2-3) و الذى يمثل التوصيلات الداخلية الخاصة بأحد السكاكين و التى من خلالها يمكن إجراء عمليتى التوصيل والفصل من على جسم السكينة او من على بعد كهربيا بالإضافة إلى إمكانية التوصيل والفصل ميكانيكيا من على جسم السكينة. فى البداية نتعرف على المكونات الداخلية للسكينة.

M : موتور التوصيل والفصل

CC : كونتاكتور التوصيل

CA : كونتاكتور الفصل

PC : زر التوصيل

PA : زر الفصل

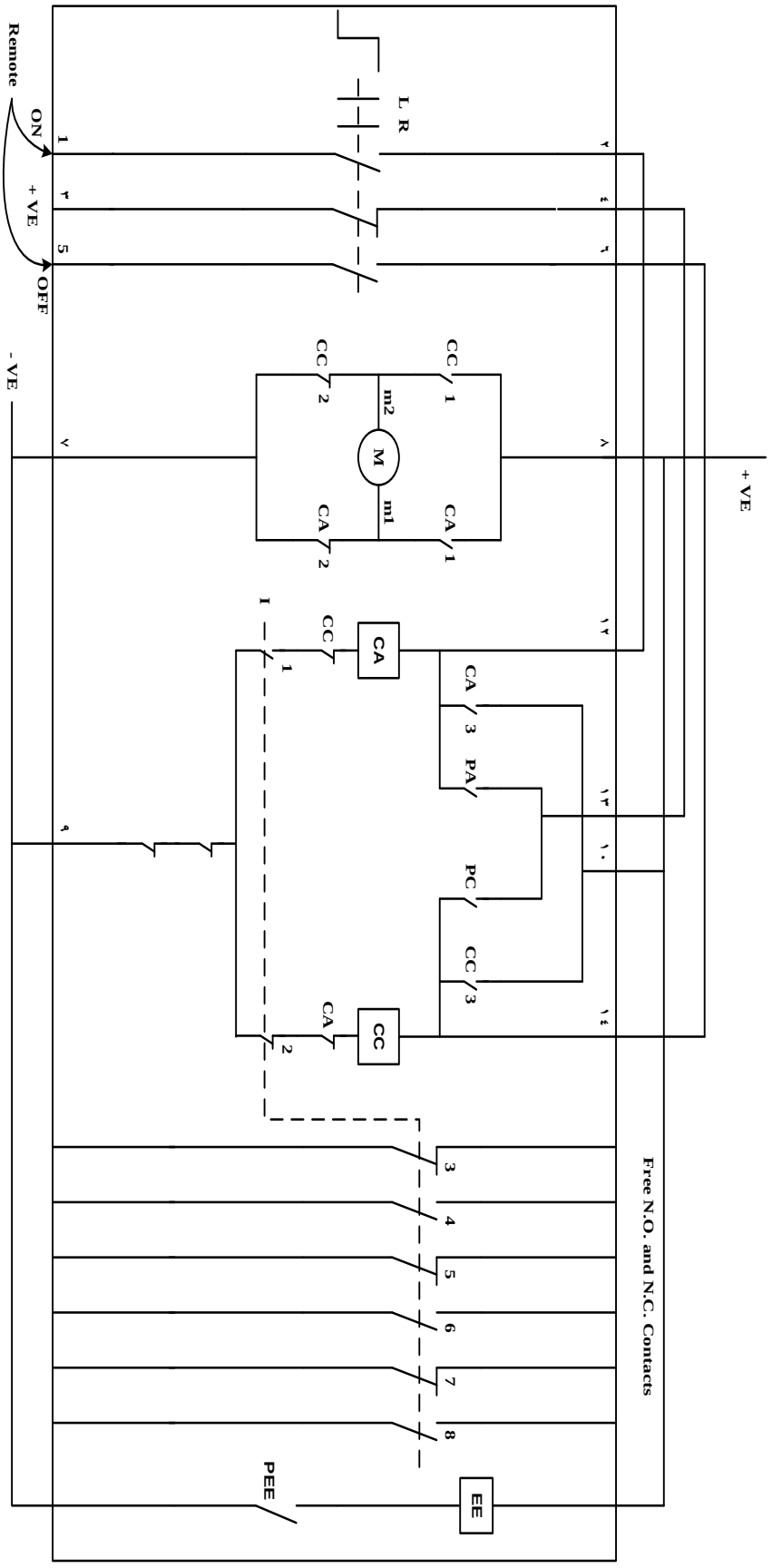
EE : متمم مساعد لتعشيق ذراع التوصيل والفصل

PEE : زر خاص بتشغيل المتمم EE

CM : ملامس مساعد للتوصيل الميكانيكي (يفتح فى حالة تعشيق يد التوصيل و الفصل)

I : ملامسات مساعدة من وضع السكينة

L\R : LOCAL /REMOT



شكل (2-3) التوصيلات الثانوية للسكينة من الداخل

2-1-2-1 توصيل وفصل السكينة محليا (Local)

لإتمام عملية التوصيل و الفصل للسكينة تم فرض مجموعة من الفروض وهى:

- السالب يكون ثابت باستمرار على ملف كونتاكتور التوصيل و بالمثل كونتاكتور الفصل و لا ينتقل من خلال زر التوصل
- تم وضع مفتاح L\R على وضع local ومن ثمّ ينتقل الموجب الموجود على النقطة 3 إلى النقطة 4 ومنها إلى النقطة 13
- عند الضغط على زر التوصيلPC فان الموجب الموجود على النقطة 13 ينتقل إلى الطرف 9 للكونتاكتور CC مما يودى إلى اشتغاله و بالتالى غلق الملامس المساعد له CC3 و الذى يحافظ على استمرار التغذية على الملف CC وأيضا غلق الملامس المساعد CC1 ويفتح الملامس المساعدCC2 و بالتالى تتم تغذية الطرف M1 للموتور بالموجب والطرف M2 بالسالب مما يودى إلى دوران الموتور فى اتجاه التوصيل.
- يستمر اشتغال الملف CC حتى تمام عملية التوصيل وعندها يتغير وضع I2 إلى الوضع المفتوح مما يودى إلى انقطاع التغذية عن الملفCC و بالتالى يعود وضع الملامسات المساعدة له CC1 و CC2 إلى الوضع الأصلى وتنقطع التغذية عن الموتور ويتوقف عن الحركة.
- عملية الفصل مماثلة تماما لعملية التوصيل مع استبدال CC ب CA وعندها تنعكس تغذية الموتور بحيث يتم تغذية M1 بالسالب و M2 بالموجب مما يودى إلى دوران الموتور فى اتجاه الفصل.

2-2-2-2 توصيل وفصل السكينة عن بعد Remote

تتشابه عملية التوصيل و الفصل عن بعد مع مثيلتها محليا فى أن كل منهما تقوم بتشغيل كونتاكتور التوصيل او الفصل مع وجود بعض الاختلافات فى مسار وصول التغذية إلى الكونتاكتور وفى هذه الحالة يكون:

- المفتاح L/R على الوضع REMOTE و بالتالى يغلق الملامسان المساعدان (1-2)و (5-6).
- عند الضغط على زر التوصيل من بعد ينتقل الموجب إلى النقطة 5 ومنها إلى 6 ومن ثم إلى النقطة 14 و بالتالى يعمل الكونتاكتور CC مثل الحالة السابقة تماما.

- عند الضغط على زر الفصل من بعد ينتقل الموجب إلى النقطة 1 ومنها إلى 2 ثم إلى 12 مما يودى إلى اشتغال الكونتاكتور CA مما يؤدى إلى فصل السكينة.

ملاحظات

- لتوصيل السكينة او فصلها ميكانيكيا عن طريق الذراع و التى يتم تعشيقها عن طريق الضغط على الزر PEE مما يؤدى إلى تشغيل المتمم المساعد EE وهذا يؤدى بدوره إلى فتح سكة تعشيق الذراع و التى عند تعشيقها فى مكانها لتوصيل او فصل السكينة فإنه لابد من قطع التغذية الكهربية عن كل من كونتاكتور التوصيل و كونتاكتور الفصل عن طريق فتح الملامس المساعد CM و بالتالى ينقطع السالب عن تغذية الملفين CC,CA.
- يوجد مجموعه كبيره من الملامسات المساعدة و التى يتغير وضعها تبعا لوضع السكينة من حيث التوصيل والفصل و التى يمكن استخدامها فى دوائر الانترلوك ولبيان وضع السكينة فى خلية الحوش او داخل الكنترول بالإضافة إلى استخدامها لقطع التغذية عن كل من كونتاكتور التوصيل و كونتاكتور الفصل فى نهاية عمليتى التوصيل والفصل عن طريق الملامسين المساعدين I1,I2.

3-2 مكونات محول القدرة

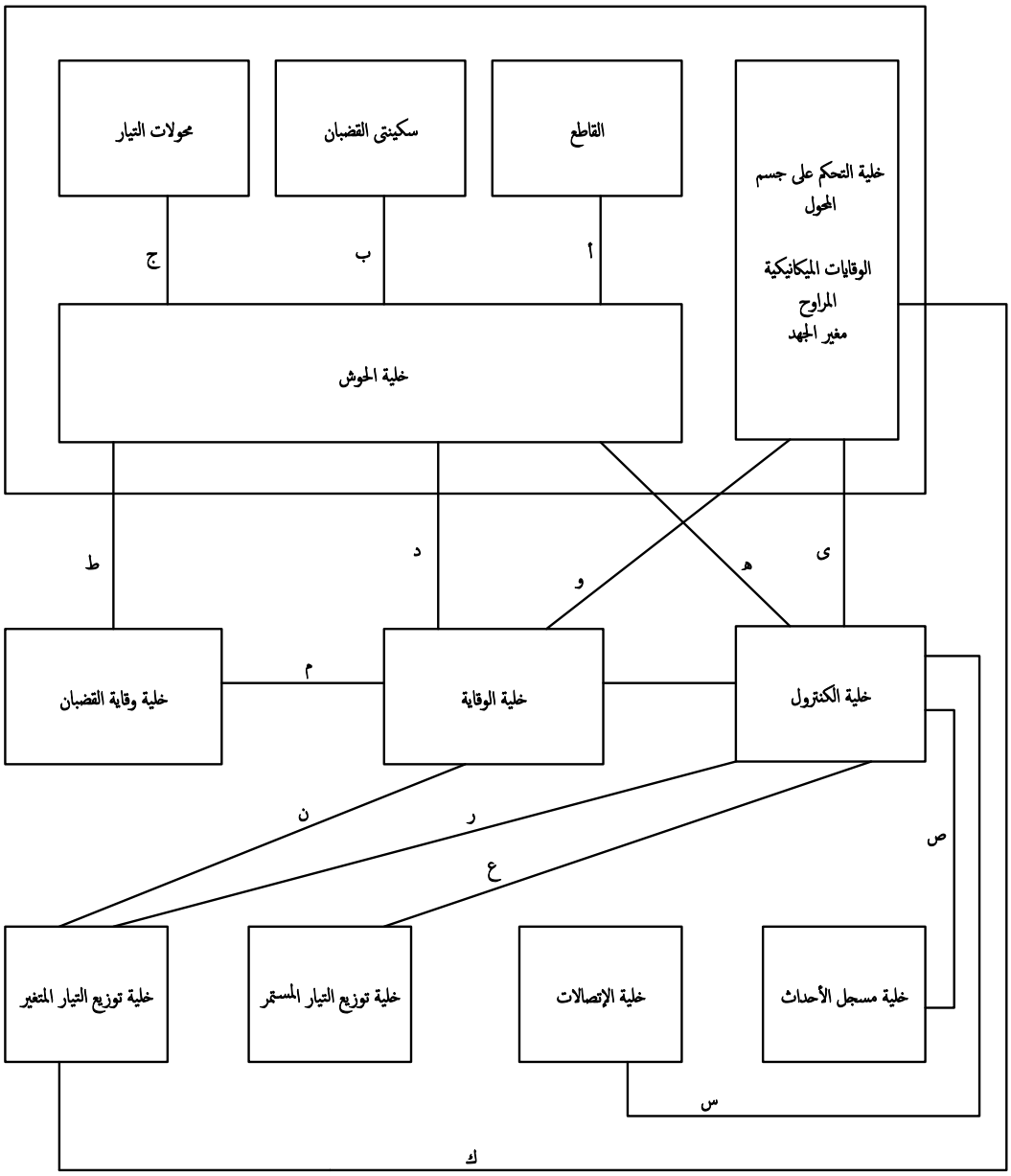
لقد عرفنا أثناء دراستنا لمكونات محطات المحولات انه يوجد العديد من الخلايا و التى تخص كل مهمة من مهمات المحطة بالإضافة إلى بعض الخلايا العامة و التى تكون مشتركة لعدد من المهمات. وسوف نقوم فى البداية بتطبيق هذه الدراسة على محول القدرة كأحد أهم المكونات لمحطة المحولات ولكن ما هى الخلايا التى تخص المحول وكيفية ارتباطها بباقي خلايا المحطة.

يتكون المحول من ثلاث خلايا رئيسية هى:

- خلية الحوش
- خلية التحكم والقياس
- خلية الوقاية

بالإضافة إلى ارتباط هذه الخلايا بعضها البعض، يوجد بعض الارتباطات بخلايا أخرى مثل خلية توزيع التيار المستمر وخلية توزيع التيار المتردد ومسجل الإحداث وخلية الاتصالات ووقاية

القضبان بالإضافة إلى كابينة التحكم من على جسم المحول وكابينة مغير الجهد والمثال الموضح بالشكل رقم (2-4) يجعلنا نتعرف بصورة تفصيلية على مكونات هذه الخلايا و أهميتها.



شكل (2-4) مسار كابلات الربط الثانوية بين مهمات محول القدرة

تتكون أى خلية من هذه الخلايا من مجموعة من الروزتات بحيث يكون متصل بكل روزتة منها موصل (سلك) من كل جهة من جهتيها وغالبا ما تكون هذه الروزتات مقسمة إلى مجموعات إما حسب وظيفتها (تيار- جهد- إشارات-..... الخ) او على حسب المهمة المتصلة بها (محول I-

محول II -.....الخ). و الرسم الموجود بالشكل رقم (2-4) يوضح مجموعة من المسارات التى عن طريقها يتم الربط بين الخلايا المختلفة لعمل وظيفة معينة او عدة وظائف فمثلا:

- **المسار ا** بين القاطع و خلية الحوش يكون به مجموعة من الكابلات لإتمام عمليتى التوصيل والفصل من خلية الحوش او من الكنترول و تغذية الموتور الخاص بشحن السوسته و بعضها متصل بالملامسات المساعدة للقاطع لبيان حالة القاطع من حيث التوصيل و الفصل و بعضها يدخل فى دوائر الانترلوك لباقى مهمات المحول والبعض الأخر لدوائر لإشارات الخاصة بالقاطع مثل الإشارات الخاصة بانخفاض ضغط الغاز و أى إشارات أخرى.
- **المسار ب** بين السكاكين وخلية الحوش وهو كبير الشبه بالمسار السابق ا و لكن بالنسبة للسكاكين
- **المسار ج** بين محولات التيار و خلية الحوش و غالبا ما يكون هناك كابل او أكثر لكل وجه على حسب عدد الملفات الثانوية لمحول التيار و عدد الأطراف (الأسلاك) فى الكابل
- **المسار د** بين خلية الحوش و خلية الوقاية و غالبا ما يشتمل على مجموعة مختلفة من الكابلات بعضها.
  - لنقل دوائر التيار الثانوية.
  - نقل إشارات الفصل من أجهزة الوقاية إلى خلية الحوش و منها إلى القاطع.
  - نقل إشارات إعادة التوصيل الأتوماتيكى (Auto Reclosure).
  - نقل إشارات مراقبة دوائر الفصل
- **المسار هـ** بين خلية الحوش و الكنترول و يشتمل على
  - دوائر التيار الخاصة بأجهزة القياس
  - دوائر التوصيل و الفصل اليدوى
  - الإشارات التى تدل على حالة كل من القاطع و السكاكين من حيث التوصيل و الفصل
  - ا شارات فصل احد مفاتيح التغذية من خلية الحوش إلى الكنترول (فى الأنظمة التى يكون فيها هذه المفاتيح فى خلية الحوش)
  - الإشارات الخاصة بالقاطع مثل انخفاض ضغط الغاز او منع التوصيل و الفصل لانخفاض ضغط الغاز
- **المسار و** بين كابينة التحكم على جسم المحول و خلية الوقاية و التى تحتوى على دوائر الفصل بأجهزة الوقاية الميكانيكية من على جسم المحول مثل الوقاية الغازية الرئيسية و

الوقاية الغازية لمغير الجهد والوقاية ضد زيادة الضغط للتنك الرئيسي وزيادة الضغط لمغير الجهد و الوقاية ضد ارتفاع درجة حرارة الملفات و الزيت.

- **المسار ى** بين كابينة التحكم على جسم المحول و خلية الكنترول و تحمل
  - إشارات الإنذار لأجهزة الوقاية الميكانيكية الموجودة فى المسار السابق
  - مبينات درجات الحرارة للملفات و الزيت داخل الكنترول
  - مبين الخطوة لمغير الجهد
  - دوائر التحكم فى تشغيل مراوح التبريد للمحول من داخل الكنترول
  - دوائر التحكم الخاصة بمغير الجهد
  - إشارات الفصل لأحد مفاتيح تغذية المراوح او مغير الجهد
- **المسار ل** بين خلية الوقاية و خلية الكنترول و غالبا ما تحتوى على
  - إشارات الإنذار الخاصة بالفصل بأحد أجهزة الوقاية الكهربية او الميكانيكية
  - إنذار عطل داخلي فى احد أجهزة الوقاية
  - إنذار فصل احد مفاتيح تغذية التيار المستمر لأجهزة الوقاية
- **المسار ط** بين خلية الحوش و خلية وقاية القضبان و يتم من خلالها نقل
  - دوائر التيار الخاصة بالمحول إلى وقاية القضبان
  - أوضاع السكاكين و القاطع (فى الأنظمة التى يلزم بها وضع القاطع)
- **المسار م** بين خلية الوقاية و خلية وقاية القضبان و غالبا ما تتصل
  - إشارات الفصل بوقاية القضبان
  - إشارات الفصل بالوقاية ضد فشل القاطع و إشارة بدء اشتغال للوقاية ضد فشل القاطع (Breaker Failure Initiation) و ذلك فى الأنظمة التى يكون فيها الوقاية ضد فشل القاطع جزء من وقاية القضبان
- **المسار ع** بين خلية الكنترول و خلية توزيع التيار المستمر و الذى من خلاله يتم تغذية خلية الكنترول ومنها إلى خليتي الوقاية و الحوش و بالتالى إلى جميع الأجهزة و القاطع و السكاكين للمحول
- **المسار غ** بين خلية الكنترول و خلية توزيع التيار المتغير و ذلك لزوم إنارة الخلية بالإضافة إلى تغذية بعض أجهزة القياس التى تعمل بنظام التيار المتردد

- **المسار س** بين خلية الكنترول و خلية مسجل الأحداث و ذلك لتسجيل جميع الأحداث الخاصة بالمحول من حيث توصيل و فصل للقواطع و السكاكين بالإضافة إلى إشارات الفصل بأجهزة الوقاية و غيرها من الإشارات المرتبطة بالمحول.
- **المسار ص** بين خلية الكنترول و خلية و خلية الاتصالات و هى كبيرة الشبه بالإشارات الموجودة فى المسار السابق (س) و لكن مع إرسالها إلى التحكم عن طريق خلية الاتصالات.
- **المسار ك** بين خلية التيار المتغير وخلية التحكم من على جسم المحول ويختص بتغذية مواتير مراوح التبريد والموتور الخاص بمغير الجهد وقد يشمل هذا المسار على كبل او أكثر عل حسب تصميم كل محول.

2-3-1 دوائر التوصيل للقاطع

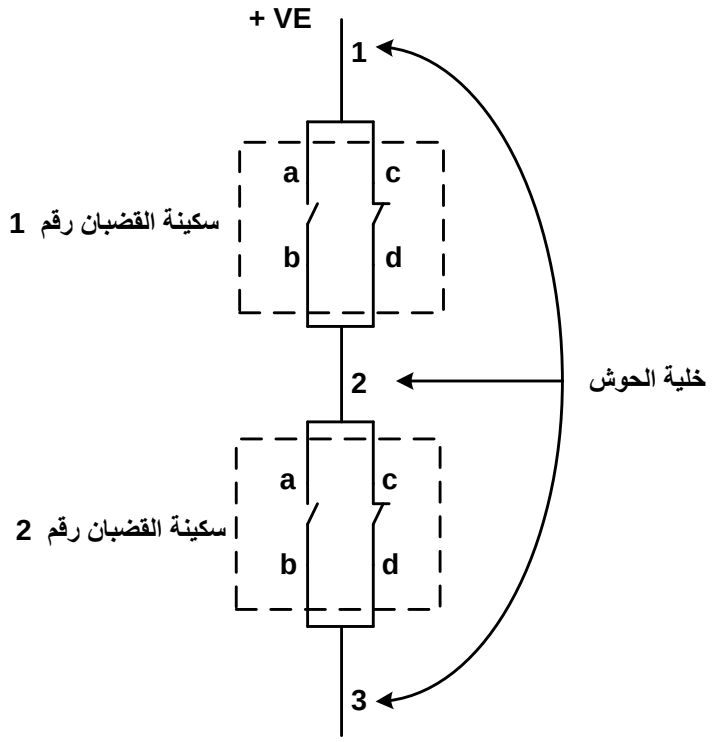
لقد عرفنا من خلال دراستنا للأجزاء السابقة الفرق بين القاطع و السكينة من حيث مقدرة القاطع على التوصيل و الفصل على حمل و عرفنا أيضا فكرة عن التوصيلات الداخلية لكل من القاطع و السكينة و الآن نتعرف على الدائرة الكاملة لعملية التوصيل و الفصل للقاطع.

متى نريد توصيل القاطع ؟

- توصيل عادى للتحميل
- توصيل أثناء اختبار أجهزة الوقاية للتأكد من سلامة عمل دوائر الفصل

و الفرق بين الحالتين انه فى الحالة الأولى يكون احد سكينتى القضبان فى وضع التوصيل و الاخرى فى وضع الفصل أما فى الحالة الثانية فتكون السكينتين فى وضع الفصل و يكون توصيل القاطع بدون حمل (توصيل على الفاضى) و بالتالى فلابد أن تتوفر شروط التوصيل للقاطع فى كلا الحالتين و بالتالى يمكننا التعبير عن هذه الدائرة بالرسم الموضح فى الشكل (2-5) و التى يكون فيها لابد من وصول (+VE) من النقطة 1 إلى النقطة 3 حتى تكتمل شروط التوصيل و بالتالى فانه لابد من اكتمال مشوار سكينة القضبان رقم (1) سواء فى التوصيل او الفصل حتى ينتقل (+VE) من النقطة 1 إلى النقطة 2 حيث أنه أثناء مشوار السكينة من التوصيل إلى الفصل او الفصل إلى التوصيل فان الملامسين(ab , cd) يكونان فى وضع الفتح و بالتالى فان (+VE) عند النقطة (1) يكون فى وضع الفتح و بالتالى لا ينتقل إلى النقطة 2 إلا فى حالة اكتمال مشوار السكينةلأنه فى حالة عدم اكتمال مشوار السكينة أى أنّ نقط التلامس الرئيسية للسكينة غير جيدة و

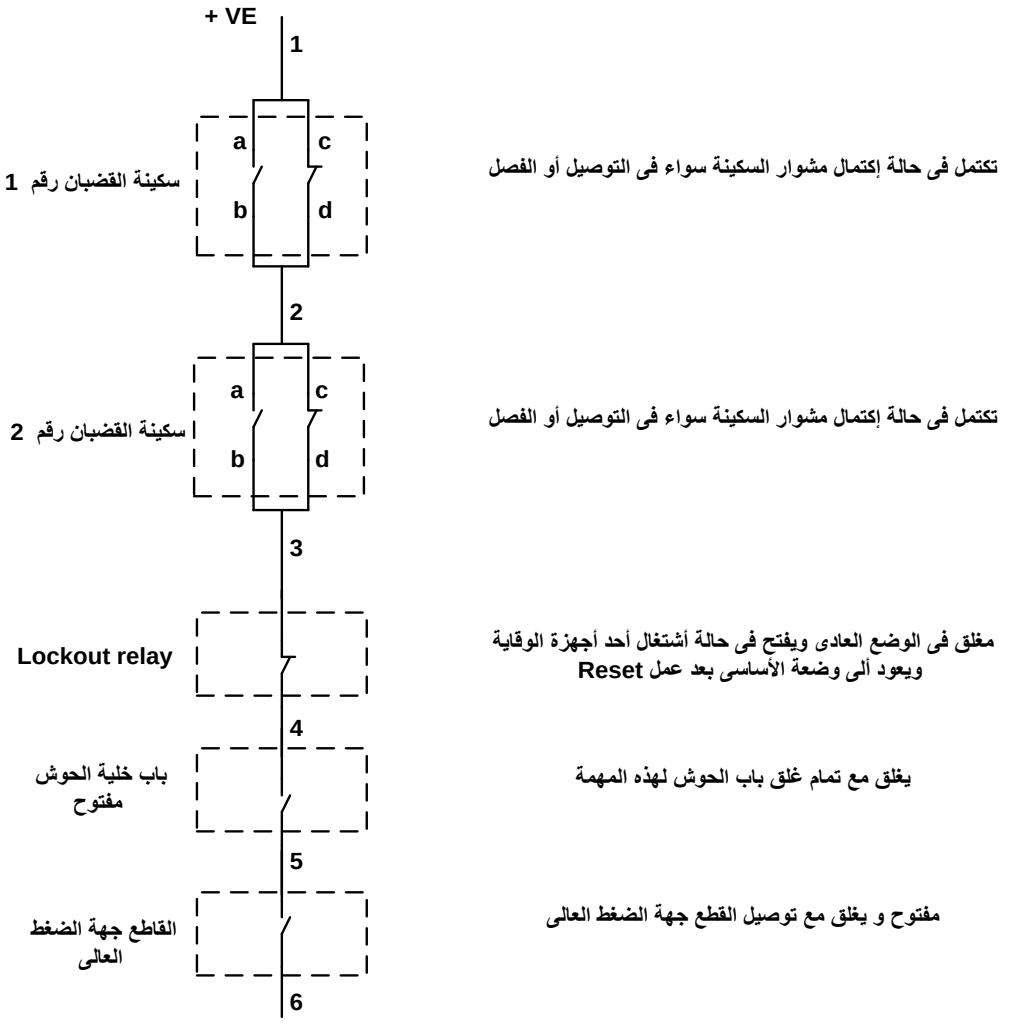
بالتالى عند توصيل القاطع فتصبح نقطة اتصال طرفى السكينة نقطة ضعف و لا تتحمل مرور التيار مما يؤدى إلى انهيار السكينة وبالتالى كان لابد من التأكد من إحكام إغلاق السكينة قبل توصيل القاطع وذلك يتم عن طريق الملامسات المساعدة للسكينة التى لا تغلق إلا فى حالة اكتمال التوصيل او الفصل بالإضافة إلى التأكد عن طريق المشاهدة الفعلية بالعين و بالمثل يتم التأكد من وضع سكينة القضبان رقم 2 حتى ينتقل (+VE) من النقطة 2 إلى النقطة3.



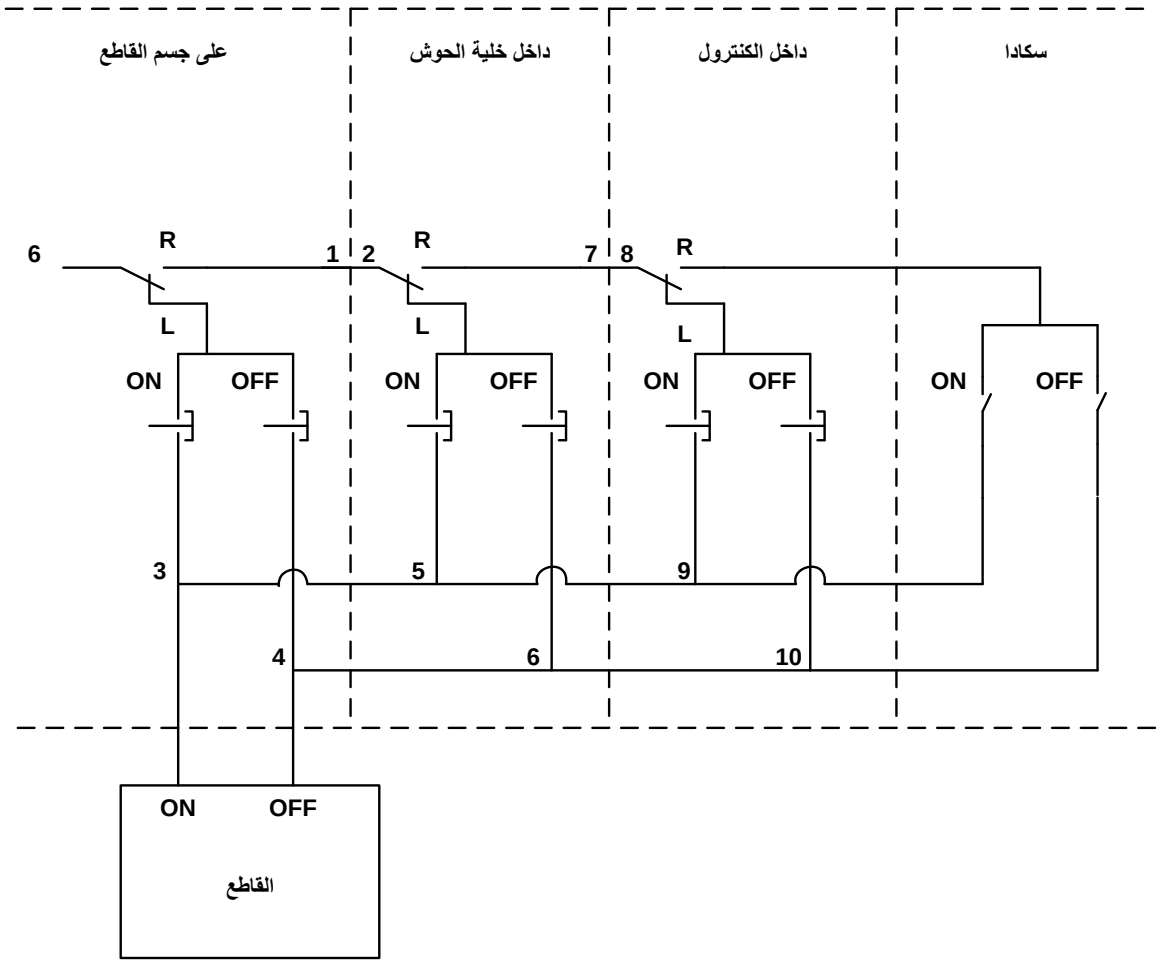
شكل (2-5) دائرة الانترلوك لتوصيل قاطع المحول

فى بعض الأنظمة و فى حالة الفصل بأحد أجهزة الوقاية فيعمل المتمم المساعد الخاص لمنع التوصيل (lockout relay) و من الممكن أن يتم توظيف احد الملامسات المساعدة من هذا المتمم كشرط ثالث توالى مع شروط السكاكين و فى حالة المحطات التى يكون بها الحوش (indoor) يتم التأكد من أنّ الباب الخاص بمهمات المحول مغلق قبل إتمام عملية التوصيل و بالتالى يضاف كشرط رابع للشروط السابقة. إذا كان القاطع المراد توصيله يخص المحول من ناحية الجهد المنخفض (المعروف انه يوصل بعد قاطع الجهد العالى) من الممكن التأكد من توصيل القاطع الخاص بناحية الجهد العالى أولاً و بذلك نكون قد إنتهينا من توضيح جميع الشروط اللازمة لإتمام عملية التوصيل للقاطع و وصول (+VE) إلى النقطة رقم 6 كما هو موضح بالشكل (2-6). لو

تتبعنا مسار الأسلاك التى تربط بين المهمات الموجودة فى الشكل فإننا نجد أنّ نقاط الربط أرقام من 6:1 كلها تقع فى خلية الحوش و بالتالى فانه يلزم وجود كابل بين خلية الحوش و كلا من سكينة القضبان رقم 1 و سكينة القضبان رقم 2 و خلية الوقاية و التى بها (lock out relay) و خلية الحوش جهة الضغط العالى و كأنه وسيط بين كل مهمتين أى أنه لا يمكن ربطهما مباشرة. و يوجد تصميمات مختلفة لتنفيذ هذه الدائرة و إن كانت الفكرة الأساسية لهم تكاد تكون واحدة و سوف نقوم بعرض أحدالتصميمات التى يمكن من خلالها تنفيذ الدائرة المطلوبة بحيث يمكن أن تتم عملية التوصيل من خلال زر التوصيل على جسم القاطع او من خلال خلية الحوش او من داخل الكنترول وفى بعض الأحيان من خلال الاسكادا و لكى نستكمل باقي دائرة التوصيل فغالبا ما يكون هناك مفتاح سليكتور فى كل من القاطع وأخر فى خلية الحوش و ثالث فى خلية الكنترول كما هو موضح بالشكل (2-7).



شكل (2-6) دائرة الانترلوك الكاملة لتوصيل قاطع المحول



شكل (2-7) دوائر التوصيل و الفصل اليدوى للقاطع

ملحوظة

- فى هذا التصميم تم فرض أن ve- ثابت على طرف ملفي التوصيل و الفصل و فى انتظار ve+ ومن الممكن أن يكون تصميم الدائرة على أساس انتقال ve+ و ve- أثناء عملية التوصيل.
- تم استخدام زر توصيل من على جسم القاطع ومن خلية الحوش ومن داخل الكنترول و لكن هذا للتسهيل فقط و لكن غالبا ما يستخدم مفاتيح (discrepancy switch) فى عملية التوصيل و الفصل.

لو أردنا تتبع التوصيلات الخاصة بعملية التوصيل و الفصل و التى تربط بين القاطع و خلية الحوش و الكنترول و الموجودة بالرسم الموضح بالشكل (2-7) فإننا نجد انه يلزم عدد من الأسلاك

للربط بين الخلايا المختلفة و هذه الأسلاك تعتبر جزء من الكبل الذى يربط بين كل خليتين من هذه الخلايا فمثلا يلزم

- ثلاثة أسلاك للربط بين القاطع و خلية الحوش و ذلك بين النقطتين (1، 2) ، (5 ، 3) ، (10، 6) و بالتالى فانه يلزم كابل به عدد من الأسلاك أكثر من ثلاثة أسلاك بين القاطع و خلية الحوش لتغطية تلك الوظائف مع الأخذ فى الاعتبار وجود عدد من الأسلاك كاحتياطي فى نفس الكابل. غالباً ما يستخدم كابلات تحتوى على عدد كبير من الأسلاك و ذلك لتغطية بعض الوظائف الاخرى مثل عملية التوصيل و الفصل للسكاكين مثلاً بحيث من الممكن أن يشملهم كابل واحد.
- ثلاثة أسلاك للربط بين خلية الحوش و الكنترول بين (8 ، 7) ، (9 ، 5) ، (10 ، 6) و لكن غالبا ما تستخدم كابل اكبر كما ذكرنا فى الكبل بين القاطع و خلية الحوش و هذه هى فكرة تصميم كابلات الربط بين الخلايا المختلفة لمهمات محطات المحولات.

2-3-2 دوائر الفصل للقاطع

دوائر الفصل يدويا للقاطع تكون مماثلة لدائرة التوصيل ولكنها تكون ابسط فى حالة الفصل بالوقاية و التى غالبا لا يكون بها هذه الشروط نظرا للحاجة الماسة لسرعة الفصل حتى لا يتعرض المحول للتلف فى حالة تأخر عملية الفصل أو عدم الفصل نتيجة وجود مشكلة فى أى من هذه الشروط.

2-3-3 دوائر التوصيل و الفصل لسكينة القضبان

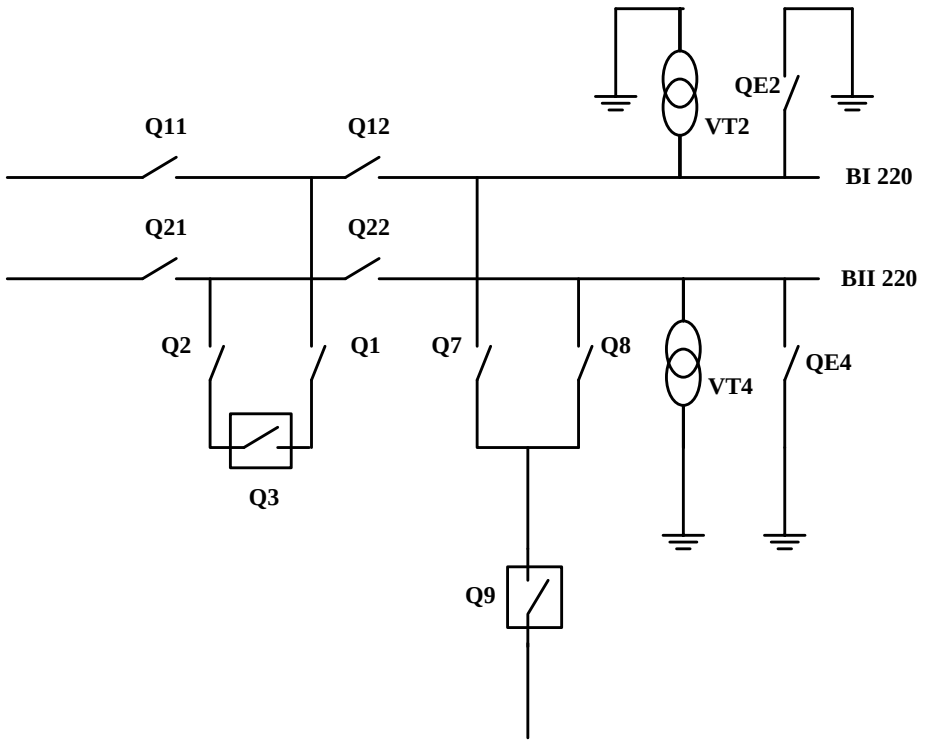
دوائر التوصيل و الفصل للسكينة تختلف عن القاطع نظرا لاختلاف طبيعة السكينة عن القاطع فى كون عدم قدرتها على التوصيل و الفصل على حمل و بالتالى فانه لابد عند عمل تصميم لدوائر التوصيل و الفصل للسكينة الأخذ فى الاعتبار عدم توصيلها او فصلها على حمل وهذا يحدث فى حالتين

- توصيل السكينة و على الأقل احد طرفيها خالى من الجهد
- توصيل السكينة تساوى الجهد بين طرفيها و ذلك يحدث عن طريق إيجاد مسار مغلق بديل (مؤقت) لطرفى السكينة حتى إتمام عملية التوصيل او الفصل كما سنرى فى الأجزاء القادمة.

و لمعرفة الفرق بين الحالتين فان الحالة الأولى تحدث عند إعادة توصيل المحول بعد فصله فانه يتم فى البداية توصيل سكينة القضبان و التى يكون احد طرفيها و الموجود جهة القضبان عليه جهد مع

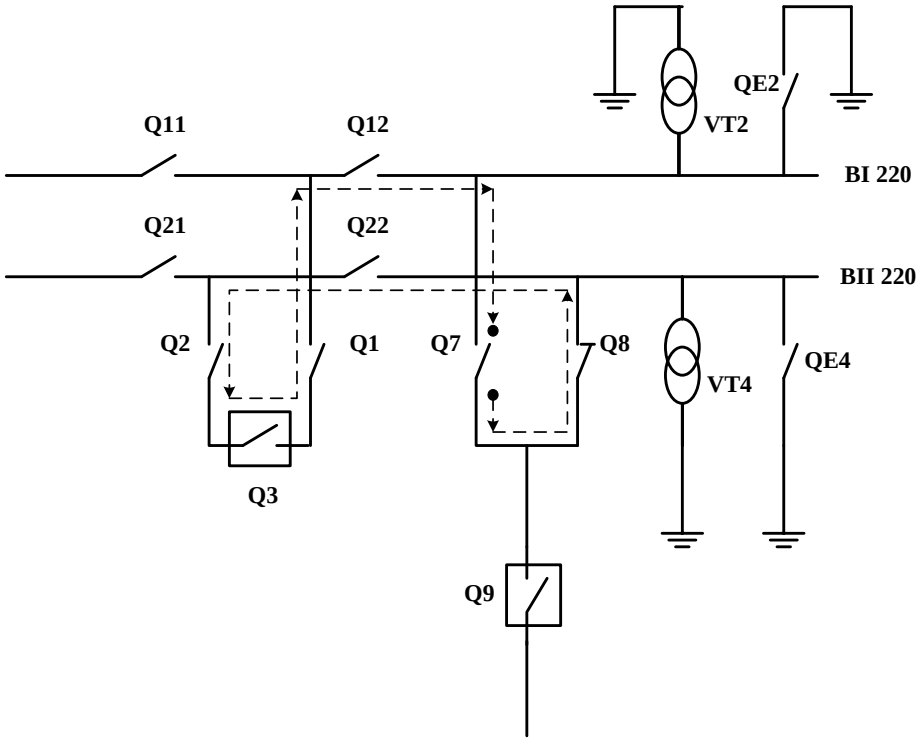
عدم وجود جهد على الطرف الأخر و المتصل بالقاطع و بالتالى لا يحدث مرور تيار أثناء عملية التوصيل و أما فى حالة الفصل فانه يتم فى البداية فصل القاطع و بالتالى فانه عند فصل السكينة يكون هناك جهد على احد طرفيها فقط و بالتالى لا يحدث مرور تيار. و لدراسة الحالة الثانية فنتذكر سويا الرسم الأحادي لمحول مع وجود رابط القضبان و الموجود بالشكل (2-8) و التى يكون فيها المحول موصل على احد قضبانى التوزيع(مثلا القضبان رقم II) أى أن Q8 موصلة مع توصيل القاطع (Q9) و المراد الآن هو نقل المحول من قضبان التوزيع رقم II إلى قضبان التوزيع رقم I أى توصيل Q7 و فصل Q8 و هذه العملية من الممكن أن تتم بصورتين

- فصل القاطع Q9 ثم فصل Q8 ثم توصيل Q7 ثم إعادة توصيل Q9 و لكن عيب هذه الطريقة حدوث انقطاع للتغذية حتى إتمام عملية التوصيل مرة أخرى
- أما فى الطريقة الثانية و المسماة (load transfer) يتم جعل طرفى سكينة القضبان Q7 لهما نفس قيمة الجهد و بالتالى يمكن توصيل Q7 بداية ثم التأكد من أن طرفى السكينة Q8 لهما نفس الجهد و بالتالى فصلها بأمان بالتالى عملية نقل المحول إلى قضبان التوزيع رقم I قد تمت بدون حدوث إنقطاعات.



شكل (2 - 8) شكل أحادى لمحول القدرة مع الرابط العرضي للقضبان

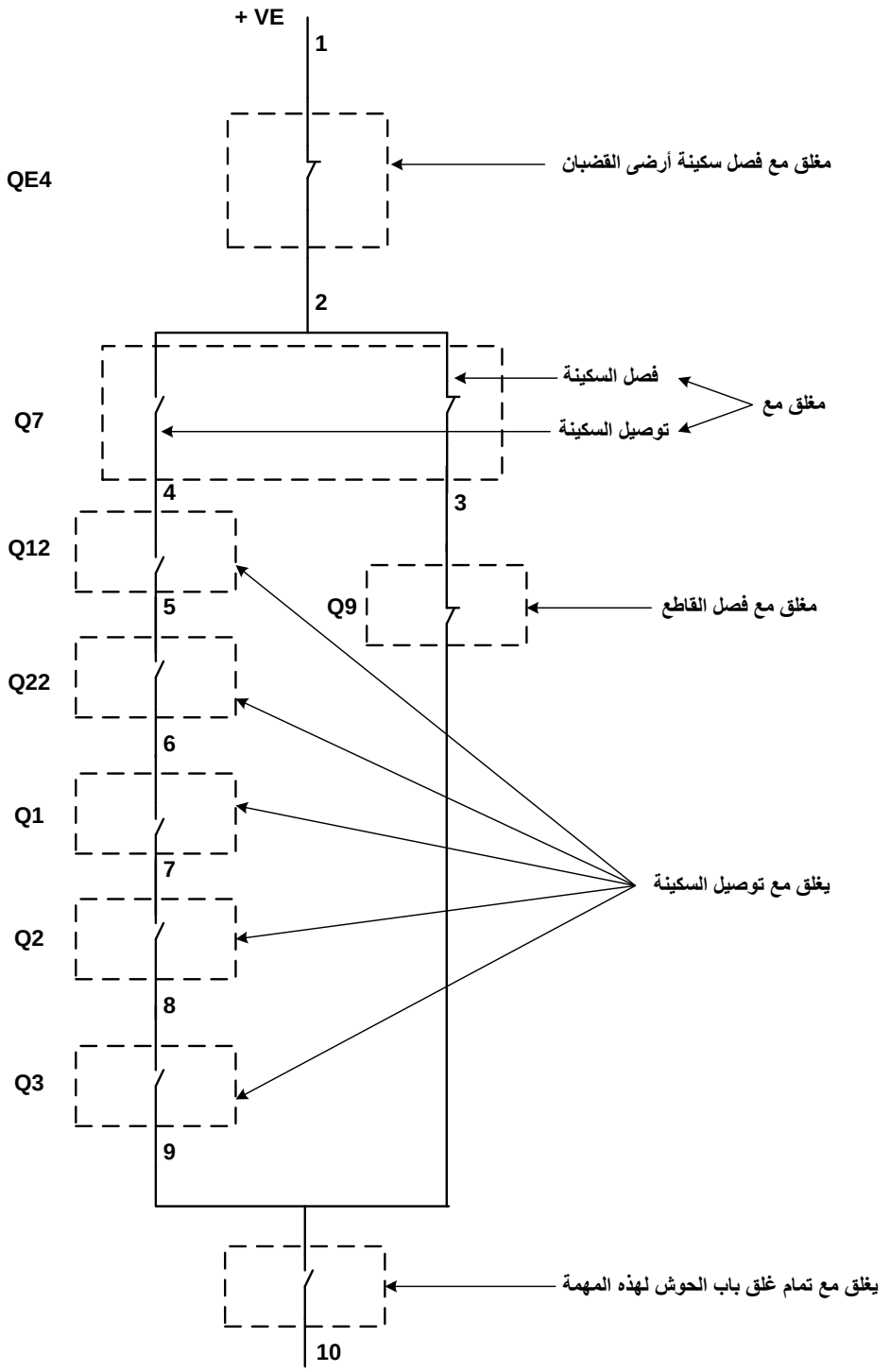
فى هذا المثال فرضنا أن Q8 موصلة و بالتالى لتوصيل Q7 و التى يوجد جهد على طرفيها فلابد من تساوى هذين الجهدين و لكى يحدث هذا فلابد أن يكون هناك مسارا مغلقا بين طرف السكينة Q7 كما هو موضح بالشكل (2-9) و هذا يحدث عندما يكون كلا من Q1 ، Q2 ,Q3، Q12، Q22، فى حالة توصيل مع الأخذ فى الاعتبار أن Q8 فى وضع توصيل أيضا و بالتالى يمكن توصيل Q7 و بالمثل لفصل السكينة Q8 فلابد من توفر نفس الشروط السابقة من توصيل كلا من Q1 ، Q2 , Q3، Q12، Q22 مع توصيلQ7 و هو ما حدث بالفعل فى الخطوة السابقة و بالتالى تم نقل المحول من قضبان التوزيع رقم II إلى قضبان التوزيع رقم I بدون حدوث إنقطاعات.



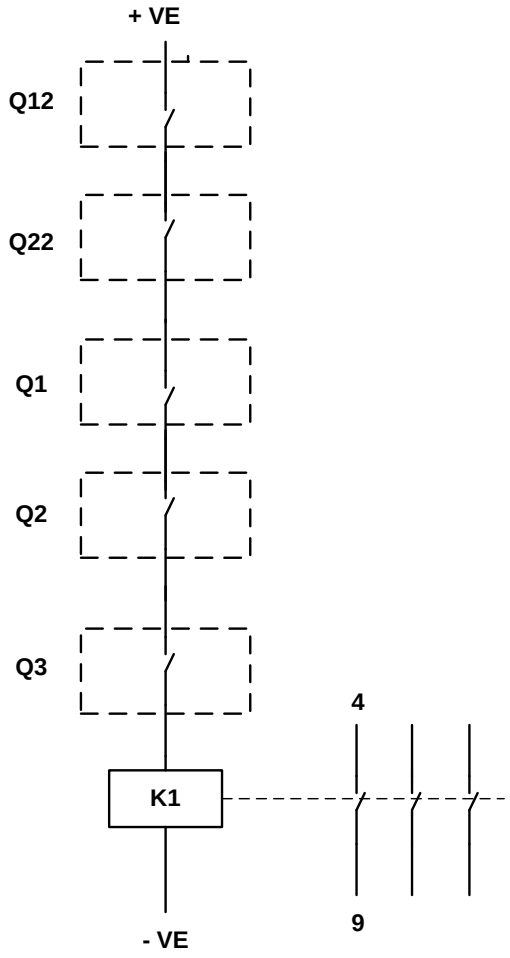
شكل (2 - 9) شروط تساوى الجهد على طرفى السكينة Q7

و لدراسة الدائرة الكهربية الخاصة بشروط النترلوك لتوصيل أو فصل سكينة القضبان فإنه لابد من التأكد من توفر جميع الشروط السابقة حتى تتم عملية التوصيل و الفصل و ذلك يمكن توضيحه من خلال دوائر الانترلوك لسكينة القضبان رقمQ8 كما هو موضح بالشكل (2-10) مع إضافة شرط أخر ألا وهو التأكد من فصل سكينة الارضى للقضبان التى سوف يتم توصيل سكينة القضبان عليها. كما يمكن إضافة الشرط الخاص بغلق الباب فى حالة المحطات (indoor) و التى يكون

فيها ملامس مفتوح و يغلق مع غلق الباب و مع توافر جميع الشروط فان (+ve) ينتقل إلى النقطة رقم 10و بالتالى تكون السكينة جاهزة للتوصيل.



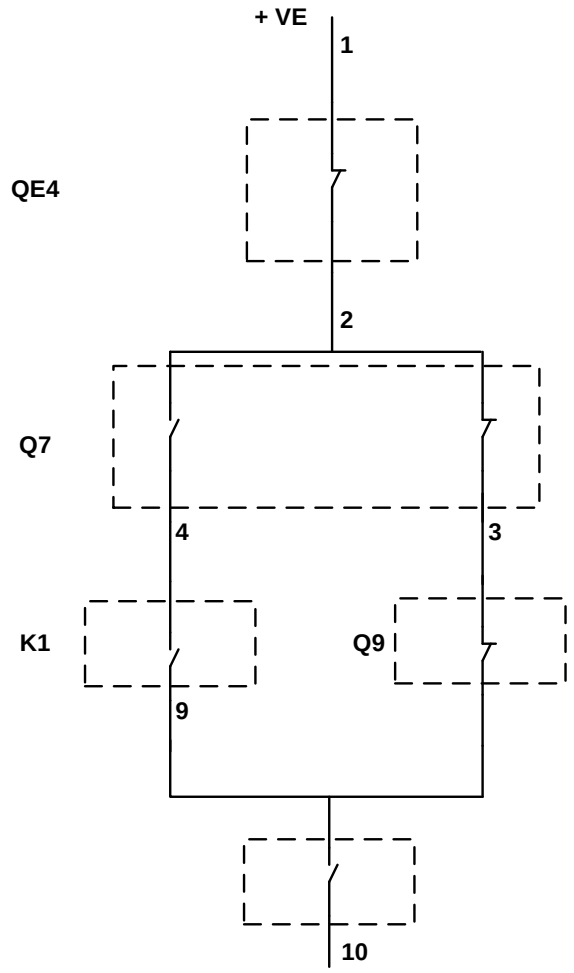
شكل (2 - 10) دائرة الانترلوك لتوصيل وفصل Q8



الشكل (2-11) الشروط المشتركة لتوصيل أو فصل سكاكين القضبان

و بالتالى فانه يتم استبدال الشروط الموجودة بين النقطتين (4,9) فى الشكل (2-10)بملامس مساعد من المتمم المساعد K1 و بالتالى يمكن تعديل الرسم الموجود فى الشكل (2-10) ليأخذ الشكل النهائى الموجود فى شكل (2-12) و بالتالى فان الشروط الواجب توافرها لتوصيل او فصل سكينة قضبان هى التأكد من أن سكينة الارضى الخاصة بهذه القضبان تكون فى وضع الفصل و أن باب الحوش مغلق (للمحطات indoor). و الشرط الثالث اللازم هو توافر أحد الوضعيين التاليين:

- سكينة القضبان الأخرى لنفس المحول مفصولة و القاطع الخاص بالمحول مفصول
- سكينة القضبان الأخرى موصلة و الرابط موصل (قاطع و سكينتين عرضيتين و سكينتين طوليتين لنصف المحطة التى يوجد بها المحول المراد توصيله).



الشكل (2-12) الصورة النهائية لدائرة الانترلوك لتوصيل وفصل Q8

ملاحظات:

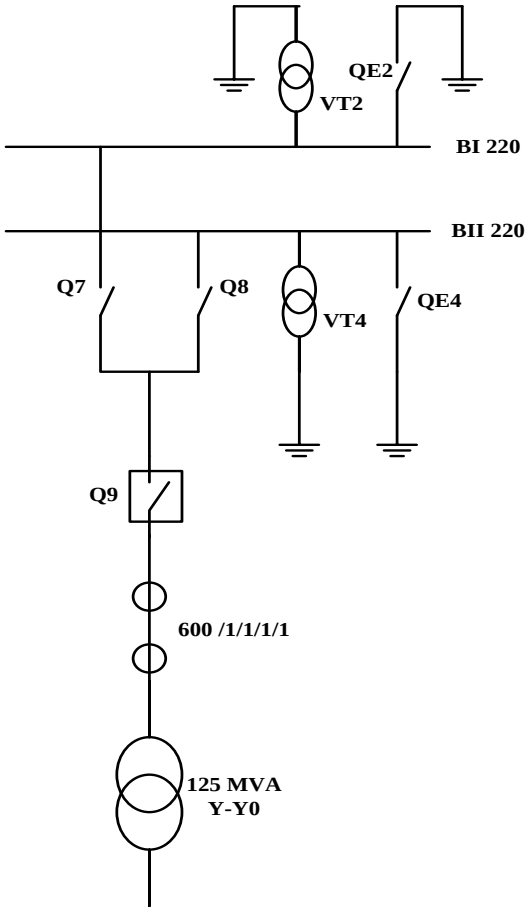
- من الممكن أن يكون المتمم المساعد K1 و الموجود فى الشكل (2-11) موجودا فى خلية الكنترول لرابط القضبان. وفى هذه الحالة يتم ربط أسلاك بين خلية الكنترول لرابط القضبان إلى خلية الكنترول الخاصة بالمحول ومنها إلى خلية الحوش للمحول حتى تكتمل دوائر الانترلوك لسكاكين القضبان للمحول
- دوائر الانترلوك لسكينة القضبان رقم Q7 تكون مماثلة تماما ل Q8.
- أثناء دراستنا السابقة فرضنا أن المحول موجود فى النصف الأيمن للمحطة و بالمثل فانه يوجد دوائر الانترلوك مماثلة تماما لنصف المحطة الأيسر
- الرموز التى تم استخدامها للسكاكين و القواطع للتسهيل فقط و غالبا ما يتم استخدامQ1، Q2 او Q0 لسكينتي القضبان والقاطع على الترتيب.

- يمكن توصيل السكاكين من على جسم السكينة او من خلية الحوش او من الكنترول او عن طريق اسكادا و هذا الجزء من الدائرة مماثل لدائرة التوصيل للقاطع و الموجود فى الشكل (2 -7).

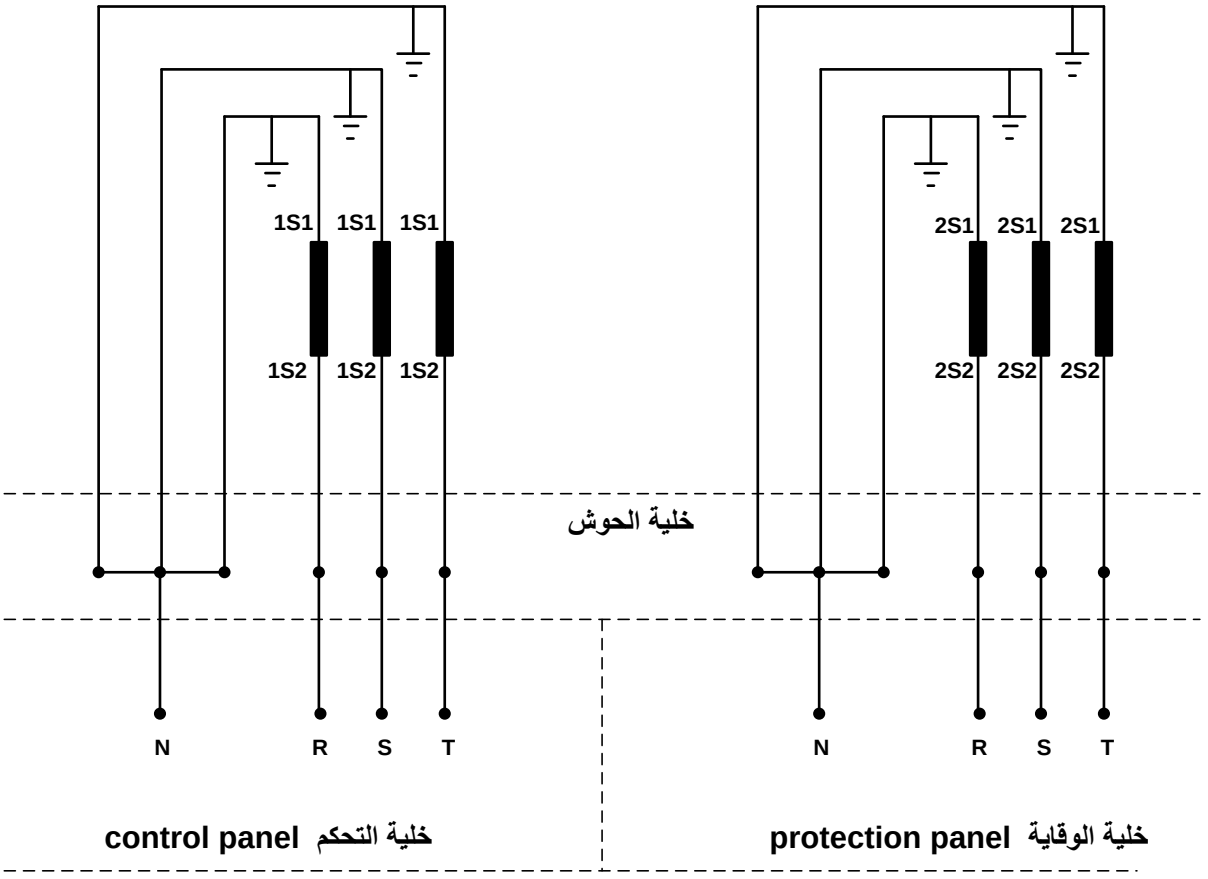
2-3-4 دوائر التيار الثانوية

تعتمد أجهزة الوقاية و القياس فى المقام الأول على التيار الذى يصل إليها عن طريق الملفات الثانوية لمحولات التيار مرورا بخلية الحوش و منها إلى خلية الكنترول لتغذية أجهزة القياس أو إلى خلية الوقاية لتغذية أجهزة الوقاية فمثلا محول التيار الخاص بمحول القدرة الموجود فى الشكل (2-13) يتكون من عدد 2 ملف ثانوي بحيث يكون لكل ملف منهما توصيلات منفصلة ويقوم بتغذية أجهزة معينة فمثلا يقوم الملف الأول بتغذية أجهزة القياس و يقوم الملف الثانى بتغذية أجهزة الوقاية و الرسم الموجود بالشكل (2-14) يوضح التوصيلات الخاصة بالملفات الثانوية لمحولات التيار بحيث:

- يتكون محول التيار من ثلاث أوجه R, S, T
- كل وجه يتكون من عدد 2 ملف ثانوي (S_1، S_2)بحيث تكون بداية الملف الأول (S_1) هي (1S1) و نهايته (2S1) و بالمثل الملف (S_2).
- يجب توصيل احد أطراف كل ملف ثانوي بالأرض وذلك لحماية الأفراد و الأجهزة في حالة حدوث انهيار للعزل بين الملف الابتدائي والملف الثانوي.
- يتم توصيل الملف الأول للأوجه الثلاث بعضها البعض لتغذية أجهزة القياس.
- يتم توصيل الملف الثاني للأوجه الثلاث بعضها البعض لتغذية أجهزة الوقاية.
- من الممكن أن يحتوي محول التيار علي ملفات ثانوية أكثر من ذلك وفي هذه الحالة يتم تقسيم أجهزة الوقاية علي هذه الملفات.
- تختلف مواصفات الملفات الثانوية لمحولات التيار تبعاً للأجهزة التى تقوم بتغذيتها فالملف الثانوي الخاص بتغذية أجهزة القياس يختلف عن مثيله الخاص بتغذية أجهزة الوقاية و أجهزة الوقاية نفسها قد تحتاج إلي مواصفات مختلفة عن بعضها البعض.
- يجب أن يكون هناك محول تيار خاص لكل مهمة ولا يجوز توصيل محول تيار لأكثر من مهمة ولكن من الممكن أن تكون المهمة الواحدة لها أكثر من محول تيار بسبب الحاجة إلي مواصفات مختلفة.



شكل (2-13) رسم أحادى يوضح محول التيار لمحول لقدرة

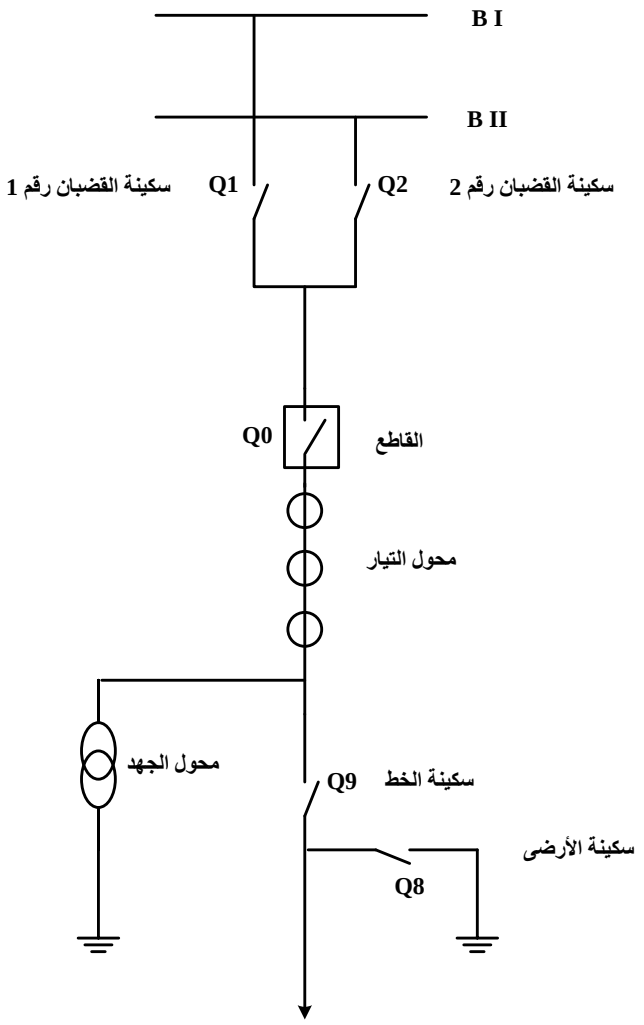


شكل (2-14) دوائر التيار الثانوية

4-2 مكونات الخطوط (الدوائر)

تتكون الدائرة او الخط كما هو موضح بالشكل (2– 15) من سكينتين للقضبان واحدة علي قضبان التوزيع رقم I و أخرى علي قضبان التوزيع رقم II و قاطع و محول تيار و كل ما سبق مماثل تماما للموجود بمحولات القدرة و لكن وجه الاختلاف هنا هو وجود سكينة خط و سكينة ارضي على الخط وغالبا ما تكونا مرتبطتين ميكانيكيا بحيث لا تقبل إحداهما التوصيل في حالة توصيل الأخرى كما يوجد محول جهد خاص بالدائرة بحيث تكون دائرته الثانوية موصلة بأجهزة القياس و الوقاية للدائرة

ملحوظة: من الممكن في بعض الأحيان أن يكون محول الجهد موجودا بعد سكينه الخط وليس قبلها كما هو بالشكل (2– 15)

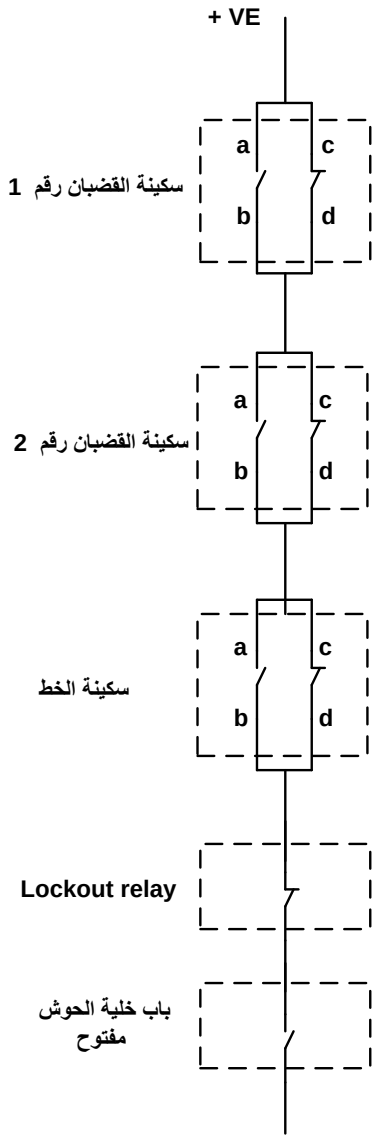


شكل (2-15) رسم أحادى لخط هوائي

2-4-1 دوائر الانترلوك للقاطع

لقد تعرضنا خلال دراستنا للتوصيلات الثانوية لمهمات محولات القدرة إلي دوائر الانترلوك الخاصة بسكاكين القضبان والتي لا تختلف عنها فى الخطوط و أيضا تم استعراض دوائر الانترلوك الخاصة بالقاطع و التي كان بها عدد 2 ملامس مساعد من كل سكينة من سكينتي القضبان إحداهما مفتوح و الأخر مغلق بالإضافة إلي ملامس مساعد من النوع المغلق من (Lockout Relay) و يفتح عند فصل القاطع بأحد أجهزة الوقاية و لا يعود إلي وضعه الأصلي إلا بعد عمل (Reset) يضاف إلي هذه الشروط شرط أخر خاص بالباب في محطات (Indoor) وهذه الشروط تكون كلها متواجدة في دوائر الانترلوك لقاطع الخطوط ويضاف لها شرط أخر من سكينة الخط وهو عبارة عن ملامسين مساعدين أحداهما من النوع المغلق و الأخر من النوع المفتوح

بحيث تكون جميع الشروط متصلة علي التوالي كما هو موضح بالشكل (2 – 16). وبالتالي تكون الشروط اللازم توافرها لاكتمال دائرة توصيل الخاصة بقاطع الدائرة هي:



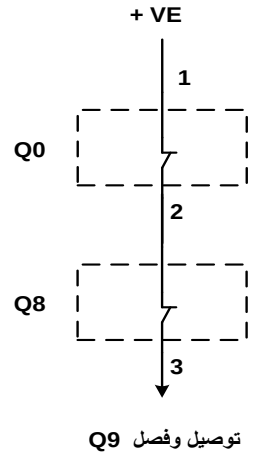
شكل (2-16) دوائر الانترلوك لقاطع الدائرة

- اكتمال مشوار سكينتي القضبان رقم I ، II إما في التوصيل او الفصل و بالمثل سكينة الخط وقد عرفنا أننا قد نحتاج إلى توصيل القاطع بدون حمل أثناء عملية الاختبارات و هو ما يوضح مدى الحاجة إلي الملامسات المساعدة من النوع المغلق التى تكمل دائرة توصيل القاطع عندما تكون السكاكين كلها في حالة فصل. وقد يضاف شرط أخر من سكينة الأرضى على التوالى مع الشروط السابقة.

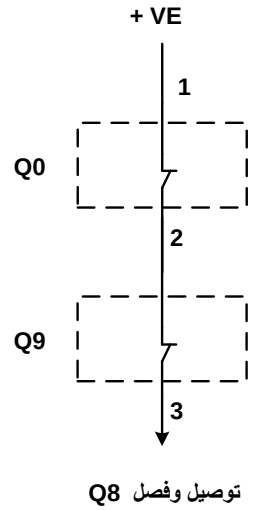
- أن يكون (Lockout Relay) في وضعه الطبيعي و بالتالي يكون الملامس المساعد مغلقا وذلك عن طريق عمل (Reset) بعد فصل القاطع بأحد أجهزة الوقاية.
- التأكد من غلق الباب وذلك فقط فى المحطات (indoor).

2-4-2 دوائر الانترلوك لسكينتي الخط و الارضى

التصميم الميكانيكي لسكينتي الخط و الارضى لأي دائرة يقوم غالبا على منع توصيل إحداهما ما دامت الأخرى فى وضع التوصيل وذلك لمنع حدوث أى قصر وما يترتب عليه من نتائج. محاولة توصيل احد السكينتين كهربيا و الأخرى فى حالة توصيل قد يؤدى إلى زيادة الحمل على موتور توصيل وفصل السكينة نظرا لوجود تغذيه كهربيه عليه مع انه ممنوع من الحركة (نظرا لوجود الانترلوك الميكانيكي) مما يؤدى إلى احتراقه. قد يتأثر مانع التوصيل الميكانيكي إذا ما كان عزم دوران الموتور كبير وهذا ما دعا إلى الحاجة إلى وجود مانع توصيل كهربي يفتح دائرة التوصيل عن طريق منع وصول التغذية (Electrical lock) إلى الموتور لتفادي التعرض إلى أي من الحالتين السابقتين وبالتالي يكون الأساس هو المانع الكهربي علي أن يكون المانع الميكانيكي (Mechanical Lock) كاحتياطي فى حاله وجود عيب بالمانع الكهربي والدائرة الكهربية التى توضح المانع الكهربي لكل من سكينتي الخط Q9 وسكينه الارضى Q8 تكون كما هو موضح بالشكلين (2-17) و(2-18) علي التوالي. وبالتالي لتوصيل سكينه الخط لابد من أن يكون كل من القاطع وسكينه الأرضي فى وضع الفصل وذلك يكون باستخدام ملامس مساعد من النوع المغلق من كل منهما. وبالمثل لتوصيل سكينه الارضى لابد أن يكون كل من القاطع وسكينه الخط فى وضع الفصل.



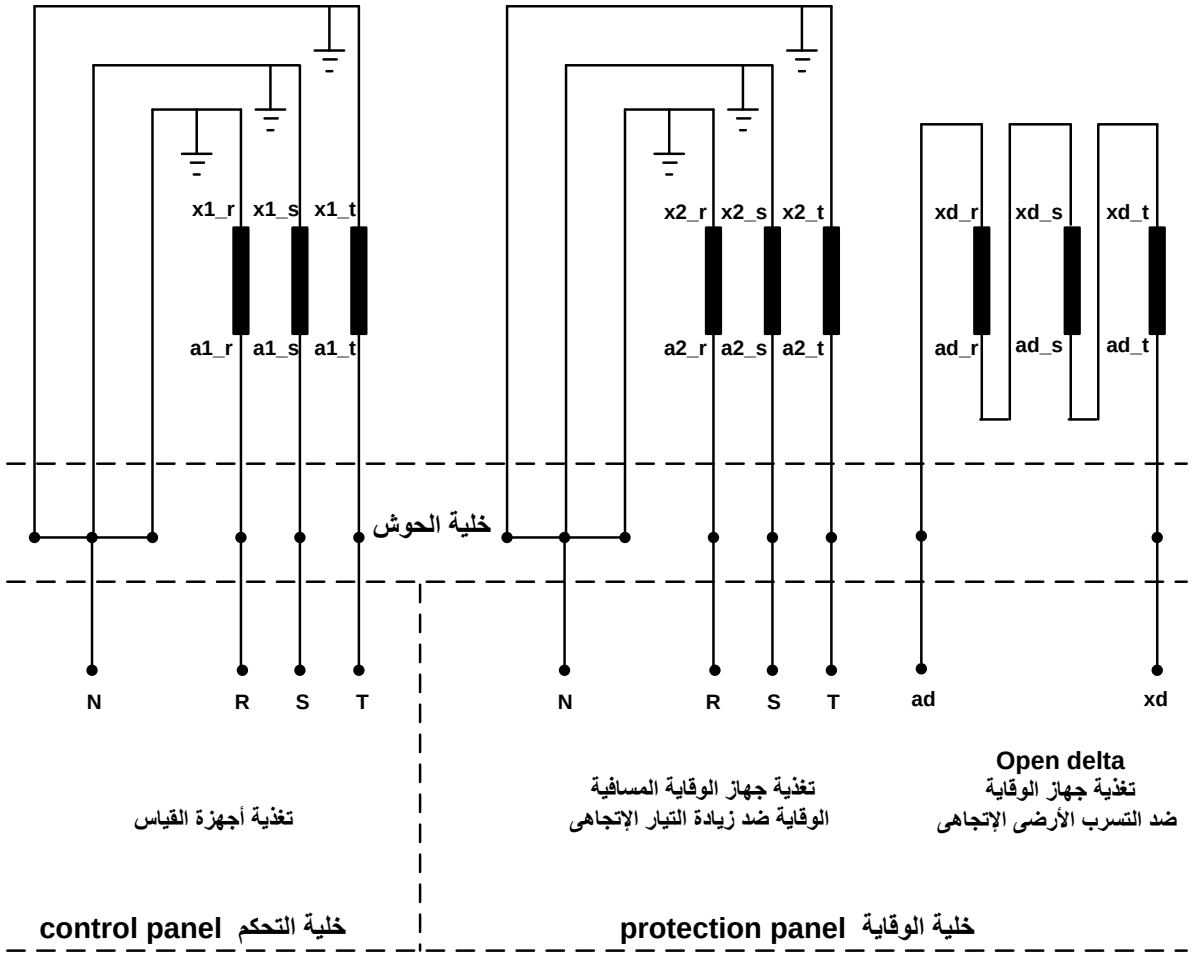
شكل (2-17) دائرة الانترلوك لتوصيل وفصل سكينة الخط



شكل (2-18) دائرة الانترلوك لتوصيل وفصل سكينة الارضى

2-4-4 دوائر التيار والجهد

التوصيلات الخاصة بالدائرة الثانوية لمحولات التيار للدائرة لا تختلف كثيرا عنها فى حاله المحول سواء لأجهزه القياس او الوقاية. أما بالنسبة لدوائر الجهد فقد عرفنا انه غالبا ما يوجد محول جهد خاص بكل دائرة يقوم بتغذيه أجهزه القياس والوقاية للدائرة ويتكون محول الجهد غالبا من عدد 3 ملف ثانوي احدهما يوصل نجمه (star) ويقوم بتغذيه أجهزه القياس والملف الثاني يوصل بنفس الطريقة ويقوم بتغذيه أجهزه الوقاية المسافية وزيادة التيار ألاتجاهي أما الملف الثالث فيوصل بنظام الدلتا المفتوحة (open delta) ويقوم بتغذيه جهاز الوقاية ضد التسرب الأرضي الاتجاهى والرسم الموجود فى الشكل (2-19)يوضح التوصيلات الثانوية لمحول الجهد.



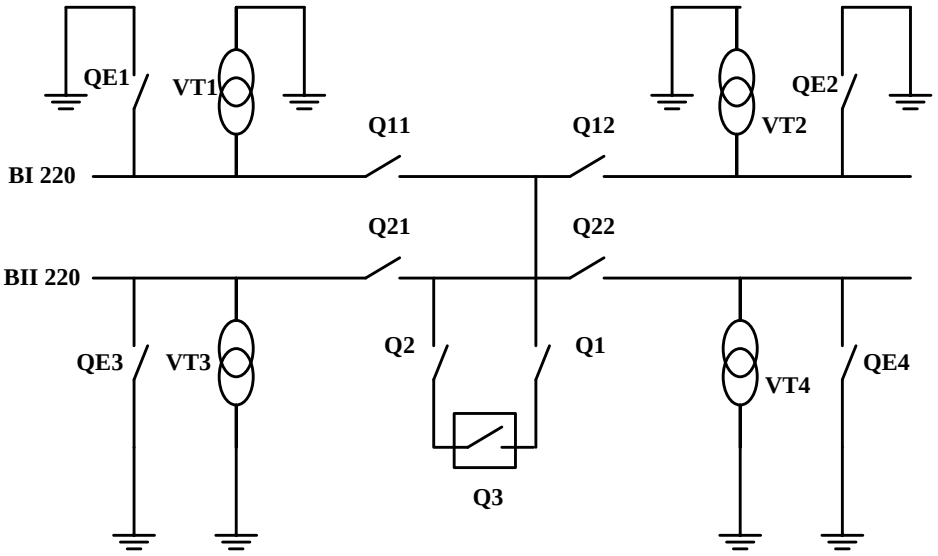
شكل (2-19) التوصيلات الخاصة بدوائر الجهد الثانوية

2-5 الرابط العرضي للقضبان

تتكون أى محطة كما هو مبين بالشكل (2-20) من عدد 2 قضبان رئيسية كل منهما مقسمة إلى نصفين و بالتالى تصبح المحطة مقسمة إلى 4 أجزاء بحيث يمكن اعتبار كل ربع منهم قضبان منفصل او توصيل السكينتين الطوليتين (Q_{11} ، Q_{12}) لجعل القضبان رقم I جزءً واحدا و بالمثل توصيل (Q_{21} ، Q_{22}) فيصبح القضبان رقم II جزءً واحدا كما يمكن الربط بين قضبانى التوزيع عن طريق توصيل السكينتين العرضيتين (Q_1 ، Q_2) و القاطع (Q_3).

كل جزء (ربع) يتصل به سكينة للارضى يتم توصلها بعد فصل جميع المهمات المتصلة بهذه القضبان لتأمين العاملين القائمين بعمليات الصيانة او النظافة للمهمات المتصلة بتلك القضبان كما يوجد محول جهد لكل جزء من هذه الأجزاء بحيث يمكن عن طريقه معرفة قيمة الجهد للقضبان و

يتم أيضاً عن طريقه تغذية أجهزة القياس لمحولات القدرة حيث أن محولات القدرة غالبا لا يكون لها محولات جهد خاصة بها.



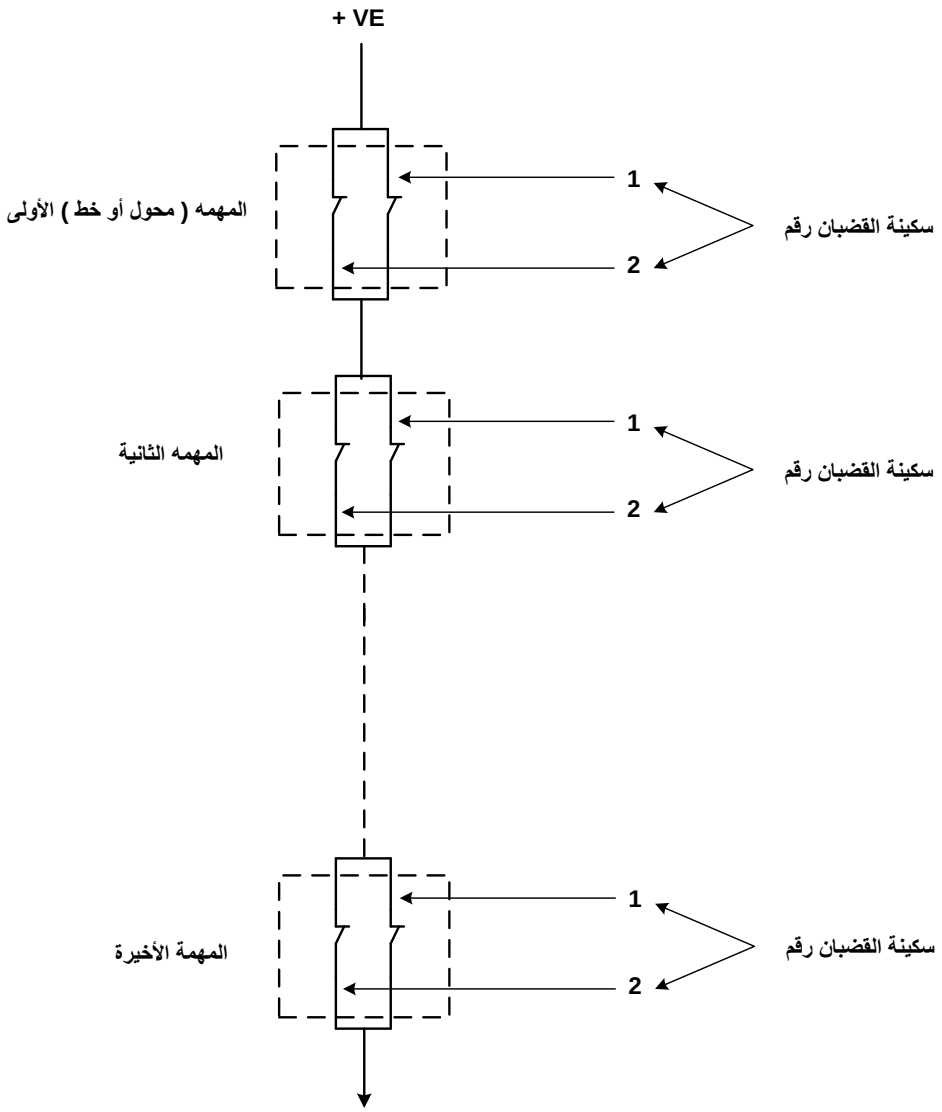
شكل (2-20) رسم أحادى للرابط العرضي للقضبان

2-5-1 دوائر الانترلوك للقاطع

دوائر الانترلوك للقاطع الخاص برابط القضبان لا تختلف عنها في حالة محولات القدرة و التي يتم فيها التأكد من إن كلا من السكينتين العرضيتين Q1 ، Q2 متصلتان او مفتوحتان تماما لإتمام عملية التوصيل للقاطع. أما في حالة الفصل للقاطع فانه يلزم التأكد من عدم توصيل سكينتي القضبان لنفس المهمة (محول أو دائرة) في نفس الوقت لإتمام عملية الفصل و ذلك تحسبا لمرور تيار كبير في الموصلات الخاصة بتلك المهمة في حالة فصل القاطع الخاص برابط القضبان أثناء توصيل سكينتي القضبان لهذه المهمة (هذه المهمة تعمل كرابط موازي للرابط الأصلي في هذه الحالة).

و للتأكد من جاهزية النظام لفصل القاطع الخاص برابط القضبان فلا بد من التأكد من عدم توصيل سكينتي القضبان لأي من مهمات المحطة قبل الفصل و ذلك عن طريق توصيل عدد 2 ملامس مساعد من النوع المغلق احدهما من سكينة القضبان رقم I و الأخر من سكينة القضبان رقم II و ذلك على التوازي و يتم تكرار ذلك بجميع مهمات المحطة و بعد ذلك يتم توصيل هذه الشروط على التوالي كما هو موضح بالشكل (2 – 21) و بالتالي لا تكتمل دائرة فصل القاطع الخاص برابط القضبان في حالة توصيل سكينتي القضبان لأي من مهمات المحطة.

ملحوظة : غالبا ما تكون الموصلات الخاصة برابط القضبان ذات مساحات مقطع اكبر من باقي المهمات لتحمل التيارات العالية.



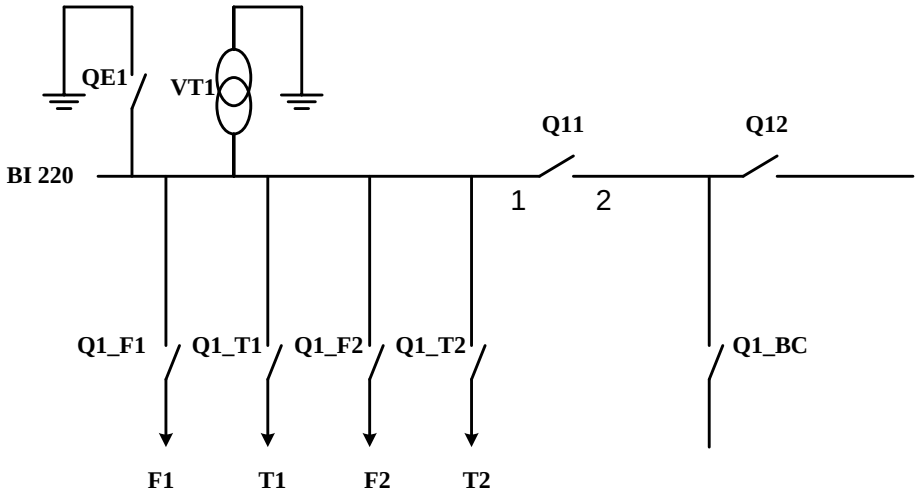
شكل (2 – 21) دائرة الانترلوك لفصل قاطع رابط القضبان

2-5-2 دوائر الانترلوك للسكاكين العرضية

الشروط الواجب توافرها لتوصيل او فصل سكينتى القضبان العرضيتين Q1,Q2 لرابط القضبان تعتمد على أساس التأكد من فصل القاطع Q3 قبل إتمام أى من عمليتى التوصيل او الفصل وذلك يكون باستخدام ملامس مساعد من النوع المغلق من القاطع فى كل من دائرتى التوصيل والفصل للسكينتين.

2-5-3 دوائر الانترلوك للسكاكين الطولية

عرفنا خلال دراستنا للسكاكين أن طبيعة السكاكين تسمح لها بالتوصيل على جهد فقط وبدون حمل وهذا يتم عن طريق التأكد من أن احد طرفى السكينة خالى من الجهد قبل إتمام عملية التوصيل او بعد إتمام عملية الفصل فلابد التأكد من توافر هذا الشرط أثناء دراستنا لدوائر التوصيل والفصل لأحد السكاكين الطولية (Q11,Q12,Q21,Q22) فمثلا لتوصيل السكينة Q11 بداية نرسم الجزء المتصل بهذه السكينة كما هو موضح بالشكل (2-22) و الذى يتكون من الجزء المراد التعامل معه من القضبان و الذى يمكن أن يتصل به مثلا المحولين (T1,T2) والدائرتين (F1,F2) بالإضافة إلى السكينة العرضية للقضبان (Q1) والسكينة الطولية (Q12) وسكينه الأرضي (QE1).

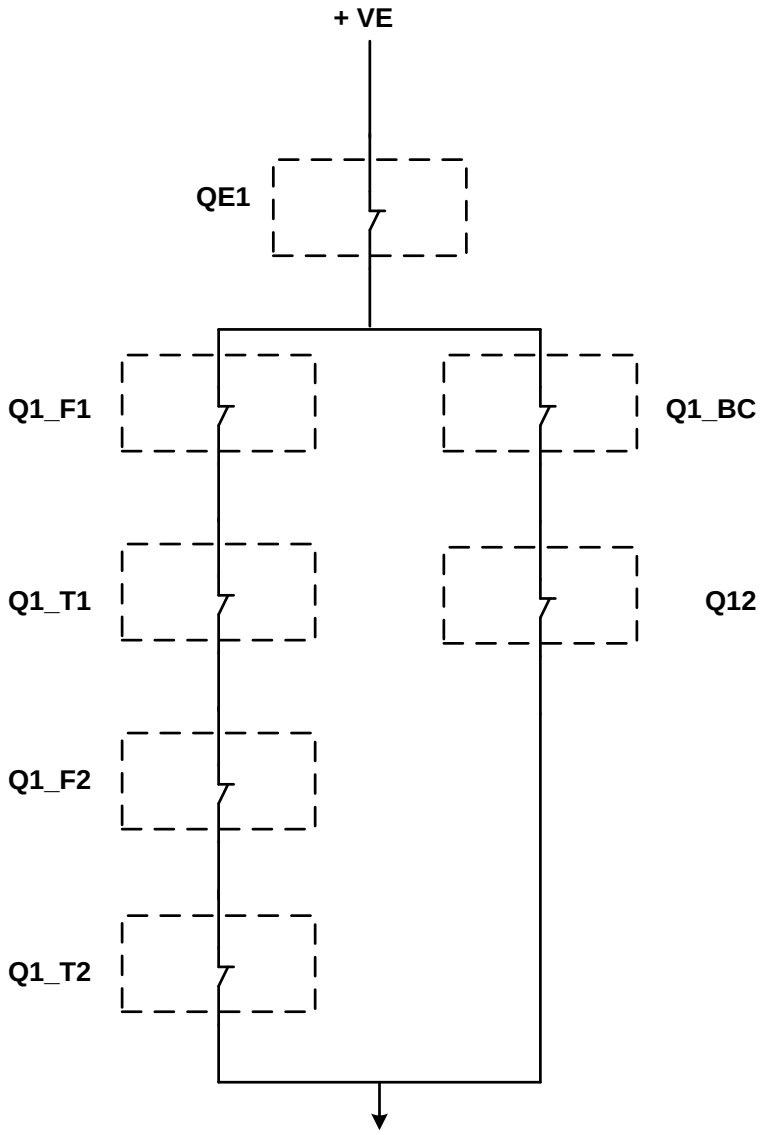


شكل (2-22) السكينة الطولية للقضبان

من هذا الرسم يتضح لنا انه لتوصيل السكينة Q11 فلا بد أن يكون احد طرفيها 1أو 2 خالى من الجهد وذلك لإتمام عمليه التوصيل وذلك يحدث عن طريق أحد الشرطين التاليين :

- نقطه 1 بدون جهد وذلك عن طريق التأكد من فصل سكينه القضبان رقم 1 لجميع المهمات الوارد توصيلها على هذا الجزء وهى فى حالتنا (T1,T2,F1,F2)
- نقطه 2 بدون جهد وذلك عن طريق التأكد من فصل كل من السكينة الطولية Q12والسكينة العرضية Q1_BC وذلك بالإضافة إلى التأكد من فصل سكينه الارضى لهذا الجزء QE1 و بالتالى يمكن التعبير عن هذه الشروط بالدائرة الموجودة بالشكل (2-23).

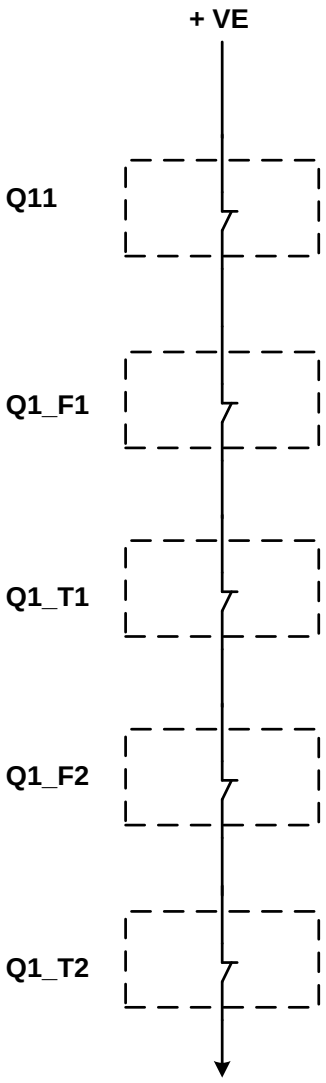
بالمثل يمكن تحديد الشروط الواجب توافرها لتوصيل أى من السكاكين الطولية الأخرى Q12,Q21,Q22



شكل (2-23) دائرة الانترلوك لتوصيل وفصل السكينة الطولية للقضبان

2-5-4 دوائر الانترلوك لسكينه الارضى

لتوصيل سكينه الارضى لأحد الأجزاء فلابد من التأكد من فصل سكينه القضبان لجميع المهمات الوارد توصيلها على هذا الجزء من القضبان فمثلا لتوصيل QE1 فلابد من التأكد من فصل سكينه القضبان رقم 1 لكل من T1,F1,T2,F2 والسكينة الطولية للقضبان Q11 و بالتالى يمكن رسم الدائرة الممثلة لهذه الشروط كما هو موضح بالشكل (2-24)



شكل (2-24) دائرة الانترلوك لتوصيل سكينة الارضى للقضبان

2-6 محولات الجهد لقضبان

تتكون أى محطة و خاصة المحطات حديثه الصنع غالبا من 4 أجزاء كالمبينة بالشكل (2-20) وكل من هذه الأجزاء موصل عليها محول جهد وتكون وظيفته هى تغذيه مبينات الجهد (كيلو فولت) لهذا الجزء وغالبا ما تكون هذه المبينات موجودة فى خليه الكنترول لرابط القضبان وتكون كل من هذه المبينات مزوده بمفتاح سليكتور للتبديل بين الأوجه المختلفة. كما يمكن استخدام هذه الجهود فى دوائر التوافق (Synchronizing) إذا ما كانت المحطة مزوده بجهاز توافق.

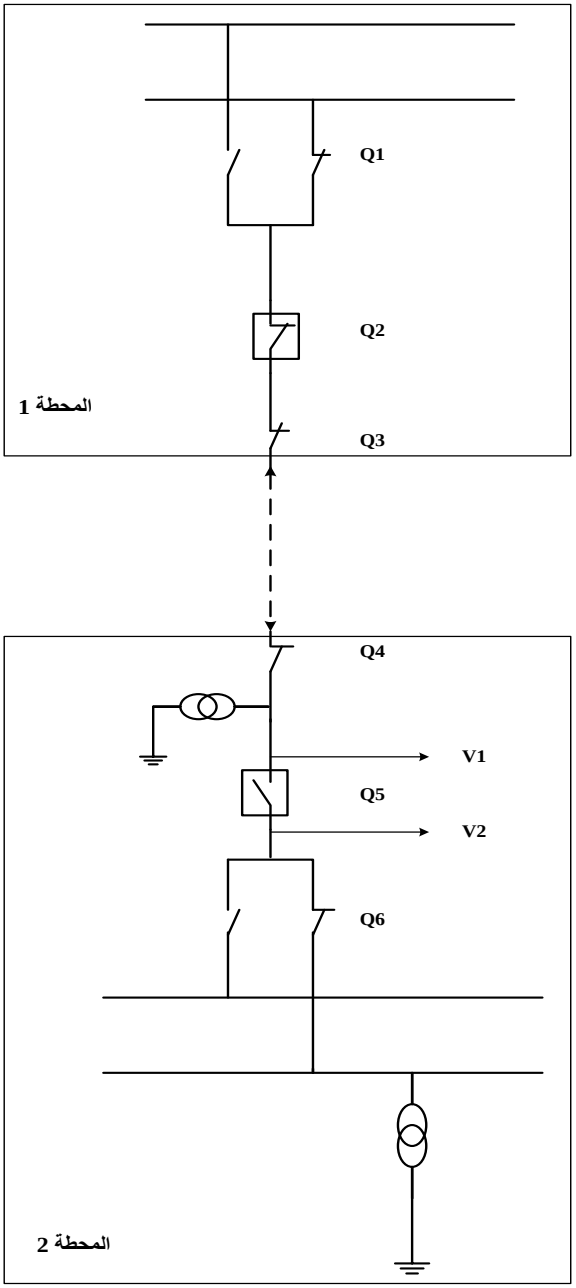
2-6-1 جهاز التوافق

إن الغرض الرئيسي للعاملين بمحطات الكهرباء هو المحافظة على استمرار التغذية واستقرار الشبكة ولضمان هذا الغرض فلابد من التأكد من التوافق بين أى نقطتين فى الشبكة قبل ربطهما حتى لا يحدث إختلال فى المنظومة الكهربية فى حال ما إذا كان هناك فرق كبير فى الجهد بين هاتين النقطتين و الذى قد يؤدى إلى فصل بعض مهمات الشبكة الكهربية و انقطاع التغذية عن بعض المستهلكين. للتأكد من وجود التوافق بين أى نقطتين قبل ربطهما فلا بد أن يكون الفرق فى كل من

- قيمه الجهد الاتجاهية (مقدار و زاوية)
- التردد

اقل من قيمه معينه يتم ضبطها على جهاز التوافق (Setting). وفكره عمل جهاز التوافق تقوم على المقارنة (عن طريق دوائر الجهد الثانوية) بين المصدرين المراد ربطهما فمثلا إذا كان الغرض توصيل دائرة معينه على قضبان رقم I مثلا فانه بعد توصيل الدائرة كاملة (سكينه خط وسكينه قضبان وقاطع) من الجهة الأخرى وتوصيل سكينه القضبان وسكينه الخط من داخل المحطة التى يتم بها المقارنة ويبقى فقط توصيل القاطع كما هو موضح بالشكل (2-25).حيث أن كل من Q1,Q2,Q3,Q4,Q6 فى وضع التوصيل و Q5 فقط فى وضع الفصل وبالتالى يكون هناك إختلاف فى قيمة الجهد بين طرفى القاطع ولضمان عدم تأثر اتزان الشبكة الكهربية نتيجة توصيل القاطع فلابد من التأكد من أن الفرق بين هذين الجهدين قليل ويسمح بإتمام عمليه التوصيل بأمان وبمراجعه الشكل (2-25) نجد أن كل من طرفى القاطع متصل بمحول جهد حيث أن طرف القاطع جهة Q4 متصل به محول الجهد الخاص بالدائرة و طرف القاطع جهة Q6 متصل به محول الجهد الخاص بالقضبان

و بالتالى عن طريق مقارنه دوائر الجهد الثانوية لمحولي الجهد الموجودين على الدائرة وعلى القضبان يمكننا تحديد مدى توفر شروط التوافق ومن ثمَّ إمكانية توصيل القاطع من عدمه وهو ما يتم من خلال جهاز التوافق.



شكل (2-25) شرط التوافق لتوصيل قاطع الدائرة

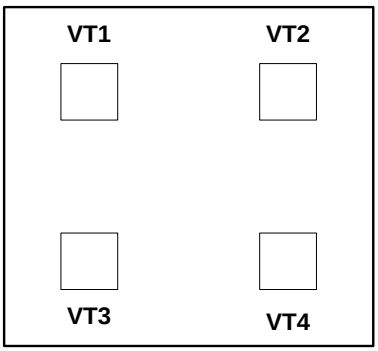
2-6-2 دوائر الجهد الخاصة بمحولات القدرة

لقد عرفنا خلال دراستنا للخطوط (الدوائر) أن لكل دائرة محول جهد خاص بها حيث يقوم بتغذيه أجهزة القياس والوقاية للدائرة أما بالنسبة لمحولات القدرة فغالبا ما يتم تغذيه أجهزتها من خلال دوائر الجهد للقضبان. ولمعرفه تفاصيل هذه التغذية تقوم بداية بفرض محطة مكونه من 9 مهمات (4محولات T1,T2,T3,T4و 4 دوائر F1,F2,F3,F4 ورابط للقضبان) ترتيبها كالتالى

T1 F1 T2 F2 BC T3 F3 T4 F4

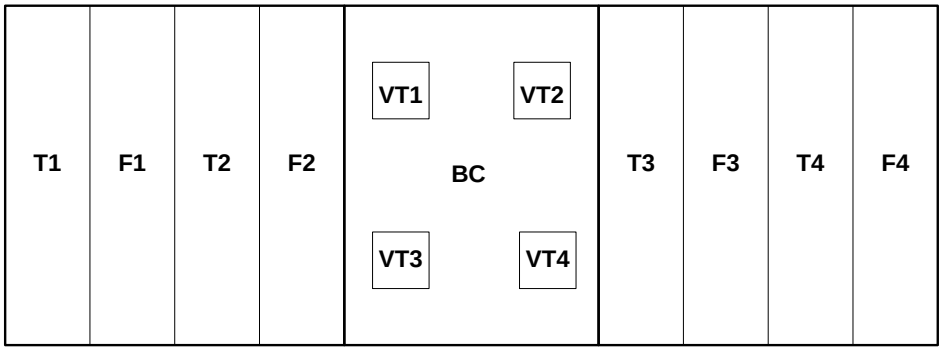
فإننا نجد أن

دوائر الجهد الثانوية لمحولات الجهد الموجودة على الأجزاء الأربعة للقضبان تكون متصلة بخلية الحوش لرابط القضبان كالموضحة بالشكل (2-26).



شكل (2-26) محولات الجهد المركبة على القضبان

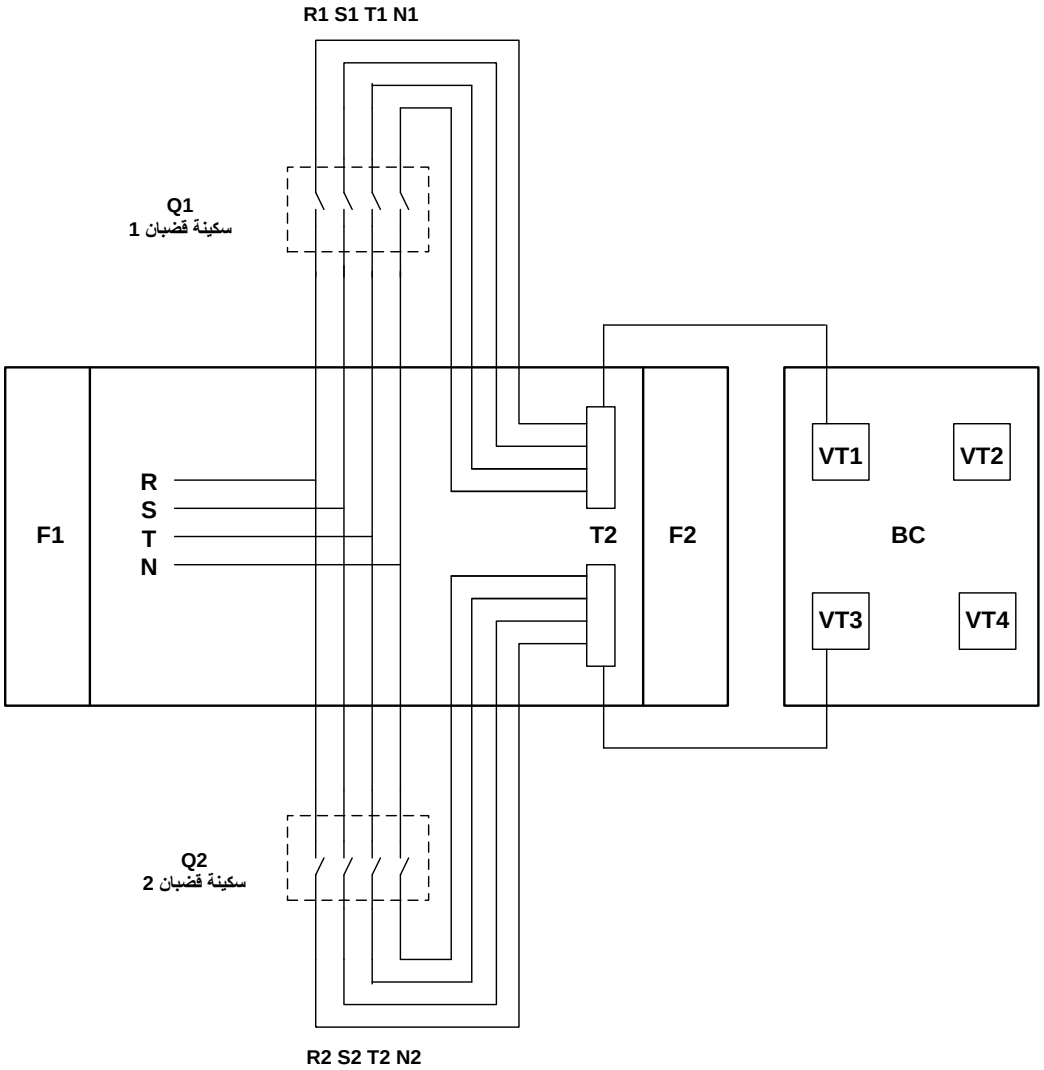
يتم نقل تغذية محولي الجهد رقم 3,1 إلى خلية الحوش للمحول T2 ومنها إلى T1 و بالمثل يتم نقل تغذية محول الجهد رقم 4،2 إلى خلية الحوش للمحول رقم T3و منها إلى T4 كما هو موضح بالشكل (2-27).



شكل (2-27) تغذية خلايا الحوش للمحولات بالجهد الثانوي من خلية الحوش لرابط القضبان

بالتالى تكون خلية الحوش لمحول القدرة رقم T2 بها مصدرين لدوائر الجهد الثانوية من VT3،VT1 و هما الموجودان على جزئي القضبان الوارد توصيل المحول على أحداهما و لتسليط الضوء أكثر على خلية الحوش للمحول T2 كما هو موضح بالشكل (2-28) نجد أن:

- دوائر جهد من VT1 وهى (r1,s1,t1,n1)
- دوائر جهد من VT3 وهى (r2,s2,t2,n2)
- فى حالة توصيل سكينة القضبان رقم I للمحول Q1 فان الملامسات المساعدة المفتوحة للسكينة تتحول إلى وضع الغلق مما يؤدى إلى نقل دوائر الجهدr1,s1,t1,n1 إلى النقاط r, s , t, n و تكون هى مصدر تغذية أجهزة القياس للمحول.
- بالمثل فى حالة توصيل سكينة القضبان رقم II للمحول Q2 فان الملامسات المساعدة المفتوحة للسكينة تتحول إلى وضع الغلق مما يؤدى إلى نقل دوائر الجهد r2,s2,t2,n2 إلى النقاط r, s , t, n و تكون هى مصدر تغذية أجهزة القياس للمحول.



شكل (2-28) تغذية المحول T2 بدوائر الجهد الثانوية

الفصل الثالث

وقاية منظومات القوى الكهربية

الفصل الثالث

وقاية منظومات القوى الكهربية

1-3 مقدمة

إن كان الهدف الأساسى لجميع العاملين فى منظومات القوى الكهربية بفروعها الثلاث التوليد و النقل و التوزيع هو المحافظة على استمرار واستقرار التغذية لأكبر عدد من المستهلكين طوال الوقت فإنه يوجد هدف آخر لا يقل أهمية عن هذا الهدف آلا و هو المحافظة على المهمات المكونة لمنظومات القوى الكهربية و هو ما يصب أيضا فى مصلحة الهدف الأول و هو استمرار التغذية للمستهلكين و لكى نقوم بتوفير الحماية لاى شيء لابد بداية من تحديد مصدر الخطورة لكى نوفر الحماية المطلوبة له.

منظومة القوى الكهربية فى وضع الاستقرار يكون فيها قيم معينة للتيار و الجهد لكل عنصر من عناصر تلك المنظومة و عند حدوث عطل ما تتغير تلك القيم و بالتالى يمكن استخدام التيارات و الجهود للحكم على أى عنصر من عناصر المنظومة الكهربية هل هو فى وضع الاستقرار أو فى وضع حدوث عطل و لكن ما هى الأعطال الوارد حدوثها فى منظومات القوى الكهربية و ما هو المطلوب عملة تجاه هذه الأعطال.

2-3 الأعطال فى منظومات القوى الكهربية

يمكن تقسيم الأعطال فى منظومات القوى تبعاً لعدة معاير أو مقاييس أساسية فمثلا من الممكن تقسيم الأعطال إلى:

- قصر فى الدائرة الكهربية short circuit
- أو فتح فى الدائرة الكهربية open circuit

و إن كانت الخطورة متوفرة أكثر فى النوع الأول.

ومن الممكن أيضاً تقسيمها على حسب زمن استمرار العطل إلى:

- أعطال لحظية Transient
- أعطال مستمرة

كما يمكن تقسيم الأعطال على حسب الأوجه المشاركة فى العطل إلى:

- وجه مع الأرض (R-E) (S-E) (T-E)
- وجه مع وجه (R-S) (S-T) (T-R)
- وجه مع وجه مع الأرض (R-S-E) (S-T-E) (R-T-E)
- ثلاثة أوجه أو ثلاثة أوجه مع الأرض (R-S-T-E) (R-S-T)

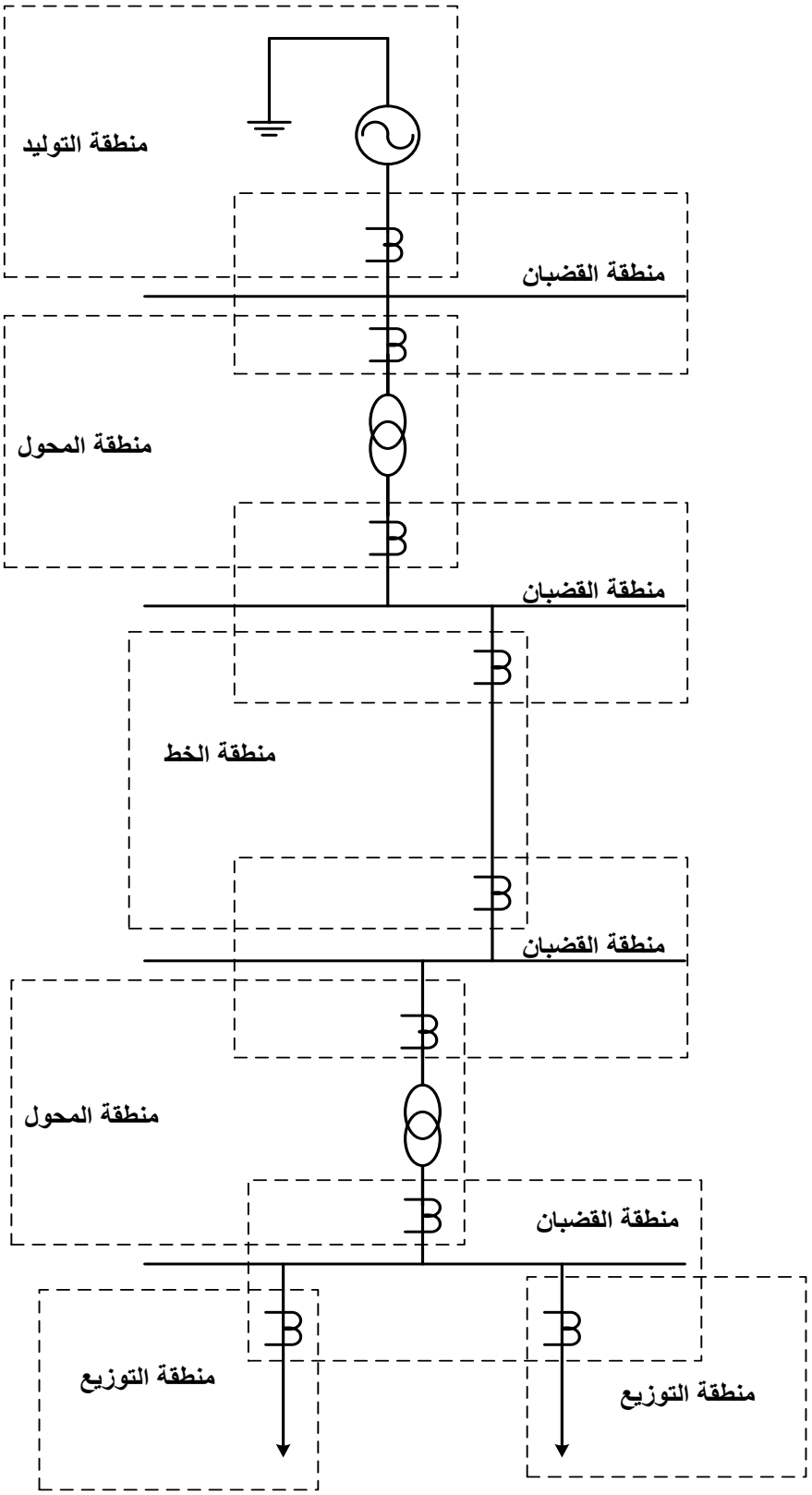
و الآن بعد أن تعرفنا على الأنواع المختلفة للأعطال الوارد حدوثها فى منظومات القوى الكهربية فما هى المتغيرات المصاحبة لتلك الأعطال حتى يمكننا الحكم على وجود عطل و بعد التأكد من وجود عطل فما هو المطلوب عملة لتوفير أقصى حماية ممكنة.

بالتحليل الكهربي لأي دائرة فى حالة حدوث قصر دائما ما نجد أن هناك زيادة فى قيمة التيار الذى يمر بهذه الدائرة و انخفاض فى قيمة الجهد و بمعرفة قيمة التيار و الجهد يمكن الحكم على وجود عطل ما على أى مهمة من مهمات المنظومة الكهربية و بعد التأكد من وجود عطل على هذه المهمة فلابد من توفير الحماية الأزمة لها عن طريق عزل التغذية عنها و بأقصى سرعة ممكنة لحين إصلاح العطل و ذلك يتم عن طريق أجهزة الوقاية و التى تقوم بالاشتغال فى حالة زيادة قيمة التيار أو انخفاض قيمة الجهد أو كلاهما معا. و فى هذه الحالة تقوم أجهزة الوقاية بإرسال إشارة لفصل القاطع المغذى للمهمة التى عليها العطل.

3-3 فلسفة الوقاية فى منظومات القوى الكهربية

إن الدور الأساسى فى منظومة الوقاية فى أى نظام كهربي هى عزل مكان العطل بأقصى سرعة حتى لا يحدث انهيار لأي من المهمات المغذية للعطل بالإضافة غلى المحافظة إلى استمرار التغذية لباقى الأجزاء البعيدة عن منطقة العطل. و لضمان عدم وجود أى قصور فى هذا الدور فقد اتفق على تقسيم أى منظومة كهربية إلى مناطق كما هو موضح بالشكل رقم (3-1) بحيث تكون محولات التيار هى الحد الفاصل بين أى منطقة و المنطقة المجاورة لها و بالتالى فإن فروض فلسفة الوقاية فى منظومة القوى الكهربية يمكن سردها كما يلي :

- تقسم منظومات القوى الكهربية إلى مناطق بحيث تحدد محولات التيار الحدود الفاصلة لتلك الأماكن
- كل منطقة من هذه المناطق مركب عليها أجهزة الوقاية الخاصة بها و التى تتفق وظيفتها مع متطلبات تلك المنطقة (فمثلا أجهزة الوقاية للمحولات تختلف عن تلك المخصصة للخطوط)
- لا يمكن ترك أى منطقة بدون أجهزة وقاية
- أى جهاز وقاية من الممكن اعتباره وقاية أساسية لأحد المناطق كما يمكن أن يمثل وقاية احتياطية لمنطقة أخرى فى حالة عدم اشتغال الوقاية الأساسية لتلك المنطقة (و بالتالى فإن أى منطقة تكون مغطاة بأكثر من جهاز وقاية و كل جهاز وقاية يقوم بتغطية الأعطال التى تحدث فى أكثر من منطقة over lap).



شكل 3-1: مناطق اشتغال أجهزة الوقاية

3-4 خصائص منظومة الوقاية

منظومة الوقاية و التى تم تقسيمها إلى مناطق بداية من التوليد و مرورا بالنقل حتى نصل إلى التوزيع لابد و أن يتوفر فيها بعض الخصائص حتى تقوم بالدور المطلوب منها على أكمل وجه و من أهم هذه الخصائص :

- سرعة الفصل : فلابد من أن تكون عملية الفصل بأسرع ما يكون حتى تتوفر الحماية للمهمات من الانهيار بالإضافة إلى استمرار التغذية لباقى المناطق.
- الاتزان :(stability) لابد من استمرار التغذية مع تيارات القصر العالية إذا كانت خارج نطاق عمل ها الجهاز(مثل الأعطال الخارجية لجهاز الوقاية التفاضلية).
- الحساسية (sensitivity):-لابد أن تكون درجة حساسية الجهاز عالية بحيث تسمح له بالعمل مع أقل تيار عطل و هو ما يكون أكبر قليلا من قيم الضبط الموجودة على الجهاز.
- Reliability: لابد من التأكد من صحة عمل كل مكون من مكونات المنظومة الوقائية من محولات التيار و الجهد و القواطع و البطارية و التوصيلات الثانوية ذلك بالإضافة لأداء الجهاز نفسه.

3-5 أجهزة الوقاية فى منظومات القوى الكهربية

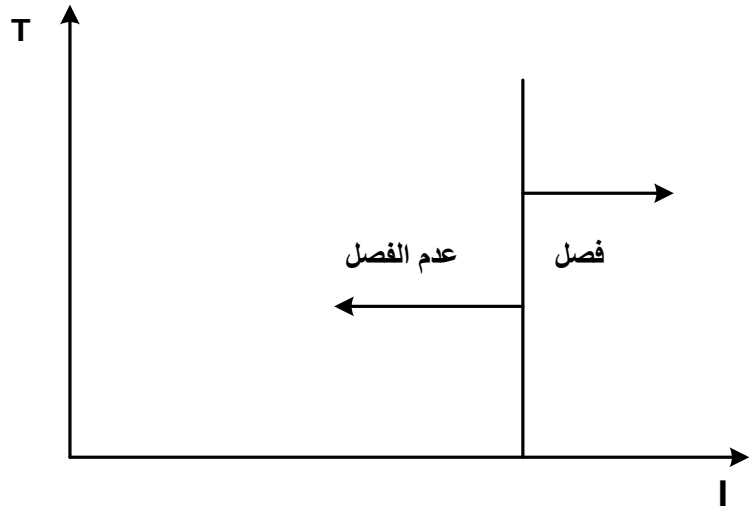
تختلف طبيعة أى جهاز وقاية تبعا لتكنولوجيا تصنيع هذا الجهاز فمثلا هناك فروق كبيرة بين أجهزة الوقاية التى تعتمد على حركة بعض الأجزاء الميكانيكية Electromecanical Relays مع التى تعتمد على الترانزيستور وهى أجهزة الوقاية الإستاتيكية Static Relays و النوعان السابقان يختلفان أيضا مع أجهزة الوقاية الحديثة و التى تعتمد على الميكروبروسيسور و هى Digital Relays OR Micro processor Based Relays و هذه الأنواع تختلف مع بعضها البعض فى تحملها للعوامل الجوية بالإضافة إلى مواصفات محولات التيار و الجهد التى تستخدم لتغذية هذه الأجهزة و طريقة التعامل معها من حيث البرمجة و استعراض الأحداث و الأعطال التى تحدث و لكن تفاصيل المقارنة لا يتسع المجال لذكرها الآن. و لكننا هنا سوف نركز على الفروق بين الأجهزة تبعا للمنطقة المركب فيها الجهاز فمثلا هناك فرق بين جهاز الوقاية التفاضلية الموجود على محولات القدرة و جهاز الوقاية المسافية للدوائر و جهاز الوقاية ضد زيادة التيار أو التسرب الأرضي سواء أكان من النوع الاتجاهى أو الغير إتجاهى و سوف نقوم فى الأجزاء القادمة بعرض فكرة عامة عن بعض الأجهزة و طريقة توصيلها و برمجتها و التأكد من سلامة عملها.

3-5-1 جهاز الوقاية ضد زيادة التيار

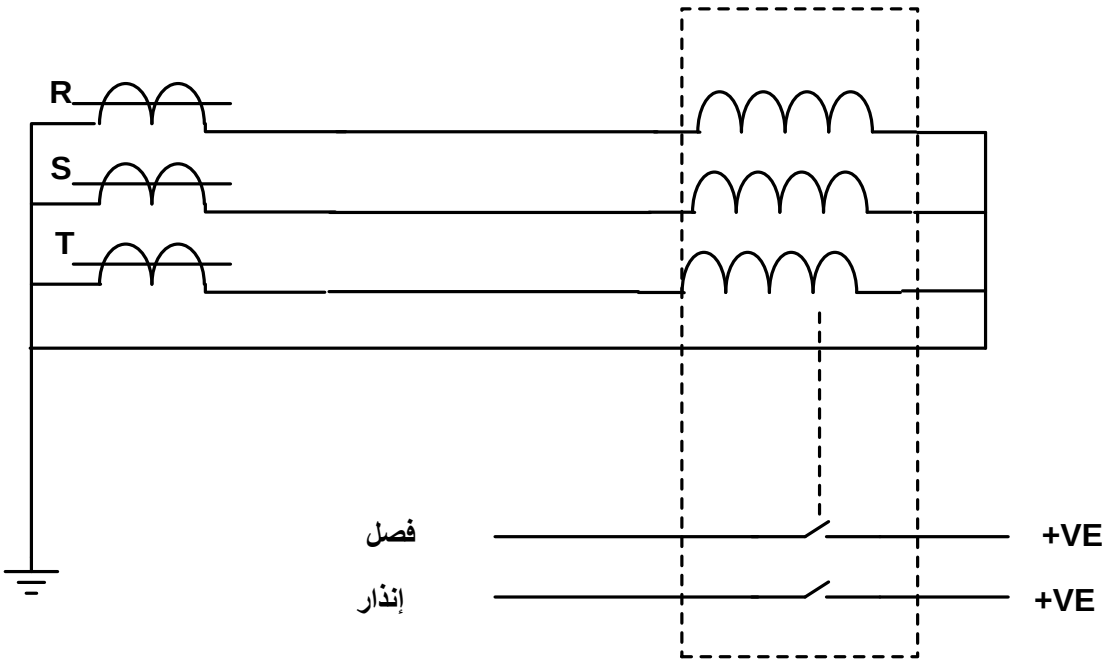
يعتبر جهاز الوقاية ضد زيادة التيار أكثر الأجهزة و أوسعها انتشارا على جميع مهمات منظومات القوى الكهربية و تعتمد فكرة عمل الجهاز على مراقبة التيار المار فى موصل ما و يقوم الجهاز بالاشتغال عند زيادته عن قيمة معينة تعرف بقيمة الضبط (setting) لهذا الجهاز و تختلف قيمة الضبط لجهاز الوقاية ضد زيادة التيار تبعا للمهمة المركب عليه و يوجد عدة صور لجهاز الوقاية ضد زيادة التيار منها ما يعتمد على القيمة المطلقة للتيار فقط و هو أبسط الأنواع و من الممكن أن يكون عمل الجهاز إما لحظيا أو بتأخير زمني. كما توجد صورة أخرى لجهاز الوقاية ضد زيادة التيار و التى تعتمد على اشتغال الجهاز فى حالة مرور التيار فى اتجاه معين و عدم الاشتغال فى حالة مرور التيار فى الاتجاه الآخر و يسمى هذا النوع بزيادة التيار الاتجاهى و سوف نستعرض مجموعة من الأنواع المختلفة لأجهزة الوقاية ضد زيادة التيار و طريقة توصيلها و كيفية حساب قيم الضبطيات لها.

3-5-1-1 جهاز الوقاية ضد زيادة التيار اللحظي

تعتمد فكرة عمل جهاز الوقاية ضد زيادة التيار اللحظي على مراقبة التيار و عند زيادته عن قيمة معينة يعمل الجهاز و يرسل إشارة فصل للقاطع الخاص بالمهمة المركب عليها جهاز الوقاية. هذا النوع من الأجهزة لا يعتمد على مقدار الزيادة فى التيار و لكن يعتمد فقط على زيادة التيار عن قيمة معينة فمثلا إذا كانت قيمة الضبط لجهاز الوقاية هى 2 أمبير فإن وصول قيمة تيار العطل إلى 2.1 أمبير تستوي مع وصولها إلى 10 أمبير أو أكثر. الشكل (3-2) يوضح منطقة اشتغال و منطقة عدم اشتغال جهاز الوقاية ضد زيادة التيار اللحظي كما يمثل الشكل (3-3) التوصيلات الثانوية للتيار و الملامسات المساعدة الخاصة بالإنذار و الفصل للجهاز.



شكل 3-2 : منطقة اشتغال جهاز الوقاية ضد زيادة التيار

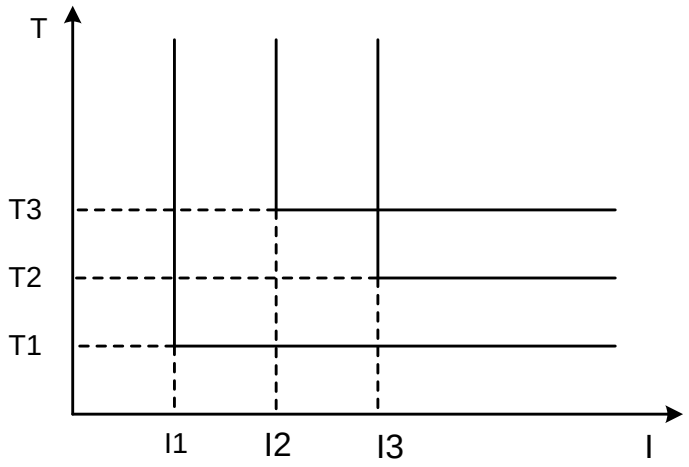


شكل 3-3: التوصيلات الثانوية لجهاز الوقاية ضدا زيادة التيار

3-5-1-2 جهاز الوقاية ضد زيادة التيار بزمن محدد

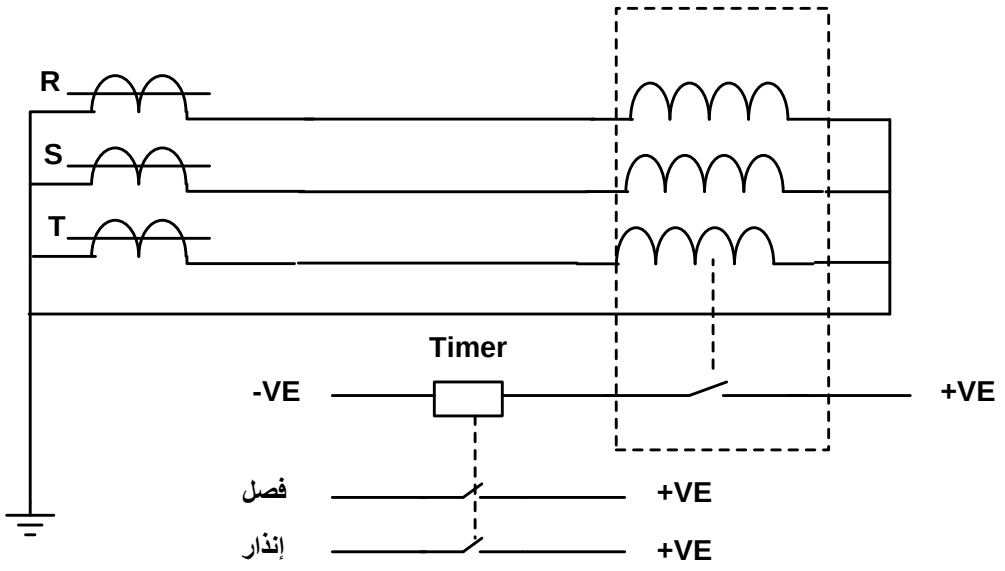
Definite Time Over Current Relay

تعتمد فكرة عمل هذا الجهاز على وصول قيمة تيار العطل إلى قيمة معينة و استمرارها لزمن معين عندها يقوم الجهاز بالاشتغال مرسلا إشارة الفصل للقاطع الخاص بالمهمة المركب عليها الجهاز و غالبا ما يكون مصاحبا لها إشارة أخرى خاصة بالإنذار و يتم إرسال هذه الإشارة إلى خلية الكنترول للمهمة. و من الممكن أن يكون جهاز الوقاية به عدة مراحل قابلة للبرمجة و كأنها أجهزة منفصلة بحيث يكون كلا منها له قيمة تيار و قيمة زمن خاصتين بتلك المرحلة كما هو موضح بالشكل (3-4).

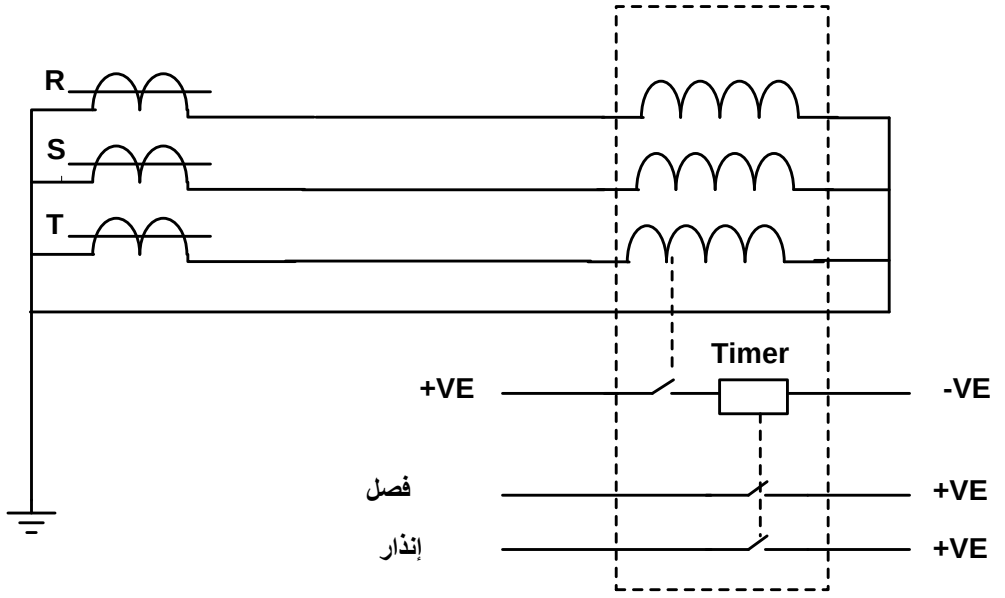


شكل 3-4: جهاز الوقاية ضد زيادة التيار- عدة مراحل

يوجد طريقتين مختلفتين للتوصيلات الثانوية للجهاز أحدهما تعتمد على وجود المؤقت الزمني (Timer) كجهاز منفصل كما هو موضح بالشكل (3-5) و معظم الأنواع التى تعتمد على هذه الطريقة من الأجهزة القديمة Electromecanical أما الطريقة الأخرى و التى تعمل بها معظم الأجهزة الحديثة فتعتمد على وجود مؤقت زمني داخل جهاز الوقاية نفسه كما هو موضح بالشكل (3-6).



شكل 3-5: جهاز الوقاية ضد زيادة التيار باستخدام مؤقت خارجي



شكل 3-6: جهاز الوقاية ضد زيادة التيار باستخدام مؤقت داخلي

3-5-1-3 قيم الضبط لجهاز الوقاية ضد زيادة التيار بزمن محدد

يوجد هذا الجهاز مع معظم المهمات الموجودة فى منظومات القوى الكهربية و لكن تختلف قيمة الضبط له على حسب المهمة المركب عليها فمثلا يستخدم الجهاز كوقاية :-

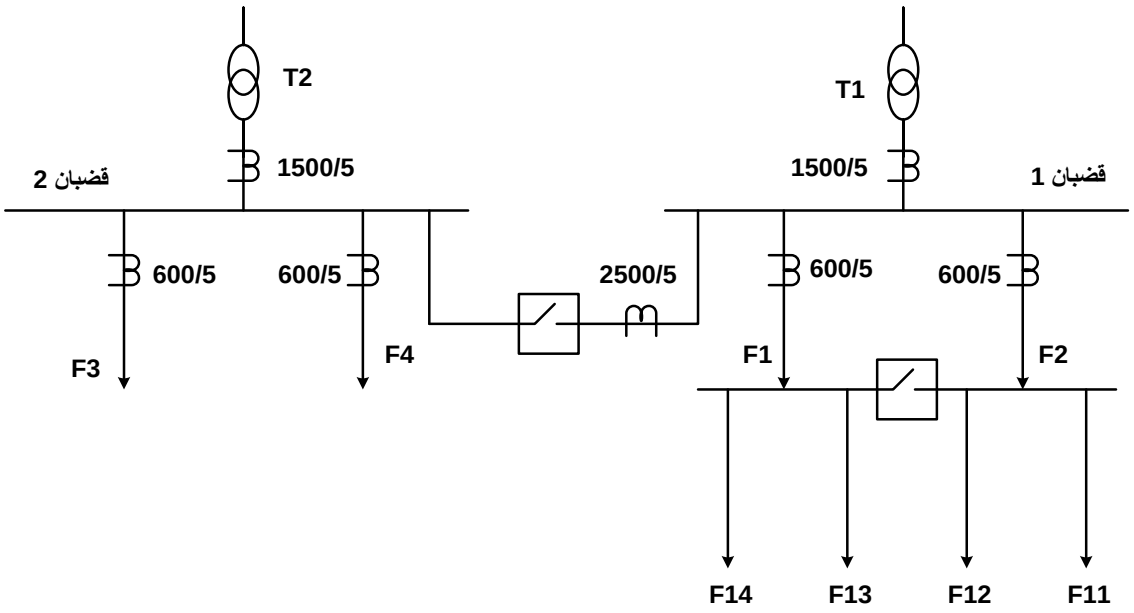
- أساسية لمغذيات الخروج جهد 11 كف،22 كف و غيرها.

- أساسية لرابط القضبان.
- احتياطية للدوائر فى حالة عدم اشتغال الوقاية الأساسية و هى الوقاية المسافية.
- احتياطية لمحولات القدرة فى حالة عدم اشتغال الوقاية التفاضلية.

و بالتالى فمن المتوقع أن يكون زمن اشتغال الجهاز فى حالة استخدامه كوقاية احتياطية أكبر منه فى حالة استخدامه كوقاية أساسية و المثال التالى يوضح كيفية حساب قيم الضبط للجهاز.

مثال 3-1

المطلوب حساب قيم الضبط للمنظومة الموضحة بالشكل (3-7) و التى تتكون من عدد 2 محول قدرة T_1,T_2 و بينهما رابط القضبان و عدد 4 مغذى خروج (F_1, F_2, F_3, F_4) و كل من F_1,F_2 يعتبر كدخول إلى لوحة التوزيع بحيث يقوم كل منهما بتغذية عدد من مغذيات الخروج فى لوحة التوزيع ($F_{11},F_{12},F_{13},F_{14}$.,.....) و بينهما رابط للقضبان و بالمثل من الممكن أن يقوم F_3, F_4 بتغذية لوحتين من لوحات التوزيع.



شكل (3-7): جزء من منظومة كهربية

و كانت بيانات المهمات كالآتي :-

- محول القدرة T_1,T_2
  - قدرة المحول 25 م.ف.أ

- نسبة تحويل محول القدرة 11/66 كف
- نسبة تحويل محول التيار جهد ال11 كف هى 5/1500

- رابط القضبان داخل محطة المحولات
  - الجهد المقنن 11 كف
  - نسبة تحويل محول التيار 5/2500
- مغذيات الخروج F_1, F_2,F_3,F_4
  - الجهد المقنن 11 كف
  - نسبة تحويل محول التيار 5/600 من الجهتين
- خروج لوحة التوزيع(..... ,F_{11}, F12, F13, F14)
  - الجهد المقنن 11 كف
  - نسبة تحويل محول التيار 5/200
  - أقصى تيار حمل 100 أمبير
- رابط القضبان داخل لوحة التوزيع
  - الجهد المقنن 11 كف
  - نسبة تحويل محول التيار 5/600

و نظرا لوجود مجموعة من الأعطال مرتبطة بزمن الفصل للقاطع أو بأجهزة الوقاية من الداخل و التى بسببها قد يحدث فصل لأحد القواطع نتيجة للاشتغال الخاطئ لأحد أجهزة الوقاية و بالتالى فلابد من مراعاة وجود فارق زمني بين كل مرحلتين متتاليتين لتلاشى الوقوع فى هذه المشكلة. و بالتالى فإن الفكرة الأساسية لاختيار القيم المناسبة للضبط لأجهزة الوقاية تعتمد على أن يؤخذ فى الاعتبار :

- قيم الضبط للتيار لابد أن تكون اكبر من أقصى حمل متوقع و أقل من أدنى تيار قصر و بالتالى التأكد من اشتغال الجهاز مع جميع حالات القصر و عدم اشتغاله مع الأحمال العادية
- وجود تأخير زمني بين كل مرحلة و المرحلة التالية لها (200مللى ثانية على الأقل فى هذه الدراسة)
- يبدأ اختيار قيم الضبط غالبا من المهمات القريبة من الأحمال النهائية و بالتالى فخطوات وضع هذه القيم يمكن وضعها كالتالى :

أ- خروج لوحة التوزيع:

- تيار الحمل لكل من F_{11},F_{14} هو 100 أمبير و بالتالى يمكن اختيار قيم الضبط لكل منها بما يقابل 125% من أقصى حمل متوقع (125 أمبير إبتدائى) نسبة تحويل محول التيار لها 5/200 و بالتالى قيم الضبط الثانية هى

$$125 * \frac{5}{200} = \frac{25}{8} = 3.125A$$

- زمن الفصل لها هو (200:150) مللي ثانية و هو أقل قيمة ممكنة لتلاشى الفصل مع الأعطال العابرة و الفصل فقط بعد التأكد من استمرار العطل

ب- رابط القضبان من داخل لوحة التوزيع:

- أقصى تيار متوقع للحمل يكون فى حالة فصل إحدى مغذيات الدخول للوحة التوزيع F_1,F_2 و عندها تكون قيمة هذا التيار هى 200 أمبير و بالتالى يمكن اختيار قيم الضبط للتيار على (250:300 أمبير) (300 أمبير إبتدائى) مع ملاحظة أن نسبة تحويل محول التيار هى 5/600 فإن قيم الضبط للتيار الثانوي تصبح

$$300 * \frac{5}{600} = 2.5 \quad A$$

- زمن الفصل للجهاز يمكن اختياره 450 مللي ثانية بحيث يكون الفارق الزمني بينة و بين زمن مغذيات الخروج للوحة التوزيع هو 250 مللي ثانية.

ج- خروج محطة المحولات و دخول لوحة التوزيع:

- أقصى تيار حمل متوقع يحدث فى حالة فصل أحد المغذيينF_1,F_2 و عندها تكون قيمة التيار المار فى المغذى الآخر هى 400 أمبير (بفرض أن القيمة القصوى لجميع مغذيات الخروج تحدث فى نفس الوقت) و بالتالى يمكن اختيار قيم الضبط للتيار على 500 أمبير و بما أن نسبة تحويل محول التيار هى 5/600 فإن قيمة الضبط للتيار الثانوي تصبح

$$500 * \frac{5}{600} = 4.17 \quad \text{A}$$

- زمن الفصل يمكن اختياره 700 مللي ثانية و هو ما يتماشى مع مراعاة الحد الأدنى للفارق الزمني و هو 200 مللي ثانية

د- المحولات من جهة ال11 كف:

- أقصى تيار حمل للمحولات بمعرفة قدرة المحول

$$\text{التيار} = \frac{\text{القدرة}}{\sqrt{3}\text{الفولت}}$$

$$= \frac{25 * 10^6}{11 * \sqrt{3} * 10^3}$$

$$= 1312 \text{ A}$$

يمكن اختيار قيمة الضبط = 150 % التيار الكلى للمحول

= 1986 ≅ 2000 أمبير

و بالتالى فإن قيمة الضبط للتيار الثانوي هى

$$2000 * \frac{5}{1500} = 6.66 \text{ A}$$

- عند اختيار زمن الفصل للجهاز لابد من مراعاة أن يكون أكبر من زمن الفصل لجهاز الوقاية المركب على رابط القضبان (لم يتم حسابه بعد) ب 200مللى ثانية

هـ - رابط القضبان داخل محطة المحولات:

- أقصى تيار يحدث عند فصل أحد المحولات و تغذية مغذياته من المحول الآخر من خلال رابط القضبان و بالتالى تكون قيمة التيار لجهاز الوقاية ضد زيادة التيار المركب على رابط القضبان هى نفسها لمحول القدرة و هى 2000 أمبير و بالتالى تكون قيمة الضبط الثانوية هى

$$2000 * \frac{5}{2500} = 4 \ A$$

- زمن الفصل يتم اختياره أكبر من زمن الفصل للمغذيات ب 200 مللي ثانية و بالتالى يصبح زمن الفصل هو 900 مللي ثانية

و بالتالى يكون زمن الفصل لجهاز الوقاية ضد زيادة التيار للمحول (و الذى لم يتم حسابه من قبل) هى 900+200= 1100 مللي ثانية

و بالتالى يمكن تلخيص النتائج السابقة فى الجدول رقم (3-1)

المهمة	قيم الضبطيات	
	التيار الإبتدائى (أمبير)	الزمن (مللي ثانية)
مغذى خروج من داخل لوحة التوزيع	125	200
رابط القضبان من داخا لوحة التوزيع	300	450
دخول لوحة التوزيع و خروج محطة المحولات	500	700
رابط القضبان من داخل محطة المحولات	2000	900
المحول من جهة ال11 كف من داخل محطة المحولات	2000	1100

جدول (3-1)

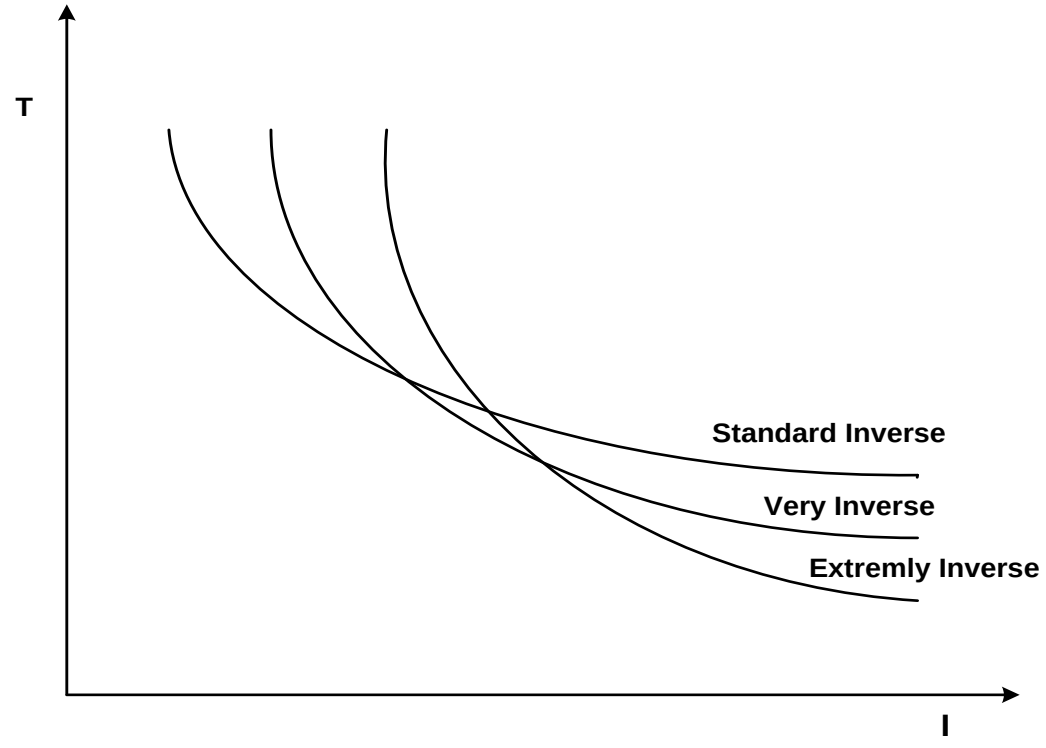
ملحوظة:

- من الأخطاء الشائعة أن يتم حساب قيم الضبط على حسب قيم التيار الإبتدائى لمحول التيار و لكن من المفروض أن يتم حساب قيم الضبط تبعا للأحمال و ليس لمحولات التيار
- لابد من اختيار محول تيار مناسب لكل مغذى
- قيم الجهد المستخدم هنا هو 11 كف و من الممكن أن يكون مستوى الجهد أى قيمة أخرى

3-5-1-4 جهاز الوقاية ضد زيادة التيار العكسى

Inverse Time Type Over Current Relay

تعتبر تيارات القصر فى منظومات القوى الكهربية من أهم الظواهر التى يجب دراستها بعناية نظرا للمخاطر التى قد تنجم عن هذه التيارات للمهمات و الأشخاص وتختلف هذه الخطورة تبعا لقيمة تيار القصر و الزمن المستغرق حتى إزالة العطل و أسوأ الحالات و أكثرها خطورة هى استمرار تيارات العطل الكبيرة لمدد طويلة و بالتالى فمن الأفضل أن يكون زمن الفصل فى هذه الحالة أقل ما يمكن و لا مانع من زيادة الزمن قليلا فى حالة التيارات الصغيرة و هذه هى فكرة عمل هذا النوع من أجهزة الوقاية ضد زيادة التيار و هى العلاقة العكسية بين تيار القصر و زمن الفصل الذى يستغرقه الجهاز من بداية العطل و حتى إتمام عملية الفصل. يوجد مجموعة من المنحنيات التى تربط بين كلا من تيار القصر و زمن الفصل بحيث تختلف درجة انحدار كلا من هذه المنحنيات عن الأخرى كما هى مبنية فى الشكل رقم (3-8).



شكل 3-8 : منحنيات الاشتغال لجهاز الوقاية ضد زيادة التيار من النوع العكسي

مثال 3-2

سوف نقوم بعمل دراسة لقيم الضبط لأجهزة الوقاية ضد زيادة التيار للمنظومة الموجودة فى المثال السابق و سوف نفرض أن جميع أجهزة الوقاية الموجودة يتم فيها استخدام المنحنى من النوع Normal Inverse

و لحل هذا المثال نتبع الخطوات التالية :

- تحديد أقل قيمة يعمل عندها جهاز الوقاية و لابد أن تكون أكبر قليلا من أقصى حمل و من الممكن اعتبارها تقريبا 125% من أقصى حمل متوقع و يمكن التعبير عنها كما يلي
  - مغذى الخروج من داخل لوحة التوزيع 125 أمبير
  - رابط القضبان من داخل لوحة التوزيع 250 أمبير
  - خروج محطة المحولات و دخول لوحة التوزيع 500 أمبير
  - رابط القضبان من داخل محطة المحولات 1600 أمبير
  - دخول المحول من داخل محطة المحولات 2000 أمبير
- تحديد أقل فارق زمني لمرحلتين متتاليتين و هو 200 مللي ثانية فى هذه الحالة
- تحديد أقصى تيار قصر بين الثلاث أوجه لمغذى الخروج من داخل اللوحة التوزيع و هو 5000 (و الذى تم تحديده باستخدام برنامج Etap Power Stations) أمبير و قيمة هذا التيار تعتمد على كل المعاوقات الموجودة بداية من التوليد و حتى المنطقة التى يحدث بها العطل.

أ-تحديد قيم الضبط لخروج لوحة التوزيع:

نقوم بتحديد زمن الفصل T_1 لمغذى الخروج عند أقصى تيار متوقع بالذي تم تحديده فى الخطوة السابقة من العلاقة الخاصة بال Normal Inverse و هى :

$$T_1 = \left[\frac{0.14}{\left(\frac{I_{SC}}{I_{P1}}\right)^{0.02} - 1}\right] * T_{P1}$$

حيث:

I_{SC} : هو أقصى تيار قصر عند خروج لوحة التوزيع وهو 5000 أمبير

I_{P1} : هو أقل تيار قصر يعمل عنده الجهاز وهو 125 أمبير

T_{P1} : معامل زمني و فى هذه الحالة يتم فرضه بأقل قيمة ممكنة نظرا لأن مغذى خروج من لوحة التوزيع و هو أقرب جهاز للأحمال المباشرة و تكون هذه القيمة هى 0.05 و بالتعويض فى المعادلة السابقة يكون زمن الفصل المقابل لأقصى تيار قصر هى

$$T_1 = 0.0914 = 91.42\ msec$$

و تكون قيمة الضبط للتيار الثانوي هى

$$125 * \frac{5}{200} = 3.125\ A$$

ب- تحديد قيم الضبط لرابط القضبان من داخل لوحة التوزيع:

نقوم فى هذه الخطوة بتحديد قيمة T_P للجهاز المركب على رابط القضبان داخل لوحة التوزيع و بداية نقوم بتحديد زمن الفصل من العلاقة

$$T_2 = T_1 + 200 = 291.42 msec$$

$$T_2 = \left[\frac{0.14}{\left(\frac{I_{SC}}{I_{P2}}\right)^{0.02} - 1}\right] * T_{P2}$$

حيث

I_{SC} : هى نفسها المستخدمة فى الحالة الأولى

I_{P2} : هى أقصى تيار حمل متوقع و هى 250 أمبير

$$T_{P2} = 0.1285$$

و تكون قيمة الضبط للتيار الثانوي هى

$$250 * \frac{5}{600} = 2.08\ A$$

ج- تحديد قيم الضبط لخروج محطة المحولات و دخول لوحة التوزيع:

نحدد قيم الضبط لأجهزة الوقاية الخاصة بخروج محطة المحولات و دخول لوحة التوزيع كالتالى:

نحدد زمن الاشتغال من العلاقة

$$T_3 = T_2 + 200$$

$$= 491.42 \ msec$$

$$T_3 = \left[\frac{0.14}{\left(\frac{I_{SC}}{I_{P3}}\right)^{0.02} - 1}\right] * T_{P3}$$

و لكن I_{SC}= 5000A

و I_{P3}=500 A

$$\therefore \ T_{P3} = 0.1654$$

و قيمة الضبط للتيار الثانوي هى

$$500 * \frac{5}{600} = 4.17 \ A$$

د-تحديد قيم الضبط لرابط القضبان من داخل محطة المحولات:

لتحيد قيم الضبط لجهاز الوقاية على رابط القضبان من داخل محطة المحولات، نقوم فى البداية بتحديد زمن اشتغال الجهاز من العلاقة

$$T_4 = T_3 + 200 = 691.42 \ msec$$

$$T_4 = \left[\frac{0.14}{\left(\frac{I_{SC}}{I_{P4}}\right)^{0.02} - 1}\right] * T_{P4}$$

و لكن $I_{P4} = 1600A$

$$\therefore \quad T_{P4} = 0.1138$$

و قيمة الضبط للتيار الثانوي هى

$$1600 * \frac{5}{2500} = 3.2\ A$$

هـ - تحديد قيم الضبط على خلية الدخول للمحول:

فى هذه الخطوة نقوم بتحديد قيم الضبط لجهاز الوقاية الموجود على خلية الدخول للمحول من داخل محطة المحولات عن طريق أيجاد زمن الفصل من العلاقة

$$T_5 = T_4 + 200 = 891.42\ \ msec$$

$$T_5 = \left[\frac{0.14}{\left(\frac{I_{SC}}{I_{P5}}\right)^{0.02} - 1}\right] * T_{P5}$$

و لكن $I_{P5} = 2000\ A$

$$\therefore \quad T_{P5} = 0.1178$$

و قيمة الضبط للتيار الثانوي هى

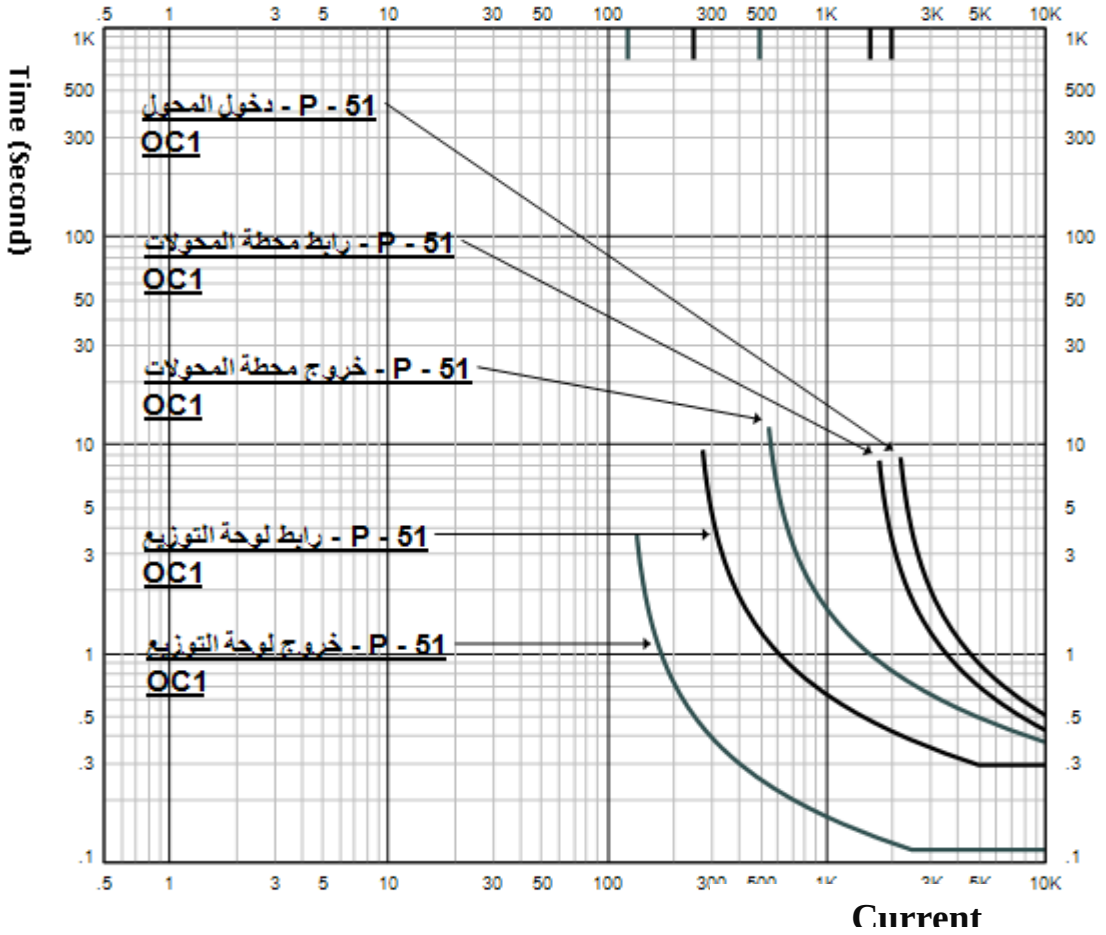
$$2000 * \frac{5}{1500} = 6.67\ \ A$$

بالتالى يمكن تجميع قيم الضبطيات لجميع أجهزة الوقاية المستخدمة كما هو مبين بالجدول (3-2)

المهمة	قيم الضبطيات		
	التيار الإبتدائى I_P		T_P
	إبتدائى	ثانوي	
مغذى الخروج من داخل لوحة التوزيع	125	3.125	0.05
رابط القضبان من داخل لوحة التوزيع	250	2.08	0.1285
دخول لوحة التوزيع و خروج محطة المحولات	500	4.17	0.1654
رابط القضبان من داخل محطة المحولات	1600	3.2	0.1138
المحول من جهة ال11 كف من داخل محطة المحولات	2000	6.67	0.1178

جدول (3-2)

و الشكل (3-9) يمثل المنحنيات الخاصة بجميع أجهزة الوقاية ضد زيادة التيار من النوع Inverse Time و التى رسمها باستخدام برامج ETAP Power Stations



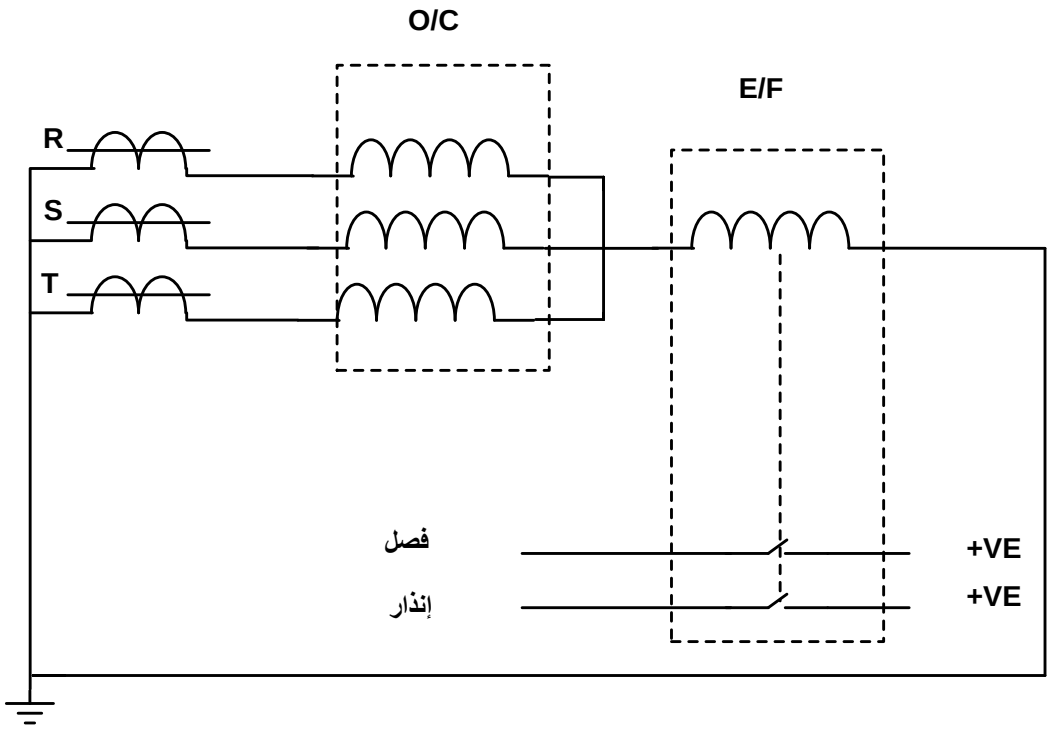
شكل 3-9 : منحنيات الاشتغال لأجهزة الوقاية ضد زيادة التيار الموجودة فى مثال 3-2

3-5-2 جهاز الوقاية ضد التسرب الأرضي

تعتمد فكرة عمل جهاز الوقاية ضد التسرب الأرضي على مراقبة التيار فى مسار نقطة التعادل أو المركبة الصفرية وعند زيادة هذا التيار عن قيمة الضبط يقوم جهاز الوقاية بالعمل و إرسال إشارة الفصل للقاطع المركب على المهمة التى عليها العطل. يتشابه جهاز الوقاية ضد التسرب الأرضي إلى حد كبير مع جهاز الوقاية ضد زيادة التيار من حيث الصورة التى من الممكن أن يتواجد عليها كل منهما فهناك جهاز الوقاية ضد التسرب الأرضي الذى يعمل لحظيا بدون تأخير زمني وهناك الذى يعمل بتأخير زمني كما يوجد صورة أخرى له من النوع Inverse timeوالصورة الأخيرة التى من الممكن أن يتواجد عليها هى التسرب الأرضي الاتجاهى و الذى يعمل إذا مر تيار العطل فى اتجاه معين ولا يعمل إذا كان مروره فى الاتجاه العكسي.

3-5-2-1 جهاز الوقاية ضد التسرب الأرضي اللحظي

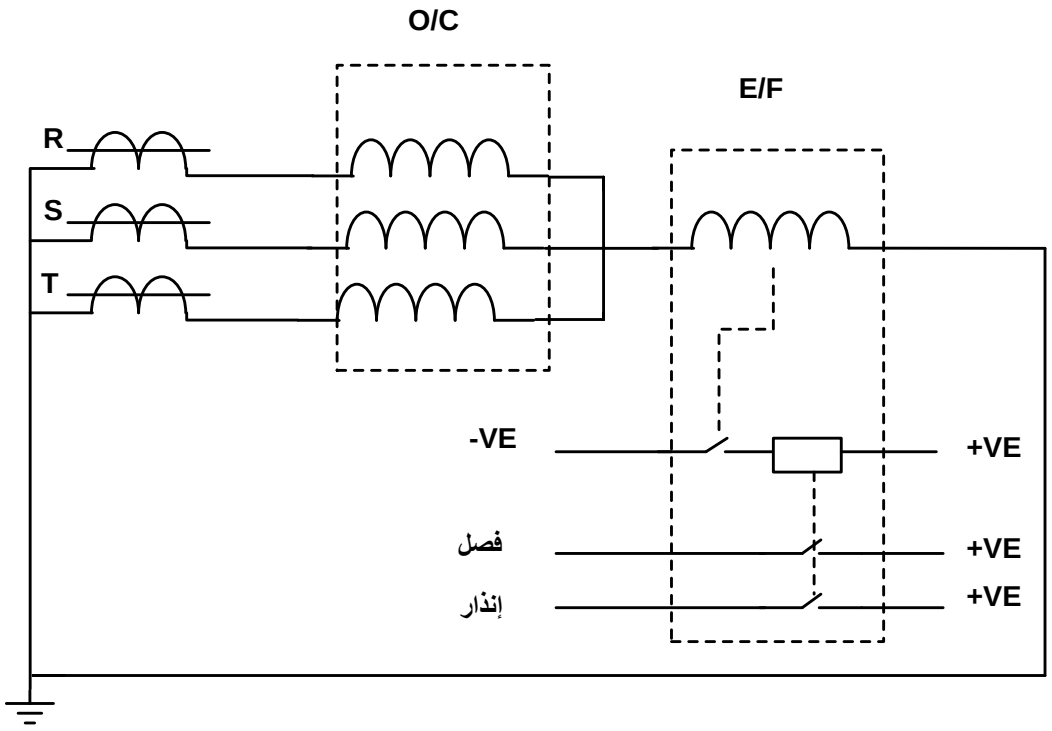
فكرة عمل هذا النوع من الأجهزة يتشابه مع أجهزة الوقاية ضد زيادة التيار اللحظي وفيها يقوم الجهاز بالعمل و إرسال إشارة الفصل للقاطع إذا زاد تيار التسرب فى مسار نقطة التعادل عن قيمة معينة وهى قيمة الضبط للجهاز وتكون إشارة الفصل لحظيا بمجرد وصول التيار إلى هذه القيمة ولا يعتمد أداء الجهاز على مقدار زيادة تيار التسرب عن قيمة الضبط فمثلا إذا كانت قيمة الضبط هى 0.2A فان جهاز الوقاية يعمل إذا كانت قيمة تيار التسرب هى 0.21A مثلما يعمل إذا كانت قيمته هى ∞ والرسم الموجود وفى الشكل (3-10) يوضح التوصيلات الثانوية للجهاز فى حالة توصيله مع جهاز الوقاية ضد زيادة التيار وغالبا فى معظم الأجهزة الحديثة ما يكون وظيفتي الوقاية ضد زيادة التيار والتسرب الأرضي يتضمنهما جهاز واحد.



شكل 3-10: التوصيلات الثانوية لجهاز الوقاية ضد زيادة التيار و التسرب الأرضي

3-5-2-2 جهاز الوقاية ضد التسرب الأرضي بتأخير زمني محدد

تعتمد فكرة عمل هذا النوع من الأجهزة على توافر شرطين احدهما هو وصول قيمة تيار التسرب إلى قيمة معينة و الآخر هو استمرار هذه القيمة لفترة زمنية وهى قيمة الضبط للمؤقت الزمني للجهاز. من الممكن أن يحتوى جهاز الوقاية ضد التسرب الأرضي على عدة مراحل يمكن ضبط كل منها و كأنه جهاز وقاية منفصل و التوصيلات الثانوية لهذا النوع تشبه إلى حد كبير النوع السابق مع وجود المؤقت الزمني الذى من الممكن أن يكون جهازا منفردا أو متضمنا فى جهاز الوقاية نفسه كما هو موضح بالشكل رقم (3-11).



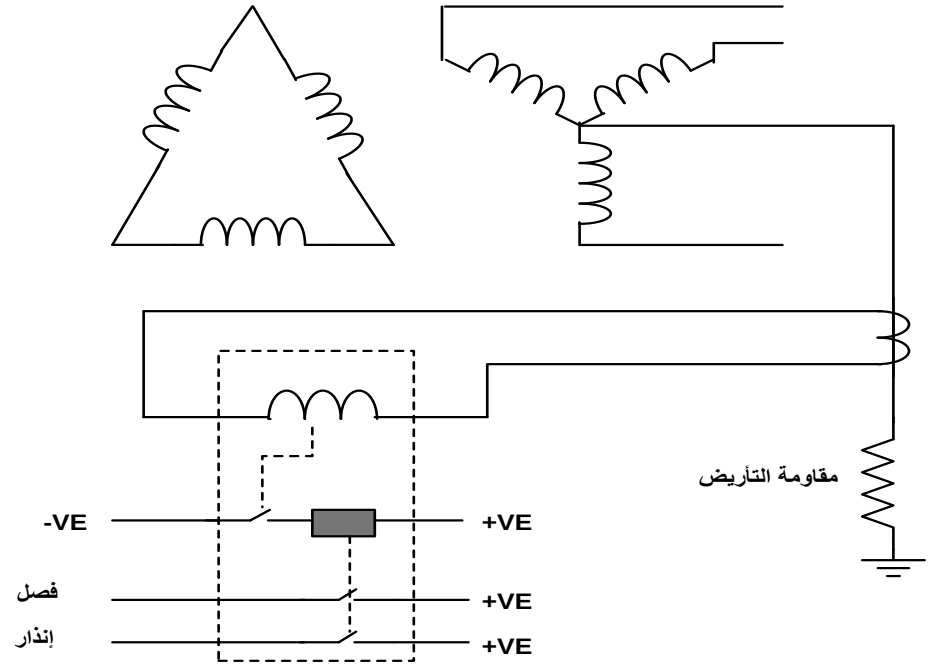
شكل 3 – 11 : التوصيلات الثانوية لجهاز الوقاية ضد التسرب الأرضي بتأخير زمني

3-5-2-3 الصور الأخرى لجهاز الوقاية ضد التسرب الأرضي

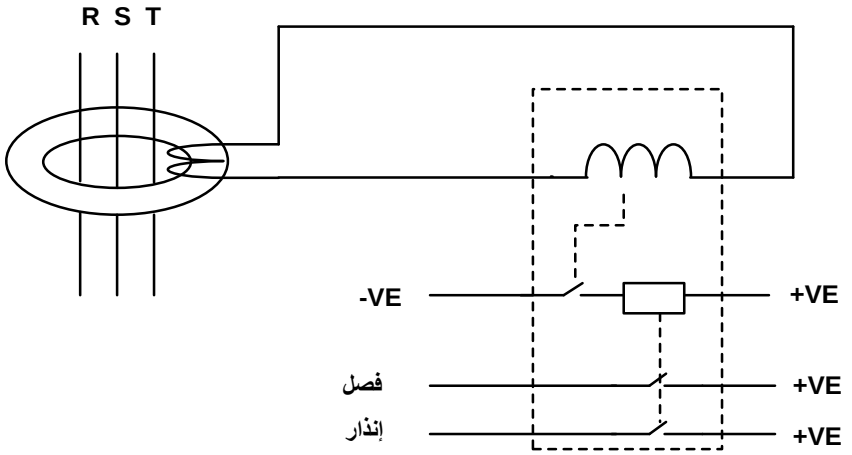
توجد عدة صور أخرى من الممكن أن يتواجد عليها جهاز الوقاية ضد التسرب الأرضي فمن الممكن أن يتم توصيله على محول التيار الموصل على نقطة التعادل لمحولات القدرة كما هو موضح بالشكل رقم (3-12) بحيث يتم توصيل محول التيار بين نقطة التعادل و الأرضي ومن الممكن أن يكون التأريض مباشر أو من خلال مقاومة وتعتمد فكرة عمل الجهاز على عدم مرور تيار فى مسار نقطة التعادل فى حالة الاتزان وفى حالة حدوث عطل بين أحد الأوجه مع الأرضي يمر تيار التسرب من الأرضي إلى نقطة التعادل من خلال محول التيار مما يؤدى إلى اشتغال الجهاز و إرسال إشارة الفصل إلى القاطع وفى نفس الوقت يتم إرسال إشارة إلى مجموعة الإشارات الموجودة فى خلية الكنترول لتوضيح أن سبب الفصل هو اشتغال جهاز الوقاية ضد التسرب الأرضي.

كما توجد صورة أخرى لجهاز الوقاية ضد التسرب الأرضي والتي يتم فيها توصيل الجهاز بالملف الثانوي لمحول تيار من النوع الحلقي كما هو موضح بالشكل (3-13) بحيث تمر الموصلات الخاصة بالثلاث أوجه من خلال محول التيار الحلقي وتكون محصلتها فى وضع الاتزان هى صفر وتزيد هذه القيمة عند حدوث عطل بين أحد هذه الأوجه مع الأرضي مما يؤدى إلى مرور

تيار فى الملف الثانوي لمحول التيار ومنه إلى جهاز الوقاية وفى حاله وصول تيار التسرب إلى قيمة الضبط لجهاز الوقاية يقوم الجهاز بالعمل و إرسال إشارة الفصل للقاطع ويكون مصاحبا لها إشارة إلى خلية الكنترول تفيد بان الفصل كان بسبب اشتغال هذا الجهاز.



شكل 3 – 12 : تغذية جهاز الوقاية ضد التسرب الأرضي من محول التيار الموجود على مسار نقطة التعادل لمحول القدرة



شكل 3 – 13 : تغذية جهاز الوقاية ضد التسرب الأرضي من محول تيار خلفي

3-5-2-4 قيم الضبط لأجهزة الوقاية ضد التسرب الأرضي بزمن محدد

لتحديد قيم الضبط لأجهزة الوقاية ضد التسرب الأرضي بزمن محدد لابد من مراعاة وجود فارق زمني محدد بين أى جهازين متتالين فمثلا لابد من التأكد من وجود فارق بين زمن الفصل لجهاز الوقاية ضد التسرب الأرضي المركب أحد مغذيات الخروج فى محطة ما مع الآخر المركب على خلية الدخول للمحول المغذى للقضبان التى عليها لفصل المغذى أيضا قيمة تيار التسرب التى يتم ضبط أجهزة الوقاية تختلف عليها بحيث يتوافر تدرج فى قيمة تيار التسرب بالإضافة للتدرج الموجود فى زمن اشتغال الأجهزة ولعمل هذا التدرج على المنظومة الموجودة فى المثال (3-1) فإنه يمكن اختيار قيم الضبط لأجهزة التسرب الأرضي إذا كان التوزيع على مستوى 11 كف كما هو موضح بالجدول (3-3) مع الأخذ فى الاعتبار أن قيمة تيار التسرب للجهاز المركب على خلية الدخول للمحول تختلف على حسب المقاومة المركبة على نقطة التعادل للمحول وتكون العلاقة بينهما عكسية بحيث تقل قيمة الضبط لتيار التسرب فى حالة زيادة قيمة المقاومة والعكس صحيح.

المهمة	قيم الضبطيات	
	التيار الابتدائي (أمبير)	الزمن (مللى ثانية)
مغذى الخروج من داخل لوحة التوزيع	20	200
رابط القضبان من داخل لوحة التوزيع	40	450
دخول لوحة التوزيع وخروج محطة المحولات	60	700
رابط القضبان من داخل محطة المحولات	150	900
المحول من جهة 11 ك.ف من داخل محطة	300	1100

جدول 3-3

ملحوظة:

قيمة ضبط التيار لجهاز الوقاية ضد التسرب الأرضي لدخول المحول من داخل محطة المحولات هو 300 أمبير بفرض أن مقاومة التأريض لنقطة التعادل هى تقريبا 12 أوم.

3-5-2-5 جهاز الوقاية ضد التسرب الأرضي من النوع Inverse time

لا تختلف طريقة ضبط أجهزة الوقاية ضد التسرب الأرضي من النوع Inverse Time مع أجهزة الوقاية ضد زيادة التيار من النوع نفسه و لكن يكون الاختلاف فقط فى قيمة الضبط تبعا لتيارات القصر والتي يمكن حسابها باستخدام أى من برامج الحسابات الخاصة بذلك و التى يتم فيها إيجاد أقصى تيار قصر بين الأوجه مع الأرضي بدلا من تيار القصر بين الثلاث أوجه والتي يتم استخدامها فى حسابات أجهزة الوقاية ضد زيادة التيار ولفهم الموضوع بصورة أوضح سوف نقوم بدراسة كيفية حساب قيم الضبطيات لأجهزة الوقاية ضد التسرب الأرضي للمنظومة الموجودة فى المثال رقم (3-2) وبفرض أن قيم الضبط لبداية اشتغال أجهزة الوقاية ضد التسرب الأرضي لجميع الأجهزة مماثلة للموجودة فى الجدول رقم (3- 3) و بالتالى فان خطوات لتحديد قيم الضبط للأجهزة تتبع الخطوات التالية :-

- تحديد قيم ضبط بداية الاشتغال والموجودة فى الجدول رقم (3-3)
- تحديد اقل فارق زمني بين مرحلتين متتاليين وهو 200 مللي ثانية
- تحديد اكبر تيار قصر بين احد الأوجه مع الأرضي بواسطة احد البرامج

(ETAP Power Stations) وكان 5800 أمبير

- نقوم بتحديد زمن الفصل T_1 والخاص بمغذى الخروج من لوحة التوزيع من العلاقة

$$T_1 = \left[\frac{0.14}{\left(\frac{I_{SC}}{I_{P1}}\right)^{0.02} - 1}\right] * T_{P1}$$

حيث

I_{SC} : أقصى تيار قصر بين احد الأوجه مع الأرضي و الذى تم حسابه سابقا

I_{P1} : اقل تيار قصر يعمل عنده الجهاز وهى 20 أمبير (من جدول (3-3)

T_{P1} : معامل زمني يمكن اختياره اقل قيمة ممكنه للجهاز مثلا 0.05

وبالتعويض المباشر فى المعادلة السابقة

$$\therefore \quad T_1 = 58.3\ msec$$

وتكون قيمة الضبط للتيار الثانوي

$$I_{S1} = \frac{20 * 5}{200} = 0.5\ A$$

$$T_2 = T_1 + 200$$

$$= 258.3\ msec$$

$$T_2 = \left[\frac{0.14}{\left(\frac{I_{SC}}{I_{P2}}\right)^{0.02} - 1}\right] * T_{P2}$$

حيث I_{SC} هى نفسها المحسوبة سابقا (5800 أمبير)

I_{P2} = 40 أمبير من جدول (3-3)

$$\therefore \quad T_{P2} = 0.1931$$

وتكون قيمة الضبط للتيار الثانوي هى

$$I_{S2} = \frac{40 * 5}{600} = 0.33 \quad A$$

$$T_3 = T_2 + 200 = 458.3 msec$$

$$T_3 = \left[\frac{0.14}{\left(\frac{I_{SC}}{I_{P2}}\right)^{0.02} - 1}\right] * T_{P3}$$

$$\therefore T_{P3} = 0.3133$$

وتكون قيمة الضبط للتيار الثانوي

$$I_{SC} = \frac{60 * 5}{600} = 0.5\ A$$

$$T_4 = T_3 + 200$$

$$= 658.3\ msec$$

$$T_4 = \left[\frac{0.14}{\left(\frac{I_{SC}}{I_{p4}}\right)^{0.02} - 1}\right] * T_{P4}$$

$$\therefore T_{P4} = 0.3566$$

وتكون قيمة الضبط للتيار الثانوي

$$I_{S4} = 150 * \frac{5}{2500} = 0.3\ A$$

$$T_5 = T_4 + 200$$

$$= 858.3\ \ msec$$

$$T_5 = \left[\frac{0.14}{\left(\frac{I_{SC}}{I_{p5}}\right)^{0.02} - 1}\right] * T_{P5}$$

$$\therefore T_{P5} = 0.3741$$

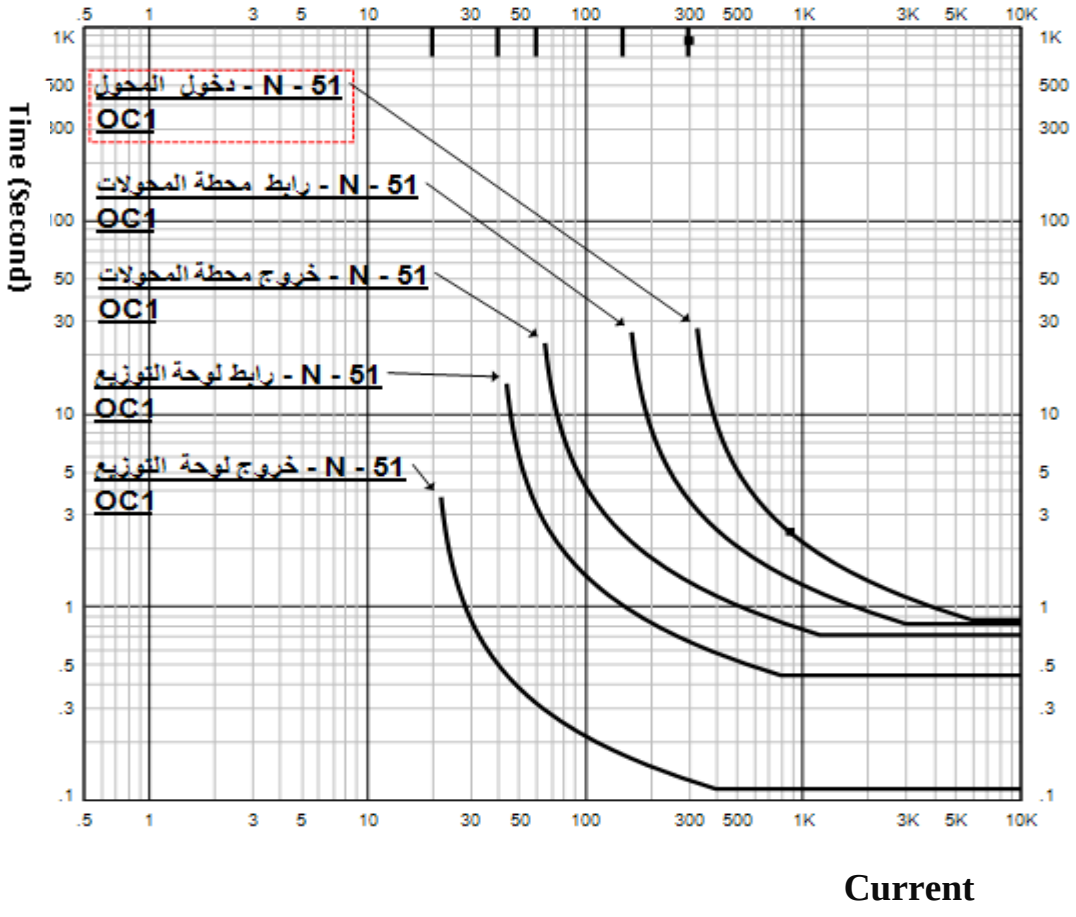
وتكون قيمة الضبط للتيار الثانوي

$$I_{S5} = 300 * \frac{5}{1500} = 1\ \ A$$

و بالتالى يمكن قيم الضبطيات لجميع الأجهزة كما هو مبين فى الجدول (3-4).

المهمة	قيم الضبطيات		
	التيار الإبتدائى	التيار الثانوي	T_P
مغذى الخروج من داخل لوحة التوزيع	20	0.5	0.05
رابط القضبان من داخل لوحة التوزيع	40	0.33	0.1931
دخول لوحة التوزيع وخروج محطة المحولات	60	0.5	0.3133
رابط القضبان من داخل محطة المحولات	150	0.3	0.3566
المحول من جهة 11 ك.ف من داخل محطة المحولات	300	1	0.3741

والشكل (3- 14) يمثل المنحنيات بين تيار القصر وزمن الفصل لجميع أجهزة الوقاية ضد التسرب الأرضي من النوع Inverse time والتي تم رسمها باستخدام برنامج (ETAP Power Stations).

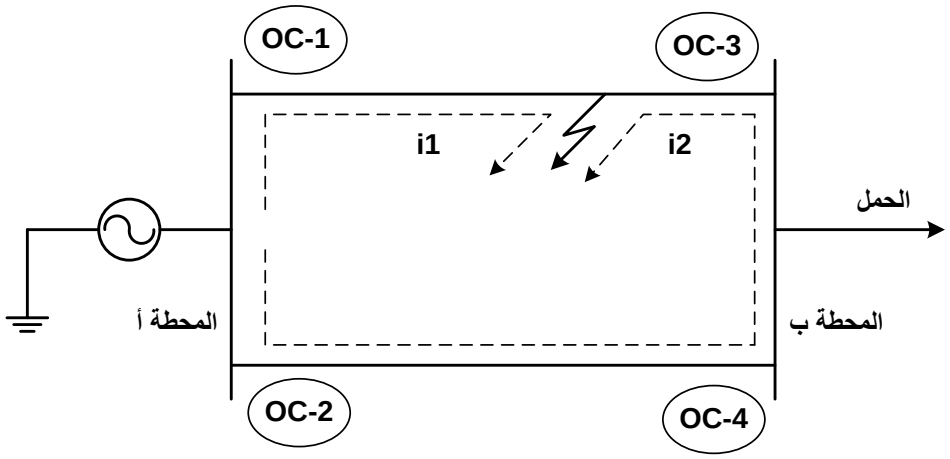


شكل 3 – 14 : منحنيات الاشتغال لأجهزة الوقاية ضد التسرب الأرضي للمثال 3-2

3-5-3 أجهزة الوقاية الاتجاهية

لقد تعرفنا من خلال دراستنا للأجزاء السابقة على جهاز الوقاية ضد زيادة التيار والتسرب الأرضي الغير إتجاهى وتعتمد فكرة العمل له على مراقبة التيار وفى حالة زيادة عن قيمة معينة يعمل الجهاز مؤديا لفصل القاطع الخاص بالمهمة التى عليها العطل وكان من خواص عمله انه لا يعتمد على اتجاه التيار و لكن يعتمد فقط على القيمة المطلقة له و لكنه وجد أن هذه الفلسفة قد لا تكون صالحة فى بعض الأحيان مثل وجود تغذية من مغذيين أو أكثر على التوازي أو إذا كانت التغذية على هيئة حلقة وغيرها من التوصيلات الأخرى والتي لا يكون جهاز الوقاية الغير إتجاهى مناسبا للتعامل مع الحالات المختلفة للأعطال التى قد تحدث فى منظومات القوى الكهربية.

وللتعرف أكثر على مدى الحاجة إلى الوقاية الاتجاهية نفرض المثال الموجود فى الشكل (3-15) و الذى يتكون من مصدر للتغذية إلى أقصى اليسار متصلا بالقضبان رقم أ وعدد 2 مغذى م$_1$ ، م$_2$ من القضبان أ إلى القضبان ب و الذى يتصل به الحمل مباشرة.



شكل 3 – 15: عطل على أحد خطين موصلين على التوازي

وهناك جهازين للوقاية ضد زيادة التيار الغير اتجاهية على كل مغذى بواقع جهاز فى كل جهة فالمغذى م$_1$ مركب علية جهاز رقم 1 جهة المصدر وجهاز رقم 3 جهة الحمل وبالمثل المغذى رقم م$_2$ مركب عليه الجهازين 2 ، 4 جهتي المصدر والحمل على الترتيب فى حالة حدوث عطل على المغذى م$_1$ مثلا فمن المفترض لتوفير الحماية اللازمة هو اشتغال جهازي الوقاية على طرفى المغذى م$_1$ وفصل المغذى من الطرفين لجهازي الوقاية 1 ، 3 وفى نفس الوقت عدم فصل المغذى السليم م$_2$ لضمان استمرار التغذية إلى الحمل ولكن فى هذه الحالة يتم تغذية العطل مرورا بالجهاز رقم 1 مباشرة إلى العطل ويكون هذا التيار هو I_1 كما يتم تغذية العطل فى نفس الوقت بالتيارI_2

مرورا بالأجهزة 2 و4 و3 على الترتيب و نلاحظ أنة فى هذه الحالة من الممكن اشتغال جميع أجهزة الوقاية فى نفس الوقت مما يؤدى إلى فصل المغذيين و بالتالى انقطاع التغذية عن الحمل على الرغم من عدم وجود عطل على الحمل نفسه. و بمقارنة التيارين المارين فى جهازي الوقاية 3و4 أنهما متساويين فى المقدار و مختلفان فى الاتجاه حيث أن التيار المار فى الجهاز رقم 4 يكون فى اتجاه القضبان و التيار المار فى الجهاز رقم 3 يكون خارج من القضبان و بالتالى فى حالة وضع جهاز قادر على تمييز اتجاه التيار بدلا من الجهاز رقم 4 و يكون اتجاه عملة فقط إذا كان التيار خارج من القضبان و بالتالى ضمان عدم اشتغال الجهاز فى حالة العطل السابق و بالتالى استمرار التغذية إلى الحمل بحيث يقوم الجهازين 1و3 بفصل المغذى فقط من الجهتين و بالتالى فإنه من الأنسب تركيب جهاز وقاية إتجاهى على كل المغذيات المتوازية جهة الحمل على الأقل و من الممكن أن يكون تركيب جهازي الوقاية الاتجاهى من الجهتين فى حالة ما إذا كان التوصيل من خلال شبكة أى أنة من الممكن أن يكون مصدر التغذية من أى من الجهتين.

3-5-3-1 جهاز الوقاية ضد زيادة التيار الاتجاهى

غالبا ما يصاحب تيارات القصر فى المنظومات الكهربية زيادة فى قيمة التيار و انخفاض فى قيم الجهد للأوجه المشاركة فى العطل. و تعتمد فكرة عمل أجهزة الوقاية الاتجاهية على مقارنة التيارات و الجهود للأوجه المختلفة مع القيم التى تم ضبط أجهزة الوقاية عليها مسبقا و تقوم أجهزة الوقاية بالعمل فى حالة توافر الشروط اللازمة لعملها و هى زيادة قيمة التيار عن قيمة معينة و أن يكون هذا التيار يمر فى اتجاه معين و يتم معرفة هذه الاتجاه عن طريق معرفة زاوية انحرافه عن الجهد و بالتالى تحديد مطابقة هذه الزاوية للقيم التى تم ضبط الجهاز عليها و بالتالى اشتغال الجهاز و إتمام عملية الفصل.

تعتمد زاوية انحراف تيار أحد الأوجه عن جهد نفس الوجه فى الوضع العادي (قبل حدوث عطل) على نوع الحمل و غالبا ما يكون التيار متأخراً عن الجهد بزاوية تتراوح بين 20 و 40 درجة و لكن مع حدوث العطل فإن هذه الزاوية تتغير بحيث تصبح قيمتها الجديدة معتمدة على المعاوقة الخاصة بالمهمة التى حدث عليها العطل و غالبا ما تتراوح قيمتها بين 40 و 80 درجة و من المعروف أنة فى حالة حدوث عطل ما على أحد الأوجه فإن قيمة الجهد لهذا الوجه تقل كثيرا عن قيمتها الأصلية و لذلك فمن الأفضل الاعتماد على جهد الأوجه السليمة و عمل المقارنة معها بدلا من الوجه الذى حدث عليه العطل و من الطرق الشهيرة التى بنيت عليها فكرة عمل جهاز الوقاية

ضد زيادة التيار الاتجاهى هى الاعتماد على تيار الوجه الذى حدث علية العطل و جهد الوجهين الأخريين.

$$I_R \& V_{ST}$$

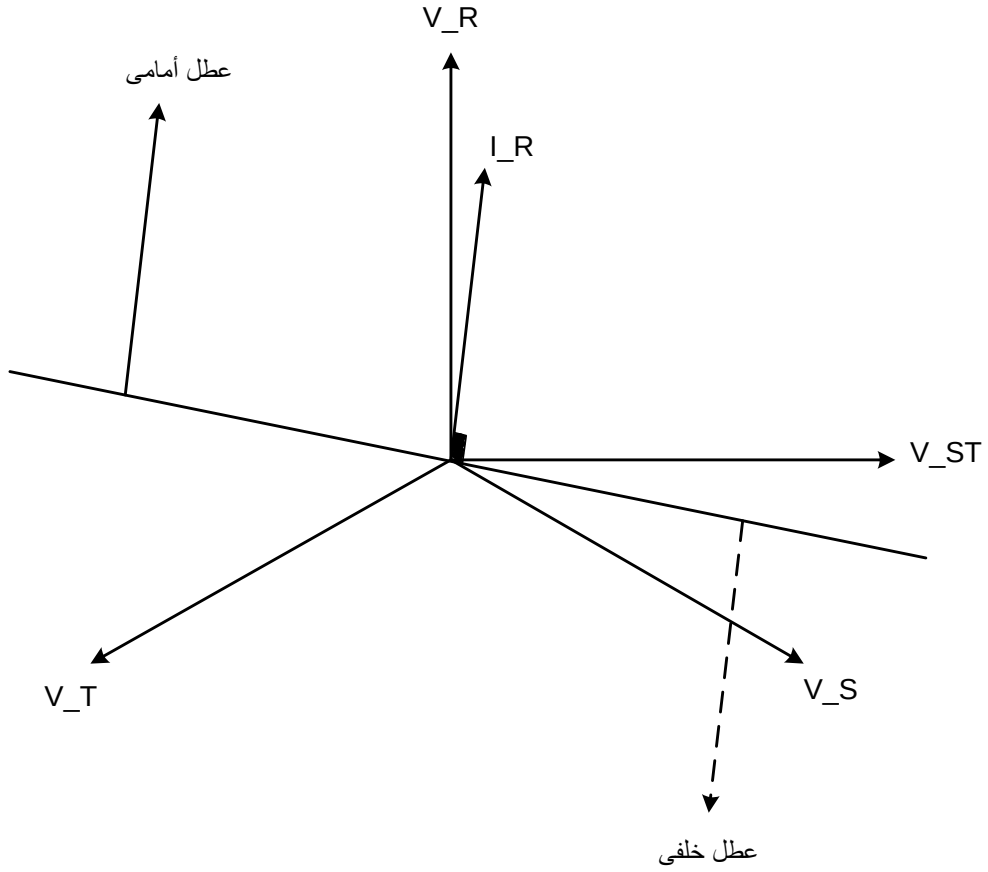
$$I_S \& V_{TR}$$

$$I_T \& V_{RS}$$

و يمكن التعبير عن ذلك عن طريق المتجهات كما هو موضح بالشكل (3-16) و هو عبارة عن ثلاث متجهات خاصة بجهود الثلاث أوجه $V_R \& V_S \& V_T$ و تيار الوجه R الذى حدث علية العطل و الذى سوف يتم تحديد زاوية انحرافه عن الجهد بين الوجهين T&S.

$$V_{ST} = V_S - V_T$$

و من الشكل نجد أن V_{ST} ينطبق على المحور الأفقي و أن تيار الوجه R متأخر بزاوية بين 40 و 80 درجة عن جهد الوجه R أو متقدم بزاوية بين 10:50 عن V_{ST} و قد تختلف قيمة هذه الزاوية على حسب مقاومة العطل و أساس فكرة عمل جهاز الوقاية ضد زيادة التيار الاتجاهى هو الوصول لأقصى عزم عند تطابق التيار و الجهد و تقل قيمة هذه القيمة بزيادة زاوية الانحراف بينهما إلى أن تصل إلى الصفر عند تعامدهما ثم يتحول العزم إلى القيمة السالبة بزيادة زاوية الانحراف عن هذه القيمة مما يمنع اشتغال الجهاز وفى هذه الحالة تيار العطل هو I_R و الجهد الذى يتم مقارنة زاوية انحرافه مع زاوية انحراف التيار هو V_{ST} و لكى يحدث تتطابق للزاويتين فلابد من عمل دوران V_{ST} عكس عقارب الساعة بزاوية من 10 : 50 درجة وهى ما تسمى Maximum Torque Angle (MTA) أو Characteristic Angle (CA). و هذه القيمة من أهم قيم الضبطيات التى يتم وضعها على جهاز الوقاية ضد زيادة التيار الإتجاهي بالإضافة إلى زاوية الفصل والتي غالبا ما يتم اختيارها $\pm$ 90 مقاسه من (MTA). يمكن تقسيم الشكل إلى منطقتين احدهما أمامية والتي إذا حدث العطل فيها يقوم جهاز الوقاية بالاشتغال و إرسال إشارة فصل للقاطع الخاص بهذه المهمة و الأخرى خلفية والتي إذا حدث العطل فيها فإن جهاز الوقاية لا يقوم بالاشتغال و بالمثل إذا حدث العطل على احد الوجهين S& T يمكن تحديد المنطقة التى يعمل فيها جهاز الوقاية ضد زيادة التيار والمنطقة التى لا يقوم فيها بالعمل.



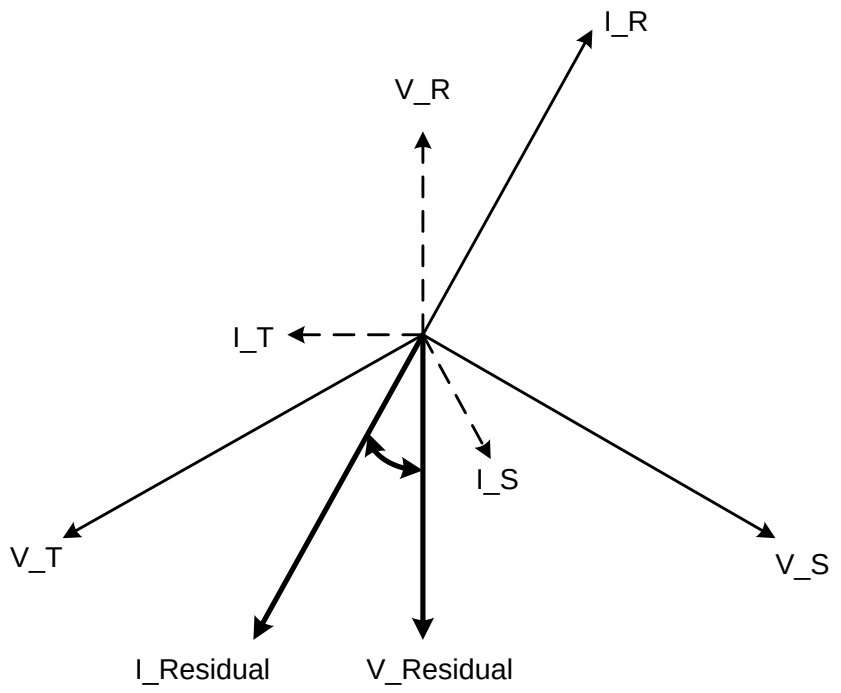
شكل 3-16 : متجهات التيار و الجهد لجهاز الوقاية ضد زيادة التيار الإتجاهي

3-5-3-2 جهاز الوقاية ضد التسرب الأرضي الإتجاهي

تعتمد فكرة عمل جهاز الوقاية ضد التسرب الأرضي الإتجاهي على وجود المركبة الصفرية لكل من التيار والجهد على أن يعمل الجهاز إذا كان مرور التيار فى اتجاه معين ولا يعمل فى حالة انعكاسه. النظام الموجود فى الشكل رقم (3-17) يمثل الثلاث أوجه الخاصة بالجهد V_R, V_S, V_T وفى حالة حدوث بين احد الأوجه مع الأرض مثلا الوجه R فانه تزيد قيمة التيار I_R ويصاحبها نقص فى قيمة الجهد V_R وفى هذه الحالة تكون المركبة الصفرية للتيار هى I_Residual (بفرض أن تيار الوجهين الآخرين تقريبا=صفر) وتكون المركبة الصفرية للجهد V_Residual هى المجموع الإتجاهي للجهود الثلاثة = $V_T + V_s$ (بفرض أن جهد الوجه R تقريبا = صفر) ويحدث أقصى عزم عند تتطابق V_Residual مع I_ Residual و للوصول إلى هذا العزم يكون مع دوران V_Residual فى اتجاه عقارب الساعة زاوية معينة هذه هى (MTA) أو (CA) وغالبا ما تتراوح هذه الزاوية بين 30- : 45- (الإشارة السالبة لان الدوران مع عقارب الساعة) وبعد ذلك يمكن اختيار زاوية الفصل ± 90مقاسه من (MTA).

ملحوظة:

زاوية الفصل لجهاز الوقاية ضد زيادة التيار الإتجاهي أو التسرب الأرضي الإتجاهي ممكن أن تأخذ قيما أخرى يمكن اختيارها مثلا 80± :100±



شكل 3-17 : متجهات التيار و الجهد لجهاز الوقاية ضد التسرب الأرضي الإتجاهي

3-5-4 الاختبارات التى تتم على أجهزة الوقاية ضد زيادة التيار و التسرب الأرضي

لقد تعرفنا فى الأجزاء السابقة على فكرة عمل الأنواع المختلفة لجهاز الوقاية ضد زيادة التيار و التسرب الأرضي كما تعرفنا على كيفية حساب قيم الضبطيات و التوصيلات الثانوية له والآن و للتأكد من سلامة عمل الأجهزة لابد من عمل بعض الاختبارات عليها و تنقسم هذه الاختبارات إلى نوعين أحدهما يتم مرة واحدة فى بداية دخول جهاز الوقاية فى الخدمة للمرة الأولى و هو Commissioning Test و الآخر يتم بصورة دورية كل فترة و يسمى Routine Test و النوع الأول يعتبر الاشمل و الأعم بحيث يشتمل على جميع الاختبارات الدورية مضافا إليها بعض الاختبارات الأخرى و هذه الاختبارات يمكن تصنيفها كالآتي:-

- المعلومات العامة للجهاز:-
  - اسم المحطة.

- اسم المهمة المركب عليها جهاز الوقاية.
- رقم الخلية.
- اسم الخلية.
- الشركة المصنعة.
- الجهد المساعد مثلا 110 أو 220 VDC.
- التيار المقنن 1A أو 5A.
- موديل الجهاز.
- رقم المسلسل Serial Number.

- الفحص المرئي و الميكانيكي:-
  - التأكد من عدم وجود كسر أو خدش فى الجهاز.
  - التوصيلات الثانوية و مدى مطابقتها للوحات الخاصة بالجهاز.
  - التأكد من أن جميع الأسلاك محكمة التوصيل.
  - التأكد من وجود أرقام نقاط التوصيل على الجهاز.
- اختبارات الوظائف:-
  - التأكد من سلامة مفتاح الاختبار Test Switch فى حالة وجودة.
  - التأكد من سلامة عمل الملامسات المساعدة الخاصة بالفصل.
  - التأكد من سلامة عمل الملامسات المساعدة الخاصة بالإنذار المرئي و المسموع.
  - التأكد من سلامة عمل Binary Inputs.
  - تجربة الاختبار التلقائي Self Test للجهاز فى حالة وجودة.
- الاختبارات الكهربية:-
  - اختبار بداية الاشتغال Pick Up و بداية الرجوع Drop Off و مدى مطابقتها لقيم الضبط للجهاز.
  - اختبار زمن الفصل للجهاز و مطابقته لقيم الضبط سواء كان الجهاز من النوع Definite Time أو Inverse Time و إتجاهى أو غير إتجاهى.
  - تكرار ذلك لكل الوظائف المستخدمة داخل الجهاز
  - مراجعة دوائر القياس للجهاز و مقارنة قراءة الجهاز لقيم الحقن.

- مراجعة الاتجاهية بالنسبة لجهاز الوقاية ضد زيادة التيار أو التسرب الأرضي الإتجاهي عن طريق تغيير زاوية الحقن بين التيار و الجهد وتحديد منطقة اشتغال الجهاز و منطقة عدم اشتغاله و مطابقتها لقيم الضبط.

ملحوظة:

للتأكد من سلامة الاتجاهية بالنسبة لجهاز الوقاية ضد زيادة التيار الموجود فى الخدمة و بمعرفة اتجاه تيار الحمل المار فى الجهاز هل هو فى اتجاه اشتغال الجهاز أم فى الاتجاه المعاكس نقوم :-

- بعزل أطراف الفصل الخاصة بالجهاز (مؤقتا).
- نقوم بالنزول بقيم الضبط الخاصة بالجهاز إلى قيمة أقل من تيار الحمل المار فى ذلك الوقت.
- لابد من تطابق اتجاه مرور التيار مع أداء الجهاز إذا كانت التوصيلات سليمة و برمجة الجهاز بصورة صحيحة فمثلا.
  - إذا كان اتجاه مرور التيار فى الاتجاه الذى يلزم معه الفصل فإن الجهاز ينزل علية. إشارة فصل و عدم إرسالها إلى القطع نظرا لعزل أطراف الفصل.
  - على العكس إذا كان التيار يمر فى اتجاه عكسي فلابد من التأكد من عدم اشتغال الجهاز فى هذه الحالة.
  - إذا كان أداء الجهاز غير سليم فإنه يلزم تعديل التوصيلات الثانوية لكى تتماشى مع الوضع الصحيح (بعض الأجهزة يمكن تغيير برمجتها و لا تحتاج إلى تعديلات فى التوصيلات الثانوية).
- نقوم بإرجاع التوصيلات التى تم عزلها مرة أخرى.

الفصل الرابع

أجهزة الوقاية للخطوط

الفصل الرابع

أجهزة الوقاية للخطوط

1-4 مقدمة

تتكون الشبكة الكهربية من مجموعة من محطات المحولات بحيث يتم الربط بين هذه المحطات عن طريق الخطوط الهوائية أو الكابلات الأرضية. أثناء عمل دراسة لأى منظومة كهربية لابد من الأخذ فى الإعتبار توفير الحماية اللازمة لخطوط النقل فى حالة حدوث أى عطل عليها. يمكن تقسيم أجهزة الوقاية التى يمكن إستخدامها مع الخطوط إلى نوعين رئيسيين فهناك أجهزة الوقاية المسافية و التى تتسم بوجود عدة مراحل للإشتغال و غالبا ما يتم إستخدام هذا النوع مع الخطوط الهوائية و يوجد أيضا أجهزة الوقاية التفاضلية للخطوط و التى غالبا ما تستخدم فى حالة وجود كابلات أرضية أو مع الخطوط القصيرة و سوف نقوم بدراسة هذين النوعين بالتفصيل فى الأجزاء القادمة.

2-4 جهاز الوقاية المسافية

لقد قمنا في الأجزاء السابقة بتوضيح فكرة عمل جهازي الوقاية ضد زيادة التيارو التسرب الأرضي و طريقة حساب قيم الضبطيات لهما مع مراعاة التدرج الزمنى لعملية الفصل لكل جهاز. عند دراستنا للمثال (3-1) كان معلوم مسبقا اتجاه مرور التيار و الذى يكون من الجهد الأعلى إلى الجهد ألأقل حتى يصل إلى الحمل و بالتالى كان جهاز الوقاية ضد زيادة التيار أو التسرب الأرضي مناسبا نظرا لأن مرور التيار يكون فى اتجاه واحد (Radial System) أما فى حالة ما إذا كان هناك أكثر من مصدر للتغذية و عند مستوى جهد واحد (Network System) فإنه يصعب استخدام جهاز الوقاية ضد زيادة التيار أو التسرب الأرضي لتحقيق الهدف الذى بنيت علية فلسفة الوقاية و هو فصل أقرب القواطع إلى العطل بأسرع ما يمكن لضمان استمرار باقي المهمات فى الخدمة نظرا لأنة من الممكن أن تكون قيمة التيار المار فى أكثر من جهاز وقاية كافية لتشغيله فى نفس الوقت و بالتالى كان لابد من إيجاد طريقة أخرى لا تعتمد على التيار فقط للوصول إلى تحقيق هذه الفلسفة.

نظرا لأنة فى حالة حدوث عطل ما كما عرفنا سابقا تزيد قيمة التيار و تقل قيمة الجهد للأوجه المشاركة فى تغذية العطل فقد وجد أنة من الأنسب الاعتماد على قيمتي التيار و الجهد معا لتحقيق الفلسفة المطلوبة و هو ما قامت علية فكرة عمل جهاز الوقاية المسافية. تعتمد فكرة عمل جهاز الوقاية المسافية على تحديد قيمة المعاوقة بين المحطة التى بها جهاز الوقاية إلى منطقة العطل و ذلك يتم عن طريق قسمة الجهد الخاص بالدائرة التى وقع عليها العطل على تيار العطل المار فى ذلك الوقت و من ثم تحديد قيمة المعاوقة و التى على أساسها يتم تحديد المسافة بين المحطة و مكان العطل نظرا للتناسب الطردي بين قيمة المعاوقة ألمقاسه و المسافة إلى مكان العطل. يتكرر ذلك بجميع أجهزة الوقاية المسافية الموجودة فى المنظومة بحيث يقوم كل جهاز بتحديد المسافة بينة و بين منطقة العطل و الأجهزة الأقرب له تقوم بعملية الفصل أولا ثم تليها الأجهزة الأكثر بعدا و بالتالى يمكن عمل التدرج الزمني لأجهزة الوقاية المسافية و من الأسس التى بنيت عليها فكرة عمل جهاز الوقاية المسافية ما يلي:

- كل دائرة يكون مركب علها محول تيار و محول جهد خاصين بتلك الدائرة و عن طريقهما يتم تغذية ملفات التيار و الجهد لجهاز الوقاية المسافية.
- يقوم جهاز الوقاية المسافية بعمل مراقبة مستمرة لقيمة المعاوقة عن طريق قسمة الجهد على التيار و تكون هذه القيمة عالية جدا فى الحالة العادية قبل حدوث العطل نظرا لارتفاع قيمة الجهد و انخفاض قيمة التيار نسبيا.
- و فى حالة حدوث عطل ما تقل هذه القيمة نظرا للقيم العالية جدا لتيار القصروالإنخفاض فى قيمة الجهد. و تكون أقل قيمة للمعاوقة عندما تكون المسافة إلى العطل أقل ما يمكن. و لتوضيح ذلك بصورة أكبر نفترض الدائرة الكهربية الموجودة فى الشكل (4-1) بحيث تمثل Z_1 معاوقة الخط أو الدائرة و بينما تمثل Z_2 معاوقة الحمل و التى غالبا ما تكون كبيرة جدا بالمقارنة ب Z_1 $(Z_2 = 100Z_1)$ و كانت Z_3 هى معاوقة العطل و التى تكون صغيرة جدا بالنسبة ل Z_1 $(Z_3 = 0.1Z_1)$ و كان الفتاح S_1 يمثل حدوث العطل فإنه مفتوح فى الوضع العادي و تغيره إلى وضع الغلق يعبر عن حالة العطل.

سوف نقوم فى الجزء القادم بدراسة حالة الوضع العادي بالإضافة إلى حالة حدوث العطل.

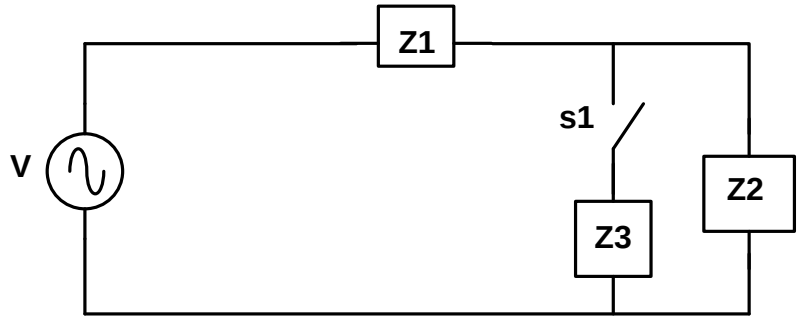
الحالة الأولى:- الوضع العادي

الوضع العادي أى قبل حدوث العطل يكون S1 فى الوضع المفتوح و بالتالى فإن المعادلة المعبرة عن التيار فى هذه الحالة تكون

$$I = \frac{V}{(Z_1 + Z_2)}$$

$$= \frac{V}{101Z_1}$$

و هو ما يوضح مدى صغر قيمة التيار المار فى هذه الحالة.



شكل 4-1 : الدائرة المكافئة لأحد الخطوط

الحالة الثانية:-حدوث العطل

فى حالة حدوث عطل فإن S_1 يكون فى وضع الغلق و تصبح $Z_2 \parallel Z_3$ و نظرا لصغر قيمة Z_3 بالنسبة ل Z_2 فإن محصلتهما تكون تقريبا هى Z_3 و تكون قيمة التيار فى هذه الحالة يمكن حسابها من المعادلة

$$I_F = \frac{V}{(Z_1 + Z_3)}$$

$$= \frac{V}{1.1Z_1}$$

و تكون قيمة التيار فى هذه الحالة كبيرة جدا بالمقارنة بالتيار المار فى الحالة الأولى. و لدراسة مدى تأثير مكان حدوث العطل على قيمة التيار المار فى الدائرة لحظة حدوث العطل بفرض أن الخط قد تم تقسيمه إلى مجموعة من الخطوط و التى تم توصيلها على التوالي كالموضحة بالشكل رقم (4-2) بحيث تزداد قيمة المعاوقة بزيادة المسافة إلى منطقة حدوث العطل. فمثلا إذا كان العطل أقرب ما يمكن فإن المعاوقة الكلية يمكن حسابها من العلاقة:

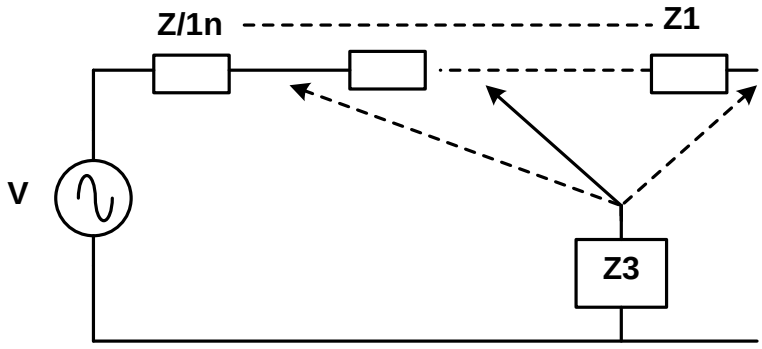
$$Z_T \cong Z_3 = 0.1Z_1$$

أما بالنسبة للأعطال التى تقع فى منتصف الخط تقريبا فتكون قيمة المعاوقة هى:

$$Z_T = Z_3 + 0.5Z_1 = 0.6Z_1$$

أما فى حالة حدوث العطل فى نهاية الخط فتكون قيمة المعاوقة هى:

$$Z_T = Z_3 + Z_1 = 1.1Z_1$$

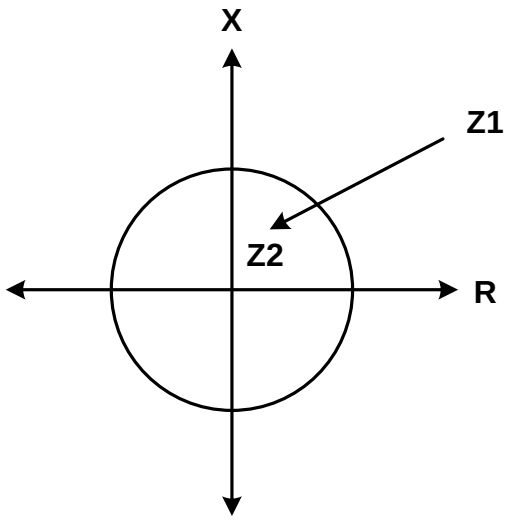


شكل 4-2 : عدة أعطال على مسافات مختلفة

و بعمل مقارنة بين الحالات الثلاثة السابقة نستطيع تحديد تأثير مسافة العطل على قيمة التيار بحيث تكون قيمة التيار أكبر ما يمكن عندما يكون العطل أقرب ما يمكن و تقل قيمة التيار بزيادة المسافة أى أن العلاقة بينهما علاقة عكسية.

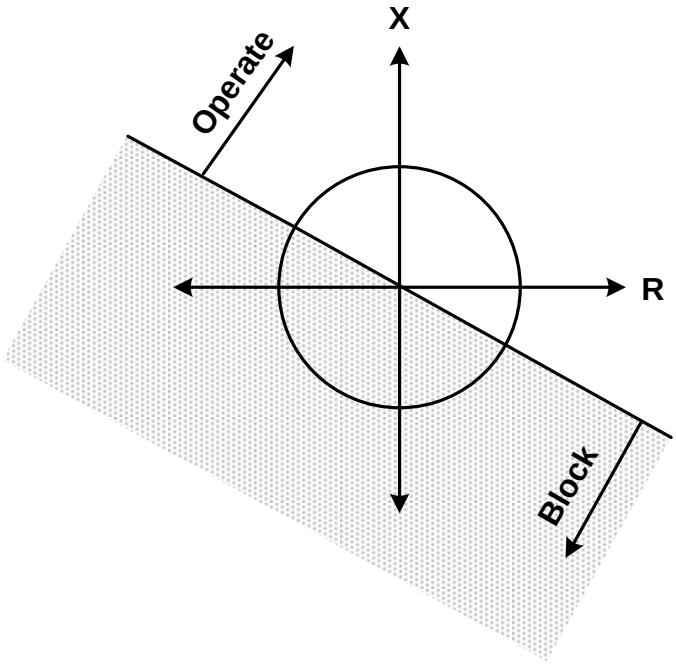
4-2-1 الشروط الواجب توافرها لاشتغال جهاز الوقاية المسافية

- انخفاض قيمة المعاوقة المقاسه عن طريق جهاز الوقاية المسافية إلى قيمة معينة و الشكل (4-3) يوضح تغير المعاوقة من القيمة العالية Z_1 و هى تمثل الوضع قبل حدوث العطل إلى قيمة أخرى أقل Z_2 و هى تمثل قيمة المعاوقة المقاسه لحظة حدوث العطل.



شكل 4-3 : انخفاض المعاوقة مع حدوث العطل

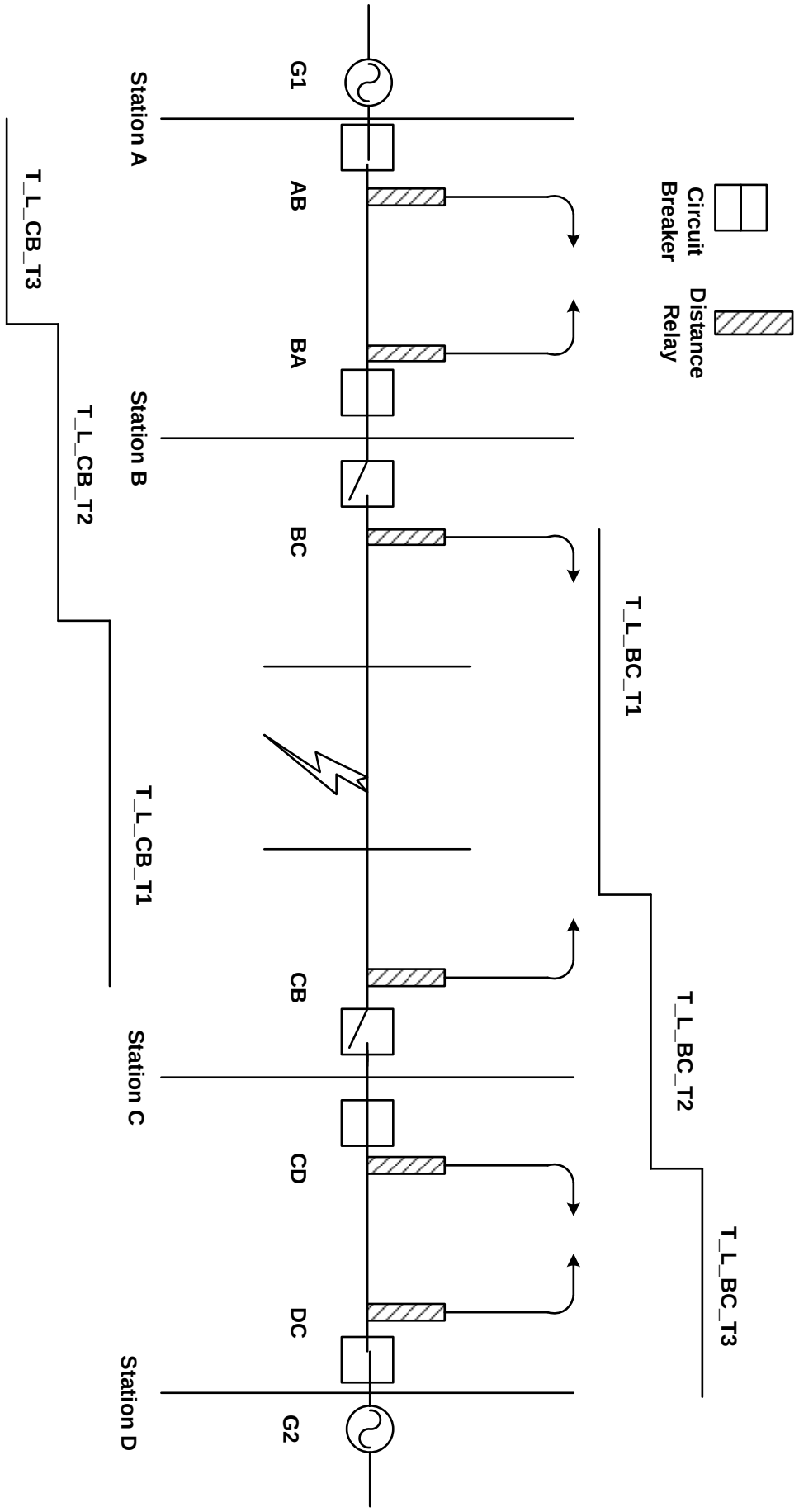
- لابد من توفر شروط الإتجاهي أى أن العطل قد حدث على الخط المركب علية جهاز الوقاية المسافية و لتحديد صحة الاتجاه نتخيل أننا قد وقفنا تحت محول التيار الخاص بالدائرة بحيث كان اتجاه نظرنا مع اتجاه الخط و قضبان التوزيع إلى الخلف و فى هذه الحالة يكون الاتجاه السليم لعمل جهاز الوقاية المسافية إذا كان التيار الناتج عن العطل فى هذه اللحظة يمر فى اتجاه نظرنا أى فى اتجاه الخط و هذا العطل يسمى فى هذه الحالة عطل أمامي أما فى حالة مرور التيار إلى القضبان فإن العطل فى هذه الحالة يسمى عطل خلفي و بالتالى يمكن تحديد منطقة اشتغال جهاز الوقاية المسافية بداية من محول التيار الخاص بالدائرة و يمكن تمثيل ذلك بالرسم الموجود بالشكل رقم (4-4).



شكل 4-4 : منطقة الاشتغال و منطقة عدم الاشتغال لجهاز الوقاية المسافية

4-2-2 التدرج الزمني لأجهزة الوقاية المسافية

لقد عرفنا من خلال دراستنا للأجهزة السابقة أنه لابد من توافر شرطين رئيسيين لاشتغال جهاز الوقاية المسافية و هما انخفاض قيمة المعاوقة إلى قيمة معينة و أن يكون مرور التيار فى اتجاه معين و لكى نتعرف أكثر على التفاصيل الخاصة بإشتغال أجهزة الوقاية المسافية سوف نقوم بدراسة المثال الموجود بالشكل (4-5) والذي يتكون من 4 محطات A&B&C&D بحيث يتم الربط بين كل محطتين منهم عن طريق دائرة بحيث يكون كل دائرة مركب عيها قاطع و جهاز وقاية مسافيه فى كل جهة بحيث يكون اتجاه عملة للأعطال التى تحدث على هذه الدائرة و إرسال إشارة الفصل إلى القاطع.



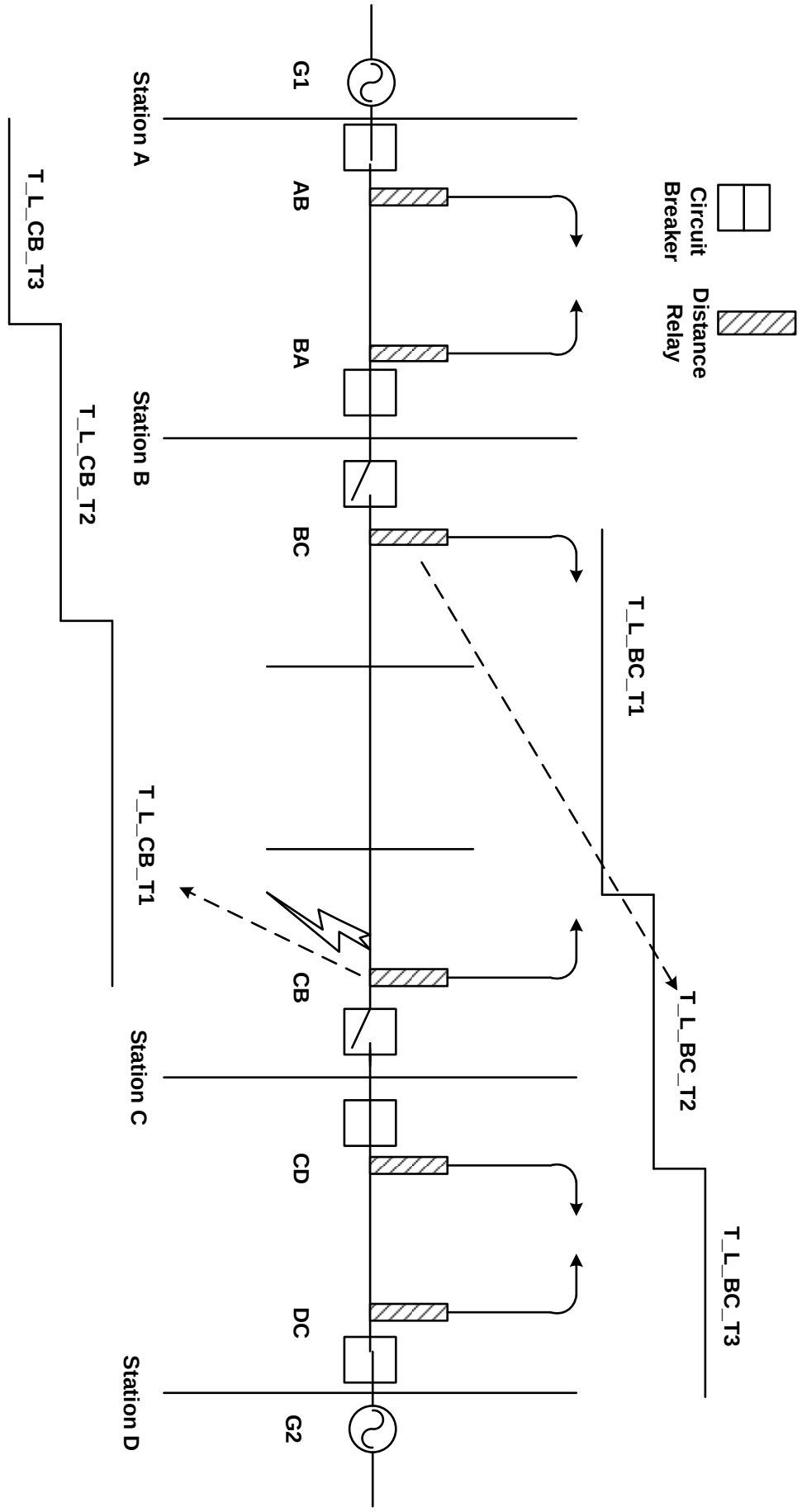
شكل 4-5: الأعطال الأمامية و الخلفية لأجهزة الوقاية المسافية

و بفرض حدوث قصر فى منتصف المسافة بين المحطتين C&B

- الجهازان BA ، CD يكون تصنيفهما للعطل على أنه خلفي وبالتالى ليس مطلوبا من أى منهما أن يعمل فى هذه الحالة.
- كل من أجهزة الوقاية المسافية AB ، BC ، CB ، DC يكون تصنيفها لهذا العطل على انه أمامي أى فى اتجاه عملها و بالتالى يتوفر بالنسبة لهذه الأجهزة الأربعة شرط الاتجاه ويتبقى شرط أخر وهو قيمة المعاوقة المقاسه عن طريق جهاز الوقاية المسافية بحيث تكون القيمة المنخفضة للمعاوقة المقاسة دليل على قرب المسافة من العطل و بالتالى تيار عطل اكبر وخطورة اكبر و لكى يتم التعامل مع هذه الحالة بصورة صحيحة فلابد أن يكون زمن الفصل أسرع مما يعنى أن الجهازين BC ، CB لابد أن يكون زمن الفصل لهما أقل من زمن الفصل للجهازين AB ،DC الأكثر بعدا عن منطقة العطل مما يعنى أن الجهازين BC ،CB يعتبران كوقاية أساسية وفى حالة فشل أى منهما فى فصل القاطع لأي سبب فانه يوجد له جهاز أخر احتياطي بزمن فصل اكبر وفى هذه الحالة يعتبر الجهاز AB احتياطي للجهاز BC والجهاز DC احتياطي للجهازCB.
- يوجد مجموعة من العوامل التى قد تؤثر على دقة إحساس جهاز الوقاية المسافية بالعطل و التى قد تؤثر على تقديره لمسافة العطل سواء بالزيادة أوالنقصان ومنها:
  - الأعطال فى محولات التيار.
  - الأعطال داخل جهاز الوقاية المسافية نفسه.
  - الأعطال فى محولات الجهد.
  - الأعطال فى حسابات القيم الابتدائية للمعاوقة.

وقد وجد انه فى أسوأ الحالات و التى يكون فيها تأثير كل هذه العوامل في اتجاه واحد أى اتجاه الزيادة فقط مما يعنى انه من الممكن اشتغال جهاز الوقاية المسافية مع أعطال على الخط التالي للخط المركب عليه الجهاز وهذا ليس مرغوبا فيه فقد وجد انه من الأفضل ضبط جهاز الوقاية المسافية للعمل على مسافة اقل قليلا من الطول الكلى للخط وتكون تقريبا من 80 %: 85 % من طول الخط وهذه هى المرحلة الأولى لعمل جهاز الوقاية المسافية و غالبا ما يكون زمن الفصل لهذه المرحلة لحظيا. كما يمكن أن يتم ضبط الجهاز ليعمل كوقاية احتياطية فى حالة فشل أى أجهزة مركبة على خطوط أخرى فى العمل و فى هذه الحالة يكون هناك مرحلة ثانية و مرحلة ثالثة بتأخير زمني عن المرحلة الأولى و هناك طرق عديدة فى كيفية حساب المراحل المختلفة لأجهزة الوقاية

المسافية و سوف نقوم بعرض أحد هذه الطرق لاحقا و الرسم الموجود بالشكل (4-6) يبين التدرج الزمني لمراحل عمل الوقاية المسافية.



شكل 4-6 : مراحل اشتغال جهاز الوقاية المسافية

4-2-3 كيفية اختيار قيم الضبط لأجهزة الوقاية المسافية

يشتمل كل جهاز من أجهزة الوقاية المسافية على عدة مراحل بحيث تعمل كل مرحلة من هذه المراحل كجهاز وقاية منفصل بحيث تختلف قيم ضبط المعاوقة والزمن لكل من هذه المراحل عن الأخرى بحيث تكون هناك مرحلة أولى بزمن صغير جدا و التى تعتبرالوقاية الأساسية للخط المراد حمايته كما يوجد عدة مراحل أخرى وهذه المراحل تعتبر كوقاية احتياطية للأعطال التي قد تحدث على الخطوط الأخرى في حالة فشل الأجهزة الرئيسية لها في العمل. يوجد العديد من الطرق المتعلقة بحساب قيم الضبط لجميع مراحل إشتغال الوقاية المسافية وسوف نقوم باستعراض أحد هذه الطرق فى الجزء التالى:-

- **المرحلة الأولى**
  - تقوم هذه المرحلة بتغطية الأعطال الأمامية التى تقع حتى 80% من طول الخط
  - زمن الفصل لهذه المرحلة غالباً ما يكون لحظيا.
- **المرحلة الثانية**
  - يكون عملها مع الأعطال الأمامية و تغطى الخط بأكمله بالإضافة لجزء من الخط التالي له و يمكن اختيارها أى من القيمتين التاليتين (أيهما أطول)
    - 100% من طول الخط +50% من أقصر خط تالي لهذا الخط.
    - أو 120% من طول الخط.
  - زمن الفصل لهذه المرحلة يكون أكبر قليلا من المرحلة الأولى و من الممكن أن يكون من 400: 500 مللي ثانية.
- **المرحلة الثالثة**
  - تغطى الأعطال الأمامية أيضا و توجد عدة طرق لحساب هذه المرحلة من الممكن أن تكون قيم الضبط لها أى من القيم التالية (أيهم أطول)
    - 100%من طول الخط +100% من أقصر خط تالي له + 25% من أقصر خط تالي بما فيه الخط نفسه.
    - 120% من طول الخط + 120% من أطول خط تالي.
    - 200% من طول الخط.
  - زمن الفصل لهذه المرحلة يتراوح من 800: 900 مللي ثانية.

- **المرحلة الرابعة**
  - غالبا ما تغطى الأعطال الخلفية بحيث تكون قيم الضبط لها لتغطية القضبان و بالتالى يمكن اختيارها 25% من طول الخط و ذلك للخطوط القصيرة أقل من 30 كم و يمكن أن تقل هذه القيمة إلى حوالي 15% للخطوط الأطول من ذلك و فى بعض الأحوال يمتد عمل هذه المرحلة لتغطية بعض الأعطال التى قد تحدث داخل المحولات المتصلة بنفس القضبان و فى هذه الحالة يمكن اختيار قيم الضبط لهذه المرحلة تبعا للمعاوقة الداخلية للمحولات و من الممكن اختيارها بما يقابل 50 % من المعاوقة الداخلية للمحول.
  - زمن الفصل لهذه المرحلة يكون من 1200: 1500 مللي ثانية و قد تزداد هذه القيمة إلى 2500 مللي ثانية للجهود الفائقة.

4-2-4 بداية اشتغال جهاز الوقاية المسافية

يوجد عدة طرق يمكن عن طريق أى منها أن يبدأ جهاز الوقاية المسافية فى الاشتغال و كلها تعتمد على الظواهر المصاحبة لحالات القصر المختلفة وأهم هذه الظواهر هى زيادة قيمة التيار و انخفاض قيمة الجهد و سوف يتم عرض مجموعة من الطرق المختلفة لبداية الاشتغال لأجهزة الوقاية المسافية.

4-2-4-1 بداية اشتغال عن طريق زيادة التيار Over Current Starting

و تعتمد هذه الطريقة على القيمة المطلقة للتيار كشرط أساسي لبداية الاشتغال و بعد ذلك يقوم جهاز الوقاية المسافية بتحديد قيمة المعاوقة المقاسه و اتجاه مرور التيار و منها يقوم الجهاز بتحديد المرحلة المقابلة لهذه القياسات ثم يقوم بإرسال إشارة فصل للقاطع بعد مرور الزمن الخاص بتلك المرحلة تبعا لقيم الضبط الموجودة على الجهاز.

4-2-4-2 بداية اشتغال عن طريق انخفاض الجهد Under Voltage Starting

غالبا ما تستخدم هذه الطريقة فى منظومات القوى التى يكون فيها قيم المعاوقة عالية جدا مما يجعل قيمة تيارات القصر منخفضة و غير كافية لاشتغال أجهزة الوقاية و بعد ذلك يتم تحديد المرحلة المناسبة اعتمادا على قيمة المعاوقة المقاسه و اتجاه مرور التيار لحظة حدوث القصر.

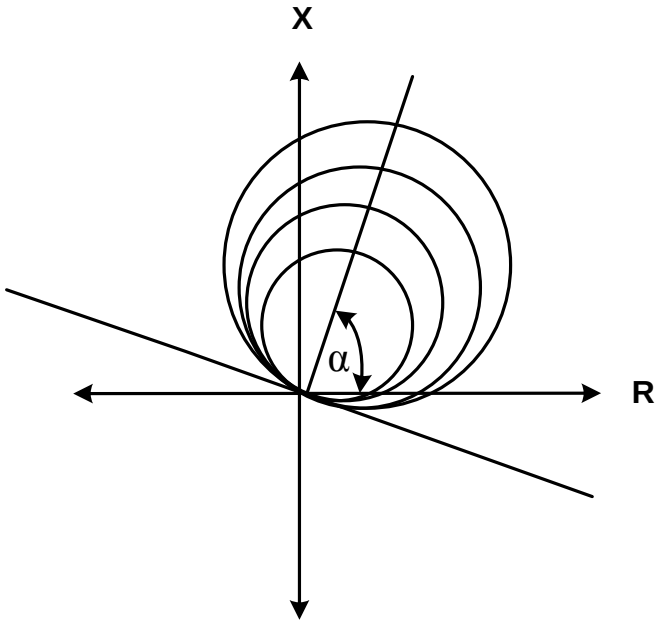
4-2-4-3 بداية اشتغال عن طريق انخفاض المعوقة

Under Impedance Starting

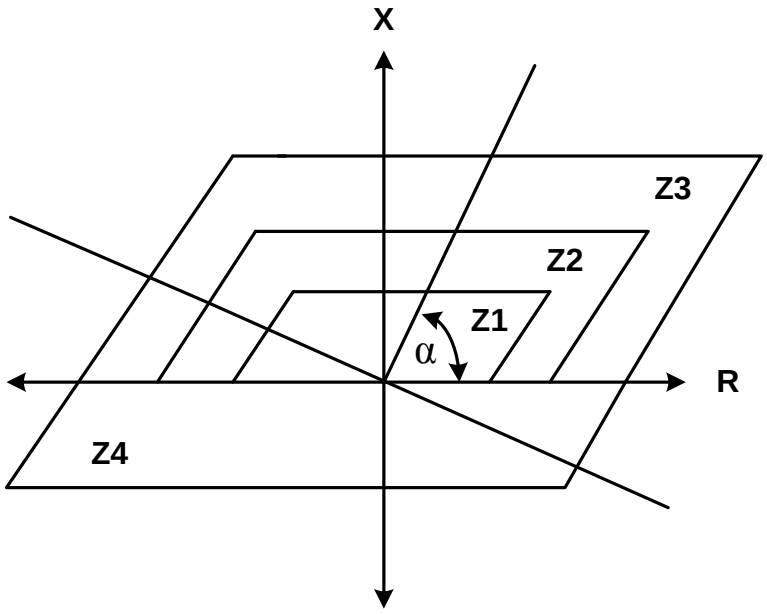
تعتمد بداية الاشتغال لجهاز الوقاية المسافية فى الطريقتين السابقتين على عنصر واحد إما التيار كما هو فى الطريقة الأولى أو الجهد كما هو فى الحالة الثانية و بدمج الطريقتين السابقتين يصبح شرط بداية الاشتغال هو انخفاض المعاوقة و بعد تحقق الشرط اللازم لبداية الاشتغال يمكن تحديد المرحلة المناسبة عن طريق قيمة المعاوقة المقاسه كما هو فى الطريقتين السابقتين.

4-2-5 تمثيل المعاوقة فى جهاز الوقاية المسافية

يوجد عدة طرق لتمثيل المعاوقة فى أجهزة الوقاية المسافية و فى هذه الحالة تكون مركبة المعاوقة فى الاتجاه الأفقي هى المقاومة R بينما تكون مركبتها فى الاتجاه الرأسي هى الممانعة XL. و من أشهر هذه الطرق Mho Characteristic و التى تكون مناسبة فى التعامل مع الأعطال بين وجهين بينما تكون أقل كفاءة فى التعامل مع الأعطال الأرضية و خاصة عندما تكون قيمة مقاومة العطل أو Arcing Resistance كبيرة و الرسم الموجود فى الشكل فى الشكل رقم (4-7)خاص بجهاز وقاية مسافيه يتكون من 4 مراحل للأعطال الأمامية و من الممكن يكون أحد هذه المراحل لتغطية الأعطال الخلفية و العكسية. و من الطرق الشهيرة أيضا لتمثيل المعاوقة هى C/C Quadrilateral و الموضحة بالشكل (4-8) و هذه الطريقة تكون مناسبة جدا فى الأعطال الأرضية نظرا لإمكانية اختيار قيم منفصلة للمقاومات مما يجعلها مناسبة لتغطية القيم العالية لمقاومة العطل أو Arcing Resistance و تتكون من عدة مراحل يمكن برمجة كلا منها للعمل فى أى اتجاه محدد سواء أمامي أو خلفي و بتأخير زمني خاص بهذه المرحلة.



شكل 4-7 : جهاز الوقاية المسافية من النوع mho



شكل 4-8 : جهاز الوقاية المسافية من النوع quadrilateral

6-2-4 قيم الضبط لأجهزة الوقاية المسافية

لقد تعرفنا سابقا على كيفية اختيار القيم الابتدائية للمعاوقات بجميع مراحل عمل جهاز الوقاية المسافية و بعد ذلك لابد من تحويلها إلى قيم ثانوية حتى يتم برمجة اجهزة الوقاية المسافية بها و يمكن حساب القيمة الثانوية للمعاوقة من المعادلة

$$Z_{Sec} = Z_{pri} * \frac{CTR}{VTR}$$

حيث

Z_{SEC} : القيمة الثانوية للمعاوقة.

Z_{PRI} : القيمة الابتدائية للمعاوقة.

CTR : نسبة تحويل محول التيار.

VTR : نسبة تحويل محول الجهد

فمثلا إذا كانت قيمة المعاوقة الابتدائية هى 12 أوم و كانت نسبة تحويل محول التيار هى 5/600 و نسبة تحويل محول الجهد هى 0.11/66 فإن القيمة الثانوية للمعاوقة يمكن إيجادها من العلاقة السابقة.

$$Z_{sec} = \frac{12 * \left(\frac{600}{5}\right)}{\left(\frac{66}{0.11}\right)}$$

$$= \frac{12 * 120}{600} = 2.4\Omega$$

و يتم تكرار ذلك لكل مراحل الجهاز و بالتالى إيجاد قيمة المعاوقة الثانوية Z_{SEC} لجميع المراحل و بعد ذلك يتم وضع هذه القيم على جهاز الوقاية المسافية بالإضافة لزمن الفصل لكل مرحلة. و قيم المعاوقة المستخدمة هنا هى خاصة بالمركبة الموجبة للمعاوقة Positive Sequence Impedance (Z1) و هى تكون مساوية للمركبة السالبة Negative Sequence Impedance (Z2). و من القيم المهمة التى لابد من معرفة قيمتها هى المركبة الصفرية للمعاوقة Zero

Sequence Impedance (Z_0) و التى تستخدم فى إيجاد قيمة المعامل Compensation (K0) Factor و الخاص بتغطية الأعطال الأرضية و الذى يمكن إيجاد قيمته من العلاقة :

$$K_0 = \frac{Z_0 - Z_1}{3Z_1}$$

و سوف نقوم لاحقا بشرح طريقة قياس قيمة المركبة الموجبة و المركبة الصفرية لاى خط فى الملحق د.

4-2-7 التقديرات الخاطئة لأجهزة الوقاية المسافية

توجد مجموعة من الأوضاع و التى على أثرها من الممكن أن يحدث خطأ فى تقدير مسافة العطل (fault) و من هذه الأعطال

- ظاهرة Under Reach.
- ظاهرة Over Reach.
- ظاهرة تأرجح القدرة Power Swing.

4-2-7-1 ظاهرة Under Reach

هذه الظاهرة تحدث عندما تكون قيمة المعاوقة المقاسه بواسطة جهاز الوقاية المسافية أكبر من المعاوقة الفعلية مما يجعل الجهاز يقوم بحماية مسافة أقل من المسافة المفروض حمايتها فمثلا عند توصيل خطين على التوازى مع حدوث عطل على الخط التالى لهذين الخطين كما هو موضح بالشكل (4-9) و هذا يختلف عن (Under Reach Scheme). و بدراسة تأثير هذا العطل على جهاز الوقاية المسافية R_1 فإننا نجد أن:

- قيمة تيار العطل المتوقعة هىI_1.
- قيمة المعاوقة الفعلية هى $Z_1 + Z_2$

حيث Z_2 :المعاوقة الفعلية لجزء من الخط التالى والتي حدث عندها العطل

- قيمة الجهد المتوقعة هى $V = I_1(Z_1 + Z_2)$

و لكن نتيجة وجود تغذية أخرى I2 فإن قيمة الجهد الفعلية تصبح

$$V = I_1 Z_1 + (I_1 + I_2)\,\overline{Z_2}$$

حيث

$\overline{Z_2}$: المعاوقة المقاسه لجزء من الخط التالى عن طريق جهاز الوقاية المسافية

و لحل هذه المشكلة و اعتمادا على ثبات قيمة كل من I_1&V فإنه يمكن تحديد مقدار الخطأ الناتج وذلك عن طريق استنتاج العلاقة بين Z_2 و $\overline{Z_2}$

$$I_1(Z_1 + Z_2) = I_1 Z_1 + (I_1 + I_2)\overline{Z_2}$$

أو

$$I_1 Z_2 = (I_1 + I_2)\overline{Z_2}$$

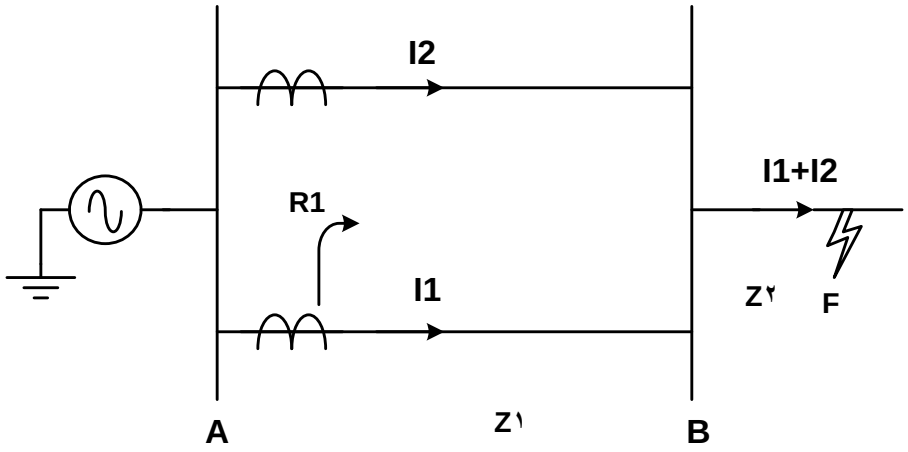
و بما أن $I_1 \cong I_2$

$$I_1 Z_2 = 2I_1 \overline{Z_2}$$

و بذلك تكون

$$\overline{Z_2} = \frac{1}{2} Z_2$$

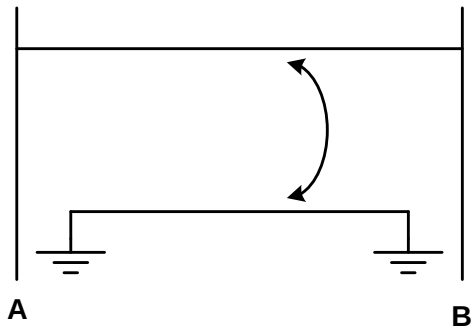
و بالتالى فإن جهاز الوقاية المسافية فى مرحلة الثانية يقوم بتغطية جزء أقصر من الخط و بالتالى فإنه لابد من أخذ ذلك فى الاعتبار عند وضع قيم الضبط على الجهاز فى حالة توصيل خطين على التوازي.



شكل 4-9 : ظاهرة under reach لجهاز الوقاية المسافية

4-2-7-2 ظاهرة Over Reach

و تحدث هذه الظاهرة عندما تكون المعاوقة المقاسه عن طريق جهاز الوقاية المسافية أقل من المعاوقة الفعلية و تحدث هذه الظاهرة عند فصل أحد الدوائر و تأريضها من الجهتين مع حدوث عطل على الدائرة الأخرى لنفس البرج كما هو موضح بالشكل (4-10) و سبب حدوث هذه الظاهرة هو الحث المتبادل للمركبة الصفرية للمعوقة (Mutual Zero Sequence Impedance) و للتخلص من هذه المشكلة فلابد من تقليل قيم الضبط إلى حوالي % (65:80) من قيمتها الأصلية. و لكن بما أن المرحلة الأولى للوقاية المسافية قد تم ضبطها لحماية 80% من طول الخط و مع حدوث ظاهرة Over Reach فإنه فى أسوأ الأحوال فإن قيمة المعاوقة المقاسه لن تزيد عن 100% من طول الخط و بالتالى لن يحدث اشتغال خاطئ للجهاز مع الأعطال التى تحدث على الخط التالى له.



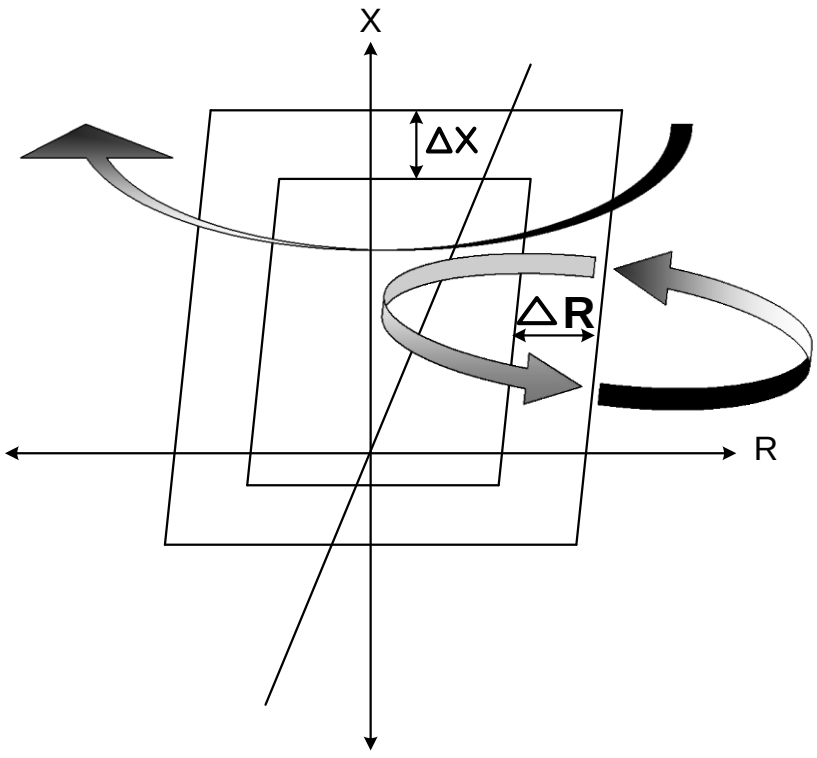
شكل 4-10 : ظاهرة over reach لجهاز الوقاية المسافية

4-2-7-3 ظاهرة تأرجح القدرة

عند فصل أحد المولدات أو الخطوط فى منظومات القوى الكهربية قد يتبعه انعكاس فى اتجاه مرور التيار كما هو موضح بالشكل (4-11) مما قد يؤدى إلى الاشتغال الخاطئ لجهاز الوقاية المسافية و هذه الظاهرة تشبه إلى حد ما الأعطال بين الثلاث أوجه و للتأكد من وجودها و بالتالى عمل منع Block لجهاز الوقاية المسافية فلابد من التأكد من :-

- عدم وجود عطل مع الأرضي (ويتم التأكد من ذلك عن طريق عدم وجود المركبة الصفرية للتيار).
- عدم وجود عطل بين وجهين (و يتم التأكد من ذلك عن طريق عدم وجود المركبة السالبة للتيار).
- معدل تغير المقاومة $\frac{\Delta R}{\Delta t}$ و الممانعة $\frac{\Delta X}{\Delta t}$ بالنسبة للزمن يكون بطيء نسبيا

وهذا المعدل هو ما يفرق بين ظاهرة Power Swing و العطل على الثلاث أوجه (3-Ph Fault).



شكل 4-11 : ظاهرة تأرجح القدرة power swing

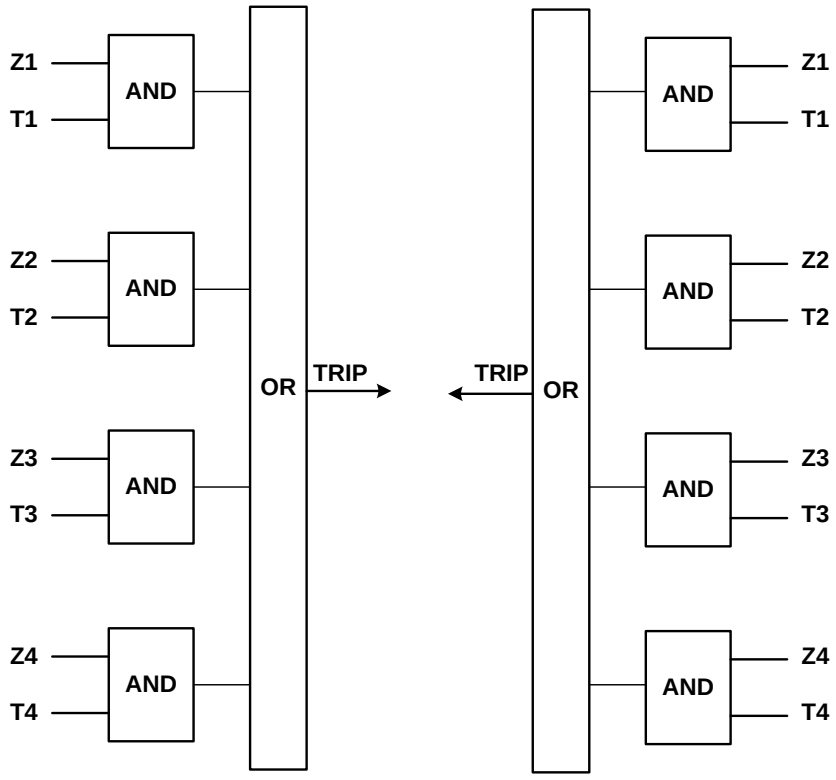
8-2-4 الوقاية المسافية و الاتصالات *Distance Scheme*

كل خط من الخطوط الموجودة فى منظومة القوى الكهربية يكون مركب علية جهاز وقاية مسافيه فى كل جهه بحيث يقوم هذا الجهاز بمراقبة دوائر التيار و الجهد لهذا الخط و بالتالى يقوم بقياس قيمة المعاوقة و تحديد ما إذا كانت هذه المعاوقة تمثل حالة حمل عادية أم حالة عطل و إذ ما كانت تعبر عن حالة عطل فلأي المراحل ينتمي هذا العطل و بالتالى إرسال إشارة فصل للقاطع الخاص بالخط بالجهة المركب عليها جهاز الوقاية المسافية و فى نفس الوقت يقوم جهاز الوقاية المسافية المركب على الخط من الجهة الأخرى بنفس الدور و بذلك يكون كل جهاز من الجهازين المركبين على الخط من الجهتين بالتعامل مع القاطع الموجود فى نفس الجهة فقط و فى هذه الحالة يعمل جهاز الوقاية المسافية بالنظام الأساسى Basic Scheme فقط. و لكن مع بعض الأعطال و التى تكون قريبة من أحد الجهتين فإنه من الممكن تصنيف العطل من جهاز الوقاية المسافية فى الجهة الأولى الأقرب للعطل على أنة مرحلة أولى و يعطى إشارة فصل بزمن هذه المرحلة على الجانب الآخر يكون تصنيف العطل من جهاز الوقاية المسافية فى الجهة الاخرى على أنة مرحلة ثانية و لا يقوم الجهاز بإرسال إشارة الفصل للقاطع إلا بعد مرور زمن المرحلة الثانية. و نظرا لانقطاع التغذية نتيجة فصل القاطع من الجهة الأولى فلا جدوى من استمرار القاطع الموجود فى الجهة الثانية فى الخدمة حيث انه فى هذه الحالة يقوم بتغذية العطل فقط و بالتالى فإنه من الأفضل فصل القاطع الموجود بالجهة الثانية لحظيا و عدم الانتظار لمرور زمن المرحلة الثانية مما يوفر الحماية للمهمات عن طريق تقليل زمن مرور تيار القصر فى تلك المهمات. يمكن تفعيل هذا الدور عن طريق أحد طرق الاتصالات التالية :

- Power Line Carrier (PLC).
- الألياف الضوئية Optical Fibers.
- أو أى طريقة أخرى من طرق الاتصالات.

وللتعرف أكثر على أهمية دور هذه الطرق فى تسريع عملية الفصل نقوم بدراسة النظام التالى المكون من خط AB بحيث يوجد جهاز وقاية مسافيه فى كل جهة من الجهتين وبفرض أن كل من هذين الجهازين يحتوى على أربعة مراحل منها ثلاث للأعطال الأمامية Z_1 ، Z_2 ، Z_3 والرابعة لتغطية الأعطال الخلفية Z_4 والرسم الموجود فى الشكل (4- 12) يوضح حالات الفصل للمراحل المختلفة لجهازي الوقاية المسافية A ، B واللذان يعملان بالنظام الأساسى Basic Scheme ومن الشكل يتضح لنا انه لحدوث عملية الفصل Trip فانه لابد من توافر الشرطين التاليين:

- وصول قيمة المعاوقة المقاسه عن طريق جهاز الوقاية المسافية إلى اقل من قيمة احد المعاوقات التى تم ضبط الجهاز عليها Z_1 ، Z_2 ، Z_3 ، Z_4.
- مرور زمن هذه المرحلة و بالتالى لا يوجد أى ارتباط بين الجهازين A ، B أى أن كل منهما يعمل بطريقة منفصلة عن الأخر وفى الأجزاء القادمة سوف نقوم بدراسة الطرق المختلفة لعملية الفصل عن طريق استخدام distance schemes.

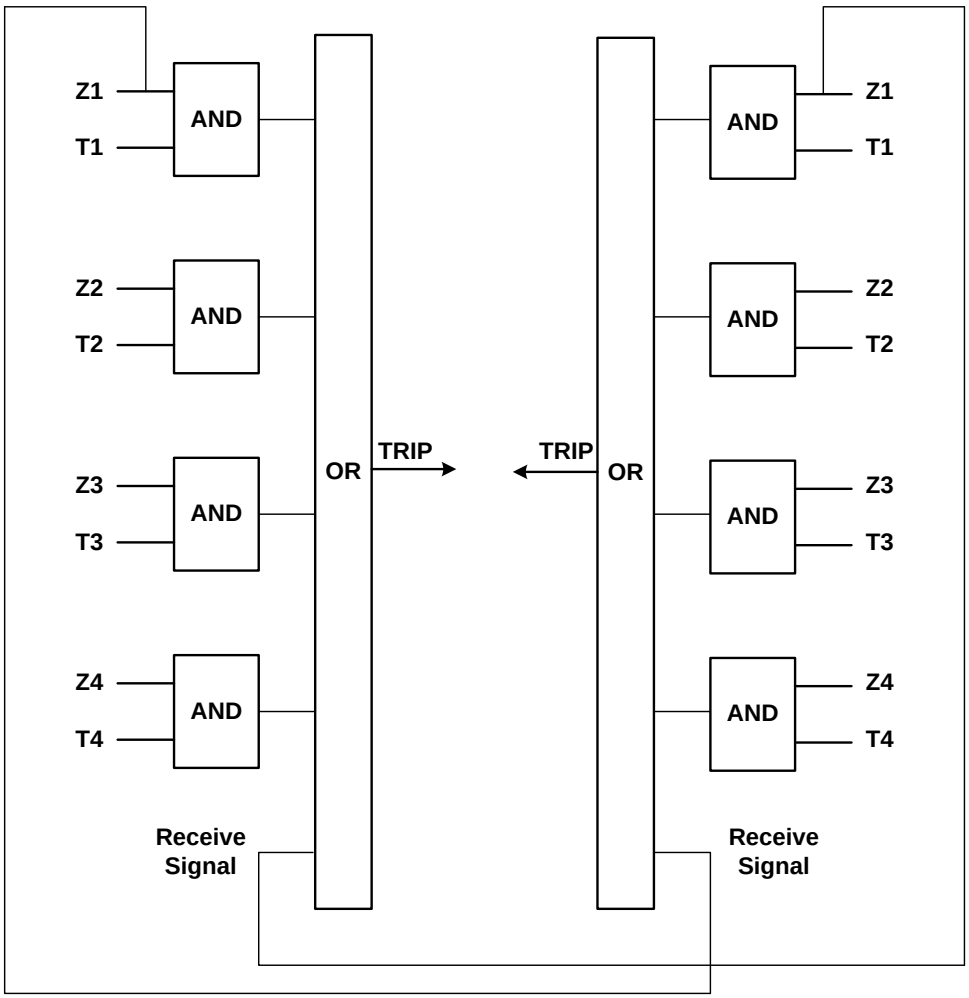


شكل (4-12) : مراحل الفصل بأجهزة الوقاية المسافية

1-8-2-4 Direct Transfer Trip (DTT)

يعتبر هذا النوع هو ابسط الأنواع بحيث يقوم جهاز الوقاية المسافية الموجود فى أى جهة من الجهتين بإرسال إشارة إلى الجهاز الأخر وذلك فى حالة الأعطال الموجودة فى المرحلة الأولى Z_1 ويقوم على اثر ذلك الجهاز الموجود فى الجهة الأخرى بإرسال إشارة فصل للقاطع مباشرة وحتى وان لم تقم دوائر القياس له بالإحساس بالعطل كما هو موضح بالشكل (4- 13) ومن مميزات هذه الطريقة سرعة الفصل بحيث تتم عملية فصل الخط من الجهتين فى حالة إحساس أحد جهازي الوقاية المسافية المركبين على جانبي هذا الخط و لا حاجة لإحساس الجهاز الأخر بالعطل لإتمام عملية الفصل ومن عيوب هذه الطريقة أنها غير آمنة بحيث انه فى حالة وجود عطل فى دوائر

الاتصالات فانه يمكن حدوث فصل خاطئ للخط و بالتالى فانه من الأفضل استخدام طريقة تعتمد على إحساس كلا الجهازين بالعطل لتلاشى الفصل الخاطئ الناتج عن مشاكل فى دوائر الاتصالات وبعض هذه الطرق سوف نقوم بدراسته فى الأجزاء القادمة.

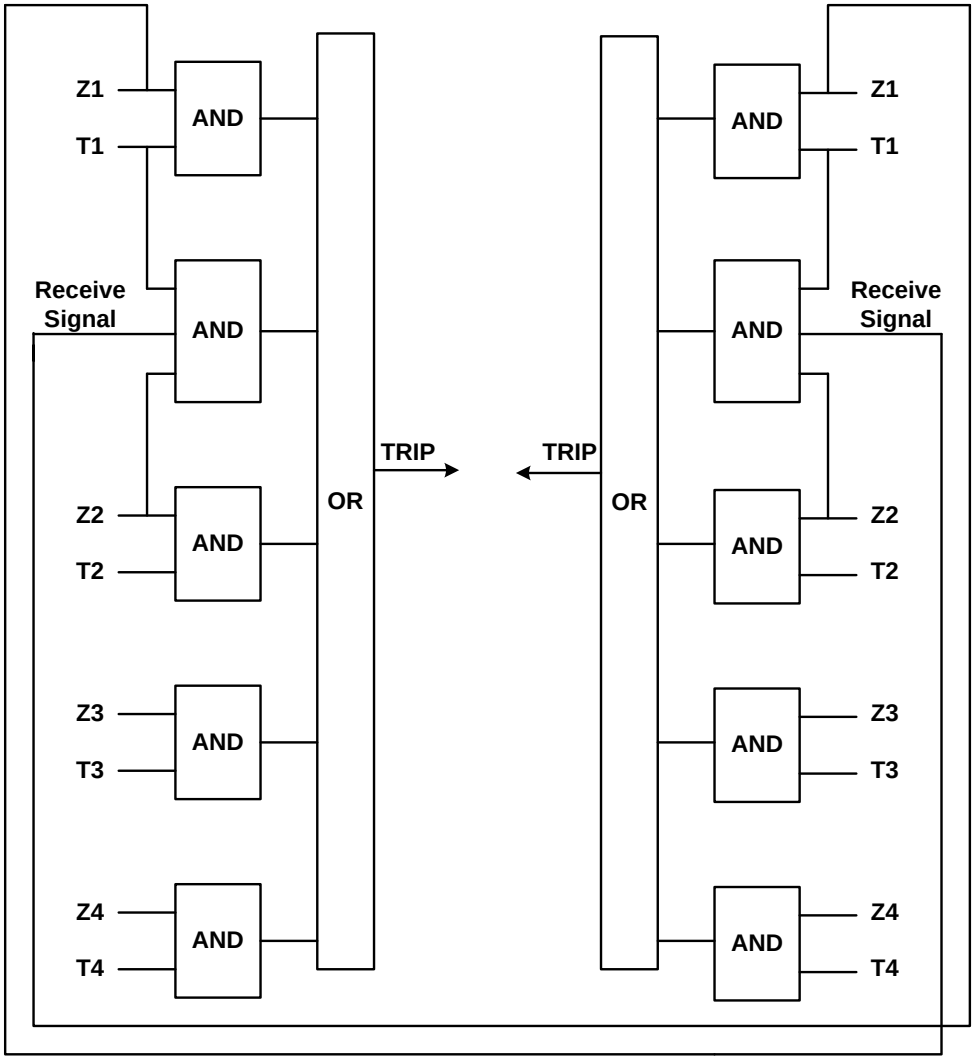


شكل 4-13 : Direct Transfer Trip

PUTT Permissive Under Reach Transfer Trip 2-8-2-4

إن كان الهدف الرئيسي للعاملين فى مجال الوقاية لمنظومات القوى الكهربية هو حماية المهمات والإفراد عن طريق الفصل السريع للمهمات التى عليها العطل فانه يوجد هدف أخر لا يقل أهمية عن الهدف السابق آلا وهو استمرار التغذية للمهمات السليمة والبعيدة عن منطقة العطل وبالتالي كان لابد من التأكد من وجود عطل فعلى لإتمام عملية الفصل وذلك يتم عن طريق التأكد من إحساس جهاز الوقاية المسافية المستقبل للإشارة بوجود عطل فعلى وذلك من خلال دوائر القياس لهذا الجهاز و بالتالى يلزم لإتمام الفصل عن طريق دوائر الاتصالات توافر الشروط التالية :

- إحساس احد الجهازين بالعطل على انه مرحلة أولى Z_1.
- إرسال إشارة إلى الجهاز الموجود فى الجانب الأخر.
- استقبال إشارة من الجانب الآخر.
- إحساس الجهاز الاخر ببداية اشتغال وغالبا ما تكون Z_2.
- مرور زمن المرحلة الأولى T_1 و بالتالى يقوم الجهاز فى هذه الحالة بالفصل بزمن المرحلة الأولى بدلا من زمن المرحلة الثانية كما هو موضح بالشكل (4- 14).



شكل 4-14 : Permissive Under Reach Transfer Trip

ملحوظة:

من الممكن أن تختلف بعض الشروط المستخدمة من منطقة إلى آخري وأيضا تبعا لنوع الجهاز المستخدم بحيث يمكن فى بعض الأحيان مثلا فى الخطوة رقم 4 استخدام Z_2 ، Z_3 وليس Z_2 فقط و لكن الذى يعنينا هنا فقط هو توضيح الفكرة الأساسية مع مراعاة الفروق بين الأجهزة المختلفة تبعا لكتالوج كل جهاز.

POTT Permissive Overreach Transfer Trip 3-8-2-4

تتشابه هذه الطريقة كثيرا مع الطريقة السابقة مع الاعتماد على إرسال الإشارة فى حالة حدوث عطل فى المرحلة الثانية بدلا من المرحلة الأولى و بالتالى فان شروط الفصل لهذه الطريقة هى:

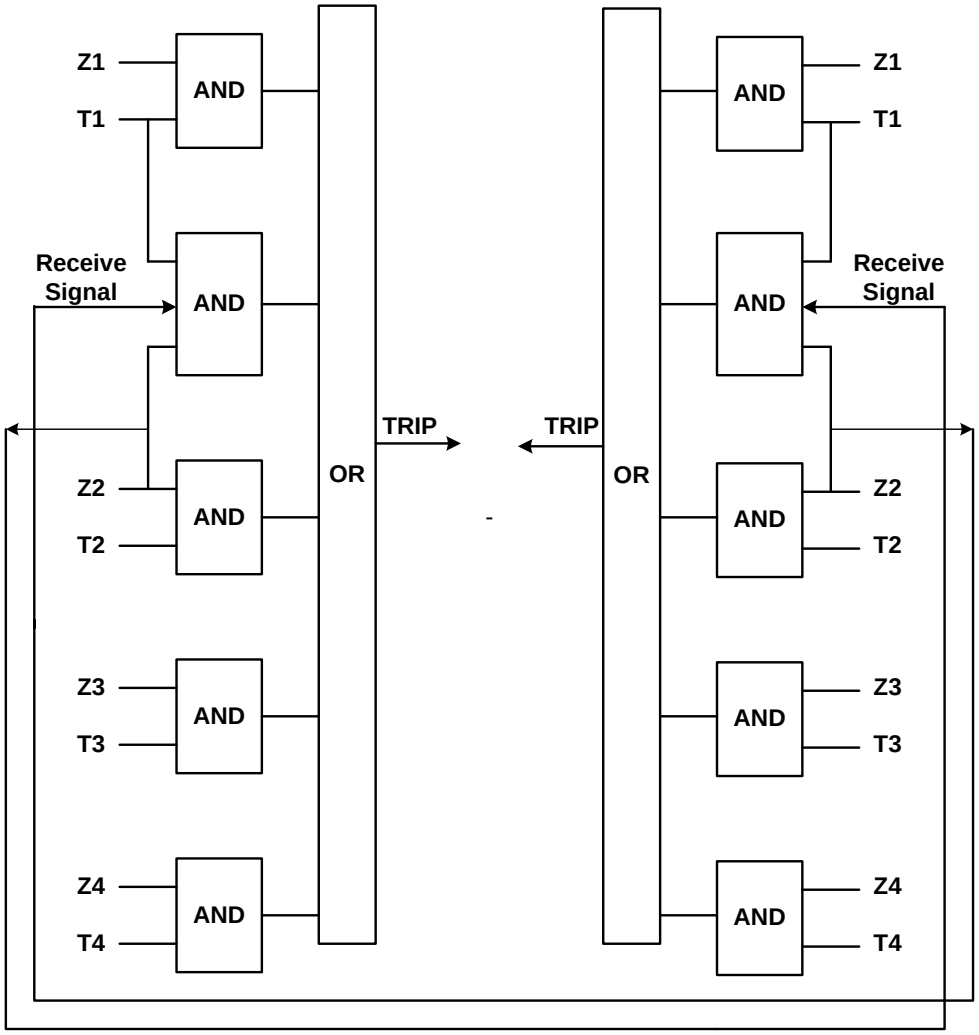
- إحساس احد جهازي الوقاية المسافية على جانبي الخط لعطل مرحلة ثانية Z_2.
- إرسال إشارة إلى الجهاز الموجود فى الجهة الأخرى.
- استقبال الإشارة من الجهاز الأخر.
- إحساس الجهاز الاخر ببداية اشتغال مرحلة ثانية Z_2.
- مرور زمن المرحلة الأولى T_1.

و بالتالى يقوم الجهاز بإرسال إشارة الفصل للقاطع بزمن المرحلة الأولى T_1 بدلا من زمن المرحلة الثانية T_2 كما هو موضح بالشكل (4-15).

ويكون استخدام هذه الطريقة غالبا ما إذا كانت Characteristic لجهاز الوقاية المسافية من النوع " Mho ".

ملحوظة:

فى بعض أجهزة الوقاية المسافية يوجد مرحلة مخصصة للاتصالات مثل Z_{1B} المستخدمه فى أجهزة الوقاية التابعة لشركة Siemens بدلا من استخدام Z_2.

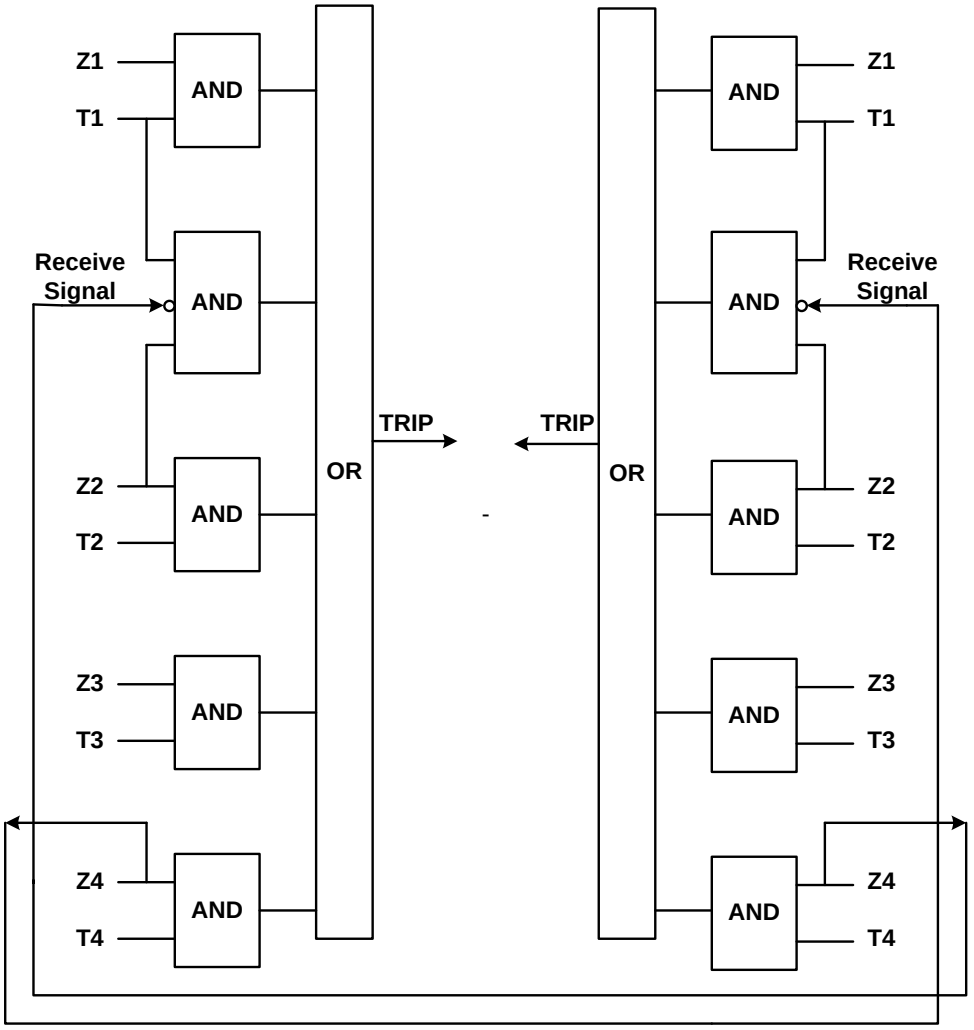


شكل 4-15 : Permissive Over Reach Transfer Trip

Blocking Scheme 4-8-2-4

فى هذه الطريقة يتم التأكد من أن العطل لم يقع خلف الخط ويتم التأكد من ذلك من عدم اشتغال المرحلة العكسية لجهاز الوقاية المسافية كما هو موضح بالشكل 4-16 بحيث تكون شروط عمل هذه الطريقة هى :-

- عدم اشتغال المرحلة العكسية Z_4 بحيث يتم إرسال إشارة من Z_4 ويتم إدخالها على بوابة not بحيث يكون المدخل الخاص بهذه الإشارة على بوابة And الخاصة بها دائما = 1 ما لم تعمل Z_4 لجهاز الوقاية المسافية من الجهة الأخرى.
- بداية اشتغال Z_2.
- مرور زمن T1 بحيث يقوم الجهاز بإرسال إشارة الفصل بعد مرور زمن T_1 بدلا من T_2.



شكل 4-16 : Blocking Scheme

4-2-9 الوظائف الإضافية لجهاز الوقاية المسافية

تتميز أجهزة الوقاية المسافية الرقمية الحديثة بإمكانية احتوائها على العديد من الوظائف والتي يمكن تفعيل أى منها فى حالة الحاجة إليها. يمكن تقسيم هذه الوظائف إلى عدة أقسام على حسب الدور الذى تقوم به فمنهما ما هو مرتبط بالقياس والمراقبة بحيث يمكن أن يعمل جهاز الوقاية المسافية كمبين لقيم التيار (أميتر) أو الجهد (فولتميتر) أو القدرة الفعالة والغير فعالة أو الظاهرية هذه الوظائف ما هو مرتبط بتحليل الأعطال وتحديد مكان العطل وتحديد الأوجه المشاركة فيه ومنها ما هو مرتبط بدوائر الاتصالات كما رأينا فى Distance Scheme وأيضا منها ما هو مرتبط بالوقاية بحيث يمكن أن يعمل جهاز الوقاية المسافية كجهاز وقاية ضد زيادة التيار أو التسرب الأرضي بنوعيهما الإتجاهي أو الغير إتجاهى ومن الممكن أن يعمل أيضا كجهاز وقاية ضد ارتفاع أو انخفاض الجهد ومن الممكن أن يعمل كجهاز وقاية ضد فشل القاطع (سوف نتعرض لتفاصيل

عمل هذا الجهاز مع الوقاية التفاضلية للقضبان) من الممكن أن يعمل أيضا فى حاله حدوث فتح لموصل خاص بأحد الأوجه مع عدم ملامسته لأي من الموصلات الأخرى سواء لوجه أخر أو للأرض Broken Conductor ويمكن أن يحتوى أيضا على خاصية تسريع عملية الفصل إذا كان هناك عطل أثناء عملية التوصيل SOTF وسوف نتعرض للنوعين الآخرين بالتفصيل لاحقا.

و بالإضافة إلى كل ذلك فمن الممكن أن يحتوى جهاز الوقاية المسافية على وظائف خاصة بالتحكم فى القاطع مثل إعادة التوصيل الأتوماتيكى Auto Reclosure والتأكد من التطابق Check Synchronism وأيضا سوف نتعرض لتفاصيل عمل هذه الوظيفة فى الأجزاء القادمة.

4-2-9-1 الوقاية ضد فتح الموصلات Broken Conductor

فى البداية لابد أن نعرف انه من الممكن أن يكون هناك جهاز وقاية خاص ضد فتح الموصل أو أن يكون موجود كوظيفة إضافية ضمن جهاز الوقاية المسافية على أية حال ففي الحالتين تكون فكرة العمل واحدة و لكى نفهم فكرة عمل هذا الجهاز فلابد من التعرف فى البداية على ما يسمى بالمركبات المتماثلة Symtrical Components.

و التى سوف نتناولها تفصيليا فى الملحق أ و لكن الذى يعنينا الآن هو معرفة أن :-

- فى حالة الاتزان و قبل حدوث أى عطل سواء كان قصر أو فتح لأي من الموصلات فإن المركبة الوحيدة الموجودة للتيار هو المركبة الموجبة.

  (Positive Sequence Component) (I_1)
- فى حالة حدوث فتح لأحد الموصلات فإنه يتولد المركبة السالبة للتيار.

  (Negative Sequence Component I_2)
- عن طريق مراقبة النسبة بين I_1&I_2 يمكن معرفة هل هناك فتح لأحد الموصلات أو لا بحيث تكون هذه النسبة = صفر فى الحالة العادية نظرا لعدم وجود المركبة السالبة I_2 و فى حالة حدوث فتح لأحد الموصلات تصبح لهذه النسبة قيمة أخرى غير القيمة الصفرية و التى يمكن استغلالها لعمل إنذار أو فصل للدائرة التى حدث عليها العطل.

4-2-9-2 التوصيل على عطل Switch ON to Fault

من الأعطال الشائعة فى منظومات القوى الكهربية هى إعادة توصيل احد الخطوط بعد الانتهاء من عملية الصيانة له بحيث يتم التوصيل من احد الجهتين قبل فصل التأريض الموجود فى الجهة الأخرى. ومن خلال دراستنا لمراحل عمل جهاز الوقاية المسافية فان هذا العطل يتم تصنيفه على انه مرحلة ثانية لجهاز الوقاية المسافية و بالتالى فان عملية الفصل سوف تتم بعد مرور زمن هذه المرحلة و الذى يعتبر كبير نسبيا خاصة مع القيم العالية لتيارات القصر.

تعتمد فكرة عمل هذه الوظيفة على تسريع عملية الفصل فى حالة التوصيل على قصر و تجنب عملية الفصل بتأخير زمنى وفى هذه الحالة يتم تحديد أى من مراحل الوقاية المسافية سوف تعمل معها هذه الخاصية وغالبا ما يكون عمل هذه الخاصية مرتبطاً باشتغال جهاز الوقاية المسافية مرحلة ثانية فقط أو أن تكون هناك مرحلة خاصة بهذه الوظيفة وتسمى Zone extension بحيث يمتد عمل المرحلة الأولى ليشمل جزء من المرحلة الثانية وغالبا ما يكون زمن الفصل لحظيا.

من الممكن أن يكون أداء هذه الوظيفة مرتبطا بقيم التيار فقط ففي حالة التوصيل على قصر وكانت قيمة هذا التيار عالية بحيث تتعدى قيم الضبط الخاصة لهذه الوظيفة فان عملية الفصل تكون لحظية مع عدم الانتظار حتى يمر الزمن الخاصة بوظيفة زيادة التيار من داخل جهاز الوقاية المسافية والتي من المعروف أنها تكون كبيرة جدا (وظيفة زيادة التيار فى هذه الحالة تعمل كوقاية احتياطية بتأخير زمني بعد مرور الزمن الخاص بجميع مراحل الوقاية المسافية).

ملحوظة:

يتم معرفة حدوث عملية التوصيل عن طريق توظيف احد الملامسات المساعدة من مفتاح التوصيل اليدوى للقاطع (Discrepancy Switch) وربطه بأحد (Binary Inputs) لجهاز الوقاية المسافية مع برمجته على هذه الوظيفة.

4-2-9-3 إعادة التوصيل الأتوماتيكى (Auto Reclosure (AR

يمكن تقسيم الأعطال فى منظومات القوى الكهربية من حيث زمن استمرار العطل إلى أعطال عابرة والتي لا تستمر إلى جزء صغير من الثانية ويمثل هذا النوع ما يقرب من 80% من إجمالي الأعطال التى تحدث والنوع الأخر هو الأعطال المستمرة وهذه تمثل تقريبا 20% من إجمالي الأعطال وبما أن فلسفة العمل للوقاية فى منظومات القوى الكهربية بأقصى سرعة عزل الجزء العاطل من المنظومة الكهربية بأقصى سرعة للمحافظة على استمرار التغذية الكهربية لباقى أجزاء

المنظومة فمن كل ما سبق فقد وجد انه من الأفضل إعادة التوصيل سريعا لتقليل زمن انقطاع التغذية بقدر الإمكان ولما كان الاعتماد على الجانب البشرى لإعادة التوصيل يستغرق وقتا كبيرا فقد وجد انه من الأفضل أن تكون عملية إعادة التوصيل أوتوماتيكيا لضمان توفير السرعة اللازمة خاصة وان الغالبية العظمى من الأعطال تكون من النوع العابر وهو ما دعا إلى استخدام خاصية التوصيل التلقائي سواء عن طريق جهازاً منفصلاً أو عن طريق خاصية التوصيل التلقائي من داخل جهاز الوقاية المسافية.

تعتمد فكرة عمل Auto Reclosure على إعادة التوصيل السريع مع أنواع معينة من الأعطال ولا تعمل مع باقي الأعطال فغالبا ما يكون عملها مرتبطا بالفصل مرحلة أولى لجميع الأعطال ماعدا العطل بالثلاث أوجه أو ثلاث أوجه مع الارضى و بالتالى يمكن تحديد شروط عدم إشتغال خاصية إعادة التوصيل التلقائى كالتالى :

- إذا كان العطل ثلاث أوجه أو ثلاث أوجه مع الارضى.
- إذا كان العطل فى أى مرحلة غير المرحلة الأولى.
- إذا كان الفصل بخاصية زيادة التيار أو التسرب الارضى من داخل جهاز الوقاية المسافية.
- إذا كان الفصل بخاصية SOTF.
- إذا كانت هناك أعطال فى دوائر الاتصالات.

ومن الممكن أن تكون عملية إعادة التوصيل التلقائي لوجه واحد أو الثلاث أوجه على حسب نظام العمل للمحطة ومن الممكن أن تكون عملية إعادة التوصيل إما لمرة واحدة أو أكثر على حسب النظام المتبع ولضمان صحة اشتغال الجهاز فلابد من مراعاة الدقة فى التعامل مع قيم الضبطيات لهذه الوظيفة و التى هى عبارة عن مجموعة من التأخيرات الزمنية (Time delays) وهى:

- Action Time

و الذى يبدأ مع بداية الاشتغال للعطل (Pick up) ويستمر لمدة زمنية معينة على حسب قيمة الضبط له وما لم يحدث فصل خلال تلك الفترة وغالبا ما تكون قيمة الضبط لها اقل من زمن اشتغال المرحلة الثانية لضمان عدم اشتغاله إلا مع المرحلة الأولى فقط 250 مللي ثانية.

- Dead TIME

و الذى يبدأ بنهاية إشارة الفصل ويستمر لمدة زمنية معينة على حسب قيم الضبط وفى نهايتها تبدأ عملية إعادة التوصيل عن طريق خروج إشارة (Close Command) ويكون هذا الزمن (300 : 500 مللي ثانية).

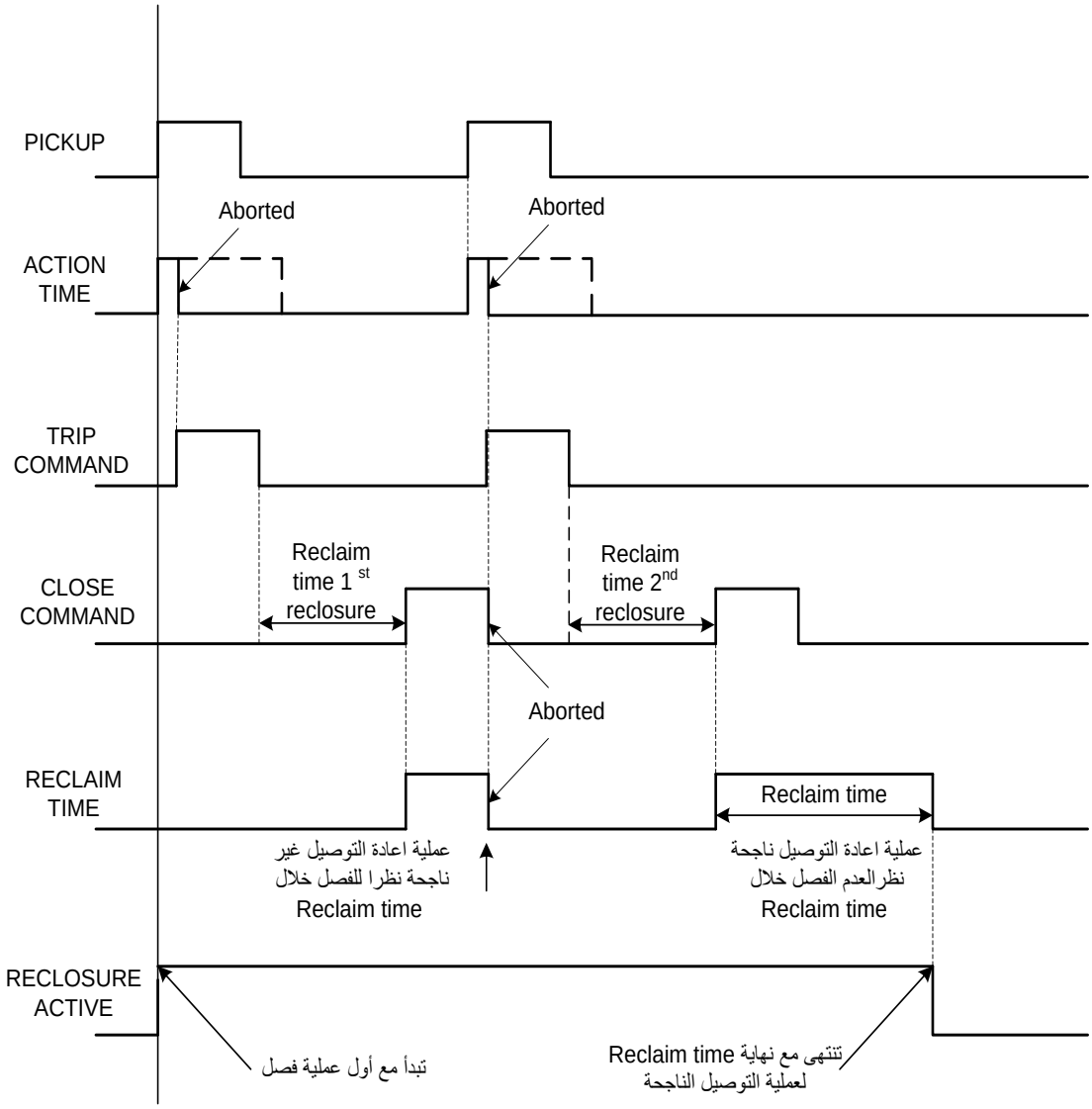
- Reclaim Time

يبدأ مع إشارة (Close Command) ويستمر لمدة معينة على حسب قيم الضبط ما لم يحدث فصل خلال هذه الفترة وفى حالة إذا ما حدث فصل خلالها فان يحدث Reset ويبدأ فى العد مرة أخرى مع إشارة التوصيل الثانية (وذلك إذا كان جهاز التوصيل التلقائي لمرتين أو أكثر) وغالبا ما يكون هذا الزمن كبير (30 ثانية : 200 ثانية).

- Block Time

هذا الزمن خاص بعمل Block لخاصية التوصيل التلقائي بداية من التوصيل اليدوى ولمدة معينة لضمان عدم الاشتغال مع خاصية SOTF (≤ 10 ثانية).

الرسم الموجود فى الشكل رقم (4–17) يوضح بداية ونهاية الاشتغال وذلك بفرض أن جهاز التوصيل التلقائي يعمل لمرتين.



شكل 4 – 17 : التوصيل التلقائي للخطوط

ملحوظة:

فى هذه الحالة تم استخدام خاصية Action Time لضمان اشتغال النظام مع الأعطال فى المرحلة الأولى فقط ولكن يوجد أنواع أخرى من أجهزة الوقاية المسافية والتي يتم فيها تحديد المراحل التى يعمل معها نظام التوصيل التلقائي دون الحاجة لتحديد زمن معين مثل المستخدم مع Action Time.

4-9-2-4 التأكد من التوافق Check Synchronization

لإتمام عملية التوصيل لاى دائرة نفرض انه قد تم توصيلها من الجهة الأخرى توصيلا كاملا (سكينة الخط و سكينة قضبان و القاطع) وقد تم توصيل سكينتي الخط والقضبان من داخل المحطة التى يتم فيها دراسة مدى وجود التوافق بحيث يكون هناك جهدين مختلفين على طرفي القاطع احدهما هو جهد القضبان داخل المحطة والأخر هو الجهد الموجود على الدائرة من الجهة المقابلة ولكي تتم عملية التوصيل لابد من وجود توافق بين الجهدين الموجودين على طرفي القاطع ولكي يحدث التوافق فلابد إن يكون:

- الفرق في الجهد بين الطرفين اقل من قيمة معينة وهى قيمة Setting.
- الفرق في الزاوية بينهما اقل من قيمة معينة.
- الفرق في التردد اقل من قيمة Setting.

وفى حالة توافر الشروط الثلاث فلا مانع من إمكانية توصيل القاطع ومن الممكن إن تتم هذه الدراسة من خلال جهاز خاص أو من خلال جهاز الوقاية المسافية بحيث يتم التأكد تلقائيا من توفر كل هذه الشروط قبل إتمام عملية التوصيل اليدوي أو التوصيل التلقائي للقاطع الخاص بالدائرة.

3-4 جهاز الوقاية التفاضلية للخطوط والكابلات

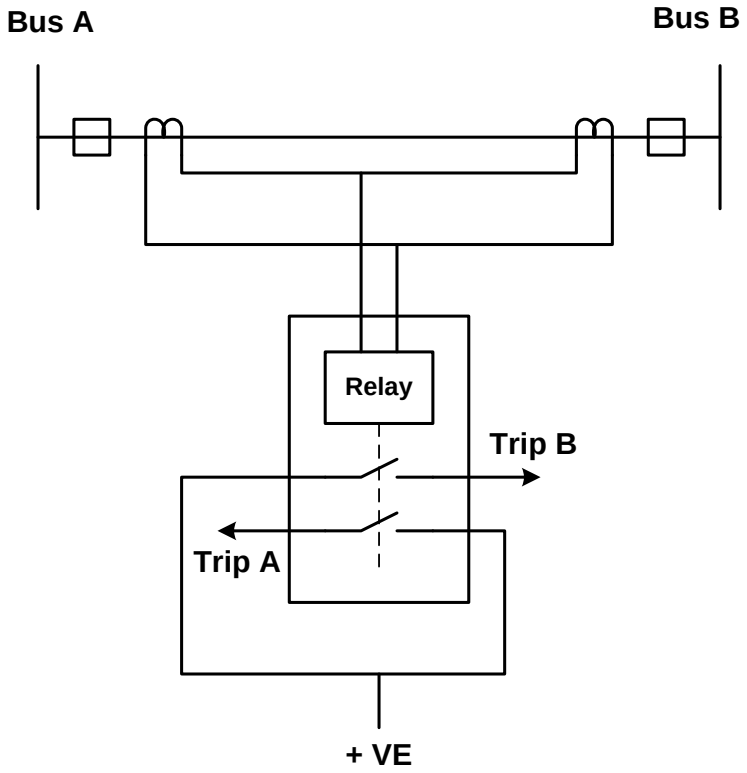
Line Differential Protection

لقد تعرفنا من خلال دراستنا السابقة على فكرة عمل جهاز الوقاية المسافية ومراحل عمل هذا الجهاز والذي يعتبر وقاية أساسية في المرحلة الأولى له والتي يكون زمن الاشتغال فيها لحظيا يعتبر كوقاية احتياطية في باقي المراحل والتي يكون اشتغالها بتأخير زمني معتمدا على مسافة العطل والتي غالبا ما تكون في احد الخطوط الأخرى غير المركب علية جهاز الوقاية المسافية على الرغم من المزايا العديدة لجهاز الوقاية المسافية إلا انه قد يكون عمله قاصرا في بعض الحالات جهاز الوقاية التفاضلية للخطوط تكون لدية القدرة على التعامل مع الأعطال التي قد يفشل جهاز الوقاية المسافية في التعامل معها مثل الخطوط القصيرة أو في حالة الكابلات والتي تكون قيمة المعاوقة صغيرة جدا وفى حالة الخطوط التي تحتوى على أحمال في منتصف الخط (3-ended lines) وفى حالة الخطوط التي تحتوى على معوضات موصلة على التوالي مع الخط (Series Compensation) وأيضا له القدرة على التعامل مع الأعطال التي تكون فيها مقاومة العطل كبيرة.

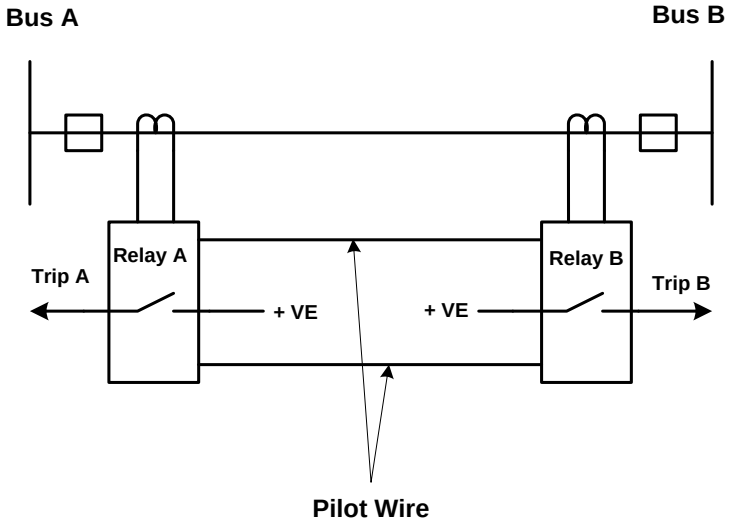
1-3-4 أساس عمل جهاز الوقاية التفاضلية للخطوط

- تعتمد فكرة عمل جهاز الوقاية التفاضلية للخطوط على قانون التيار لكيرشوف ولا يحتاج إلى دوائر جهد ثانوية في عمله ولذلك يطلق عليه (Only Current Protection).
- نظام الوقاية التفاضلية للخطوط يحتوى على جهاز في كل جهة من الخط المراد حمايته على إن يكون هناك وسط لنقل الإشارة بين الجهازين مثل Pilot wires أو Optical fibers أو أى وسيلة أخرى للاتصال في حالة اشتغال النظام فانه يقوم بإرسال إشارة فصل للقاطع من الجهتين.
- نظام الاتصال بين جهاز الوقاية التفاضلية للخطوط يكون عرضة لحدوث فتح أو قصر وبالتالي فلابد من عمل ملاحظة Supervision للإحساس بالأعطال التي من الممكن حدوثها.
- المسافة بين جهازي الوقاية التفاضلية للخطوط قد تكون صغيرة بحيث لا يكون هناك ضرورة لاستخدام Pilot wire كما هو موضح بالشكل (4 – 18) وفى هذه الحالة يكون هناك جهاز وقاية واحد أو قد تكون هذه المسافة كبيرة بحيث يكون هناك حاجة إلى وسيلة

للربط بين الجهتين مثل Pilot wire وجهازين وقاية تفاضلية للخطوط بواقع جهاز في كل جهة كما هو موضح بالشكل (4 – 19).

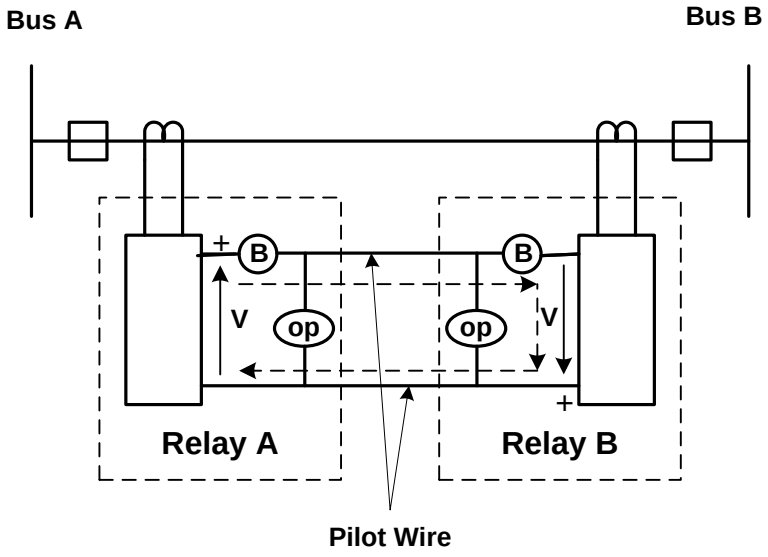


شكل 4 – 18 : الوقاية التفاضلية للخطوط باستخدام جهاز واحد

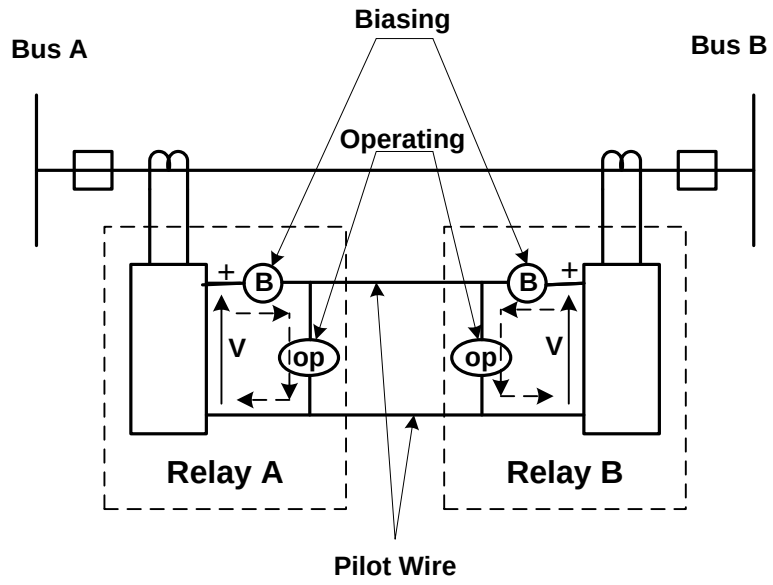


شكل 4 – 19 : الوقاية التفاضلية للخطوط باستخدام جهازين

ولدراسة طبيعة جهاز الوقاية التفاضلية للخطوط في الظروف المختلفة فيوجد ثلاث حالات وهى حالة الحمل العادي وحالة الأعطال الخارجية وحالة الأعطال الداخلية وتتشابه الحالتين الأولى والثانية من حيث اتجاهات التيارات المصاحبة للعطل في الحالتين وعلى الرغم من كبر قيمة التيار في الحالة الثانية إلا انه يظل جهاز الوقاية متزنا ولا يقوم بالاشتغال نظرا لمرور التيار في ملف Biasing وعدم مروره في ملف الاشتغال (Operating) كما هو موضح بالشكل (4-20)أما في الحالة الثالثة والتي يكون فيها العطل داخل منطقة عمل الجهاز فان احد التيارين يكون اتجاه مروره عكس الحالة الثانية مسببا اشتغال جهاز الوقاية نظرا لمرور التيار في ملف التشغيل مما يؤدى إلى فصل الخط من الجهتين كما هو موضحا بالشكل (4 – 21).



شكل 4- 20 : الوقاية التفاضلية للخطوط مع الأعطال الخارجية



شكل 4- 21 : الوقاية التفاضلية للخطوط مع الأعطال الداخلية

4-3-2 أسباب الاشتغال الخاطئ لجهاز الوقاية التفاضلية للخطوط

التيار المار فى ملف التشغيل فى الوضع العادي أو في حالة الأعطال الخارجية من المفترض إن يكون مساويا للصفر ولكن واقعيا هذا التيار قد تكون له قيمة أخرى اكبر من الصفر وقد يكون هذا ناتجا عن Capacitive Current أو وجود أحمال في منتصف المسافة للخط Tapped load أو التأخير الزمني للاتصالات Channel time delay errors أو قد يكون ذلك بسبب دخول احد محولات التيار في مرحلة التشبع Saturation.

- بالنسبة Capacitor Current وهو مرور تيار سنوي ناتج من تأثير المكثفات المتولدة بين Pilot wire مع موصلات الضغط العالي ويكون هذا التيار كبيرا جدا في حالة الكابلات الأرضية عنة في حالة الخطوط الهوائية ويمكن التغلب على هذه المشكلة بطريقتين إما عن طريق رفع قيم الضبط للتيار عن أقصى تيار سعوى متوقع وإما عن طريق الاعتماد على المركبة الصفرية أو السالبة للتيار حيث هاتين المركبتين صغيرتين جدا للتيار السعوى بالمقارنة بالمركبة الموجبة وبالتالي يمكن استخدام احدهما بدلا من استخدام تيار الوجه Phase Current.

- أما في حالة ما إذا كان الخط يحتوى على حمل في المسافة المحصورة بين بدايته ونهايته فانه يمكن التغلب على هذه المشكلة بنفس الطريقة السابقة ولكن في هذه الحالة تكون قيم الضبط للتيار اعلي من أقصى تيار متوقع للحمل.
- يمكن استخدام زيادة التيار كشرط إضافى لضمان عدم الاشتغال الخاطئ في حالة حدوث عطل في دوائر الاتصالات.
- لابد من اختيار قنوات الاتصال Communication Channels بين الجهازين بكل دقة وبحيث يكون زمن وصول الإشارة من الجهاز الأول إلى الثاني هو نفسه الزمن اللازم لوصول الإشارة من الجهاز الثاني إلى الأول حتى لا يقوم الجهاز بالاشتغال الخاطئ.
- لابد من اختيار محولات التيار بعناية بحيث تكون قيمة Knee Point Voltage لها كبيرة تجنبا لدخول محول التيار في مرحلة التشبع Saturation.

الفصل الخامس

وقاية المحولات

الفصل الخامس

وقاية المحولات

5-1 مقدمة

يعتبر المحول الكهربي فى محطات المحولات هو العنصر الأكثر أهمية و الأغلى سعرا بين جميع مهمات المحطة مما يفسر وجود العدد الكبير من أجهزة الوقاية المركبة على المحول. تختلف هذه الأجهزة عن بعضها البعض تبعاً لطبيعة الأعطال التى تتعامل معها و المنطقة التى ستقوم بتغطيتها و سوف نتناول هذه الأجهزة بالتفصيل فى الأجزاء القادمة.

5-2 أجهزة الوقاية للمحولات

أجهزة الوقاية ضد زيادة التيار و التسرب الارضى بنوعيه الإتجاهي و الغير إتجاهى من أكثر الأجهزة شيوعاً فى منظومات القوى الكهربية و التى يتم إستخدامها مع المحولات الكهربية و لكن من دراستنا السابقة عرفنا انه غالباً ما يكون عمل هذه الأجهزة مرتبطاً بتأخير زمني حتى يعطى الفرصة للأجهزة على المهمات الأقرب للعطل (مغذيات الخروج فى هذه الحالة) للتعامل مع العطل و الفصل بسرعة لضمان استمرار التغذية من المحول لباقى الأحمال و بالتالى فإن أجهزة الوقاية ضد زيادة التيار و التسرب الارضى تعتبر من أجهزة الوقاية الاحتياطية بالنسبة للمحولات و مما سبق يتضح لنا أنه لابد من توافر أجهزة أخرى تعمل فى حالة الأعطال الأكثر قرباً (و بالتالى الأكثر خطورة) من المحول و من المتوقع أن يكون عملها أكثر سرعة (أقل زمناً) من أجهزة الوقاية ضد التيار و التسرب الارضى و هى تمثل الوقاية الأساسية للمحول فى هذه الحالة. أجهزة الوقاية الأساسية للمحولات تنقسم إلى نوعين أساسيين أحدهما يكون عمله بناءً على الإحساس بأحد الظواهر الكهربية و هو التيار الكهربي فعندما تزيد قيمته فيؤدى هذا إلى فصل المحول من جميع الجهات و لهذا سمى هذا النوع بالوقايات الكهربية و يشمل جهاز الوقاية التفاضلية و جهاز الوقاية ضد التسرب الارضى المقيد كوقاية أساسية بالإضافة إلى أجهزة الوقاية ضد زيادة التيار و التسرب الارضى.

أما النوع الثانى من أجهزة الوقاية الأساسية للمحولات فيكون إحساسه مرتبطاً بأحد الظواهر الميكانيكية مثل زيادة الضغط أو إرتفاع درجة الحرارة و من أمثلة هذه الأجهزة:

- الوقاية الغازية Buchholz Relay
  - للتنك الرئيسي للمحول
  - لمغير الجهد
- الوقاية ضد زيادة الضغط Pressure Relief
  - للتنك الرئيسي للمحول
  - لمغير الجهد
- زيادة درجة الحرارة
  - للملفات
  - للزيت

5-2-1 الوقاية التفاضلية

تعتمد فكرة عمل جهاز الوقاية التفاضلية على عمل مراقبة للمحصلة الاتجاهية لتيارين أو أكثر وتكون هذه المحصلة تقريباً صفر فى الحالة العادية و تزداد هذه القيمة فى حالة حدوث عطل و فى حالة وصول هذه المحصلة إلى قيمة الضبط مما يؤدى ذلك إلى اشتغال جهاز الوقاية التفاضلية الذى يقوم بدوره بفصل قواطع المحول من جميع الجهات و يوجد نوعين من أجهزة الوقاية التفاضلية أحدهما تعتمد فكرة عملةعلى المعاوقة العالية (High impedance differential protection) أما النوع الاخرفتعتمد فكرة العمل له على المعاوقة الصغيرة (Low impedance differential protection) و غالباً ما يكون جهاز الوقاية التفاضلية للمحولات من هذا النوع و سوف نقوم بشرح تفاصيل عمل هذا الجهاز فى الأجزاء القادمة.

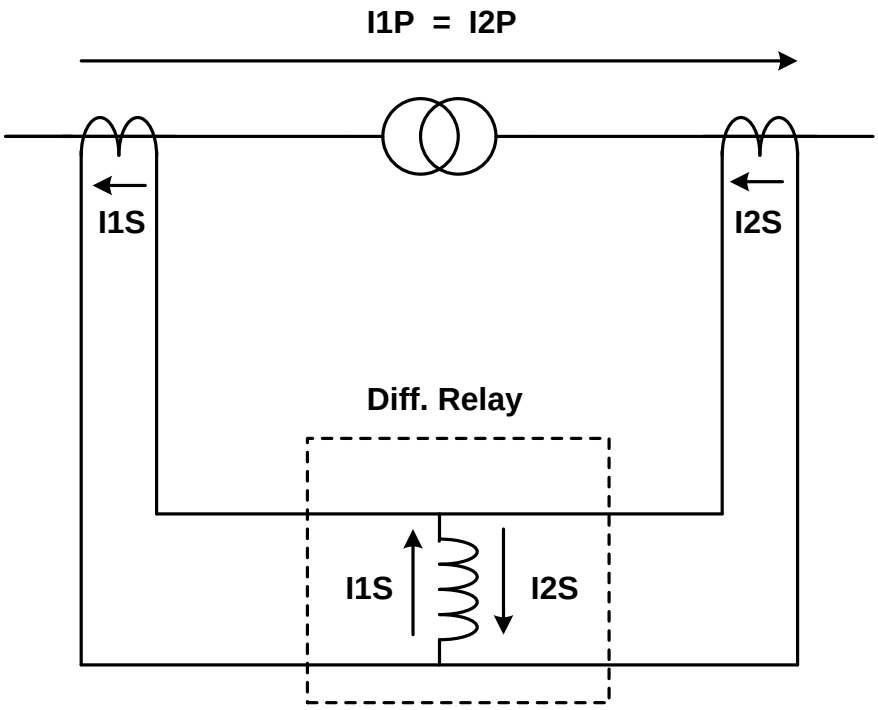
5-2-1-1 جهاز الوقاية التفاضلية للمحولات

جهاز الوقاية التفاضلية للمحول الكهربي يقوم بإيجاد المحصلة الاتجاهية للتيارات المارة فى المحول من جميع الجهات و تكون هذه المحصلة مساوية للصفر فى وضع الاتزان قبل حدوث العطل و إذا ما حدث عطل فإن محصلة هذه التيارات تصبح لها قيمة أخرى غير الصفر و يتم مقارنة هذه المحصلة بالقيمة التى تم ضبط الجهاز عليها (setting) و إذا كانت قيمة المحصلة أكبر

من قيمة setting فإن جهاز الوقاية التفاضلية يقوم بالاشتغال و إرسال إشارة فصل لقواطع المحول من جميع الجهات.

5-2-1-2 أساس عمل جهاز الوقاية التفاضلية للمحولات

دعونا فى البداية نفترض المثال التالى لمحول قدره بحيث تكون نسبة التحويل له هى 1:1 و التوصيلة هى (star\star) و كانت له نفس نسبة تحويل محولات التيار من الجهتين كما هو موضح بالشكل (5-1) و التى يكون فيها قيمة التيار المار فى الملف الإبتدائى مماثله تماماً لقيمة التيار المار فى الملف الثانوي لمحول القدرة و بالتالى تتساوى قيمة التيارين المارين فى الملف الثانوي لمحولي التيار من الجهتين I_2،I_1 و بالتالى فإن محصلة التيارين و التى تمر فى ملف التيار للوقاية التفاضلية هى صفر و ذلك فى وضع الحمل العادي أى قبل حدوث العطل.

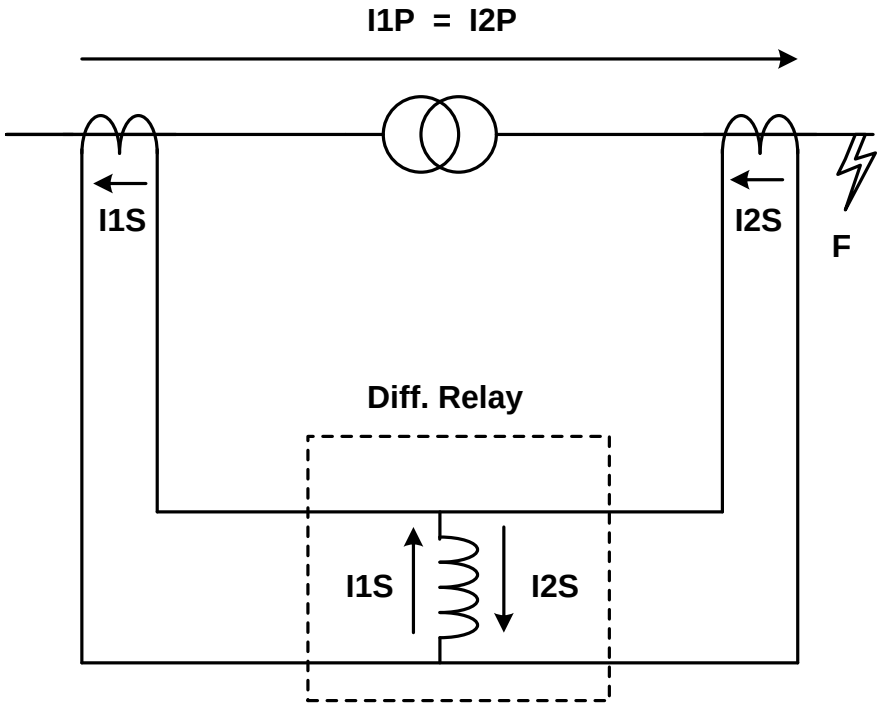


شكل(5-1) : جهاز الوقاية التفاضلية للمحولات

5-2-1-3 الأعطال الخارجية فى الوقاية التفاضلية

نفترض نفس المثال السابق مع حدوث عطل F كما هو موضح بالشكل رقم (5-2) فى هذه الحالة فإن قيمة التيار بين I_2،I_1 سوف تزداد جداً بالمقارنة بالحالة السابقة و لكن يظل التياران متساويين و من ثم فإن محصلتها المارة فى ملف التيار للوقاية للتفاضلية تكون أيضاً مساوية للصفر و بالتالى لا

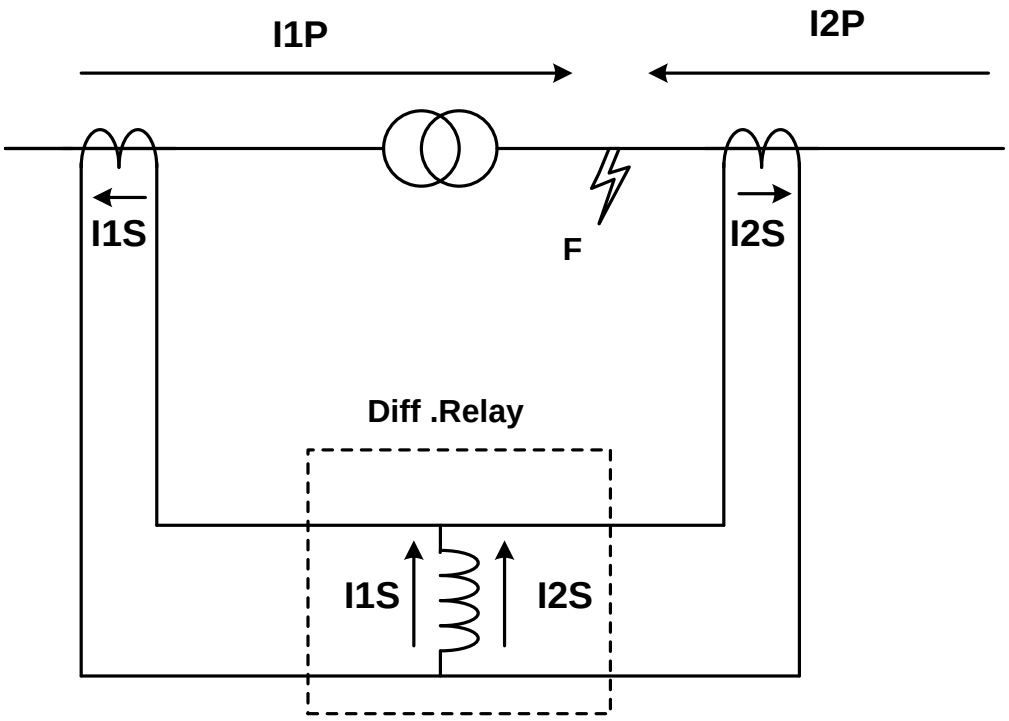
يحدث اشتغال لجهاز الوقاية التفاضلية و لكن فى هذه الحالة من المتوقع اشتغال لأجهزة الوقاية الأخرى بتأخير زمني مثل جهاز الوقاية ضد التيار أو التسرب الارضى.



شكل5-2 : الأعطال الخارجية لجهاز الوقاية التفاضلية

5-2-1-4 الأعطال الداخلية فى الوقاية التفاضلية

نفترض هنا المثال السابق مع حدوث العطل F قبل محول التيار كما هو موضح بالشكل (5-3) و هنا سوف نقوم باستعراض لحالتين محتملتين هما إما أن تكون التغذية فى اتجاه واحد فقط (Radial) و بالتالى فإن I_1 سوف تكون له قيمة بينما فإن I_2 تكون قيمته صفر و بالتالى تكون المحصلة مساوية I_1. و أما فى الحلة الثانية نفترض وجود مصدر تغذية ثانٍ (فى حالة توصيل رابط القضبان بين محولين و تكون هذه التغذية مصدرها المحول الآخر) فإن المحصلة فى هذه الحالة تزيد عن الحالة الأولى و تصبح مساوية ل I_1+I_2 وفى كل من الحالتين فإن جهاز الوقاية التفاضلية يقوم بالاشتغال و إرسال إشارة فصل للقاطعين الخاصين بالمحول من الجهتين.



شكل 5-3 : الأعطال الداخلية لجهاز الوقاية التفاضلية

ملحوظة:

من الأمثلة السابقة يتضح لنا أن منطقة عمل جهاز الوقاية هى المنطقة المحصورة بين محولي التيار للمحول من الجهتين و إذا ما كان العطل واقعاً فى هذه المنطقة فإن جهاز الوقاية التفاضلية يقوم بالاشتغال و فى حالة حدوث العطل خارج هذه المنطقة فإنه لا يحدث اشتغال لجهاز الوقاية التفاضلية.

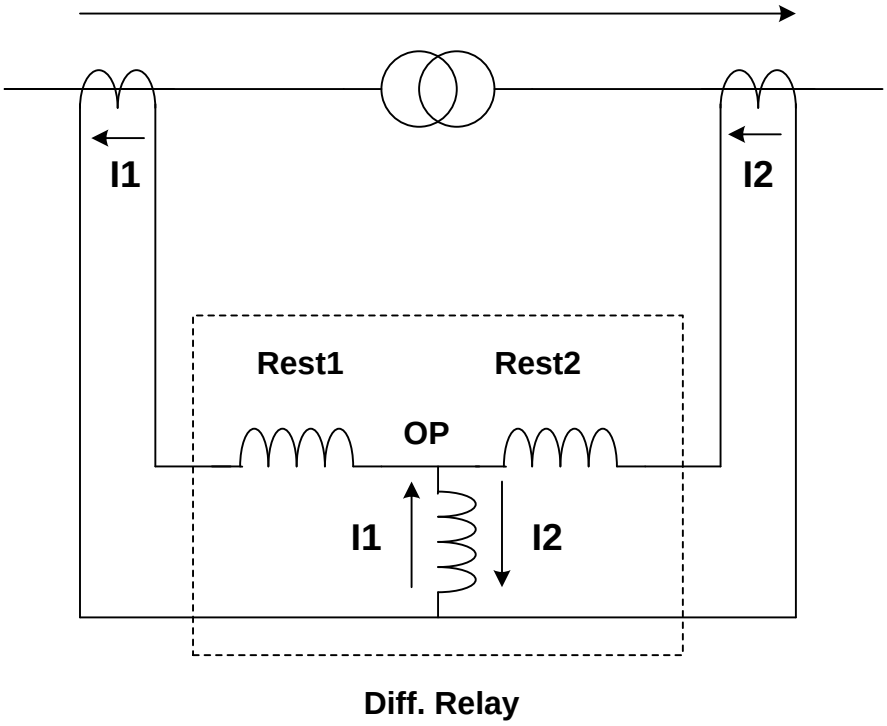
Biased Differential Relay 5-1-2-5

أثناء دراستنا للأمثلة السابقة فرضنا أن نسبة تحويل محول القدرة هى 1:1 و أن نوع التوصيلة هو (star\star) و أن محولي التيار من الجهتين لهما نفس نسبة التحويل و كل هذه الفروض ليست واقعية من الناحية العملية و لكن لابد أن يكون هناك اختلاف بين قيمة الجهد للملف الابتدائي لمحول القدرة عن قيمة الجهد للملف الثانوي و أيضاً من الممكن أن يكون هناك اختلاف فى الزاوية بين الملفين و ذلك يتبعه تغيير فى نسبة التحويل ونوع التوصيل لمحولات التيار حتى تتماشى مع مواصفات محول القدرة المركب عليه جهاز الوقاية التفاضلية.

بعد دراستنا لكل الظروف السابقة و على الرغم من أخذ كل هذه الفروض فى الاعتبار إلا أنه من الممكن وجود تيار بسيط يمر بملف التيار للوقاية التفاضلية و غالباً ما يكون بسبب وجود مغير الجهد و بالتالى فإن هذا التيار البسيط قد يزداد أو يقل على حسب خطوة مغير الجهد قيمة هذا التيار قد تزداد كثيراً مع حدوث الأعطال الخارجية مما يؤدى إلى الاشتغال الخاطئ لجهاز الوقاية التفاضلية ولتلاشى الوقوع فى هذه المشكلة و لزيادة اتزان الوقاية التفاضلية فإنه يتم توصيل ملفين آخرين (Restraining or Biasing Coils) واحد فى كل جهة من ملف التشغيل Operating (Coil) كما هو مبين فى الشكل (5-4). هذين الملفين (Restraining Coils) سوف يقومان بعمل مقاومة لملف التشغيل(Operating Coil) ولا يحدث اشتغال للجهاز إلا إذا كانت Operating Force أكبر من Restraining Force.

ملحوظة:

فى أجهزة الوقاية الرقمية الحديثة يتم ضبط هذه القيم من خلال البرمجة.



شكل 5-4 : Biased Differential Relay

5-2-1-6 مثال عملي للوقاية التفاضلية

للتأكد من سلامة أداء جهاز الوقاية التفاضلية للمحول فلابد من توافر بعض البيانات الخاصة بمحول القدرة مثل قدرة المحول و الجهد الإبتدائى و الثانوي له و المجموعة الاتجاهية له و البيانات الخاصة لمحولي التيار من الجهتين مثل نسبة التحويل و جهة التأريض. معظم أجهزة الوقاية التفاضلية الحديثة من النوع الرقمي بحيث يتم إدخال كل البيانات السابقة للجهاز حتى يقوم بالاشتغال بصورة سليمة إلا أنه من الأفضل التعرف بصورة أكثر قرباً على طريقة التعامل مع الأجهزة الأقدم و التى يتضح من خلالها كثير من الحسابات التى تتم داخل الأجهزة الحديثة و سوف نقوم بدراسة ذلك فى المثال القادم:

مثال 5-1

نفترض أننا نريد أن نقوم بعمل التوصيلات الثانوية الخاصة بجهاز الوقاية التفاضلية المركب على محول قدرة بالمواصفات التالية:

قدرة المحول : 25 MVA

نسبة التحويل : 66/11 KV

المجموعة الاتجاهية : ΔY_{11}

نسبة تحويل محول التيار من جهة الملف

الإبتدائى : 400/5

الثانوي : 1500/5

الحل:

لعمل التصميم اللازم للتوصيلات الثانوية للتيار كما هو موضح بالشكل (5-5)، التيار المار فى الملف الثانوي لمحول القدرة يكون متخلفاً عن التيار المار فى الملف الإبتدائى بزاوية مقدارها 180° و لذلك يلزم تلاشى هذا الفرق عن طريق تأريض أحد محولات التيار جهة المحول على أن يكون تأريض محول التيار الآخر جهة القضبان ففي هذا المثال يكون تأريض محول التيار جهة الملف الإبتدائى ناحية المحول و يكون تأريض محول التيار جهة الملف الثانوي ناحية القضبان.

المجموعة الاتجاهية لمحول القدرة هى (ΔY_{11}) و بالتالى فإنه يوجد اختلاف فى الزاوية مقداره 30° فلابد من تلاشيها فى التوصيلات و ذلك يتم عن طريق استخدام محول تيار مساعد (matching) و فيه أيضاً يتم ضبط التيار الداخل لجهاز الوقاية التفاضلية بحيث يكون متساوي فى الجهتين و ذلك فى وضع الاتزان.

$$P = \sqrt{3} * VI$$

$$\mathrm{I_{66P}} = \frac{25 * 10^6}{\sqrt{3} * 66 * 10^3} = 218.69\mathrm{A}$$

$$\mathrm{I_{66S}} = \frac{I_{66P}}{\left(\frac{400}{5}\right)} = 2.73\mathrm{A}$$

$$I_{11P} = \frac{25 * 10^6}{11 * 10^3 * \sqrt{3}}$$

$$I_{11S} = \frac{I_{11P}}{\left(\frac{1500}{5}\right)} = 4.37$$

و لكى يحدث الاتزان فلابد من تساوى التيارين الداخلين لجهاز الوقاية التفاضلية من الجهتين و هو يساوى 2.73 A

و لكن التيار الداخل إلى matching هو $\mathrm{I_{11s}}$

$$\mathrm{I_{11s}} = 4.37A$$

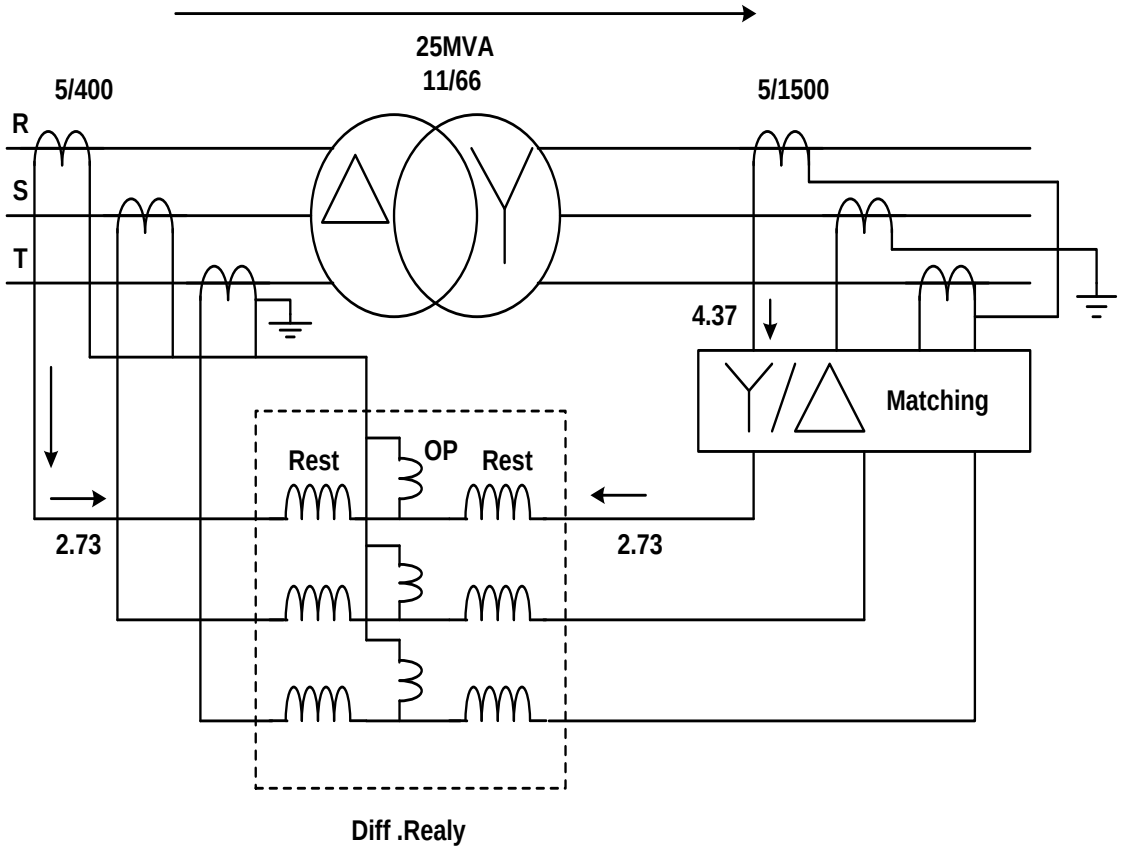
و لابد أن يتم توصيل matching (Delta\Star) لكى يتم ملاشاة الزاوية الموجودة فى محول القدرة

$$\therefore I_{S-matching} = \frac{I_{line}}{\sqrt{3}}$$

$$\frac{I_{P-Matching}}{I_{S-Matching}} = \frac{4.37}{\left(\frac{2.73}{\sqrt{3}}\right)} = \frac{4.37}{1.579}$$

$$\frac{N_{P-Matching}}{N_{S-Matvhing}} = \frac{1.579}{4.37} \cong 0.36$$

و بالتالى فلابد من اختيار matching بحيث تكون نسبة عدد لفات الملف الإبتدائى إلى الملف الثانوي هى 0.36 أو أقرب عدد من الملفات لهذه النسبة وهذه أحد العيوب الأجهزة الإلكتروميكانكية لأنه قد يصعب الحصول على النسبة المطلوبة مما يؤدى إلى مرور تيار فى التشغيل لجهاز الوقاية التفاضلية فى الوضع العادي على الرغم من عدم وجود عطل مما قد يؤثر على أداء الجهاز.



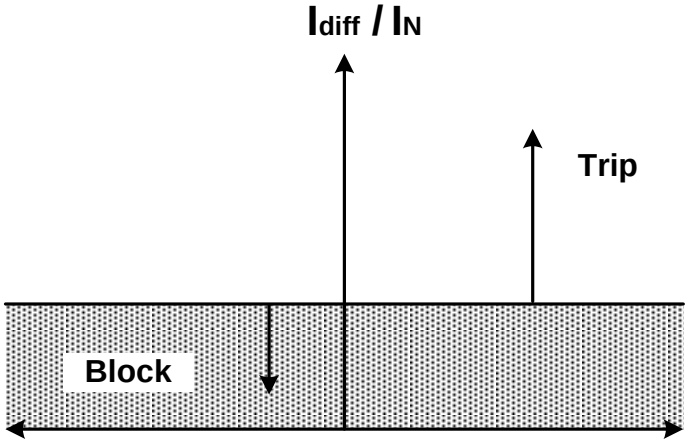
شكل 5-5 : التوصيلات الثانوية لجهاز الوقاية التفاضلية مثال 5-1

5-2-1-7 منحنى الفصل لجهاز الوقاية التفاضلية :

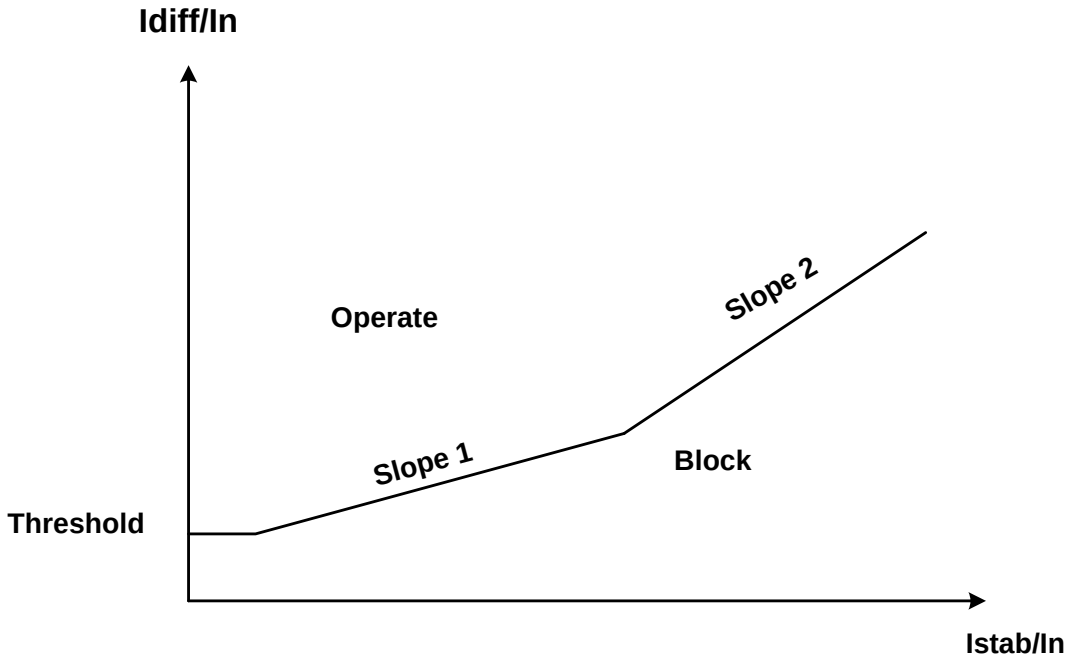
إن الشرط اللازم لاشتغال جهاز الوقاية التفاضلية أن يصل التيار المار فى ملف التشغيل للجهاز لقيمة الضبط أو أكبر منها كما هو موضح بالشكل (5-6). و فى حالة حدوث عدم توافق بسيط بين محولي التيار للمحول من الجهتين نتيجة وجود مغير الجهد فإن جهاز الوقاية التفاضلية يكون معرضاً للاشتغال الخاطئ و لضمان عدم الاشتغال الخاطئ فقد تم عمل تعديل على منحنى الفصل للجهاز حتى نضمن عدم الاشتغال الخاطئ و يصبح الجهاز أكثر اتزاناً مع الأعطال الخارجية كما هو موضح بالشكل (5-7) و يتكون منحنى الفصل للجهاز من ثلاث مناطق بحيث فى البداية لابد من أن تتعدى قيمة التيار المار فى ملف التشغيل قيمة معينة و هى Threshold و هذه تكون غالباً من 20% :40% من الحمل الكلى لمحول القدرة و تكون وظيفتها ضمان عدم اشتغال الجهاز بصورة خاطئة فى حالة مرور تيار فى ملف التشغيل للوقاية التفاضلية فى الوضع العادي (فى حالة عدم حدوث عطل) ثم خط مستقيم بميل محدد هو slope 1 و آخر بميل slope 2 و فى هذه الحالة يكون :

$$I_{diff} = |I_1 + I_2|$$

$$I_{baise} or I_{stab} = |I_1| + |I_2|$$



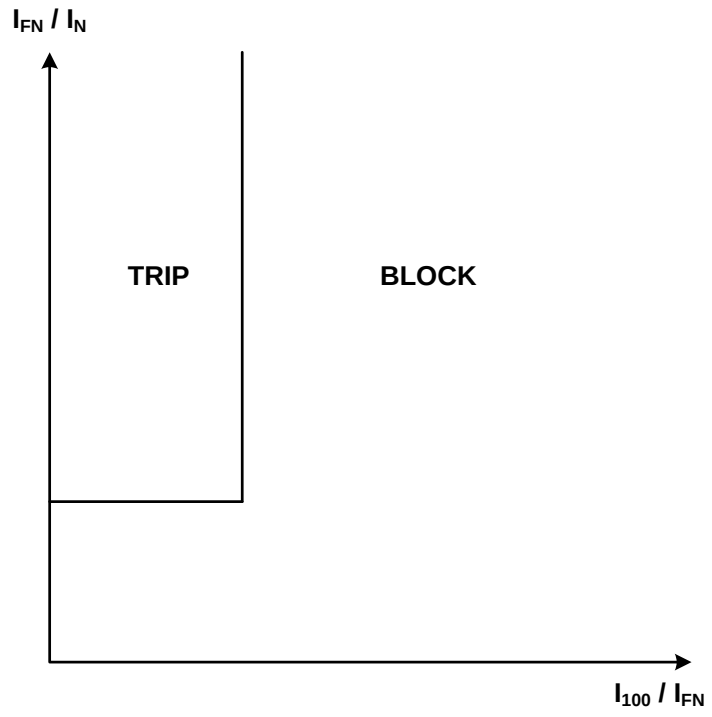
شكل 5-6 : منطقة الاشتغال لجهاز الوقاية التفاضلية



شكل 5-7 : منحنى الاشتغال لجهاز الوقاية التفاضلية

5-2-1-8 الوقاية التفاضلية و التيار العابر (Inrush Current)

عند توصيل المحول خاصة بعد فصله لمدة طويلة فإنه يمر تيار عابر فى الملف الإبتدائى فقط و لمدة محدودة و هذا التيار قد يؤدى إلى فصل المحول مرة آخري على الرغم من عدم وجود أعطال وهذا التيار العابر (Inrush Current) يكون تردده ضعف التردد الأصلى second harmonic و لضمان عدم اشتغال جهاز الوقاية التفاضلية فى هذه الحالة فيتم فصل هذا التيار داخل جهاز الوقاية التفاضلية عن طريق المرشحات (Filters) و استخدامه ليقاوم عملية الاشتغال للجهاز كما هو موضح بالشكل (5-8).



شكل 5-8 : منحنى الاشتغال وعدم الاشتغال نتيجة وجود التوافقية الثانية

حيث:

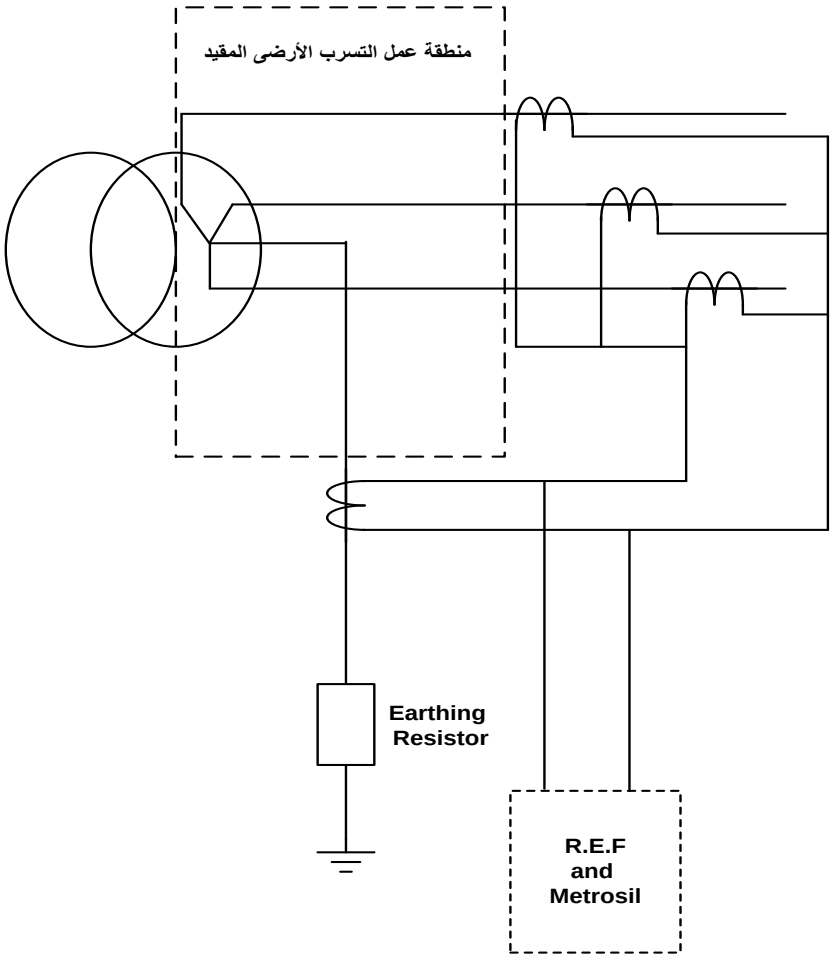
I_N : $Rated\ Current\ Of\ Power\ Transformer$

I_{FN} : $Rated\ Frequency\ Current$

I_N : $Second\ Harmonic\ Current$

5-2-2 التسرب الارضى المقيد *Restricted Earth Fault Relay (REF)*

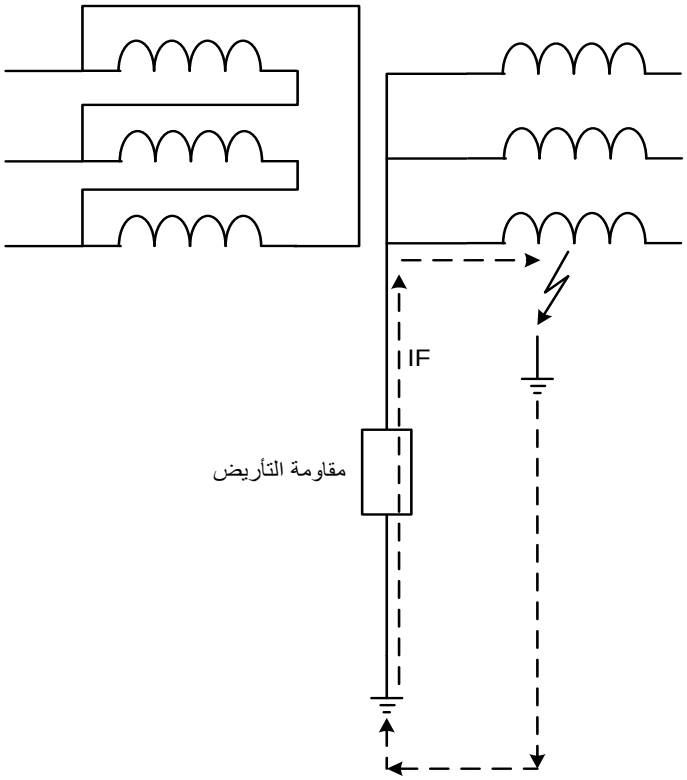
التسرب الارضى المقيد أو التسرب الارضى المحدد أطلق عليه هذا الاسم لأن اشتغاله يكون مرتبطاً بحدوث عطل مع الأرض على أن يكون هذا العطل محدداً بمنطقة معينة ولا يشتغل إذا كان العطل خارج هذه المنطقة كما هو موضح بالشكل رقم (5-9). تعتمد فكرة عمل جهاز الوقاية ضد التسرب الارضى المقيد على إيجاد المحصلة الاتجاهية لتيارين أو أكثر و إذا زادت هذه المحصلة عن قيمة الضبط للجهاز فإنه يقوم بالاشتغال وإرسال إشارة فصل للقواطع المراد فصلها وهو يشبه إلى حد كبير جهاز الوقاية التفاضلية ولكن المنطقة التى يقوم بتغطيتها تكون جهة واحد من محول القدرة و التى يكون فيها توصيل المحول (Y) و لذلك أطلق عليه (Half Differential).



شكل 5-9 : التسرب الارضى المقيد

5-2-2-1 لماذا التسرب الارضى المقيد

يقوم جهاز الوقاية التفاضلية للمحول بتغطية المنطقة المحصورة بين محولي التيار لمحول القدرة بين الجهتين متضمناً الأعطال التى تحدث داخل محول القدرة نفسه فلماذا نحتاج إلى التسرب الارضى المقيد ؟ يوجد أنواع معينة من الأعطال يصعب تغطيتها بجهاز الوقاية التفاضلية مما أدى إلى الحاجة إلى جهاز آخر يقوم بهذا الدور و لكى نتفهم ذلك بصورة أكثر وضوحاً نتخيل المثال الموجود فى الشكل (5-10) و الذى يتكون من محول قدرة بحيث يكون توصيله (Delta / Star) و نفرض حدوث عطل داخلي فى المحول على أحد أوجه الملف الثانوي كما هو موضح بالشكل فكلما كان هذا العطل قريباً من نقطة التعادل للمحول فإن تيار العطل I_F يكون صغيراً و فى بعض الأحيان يقل هذا التيار لدرجة أنه لا يصل إلى قيمة الضبط لجهاز الوقاية التفاضلية. جهاز الوقاية ضد التسرب الارضى المقيد و الذى يتمتع بدقة و حساسية عالية للتعامل مع هذا النوع من الأعطال وهو ما يوضح مدى الحاجة إلى وجود التسرب الارضى المقيد.



شكل 5-10 : عطل داخلي على أحد ملفات محول القدرة

5-2-2-2 فكرة عمل جهاز الوقاية ضد التسرب الارضى المقيد

ينتمي جهاز الوقاية ضد التسرب الارضى المقيد لعائلة أجهزة الوقاية التفاضلية ذات المعاوقة العالية (High Impedance Differential Relays) بحيث يتم تحويل تيار عدم الاتزان الناتج من الأعطال الداخلية إلى جهد و ذلك بعد مروره بملف التشغيل لجهاز الوقاية ضد التسرب الارضى المقيد و الذى يتمتع بمقاومة عالية و بالتالى فإن قيم الضبط للجهاز تكون (V_s) و هو الجهد اللازم وجوده حتى يقوم الجهاز بالاشتغال. من المشكلات الواجب مراعاتها أثناء التعامل مع الجهاز هى الاتزان فى حالة الأعطال الخارجية خاصة فى حالة دخول أحد محولي التيار فى منطقة التشبع (saturation) و المشكلة الأخرى هى زيادة الجهد على طرفى ملف التشغيل لجهاز الوقاية ضد التسرب الارضى المقيد بصورة من الممكن أن تسبب خطورة وغالباً ما يكون هناك توصية من المصنع بألا يزيد هذا الجهد عن قيمة معينة و بالتالى فلابد من توفير الحماية اللازمة لضمان عدم زيادة الجهد عن هذه القيمة و سوف نقوم بدراسة ذلك بالتفصيل فى الأجزاء القادمة.

5-2-2-3 قيم الضبط لجهاز الوقاية ضد التسرب الارضى المقيد

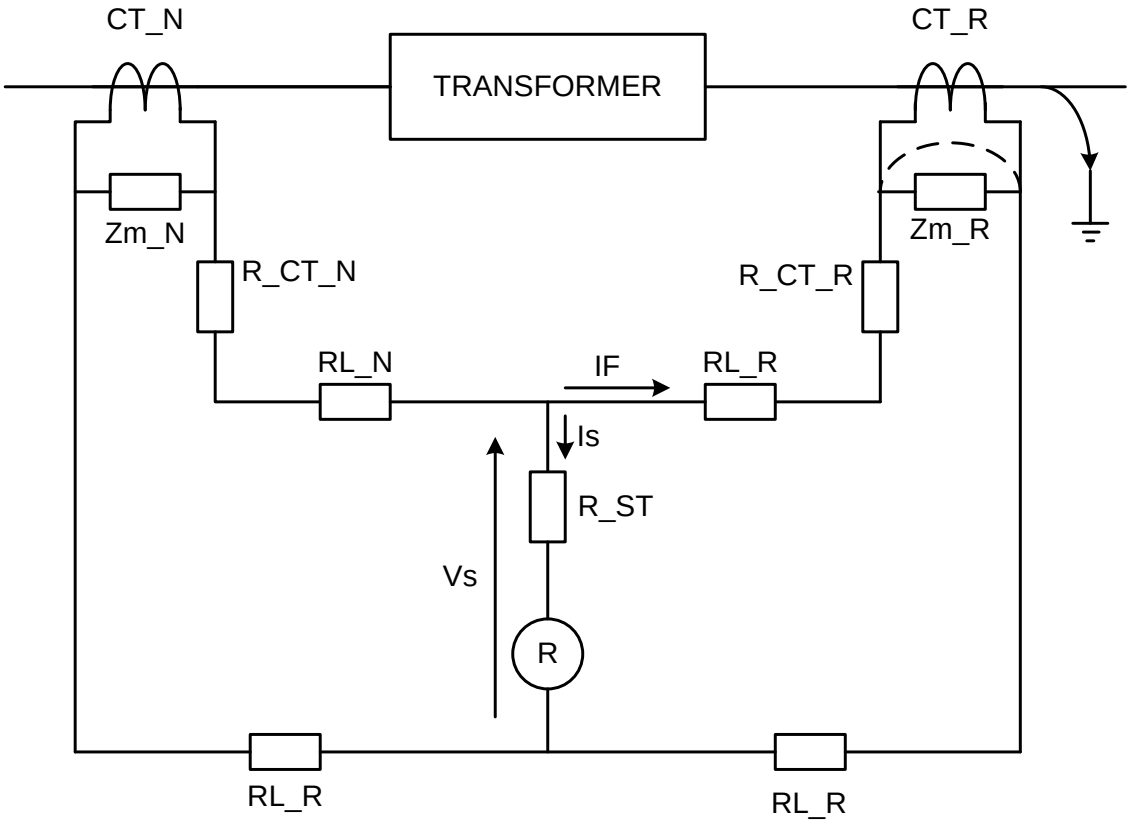
لقد تعرفنا من خلال دراستنا للأجزاء السابقة على جهاز الوقاية ضد التسرب الارضى المقيد و قد عرفنا أيضاً أن قيمة الضبط الأساسية له هى الجهد اللازم لكى يقوم الجهاز بالاشتغال. والآن نتعرف على كيفية اختيار هذه القيمة و العوامل الأخرى الواجب مراعاتها عند التعامل مع جهاز الوقاية ضد التسرب الارضى المقيد و هى :

- اختيار قيمة الجهد اللازمة لاشتغال الجهاز و مقاومة الاتزان التى يتم توصيلها بالتوالي مع ملف التشغيل لجهاز الوقاية بحيث نضمن اتزانه ضد الأعطال الخارجية خاصة إذا دخل أحد محولات التيار فى مرحلة التشبع saturation.
- اختيار محولات التيار بمواصفات معينة بحيث تحقق متطلبات جهاز الوقاية ضد التسرب الارضى المقيد أو على الأقل التأكد من ملائمة محولات التيار الموجودة لتلك المتطلبات.
- تأمين جهاز الوقاية ضد الجهود العالية التى قد تحدث نتيجة الأعطال الداخلية و ذلك عن طريق استخدام مقاومة غير خطية (Non Linear Resistor) إذا كان أقصى جهد متوقع يزيد عن قيمة الجهد القصوى التى حددها مصنع الجهاز.

و لكى نتفهم ذلك بصورة أكثر وضوحاً نفترض أننا نقوم بعمل دراسة لقيم الضبط لمحول قدرة كالموجود فى الشكل (5-9) و بفرض حدوث عطل خارجي بين أحد الأوجه مع الارضى مما أدى إلى دخول أحد محولي التيار فى مرحلة saturation و بالتالى فإنه يمكن تمثيل الدائرة الكهربية المكافئة بالشكل (5-11).

ملاحظة:

فى حالة دخول CT_R فى saturation فإن Z_{M_R} = صفر



شكل 5-11 : الدائرة المكافئة لجهاز التسرب الارضى المقيد

حيث

CT_ N	: محول التيار الموجود على نقطة التعادل.
CT_R	: محول التيار الموجود على الوجه R.
Zm_N	: معاوقة القلب لمحول التيار لنقطة التعادل.
Zm_R	: معاوقة القلب لمحول التيار للوجه R.
R_{CT_N}	: المقاومة الداخلية لمحول التيار لنقطة التعادل.
R_{CT_R}	: المقاومة الداخلية لمحول التيار للوجه R.
R_{L_N}	: مقاومة الأسلاك لمحول التيار لنقطة التعادل.
R_{L_R}	: مقاومة الأسلاك لمحول التيار للوجه R.
$R_{_R}$	: مقاومة ملف جهاز الوقاية ضد التسرب الارضى المقيد.
$R_{_ST}$	: مقاومة الاتزان.
I_F	: تيار العطل.
I_S	: قيمة الضبط للتيار.

و يفضل أن يكون محولي التيار لهما نفس المواصفات و أن يكون كل منهما على مسافة واحدة من جهاز الوقاية و بالتالى يكون

$$R_{CT_N} = R_{CT_R} = R_{CT}$$

$$R_{L_N} = R_{L_R} = R_L$$

اختيار قيمتي الضبط V_S، R_{ST}

يتم اختبار قيمة V_S بحيث تحقق الشرط

$$V_S = I_F(R_{CT} + 2R_L)$$

و يتم اختبار قيمة R_{ST} من المعادلة

$$R_{ST} = \frac{V_S}{I_S} - R_R$$

اختيار محولات التيار

لضمان سلامة اشتغال جهاز الوقاية ضد التسرب الارضى المقيد لابد من أن يكون

$$V_K \geq 2V_S$$

بحيث V_K هو قيمة Knee Point Voltage لمحول التيار.

وفى هذه الحالة يكون قيمة التيار الإبتدائى اللازم لتشغيل الجهاز هى

$$I_{op} = n[I_S + N\ I_e]$$

حيث

n : نسبة تحويل محول التيار.

N : عدد محولات التيار الموصلة و هى = 4 فى هذه الحالة.

I_e : تيار المغنطة لمحول التيار المقابلة ل V_S حيث أن

$$V_S = \frac{V_K}{2}$$

اختيار Non Linear Resistor

عند حدوث عطل داخلي فى منطقة عمل جهاز الوقاية ضد التسرب الارضى المقيد فإنه يحدث زيادة فى الجهد بين طرفى الملف الثانوي لمحول التيار و القيمة القصوى للجهد فى هذه الحالة يمكن إيجادها من العلاقة

$$V_F = I_F[R_{CT} + 2R_L + R_{ST} + R_R]$$

و قيمة الجهد الأقصى المتولدة بين طرفى ملف جهاز الوقاية ضد التسرب الارضى المقيد يمكن إيجادها من العلاقة

$$V_P = 2 * \sqrt{2\, V_K (V_F - V_K)}$$

و قيمة V_P هى التى تحدد مدى الحاجة إلى وجود مقاومة غير خطية (Non Linear Resistor – Metrosil) أم لا فإن كانت هذه القيمة > 3000 فولت وجب تركيب Metrosil.

ملحوظة:

المعادلة السابقة لإيجاد قيمة V_P تم استنتاجها من خلال الخبرة العملية و هي صالحة في حالة المعاوقات المتوسطة و أغلب الأجهزة الموجودة تنتمي لهذه الفصيلة أما إذا كانت المعاوقة ذات قيمة عالية جداً فإنه يمكن حساب قيمة V_P من العلاقة

$$V_P = \sqrt{2} * I_F * R_{ST}$$

و سوف نقوم بعرض مثالين لحساب قيم الضبط لجهاز الوقاية ضد التسرب الارضى المقيد.

مثال 5-1

بيانات محول القدرة

قدرة المحول	125 م.ف.أ.
الجهد الإبتدائى	132 ك.ف.
الجهد الثانوي	33 ك.ف.
المعاوقة النسبية	%16.2

بيانات محول التيار جهة ال132 ك.ف.

نسبة التحويل 1\800

المقاومة الداخلية للملفات (R_{CT}) 3 أوم

V_K 120 فولت

I_e 30 مللي أمبير

R_L 0.7 أوم

بيانات جهاز الوقاية ضد التسرب الارضى المقيد

I_S 200 مللي أمبير

R_R 0.625 أوم

الجهة المركب عليها جهاز الوقاية ضد التسرب الارضى المقيد هى جهة 132 ك.ف.

الحل:

إيجاد V_S، R_{ST}

فى البداية لابد من إيجاد أقصى تيار عطل خارجي I_F

$$I_F = MVA * \frac{10^6}{[KV * 10^3 * Z\%]}$$

$$= 125 * \frac{10^6}{[132 * 10^3 * 0.165]}$$

$$\cong 3375\ A\ (Pri)$$

$$I_{F-Sec} = \frac{3375}{800} = 4.22\ A$$

$$V_S = I_{F-Sec}(R_{-CT} + 2R_{-L})$$

$$= 4.22(3 + 1.4) = 18.568\ V$$

نختار أول قيمة ممكنة للفولت و تكون أكبر من هذه القيمة و لتكن 20 فولت

$$R_{ST} = \frac{V_S}{I_S} - R_R$$

$$= \frac{20}{0.2} - 0.625 \cong 100$$

الآن يمكن إيجاد القيمة الابتدائية للتيار اللازمة لتشغيل الجهاز من العلاقة

$$\mathrm{I_p} = n[I_s + NI_e]$$

حيث $\mathrm{I_e}$ هى تيار المغنطة المقابل ل $\mathrm{V_S}$

$$\frac{120\ V \quad \rightarrow \quad 30\ mA}{20\ \mathrm{V} \quad \rightarrow \quad \mathrm{I_e}}$$

$$\therefore I_e = \frac{20 * 30}{120} = 5mA$$

$$\therefore I_P = 800[0.2 + 4 * 5 * 10^{-3}]$$

$$= 176\ A$$

الحمل الأقصى للمحول

$$\mathrm{I_{FL}} = \frac{\mathrm{MVA}}{\sqrt{3}\mathrm{V}}$$

$$= 546.7\ A$$

و بالتالى فإن $\mathrm{I_P}$ تمثل حوالي 32.19% من الحمل الأقصى للمحول

تم اختيار $\mathrm{V_S}$ = 20 V وهى تحقق الشرط

$$V_\mathrm{K} \geq 2\mathrm{V_S}$$

اختبار مدى الحاجة إلى (Metrosil)

نوجد $\mathrm{V_F}$ من العلاقة

$$\mathrm{V_F} = \mathrm{I_{F_{sec}}}[R_{CT} + 2\mathrm{R_L} + \mathrm{R_R} + \mathrm{R_{ST}}]$$

$$= 4.22[3 + 1.4 + 0.625 + 100]$$

$$= 443.2\ V$$

$$\therefore \mathrm{V_P} = 2\sqrt{2V_K(V_F - V_K)}$$

$$= 2\sqrt{2 * 120(443.2 - 120)}$$

$$= 557.02\ V < 3000$$

لا يوجد حاجة إلى إستخدام (Metrosil) فى هذه الحالة.

مثال 5-2

بيانات محول القدرة

قدرة المحول	125 م.ف.أ.
الجهد الإبتدائى	132 ك.ف.
الجهد الثانوي	33 ك.ف.
المعاوقة النسبية	%16.2

بيانات محول التيار جهة 33 كف

نسبة التحويل	2400/1
R_{CT}	9.6 أوم
V_K	300 فولت
I_e	10 مللي أمبير
R_L	0.35 أوم

بيانات جهاز الوقاية ضد التسرب الارضى المقيد

I_S	100 مللي أمبير
R_R	1 أوم

جهاز الوقاية ضد التسرب الارضى المقيد مركب جهة ال33 كف.

الحل:

إيجاد V_S ، R_{ST}

$$I_F = 125 * \frac{10^6}{\sqrt{3}(33 * 10^3 * 0.162)}$$
$$= 13499.6\ A$$

$$I_{F-sec} = \frac{13499.6}{2400} = 5.62\ A$$
$$V_S = I_{F-sec}(R_{-CT} + 2R_{-L})$$
$$= 5.62(9.6 + 0.7) = 57.9\ V$$

نختار أول قيمة للفولت أكبر من هذه القيمة مثلاً

$$V_S = 80\ V$$

$$V_K \geq 2V_S$$
$$R_{ST} = \frac{V_S}{I_S} - R_R$$
$$= \frac{80}{0.1} - 1 \cong 800\ \ \Omega$$

$$I_P = n[I_S + NI_e]$$
$$I_e = \frac{80 * 10}{300}$$
$$= \frac{8}{3} mA$$

و أيضاً يمكن إيجاد القيمة الابتدائية للتيار اللازمة لتشغيل الجهاز من العلاقة

$$\therefore I_P = 2400\left[0.1 + 4 * \frac{8}{3} * 10^{-3}\right]$$
$$= 265.6\ A$$

الحمل الأقصى للمحول

$$\mathrm{I_{FL}} = \frac{MVA}{\sqrt{3}\,V}$$

$$= 2186.9\,A$$

و بالتالى فإن قيمة تيار التشغيل $\mathrm{I_P}$ تمثل حوالي % 12.14 من الحمل الأقصى للمحول

اختبار مدى الحاجة إلى (Metrosil)

$$\mathrm{V_F} = \mathrm{I_{F_{sec}}}(R_{-CT} + 2\mathrm{R_{-L}} + \mathrm{R_{-R}} + \mathrm{R_{-ST}})$$

$$= 5.62(9.6 + 0.7 + 1 + 800)$$

$$= 4559.506\,V$$

$$V_P = 2\sqrt{2 * 300 * (4559.506 - 300)}$$

$$= 3197.3 > 3000$$

و بالتالى يلزم وجود Metrosil.

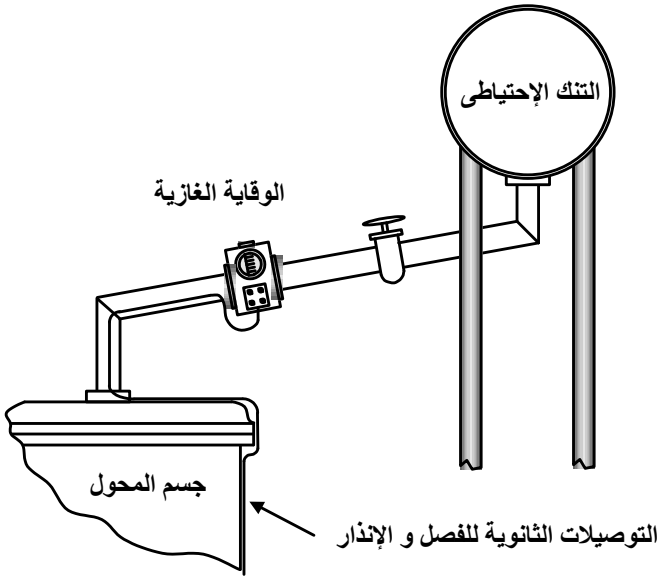
5-2-3 الوقايات الميكانيكية للمحول

تعتمد فكرة عمل هذه الوقايات على بعض الظواهر الميكانيكية مثل زيادة الضغط أو درجة الحرارة و لا تعتمد إعتماداً مباشراً على قيمة التيار أو الجهد و هذا هو السبب فى تسميتها بالوقايات الميكانيكية للمحول و غالباً ما يكون زمن الفصل لهذه الوقايات لحظياً بدون تأخير زمني و لذلك فهي من الوقايات الأساسية لمحول القدرة. يوجد عدة تطبيقات للوقايات الميكانيكية مثل الوقاية الغازية و الوقاية ضد زيادة الضغط و الوقاية ضد إرتفاع درجة الحرارة. و سوف نستعرض فى الأجزاء القادمة فكرة عمل كل من هذه الوقايات.

5-2-3-1 الوقاية الغازية Buchholz Relay

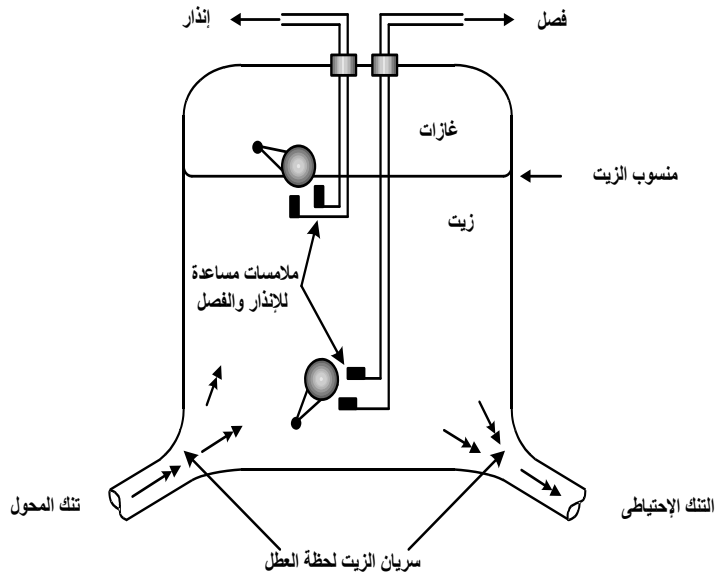
لكى نتفهم فكرة عمل الوقاية الغازية لابد من التعرف بداية على المحول الكهربي و الذى يتكون من ملف إبتدائى و آخر ثانوي و بينهما طبقات عازلة (لن نخوض فى تفاصيل تركيب المحول) و يكون التنك الرئيسي للمحول مملوء بالزيت الذى يقوم بدور أساسي للعزل بين الملف الإبتدائى و الملف الثانوي و له دور آخر فى عملية التبريد خاصة مع الأحمال العالية. ومن المعروف أن الجسم الخارجى لمحول القدرة يتكون من عدة أجزاء متصلة بعضها البعض و يكون فى كل منطقة اتصال ما يسمى بجوان لإحكام الاتصال و نتيجة عدم الرباط الجيد لنقاط الاتصال فإن الزيت يكون معرضاً للتسرب من خلالها مما يؤدى إلى نقص كمية الزيت داخل المحول مما دعا إلى وجود تنك إحتياطى يقوم بتعويض الزيت للتنك الرئيسي للمحول حتى يظل منسوب الزيت بداخله ثابت و يكون هذا التنك أعلى التنك الرئيسي و بالتالى يكون سريان الزيت فى الوضع العادي من التنك الإحتياطى إلى التنك الرئيسي فى اتجاه الجاذبية الأرضية.

إذا حدث تغير فى خواص الزيت نتيجة وجود شوائب أو تحلل أى من مواد العزل فإن ذلك يؤدى إلى تولد فقاعات من الغازات داخل المحول و يصاحبها زيادة فى الضغط داخل المحول مما يؤدى إلى إندفاع الزيت من التنك الرئيسى إلى التنك الاحتياطى ويصاحب ذلك إندفاع للغازات (الأخف وزناً) إلى أعلى فى إتجاه التنك الاحتياطى و قد تم وضع جهاز الوقاية الغازية فى الوصلة بين التنك الرئيسي و التنك الإحتياطى كما هو موضح بالشكل (5-12) حتى يقوم بالإحساس باندفاع الغازات و الزيت و من ثم يقوم بفصل المحول حتى لا يزداد حجم المشكلة.



شكل 5-12 : الوقاية الغازية لمحول لقدرة

يتكون جهاز الوقاية الغازية كما هو موضح بالشكل (5-13) غالباً من عوامتين أحدهما علوية و تختص بعمل إنذار نتيجة تراكم الغازات فى الأعلى و التى تقوم بالضغط على العوامة مما يؤدى إلى غلق الملامس المساعد الخاص بالإنذار و العوامة الأخرى سفلية و تكون مهمتها غلق الملامس الخاص بالفصل و ذلك مع اندفاع الزيت من التنك الرئيسي إلى التنك الإحتياطى.



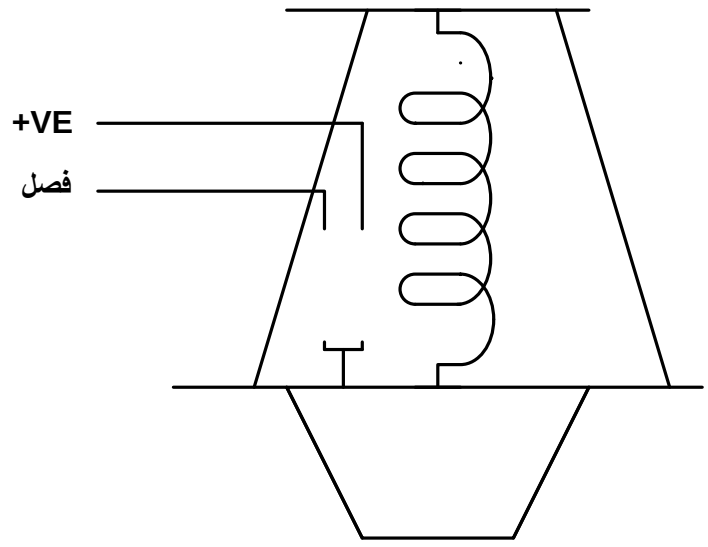
شكل 5-13 : التوصيلات الثانوية لجهاز الوقاية الغازية

ملحوظة :

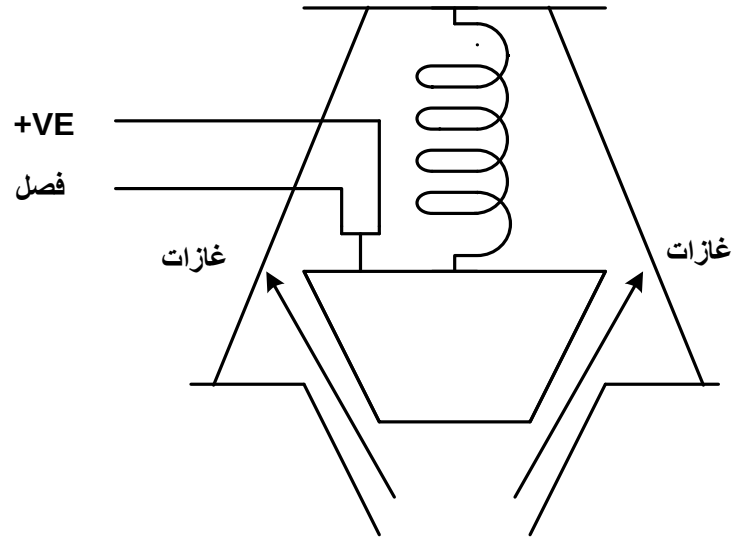
فى المحولات الكبيرة غالباً ما يكون هناك وقاية غازية آخري خاصة لمغير الجهد و لكنها غالباً ما تحتوى على عوامة واحدة و تختص بعملية الفصل.

5-2-3-2 الوقاية ضد زيادة الضغط

عند حدوث عطل داخل المحول غالباً ما يكون مصاحباً بزيادة درجة الحرارة و زيادة فى الضغط و يكون هذا الضغط كافياً لتدمير المحول إذا لم يتم التخلص منه بصورة سليمة و بالسرعة الكافية تكمن الخطورة فى أن هذا الضغط سوف يتم تفريغه من خلال أضعف جزء من أجزاء المحول و الذى يكون عرضة للانهيار و لكن مع وجود هذه الوقاية و التى تتكون كما هو موضح بالشكل (5-14) من سوسته تقوم بالضغط على غطاء معدني لسطح المحول من أعلى و تكون غير مضغوطة فى الوضع العادي. فى حالة حدوث زيادة فى الضغط داخل المحول و الذى يقوم بدوره بالتغلب على السوسته و التى تصبح فى وضع انضغاط كما هو موضح بالشكل (5-15) مما يؤدى إلى اندفاع الزيت المضغوط إلى خارج المحول و يصاحبه غلق للملامس المساعد الذى يقوم بدوره بإرسال إشارة فصل للمحول.



شكل 5-14: الوقاية ضد زيادة الضغط



شكل 5-15: اشتغال الوقاية ضد زيادة الضغط

5-2-3-3 الوقاية ضد زيادة درجة الحرارة

يكون المحول الكهربي عرضة لزيادة درجة حرارته لأسباب مختلفة فقد يكون السبب هو إرتفاع حرارة الجو فى فصل الصيف مثلاً و قد يكون السبب هو زيادة الأحمال أو يكون هناك عيب داخل المحول سواء فى الملفات أو العزل و كلها فى النهاية أسباب تؤدى لزيادة درجة حرارة ملفات المحول ومن ثم حرارة الزيت و لذلك كان من الضروري مراقبة هذه الحرارة حتى لا تصل إلى قيم عالية قد تؤثر على سلامة المحول. يركب على محولات القدرة مبين لدرجة حرارة الزيت و آخر للملفات لمراقبة درجة الحرارة و قد يزداد عدد المبينات فى المحولات الأكبر حجماً بحيث يكون هناك مبين لملفات كل جهة من جهات المحول بالإضافة لمبين درجة حرارة الزيت.

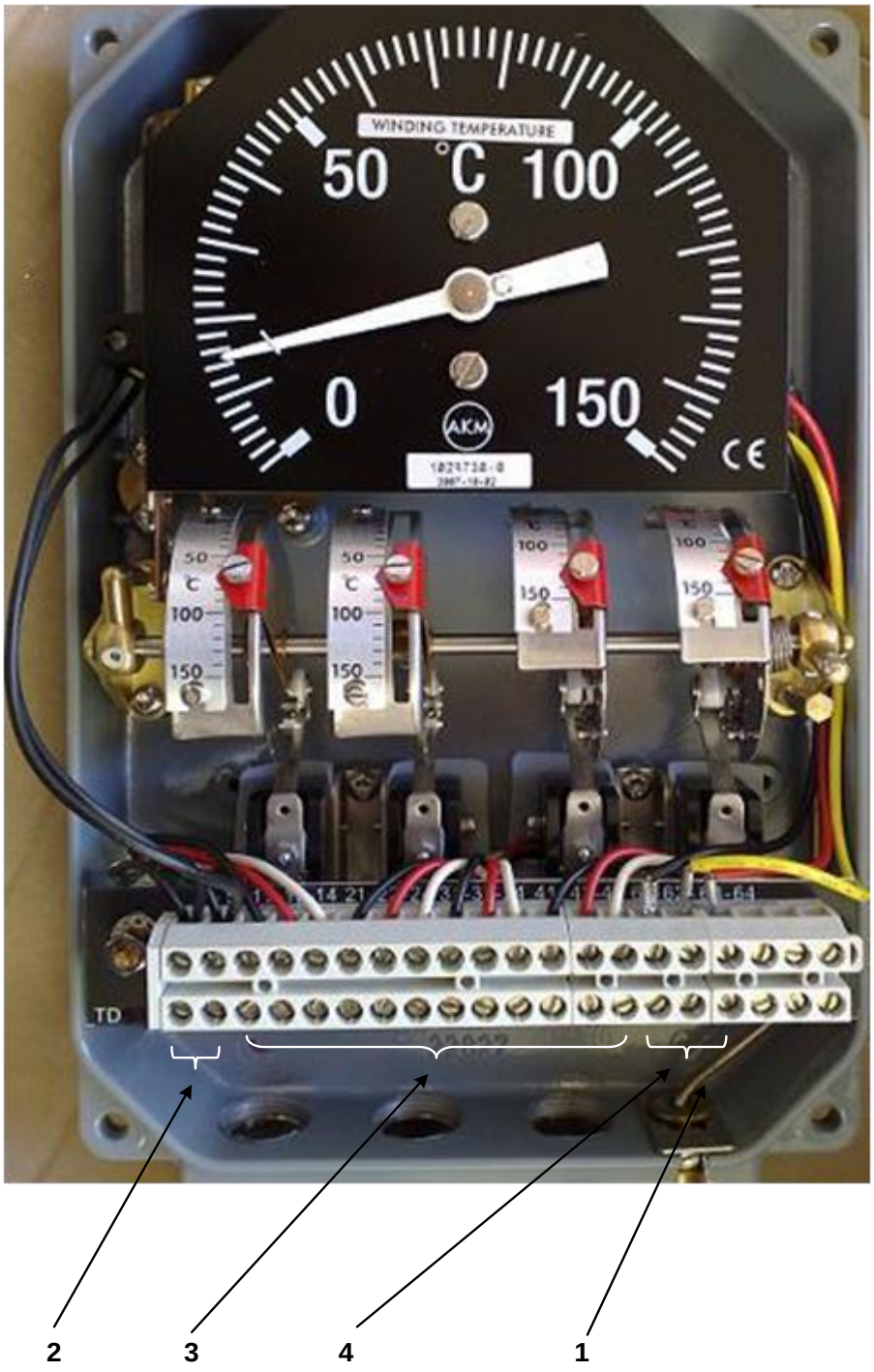
تعتمد فكرة عمل مبين درجة حرارة الزيت أو الملفات على Thermocouple و التى تتكون من حساس للحرارة مصنوع من مادتين مختلفتين (لهم معامل تمدد مختلف) بحيث ينغمس الحساس فى جراب خاصة به أعلى سطح المحول و من الناحية الأخرى يكون طرفا المادتين غير متلامسين. فى حالة إرتفاع درجة حرارة المحول ترتفع درجة حرارة الحساس و يتولد فرق جهد بين الطرفين الغير متلامسين يتناسب مع درجة الحرارة فى تلك اللحظة. يصاحب ذلك إنحراف فى المؤشر الخاص بمبين درجة الحرارة تبعاً لقيمة الجهد المتولد. و هذه هى فكرة عمل مبين درجة حرارة الزيت للمحول أما درجة حرارة الملفات تكون أعلى نسبياً من درجة حرارة الزيت و هذه الزيادة تتناسب مع حمل المحول لذلك فإن مبين درجة حرارة الملفات يتم تغذيته بالتيار المار فى المحول و

ذلك للتعبير عن فرق درجة الحرارة بين الزيت و الملفات و الشكل (5-16) يبين التركيب الداخلي لأحد مبينات درجة حرارة الملفات و الذى يتكون من 4 أجزاء رئيسية وهى:

- اتصال الحساس بالمبين (1)
- دوائر التيار (2)
- أربع مجموعات من الملامسات المساعدة بحيث تتكون كل مجموعة من ثلاث نقاط أحدهم مشترك بين الطرفين الثانى والثالث بحيث تمثل كل مجموعة ملامسين أحدهما مغلق و الآخر مفتوح (3) بحيث يكون دور المجموعة الأولى من هذه الملامسات هو التشغيل الأتوماتيكى للمرحلة الأولى من مراوح التبريد الخاصة بالمحول و فى هذه الحالة إذا كانت المرحلة الأولى غير كافية للتبريد و استمرت درجة حرارة المحول فى الارتفاع فإن المجموعة الثانية من الملامسات تقوم بتشغيل المرحلة الثانية من المراوح و لكن إذا استمرت درجة الحرارة فى الارتفاع فإن مجموعة الملامسات الثالثة سوف تقوم بدورها بإعطاء إنذار مرئي و مسموع فى غرفة التحكم فإذا كانت هذه الحرارة بسبب ازدياد الأحمال فمن الممكن أن يتم تخفيف أحمال هذا المحول و تحميلها على أحد المحولات الأخرى و لكن إذا لم يتم ذلك أو أن سبب زيادة درجة الحرارة هو عيب داخل المحول فإن درجة الحرارة سوف تزداد مما يؤدى إلى فصل المحول عن طريق ملامسات المجموعة الرابعة لحين تحديد سبب هذا الارتفاع فى درجة الحرارة. أما
- الجزء الأخير من هذا المبين هو رقم (4) و الذى يختص بنقل قيمة درجة الحرارة لإظهارها من خلال مبين آخر داخل الكنترول.

ملحوظة:

غالباً ما يتكون مبين درجة حرارة الزيت من مجموعتين فقط من الملامسات المساعدة و يكونا خاصين بمرحلتي الإنذار و الفصل و لكن لا يوجد ما يمنع أن يكون تصميم محطة ما مبنى على أن يكون هناك أربع مجموعات من الملامسات المساعدة على أن يتم تشغيل مراوح التبريد من خلاله. لابد من مراعاة الدقة فى وضع قيم الضبط لدرجات الحرارة و التى تقوم عندها كل مجموعة من الملامسات بالاشتغال تجنباً للفصل الخاطئ للمحولات.



شكل 5-16 : التركيب الداخلي لجهاز الوقاية ضد زيادة درجة حرارة الملفات

الفصل السادس

وقاية القضبان
و الوقاية ضد فشل القاطع

الفصل السادس

وقاية القضبان و الوقاية ضد فشل القاطع

1-6 مقدمة

في بداية التعامل مع منظومات القوى الكهربية لم يكن هناك جهاز وقاية يختص بوقاية القضبان و لكن وقاية القضبان كانت تتم من خلال أجهزة الوقاية الموجودة على بعض المهمات مثل زيادة التيار أو الوقاية المسافية للخطوط. مع تطور نظم القوى الكهربية و زيادة قيم تيارات القصر مما دعت الحاجة إلى ضرورة وجود جهاز خاص لوقاية القضبان و ذلك لتوفير الحماية المناسبة تجنبا لزيادة حجم المشكلة نتيجة تيارات القصر العالية خاصة إذا كان زمن استمرارها كبير. و من المعروف أن فلسفة عمل الوقاية في منظومات القوى الكهربية هي عزل منطقة العطل بأسرع صورة ممكنة للمحافظة على استمرار التغذية الخاصة بباقي المناطق و تطبيقا لهذه النظرية فانه لزم تقسيم القضبان إلى أجزاء مستقلة بحيث إذا حدث عطل لأحد هذه الأجزاء فان جهاز الوقاية يقوم بعزل هذه المنطقة فقط و بأقصى سرعة.

لابد من توافر عدة شروط في جهاز وقاية القضبان لضمان سلامه اشتغاله فلابد من التأكد من

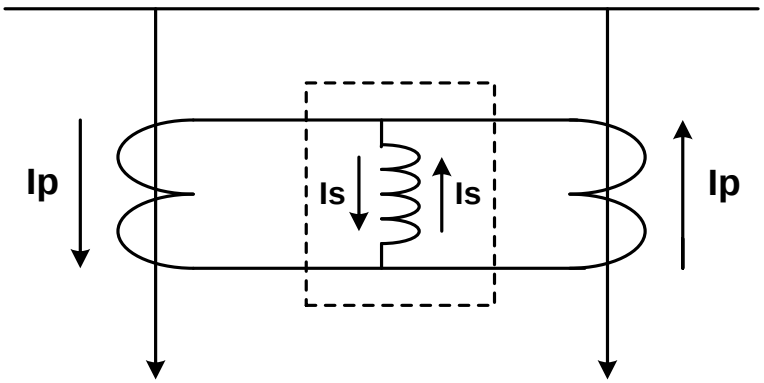
- إحساس الجهاز بأقل قيمة عطل متوقع حدوثه في منطقة القضبان.
- اتزان الجهاز مع الأعطال الخارجية و عدم اشتغاله في هذه الحالة.
- فصل أقل عدد ممكن من القواطع و التي توفر العزل التام للعطل.
- سرعة الفصل لضمان عدم تأثر أي من المهمات الموجودة بتيارات القصر العالية.

يوجد عدة أنواع من أجهزة الوقاية للقضبان تختلف كل منها عن الأخرى في فكرة العمل و المتطلبات اللازمة للاشتغال، فيوجد على سبيل المثال Directional Comparison و Frame–Leakage هذا بالإضافة إلى الوقاية التفاضلية و التي تنقسم إلى نوعين أساسيين فالنوع الأول يعتمد على المعاوقة

الصغيرة (Low impedance differential relays)و هذا النوع يشبه إلى حد كبير جهاز الوقاية التفاضلية لمحولات القدرة مع وجود بعض الاختلافات فى عدد المهمات التى يمكن توصيلها بالجهاز. أما النوع الثاني فيعتمد على المعاوقة الكبيرة (High impedance differential relays) و هذا كبير الشبه بجهاز الوقاية ضد التسرب الأرضي المقيد لمحولات القدرة. و يوجد بعض الاختلافات بين هذين النوعين من حيث فكرة عمل كلا منهما و الشروط اللازم توافرها حتى يقوم الجهاز بالاشتغال بصورة سليمة.

2-6 الوقاية التفاضلية للقضبان

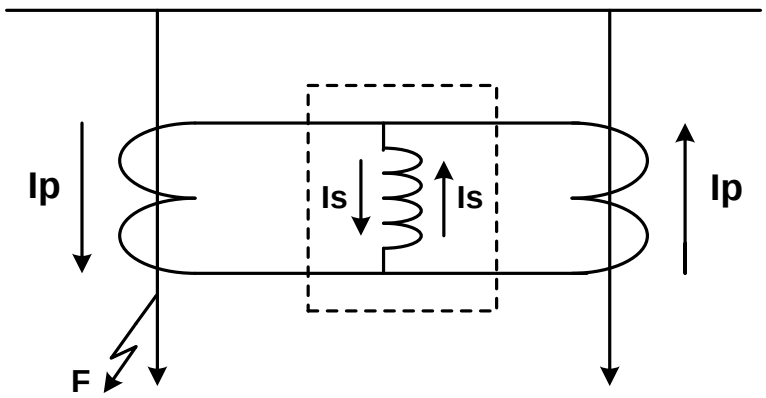
تعتمد فكرة عمل الوقاية التفاضلية للقضبان على قانون التيار لكيرشوف و الذي ينص على أن المجموع الإتجاهي لأي عدد من التيارات الداخلة إلى أي نقطة يساوي المجموع الإتجاهي للتيارات الخارجة منها. الشكل(6-2) يبين اتجاه التيار لمهمتين موصلتين على قضبان واحدة بحيث أن أحدهما مصدر التغذية للقضبان و الآخر يعمل كحمل ، و الشكل يوضح اتجاه التيار الابتدائي و الثانوي لهذه الحالة و يمر في ملف الوقاية التفاضلية المحصلة الاتجاهية للتيارين و الذي يساوي صفر في حالة الاتزان و يكون جهاز الوقاية متزنا و لا يقوم بالاشتغال.



شكل 6 – 1 : الوقاية التفاضلية للقضبان

6-2-1 الأعطال الخارجية للقضبان

الأعطال الخارجية للقضبان و التي يكون العطل فيها بعد محول التيار و هي تشبه إلى حد كبير الحالة السابقة مع زيادة قيم التيارين و لكن بحيث يظلان متساويين و بالتالي تكون المحصلة الاتجاهية لهما تساوي صفر كما هو موضح بالشكل (6-2).

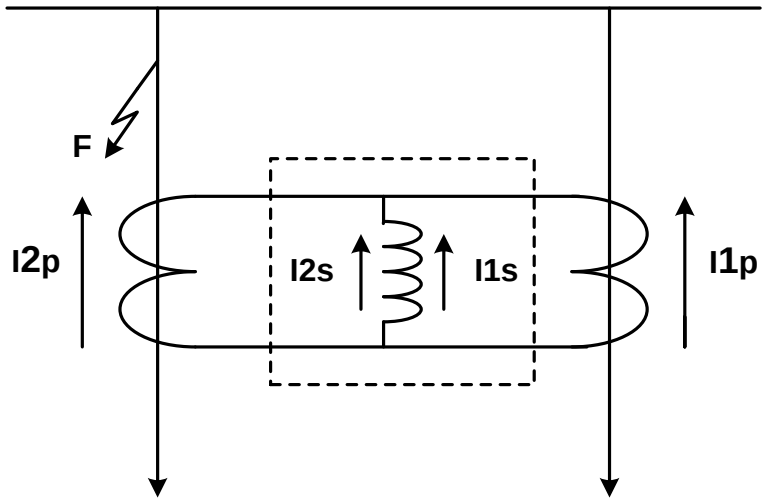


شكل 6 – 2 : الوقاية التفاضلية للقضبان مع الأعطال الخارجية

6-2-2 الأعطال الداخلية للقضبان

الأعطال الداخلية للقضبان و التي يكون العطل فيها محصورا بين القضبان و أحد محولات التيار كما هو موضح بالشكل (6 -3). و لدراسة هذا النوع من الأعطال فانه يوجد حالتين :

- نظام الشبكة Non Redial System و التي يكون فيها مصدرين للتغذية I1p ؛ I2p و في هذه الحالة تكون محصلة التيارات الثانوية هي (I1s + I2s) و تكون هذه القيمة كافية لاشتغال جهاز الوقاية التفاضلية و فصل المهمات المتصلة بهذه القضبان.
- مصدر تغذية واحد Redial System و التي يكون فيها مصدر تغذية واحد و ليكن I1p و يكون I2p في هذه الحالة يساوي صفر و بالتالي فإن محصلة التيارات الثانوية تساوي I1s و هي أيضا كافية لتشغيل جهاز الوقاية التفاضلية للقضبان.



شكل 6 – 3 : الوقاية التفاضلية للقضبان مع الأعطال الداخلية

يوجد نوعين أساسيين للوقاية التفاضلية للقضبان كما عرفنا من خلال دراستنا للأجزاء السابقة ، النوع الأول هو high impedance differential protection أما النوع الثاني فهو low impedance differential protection و إن كنا لن نخوض في تفاصيل العمل و لكننا سوف نقوم بعمل مقارنة سريعة لمتطلبات كلا منهما :

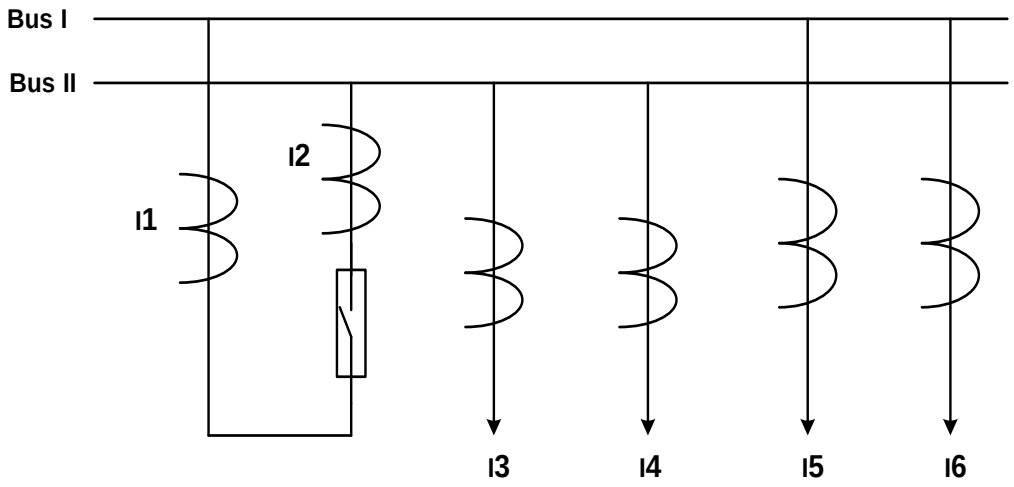
- يلزم أن تكون نسبة تحويل محولات التيار واحدة لجميع المهمات في حالة استخدام النوع الأول و لا يلزم ذلك في النوع الثاني.
- لابد أن تكون knee point voltage لمحولات التيار كبيرة للنوع الأول و لا يلزم ذلك للنوع الثاني و بالتالي ينصح باستخدام محولات تيار من النوع (Class X) لتمتعه بهذه الميزة.
- لضمان الاتزان فانه يستخدم مقاومة Stabilizing Resistor على التوالي مع ملف التشغيل في حالة النوع الأول و لكن في النوع الثاني يمكن استخدام Biased Differential و فيها يكون هناك منحنى معين لاشتغال الجهاز.
- الأحمال Burden Load تكون عالية في النوع الأول و صغيرة في النوع الثاني.
- في حالة دخول أحد محولات التيار في Saturation ففى النوع الأول فإن محول التيار الذي وصل إلى مرحلة Saturation يعمل كمقاومة صغيرة جدا و بالتالي يمر به معظم تيار العطل

و لا يمر في جهاز الوقاية التفاضلية مما يضمن عدم الاشتغال الخاطئ في هذه الحالة. أما في النوع الثاني فيمكن معرفة ذلك عن طريق أن إتجاه التيار في جميع المهمات يكون واحد و ذلك لأن المهمة التي حدث عليها العطل غالبا هي التي يصل محول التيار لها لمرحلة التشبع Saturation و يكون التيار الثانوي لها يساوي صفر و بالتالى عمل Block للجهاز لتجنب الفصل الخاطىء.

- النوع الأول قد يحتاج إلى مقاومة غير خطية non linear resistor في حالة زيادة الجهد بين طرفي ملف التشغيل عن قيمة معينة غالبا ما تكون 3000 فولت.
- النوع الثاني من الممكن أن يشتمل على كثير من الوظائف الإضافية بحيث يعمل كمبين لقيمة التيار لكل المهمات بالإضافة إلى تسجيل الأعطال و من الممكن أن يحتوي على وقاية إضافية مثل الوقاية ضد انهيار القاطع.

6-2-3 مثال عملي للوقاية التفاضلية للقضبان

نفترض المثال الموجود في الشكل (6– 4) و الذي يتكون من قضباني توزيع بينهما رابط للقضبان و موصل على كل قضبان مهمتين و مركب على كل مهمة منهم محول تيار خاص بها في حين أن رابط القضبان مركب عليه محولين للتيار على جانبي القاطع الخاص به. سوف نقوم بدراسة الاتزان الخاص بالقضبان في أكثر من حالة.



شكل 6 – 4 : جزء من منظومة كهربية

- **رابط القضبان في وضع الفصل**

في هذه الحالة يكون اتزان كل من قضباني التوزيع منفصلاً عن القضبان الآخر مع ملاحظة أن

- كلا من I_1 & I_2 = صفر.
- اتزان القضبان Bus 1 : $I_5 + I_6 = 0$
- اتزان القضبان Bus 2 : $I_3 + I_4 = 0$

- **رابط القضبان في وضع التوصيل**
- اتزان القضبان Bus 1 : $I_1 + I_3 + I_4 = 0$
- اتزان القضبان Bus 2 : $I_2 + I_5 + I_6 = 0$

ملحوظة:

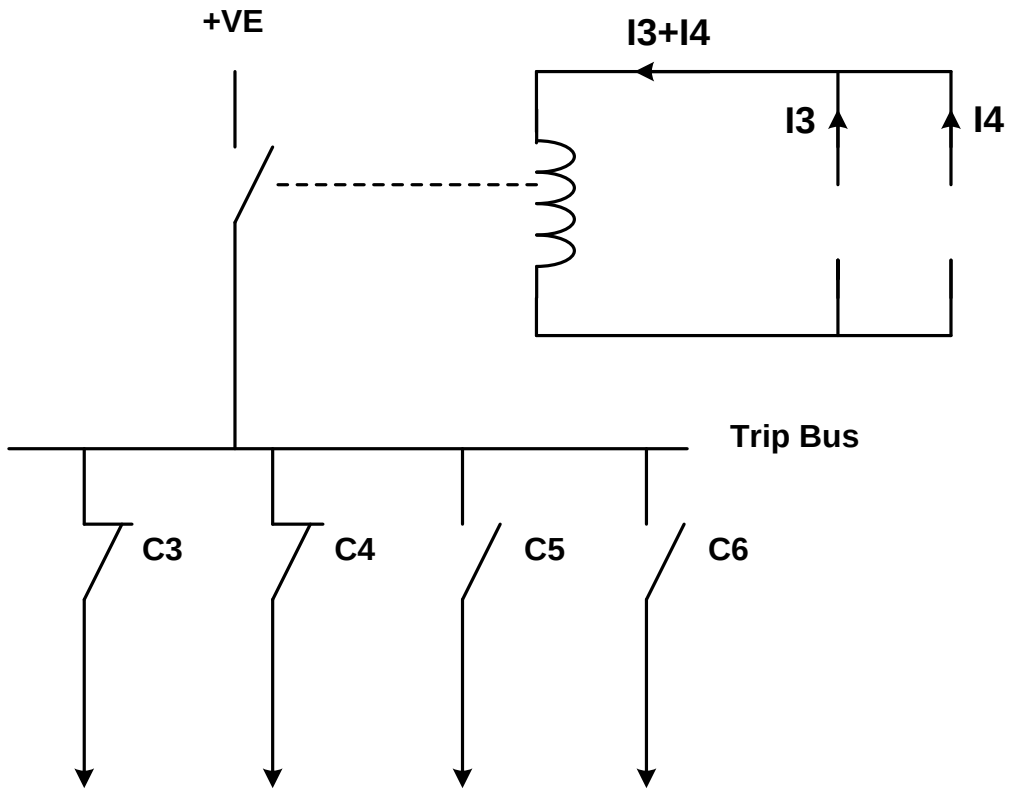
حتى يتم حماية المنطقتين المحصورتين بين القاطع و كل من محولي التيار الخاصين برابط القضبان و ذلك بجهاز الوقاية التفاضلية للقضبان فلابد من توصيل محول التيار لرابط القضبان جهة Bus I مع المهمات الموصلة Bus II و العكس ثم توصيل محول التيار لرابط القضبان المتصل Bus II بالمهمات الموصلة Bus I.

6-2-4 دوائر الفصل لجهاز الوقاية التفاضلية للقضبان

قبل التعرض لدوائر الفصل الخاصة بالوقاية التفاضلية للقضبان نتذكر سويا أن كل مهمة يمكن توصيلها على أي من قضباني التوزيع عن طريق توصيل سكينة القضبان الخاصة بهذه القضبان. توصيل سكينة القضبان لأي مهمة يعني دخول هذه المهمة في اتزان تلك القضبان و في حالة اشتغال جهاز الوقاية نتيجة عطل معين فإنه يرسل إشارة فصل لكل المهمات المتصلة بهذه القضبان و التي يتم تحديدها أيضا من خلال بعض الملامسات المساعدة لسكينة القضبان و التي تعتبر أحد شروط الفصل لهذه المهمة بوقاية القضبان. و لدراسة دوائر الفصل للمثال الموجود بالشكل (6-4) و بفرض الحالة التي يكون فيها رابط القضبان في وضع الفصل فإن دائرة الفصل تكون كالموضحة بالشكل (6-5) و مع حدوث عطل داخلي على القضبان Bus II فإن قيمة $(I_3 + I_4)$ لا تساوي صفر مما يؤدي إلى

اشتغال جهاز الوقاية و إرسال إشارة (+VE) إلى النقطة Trip Bus و التي تقوم بدورها بنقل تلك الإشارة إلى كل المهمات الموصلة على هذه القضبان.

دائرة الفصل للمهمات يتم استكمالها عن طريق توظيف ملامس مساعد من النوع normally open من سكينة القضبان بحيث يتغير وضعه إلى وضع الغلق مع توصيل سكينة القضبان و بالتالي تستكمل دائرة الفصل لهذه المهمة. في هذه الحالة مع توصيل المهمتين رقم 3 و 4 يتغير وضع الملامسات المساعدة C3 و C4 إلى وضع الغلق و يبقى C5 و C6 كما هما و بالتالي فإن في حالة اشتغال جهاز الوقاية فإنه يتم إرسال إشارة فصل إلى المهمات 3 و 4 فقط مع بقاء المهمتين 5 و 6 و الموصلتين على القضبان الأخرى Bus I.



شكل 6 – 5 : دوائر الفصل لجهاز الوقاية التفاضلية للقضبان

- بالمثل يمكن دراسة الوضع في حالة اشتغال جهاز الوقاية التفاضلية للقضبان و الخاص بالقضبان Bus I.
- في حالة توصيل رابط القضبان و اشتغال جهاز الوقاية التفاضلية للقضبان الخاص بأي من قضباني التوزيع فإنه يتم إرسال إشارة فصل للقاطع الخاص برابط القضبان بالإضافة لفصل المهمات الموصلة على هذه القضبان.
- جهاز الوقاية التفاضلية للقضبان يكون مقسما إلى مناطق Zones، كل منطقة تكون خاصة بقضبان معينة أو جزء من قضبان في حالة ما إذا كانت القضبان مقسمة عن طريق استخدام السكاكين الطولية.
- نظرا للحساسية الشديدة لطبيعة جهاز الوقاية التفاضلية للقضبان حيث أنه يقوم بعزل كثيرا من المهمات و تجنبا للفصل الخاطئ فقد أضيف شرطا آخر لاشتغال الجهاز ألا و هو Check Zone حتى لا يشتغل الجهاز في حالة حدوث عطل في دوائر التيار الثانوية مع عدم حدوث عطل فعلي.
- تكون تغذية Check Zone هي المحصلة الاتجاهية لدوائر التيار الثانوية بجميع مهمات المحطة ما عدا رابط القضبان و يفضل أن تكون هذه التغذية من ملف تيار ثانوي آخر غير الذي يقوم بتغذية الجزء الخاص بالقضبان الأصلى (Bus I أو Bus II) مثلا.

5-1-6 ملاحظات أثناء اختبار أجهزة وقاية القضبان

- التأكد من سلامة التوصيلات الثانوية.
- التأكد من اتجاهية محولات التيار.
- برمجة جهاز الوقاية بصورة سليمة و التأكد منها و ذلك للأجهزة التي تحتاج إلى برمجة.
- التأكد من صحة عمل الملامسات المساعدة الخاصة بسكاكين القضبان و التي يتم على أساسها تحديد المهمات الموصلة على قضبان معينة و بالتالي تدخل في اتزان تلك القضبان و تفصل مع باقي المهمات الموصلة على هذه القضبان في حالة اشتغال جهاز الوقاية التفاضلية للقضبان.
- قد يختلف التصميم من جهاز إلى آخر و لكن الثابت هو أنه لا بد من اعتبار سكينة القضبان موصلة ما لم تكن مفصولة تماما و ذلك لتغطية الأعطال التي قد تحدث أثناء توصيل أو فصل السكينة.

- لا بد من التأكد من تغذية الجهاز بمصدر تيار مستمر DC.
- التأكد من الإشارات الخاصة بالإنذار أو الفصل و ذلك على جهاز الوقاية نفسه أو في لوحة الإشارات المركزية.
- التأكد من سلامة عمل جهاز الوقاية التفاضلية للقضبان و ذلك عن طريق :
  - فصل سكينتي القضبان لأحد المهمات و بالحقن الثانوي أو الابتدائي للتيار يتم التأكد من عدم اشتغال الجهاز.
  - توصيل سكينة القضبان رقم I مع بقاء سكينة القضبان رقم II في وضع الفصل و بالحقن الثانوي أو الابتدائي للتيار لا بد من التأكد من اشتغال الجهاز الخاص بالقضبان رقم I و عدم اشتغال الجهاز الخاص بالقضبان رقم II.
  - إعادة الخطوة السابقة مع توصيل السكينة رقم II و فصل السكينة رقم I و التأكد من اشتغال الجهاز الخاص بالقضبان رقم II و عدم اشتغال الجهاز الخاص بالقضبان رقم I.
  - تكرار الخطوتين السابقتين لكل مهمات المحطة ما عدا رابط القضبان.
  - التأكد من مراقبة دوائر التيار C.T supervision و مطابقتها لقيم الضبط للجهاز و ذلك يتم أيضا بالحقن الثانوي للتيار.
  - تجربة الفصل لمهمات المحطة:
    - بالحقن الثانوي للتيار على أحد المهمات الموصلة على قضبان التوزيع رقم I تفصل كل المهمات الموصلة على هذه القضبان مع فصل رابط القضبان مع بقاء المهمات الموصلة على القضبان الأخرى في الخدمة.
    - في حالة توصيل سكينتي القضبان لأحد المهمات و بالحقن الثانوي للتيار لأي مهمة تفصل كل المهمات الموصلة على كلا من قضباني التوزيع رقم I ؛ II بالإضافة إلى رابط القضبان.
    - نفس الحالة السابقة مع الحقن الثانوي على رابط القضبان لا بد من التأكد من عدم فصل أي من مهمات المحطة و ذلك لأن التيار المار في Check Zone في هذه الحالة يكون صفر و هو أحد الشروط اللازمة للاشتغال.

ملحوظة:

في حالة ربط جزئين من القضبان عن طريق أحد السكاكين الطولية أو العرضية فإن جهاز الوقاية التفاضلية للقضبان يكون مصمما على أن يكون أحدهما أساسي Master و الآخر تابع له Follower لضمان عدم زيادة قيمة التيار اللازمة للإشتغال.

3-6 الوقاية ضد فشل القاطع

الأعطال في منظومات القوى الكهربية لها خطورة كبيرة ، و خاصة في حالة استمرار تيارات القصر العالية لمدة كبيرة ، و قد علمنا من خلال دراستنا السابقة أن الهدف الأساسي من أجهزة الوقاية هو عزل المنطقة التي تحتوي على العطل بأسرع وقت و بفصل أقل عدد من القواطع. في حالة حدوث عطل على أي من المهمات الموجودة في منظومات القوى الكهربية فإن أجهزة الوقاية المركبة على هذه المهمة تقوم بإرسال إشارة إلى القاطع الخاص بالمهمة لفصلها.

في بعض الأحيان على الرغم من إحساس أجهزة الوقاية بالعطل و إرسال إشارة فصل إلا أن القاطع لا يفصل و قد يكون ذلك ناتجا عن عطل ميكانيكي داخل القاطع أو عطل كهربي في دائرة الفصل للقاطع و التي تشمل ملف الفصل بالإضافة للأسلاك المكونة لها و بعض الشروط داخل القاطع مثل الشرط الخاص بانخفاض الغاز أو الملامس المساعد الخاص بالقاطع نفسه أو أي سبب آخر يجعل دائرة الفصل مفتوحة مما يؤدي إلى عدم فصل القاطع على الرغم من اشتغال أجهزة الوقاية و هذا يؤدي إلى استمرار العطل لمدة كبيرة مما قد يؤثر على العزل الخاص بالمهمات الكهربية و التي يمر من خلالها تيار القصر.

1-3-6 فكرة عمل جهاز الوقاية ضد فشل القاطع

جهاز الوقاية ضد فشل القاطع جهاز وظيفته الأساسية هي التعامل مع المشكلة السابقة تجنبا لحدوث المخاطر التي قد تنتج من استمرار العطل لمدة كبيرة. لقد علمنا من خلال دراستنا للجزء السابق أن هذه المشكلة يكون السبب الرئيسي لها إما عطل ميكانيكياً و عطل كهربي في دوائر الفصل. و فكرة عمل جهاز الوقاية ضد فشل القاطع تقوم في البداية على فرض أن هناك عطل كهربي في دوائر الفصل للقاطع و بناءا على ذلك يقوم جهاز الوقاية ضد فشل القاطع بإرسال إشارة فصل على ملف الفصل الآخر (إذا كان القاطع يحتوي على ملفين للفصل) و ذلك بتأخير زمني معين (غالبا ما يكون في حدود 100 مللي ثانية) و بذلك يفصل القاطع في حالة ما إذا كان عدم فصل القاطع في المرة الأولى ناتج فعلا عن عطل في دائرة الفصل الأولى و أما إذا كان السبب هو عطل ميكانيكي في القاطع فإنه لن يستجيب لإشارة الفصل الثانية و في هذه الحالة يقوم جهاز الوقاية ضد فشل القاطع بإرسال إشارة فصل بتأخير زمني آخر(غالبا ما يكون 250 : 300 مللي ثانية) إلى كل المهمات الموصلة مع هذه المهمة على نفس

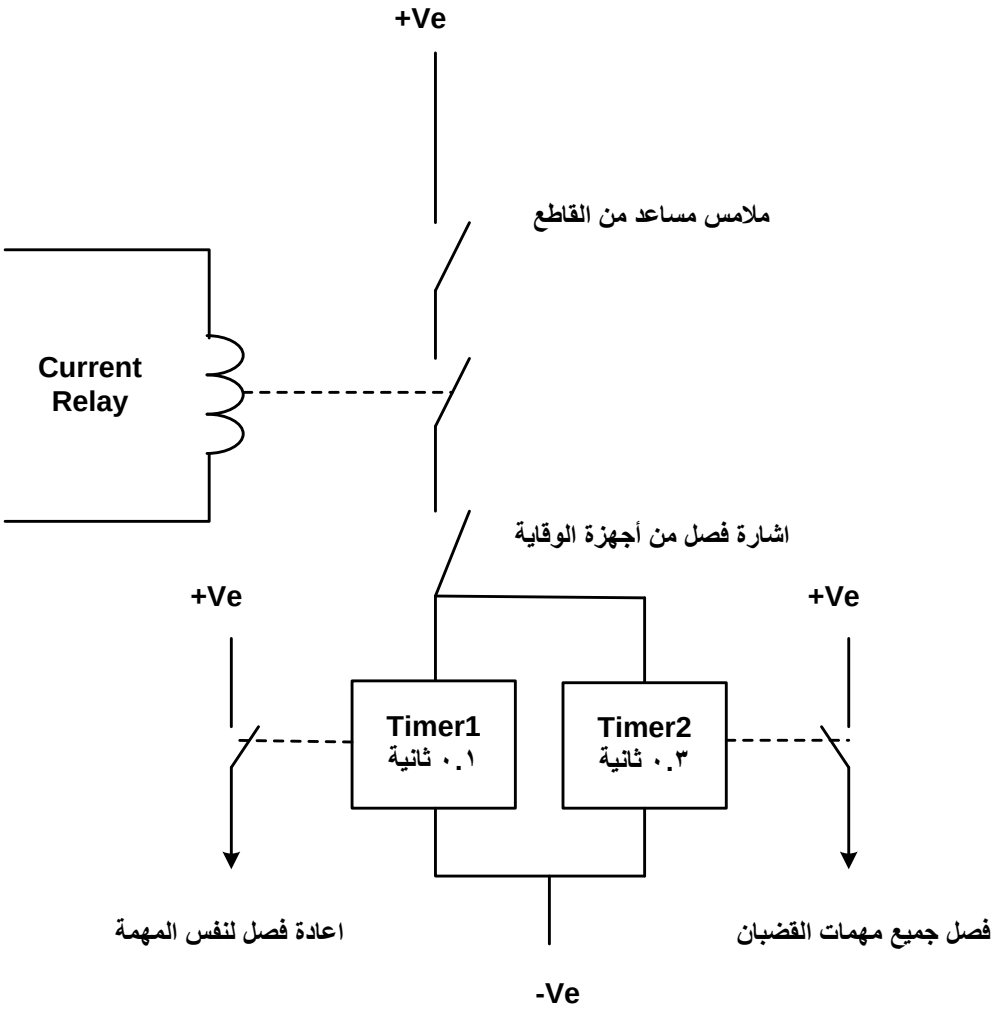
القضبان و يكون ذلك من خلال دوائر الفصل الخاصة بوقاية القضبان و بذلك يتم عزل هذه المهمة لحين تحديد سبب عدم فصل القاطع.

6-3-2 الشروط الواجب توافرها لعمل جهاز الوقاية ضد فشل القاطع

جهاز الوقاية ضد فشل القاطع من الأجهزة شديدة الحساسية لأنه قد ينتج عنه فصل لكثير من المهمات في وقت واحد و تجنبا للاشتغال الخاطئ للجهاز فغالبا ما يكون هناك عدة شروط لا بد من توافرها جميعا حتى يقوم الجهاز بالاشتغال و هي :

- إشارة فصل من أحد أجهزة الوقاية المركبة على المهمة مثل الوقاية المسافية للدوائر أو الوقاية التفاضلية للمحولات أو الوقاية ضد زيادة التيار أو التسرب الأرضي لأي منهما.
- القاطع الخاص بالمهمة التي عليها العطل ما يزال في وضع التوصيل (يتم معرفته من خلال ملامس مساعد من النوع 52a normally open من القاطع).
- إستمرار مرور التيار في المهمة التي عليها العطل.

على الرغم من أن الشرطين الثاني و الثالث أحدهما كافي إلا أنه في بعض الأنظمة يكون الشرطان لازمين لاشتغال الجهاز و ذلك لضمان عدم الاشتغال الخاطئ ، و الشكل (6-6) يوضح التوصيلات الثانوية الخاصة باشتغال جهاز الوقاية ضد فشل القاطع.



شكل 6 – 6 : جهاز الوقاية ضد فشل القاطع

الملحقات

ملحق أ

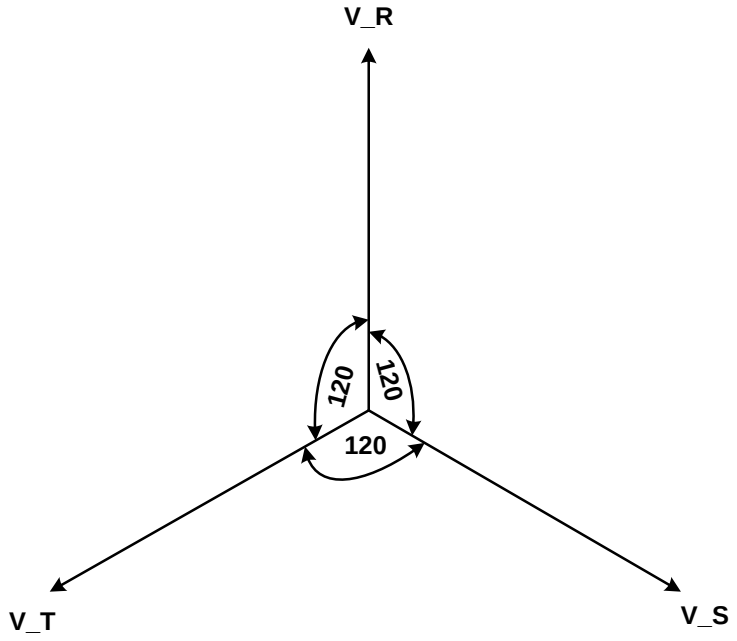
المركبات المتماثلة

ملحق أ

المركبات المتماثلة

مقدمة

تتكون منظومات القوى الكهربية من مجموعة من العناصر بداية من محطات التوليد مرورا بمحطات النقل أو المحولات و منها إلى التوزيع حيث المستهلك النهائى و غالباً ما تكون هذه العناصر مكونة من ثلاث أوجه. الجهود و التيارات لاى عنصر من عناصر هذه المنظومة يمكن تمثيلها اتجاهياً عن طريق ثلاث متجهات بحيث تكون الثلاث متجهات متساوية فى المقدار و الفرق فى الاتجاه بين أى متجهين منها هو 120 درجة و الشكل (أ-1) يمثل المنظومة الخاصة بالثلاث أوجه R&S&T فلو تخيلنا أن الأساس عندنا هو الوجه R فإننا نجد أن الوجه S يكون متأخرا (Lag) عن الوجه R بواقع 120 درجة و الوجه T يكون متأخر عن الوجه S بواقع 120 درجه حيث أن الاتجاه الموجب للدوران يكون عكس عقارب الساعة افتراضيا.



شكل أ-1 : منظومة متزنة للجهد

من خلال دراستنا السابقة عرفنا أنه عند حدوث عطل فإن قيم التيار تزداد على الوجه أو الأوجه المشاركة فى العطل و يحدث انخفاض للجهد على هذه الأوجه. و دراسة تيارات العطل لها أهمية كبيرة فى تحديد مواصفات القواطع المستخدمة على المهمات المختلفة بحيث يجب أن يكون أقصى تيار يتحمله أكبر من أقصى تيار قصر متوقع حدوثه. تحديد قيم الضبطيات لأجهزة الوقاية حتى يتم التفرقة بين تيارات الحمل و تيارات القصر. و غيرها من الدراسات التحليلية للأعطال المختلفة.

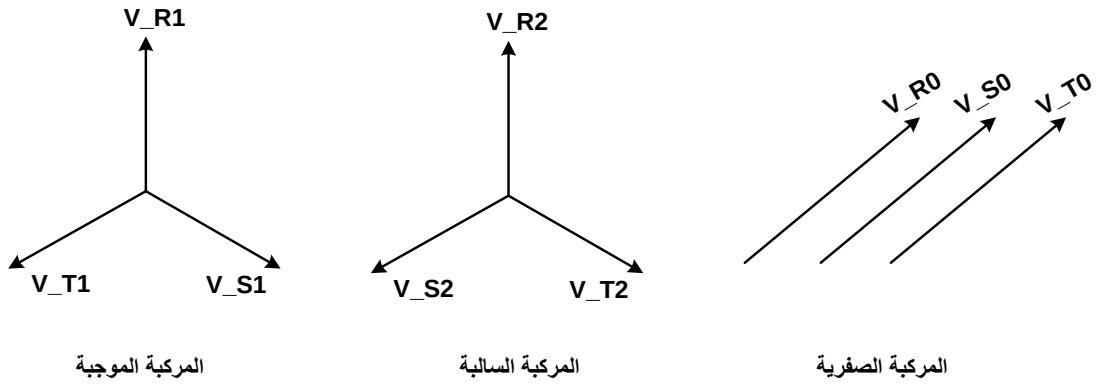
الأعطال و المركبات المتماثلة

أثناء حدوث أى عطل فى منطقة ما فإنه يحدث اختلاف فى قيم التيارات و الجهود مما يؤدى إلى إختلال فى اتزان الثلاث أوجه الممثلين للجهد و التيار مما يؤدى إلى صعوبة نسبية فى دراسة و تحليل الأعطال فى هذه الحالة و لكن بعد صياغة المركبات المتماثلة Symmetrical Component عن طريق Fortescue أصبح الأمر أكثر سهولة من ذي قبل.

باستخدام المركبات المتماثلة أمكن تحويل أى نظام سواء أكان هذا النظام متزنا أو غير متزن إلى مجموعة من المركبات المتزنة و فى منظومات القوى الكهربية يتكون هذا النظام من ثلاث مركبات أساسية:

- المركبة الموجبة (Positive Sequence Component)
- المركبة السالبة (Negative Sequence Component)
- المركبة الصفرية (Zero Sequence Component)

فمثلا لو افترضنا المنظومة المتزنة الموجودة فى الشكل (أ- 1) يمكن تحليلها باستخدام المركبات المتماثلة كما هو موضح بالشكل (أ-2) بحيث تكون فى المركبات الموجبة الأساس هو المركبة الموجبة للوجه R (V_{R1}) يليها V_{S1} ثم V_{T1} أما بالنسبة للمركبات السالبة يكون الأساس فيها هو المركبة السالبة للوجه R ($V_{R\,2}$) يليها V_{T2} ثم V_{S2} أما بالنسبة للمركبات الصفرية فتكون كلها فى اتجاه واحد.



شكل أ-2 : المكبات المتماثلة لمنظومة الجهد

و يمكن صياغة منظومة الجهود كالتالى :-

$$V_{\mathrm{R}} = \mathrm{V}_{\mathrm{R1}} + V_{\mathrm{R2}} + \mathrm{V}_{\mathrm{R0}}$$

$$V_{\mathrm{S}} = \mathrm{V}_{\mathrm{S1}} + V_{\mathrm{S2}} + \mathrm{V}_{\mathrm{S0}}$$

$$= a^2 V_{\mathrm{R1}} + aV_{R2} + V_{R0}$$

$$V_{\mathrm{T}} = \mathrm{V}_{\mathrm{T1}} + V_{\mathrm{T2}} + \mathrm{V}_{\mathrm{T0}}$$

$$= a^2 V_{\mathrm{R2}} + aV_{R1} + V_{R0}$$

ولكن

$$a = 1\angle 120$$

و بالتالى يمكن التغبير عن العلاقة التى تربط بين الجهود الخاصة بالأوجه و المركبات المتماثلة باستخدام الصيغة التالية

$$\begin{bmatrix} V_R \\ \mathrm{V}_{\mathrm{S}} \\ \mathrm{V}_{\mathrm{T}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_0 \\ V_1 \\ V_2 \end{bmatrix}$$

و إذا تم استخدام الوجه R كدليل أو مقياس فإنه يمكن التعبير عن قيم الجهود للأوجه الثلاث كما يلي:

$$V_{\mathrm{R}} = \mathrm{V}_1 + \mathrm{V}_2 + \mathrm{V}_0$$

$$V_{\mathrm{S}} = \mathrm{a}^2\mathrm{V}_1 + \mathrm{aV}_2 + \mathrm{V}_0$$

$$V_{\mathrm{T}} = \mathrm{aV}_1 + \mathrm{a}^2\mathrm{V}_2 + \mathrm{V}_0$$

و من الممكن أيضا استنتاج قيم المركبات المتماثلة بمعرفة قيم جهود الأوجه من العلاقة

$$\begin{bmatrix} V_0 \\ V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{3}\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix}\begin{bmatrix} V_R \\ V_S \\ V_T \end{bmatrix}$$

و المثال التالى يوضح كيفية حساب قيم المركبات المتماثلة لنظام غير متزن

مثال أ-1

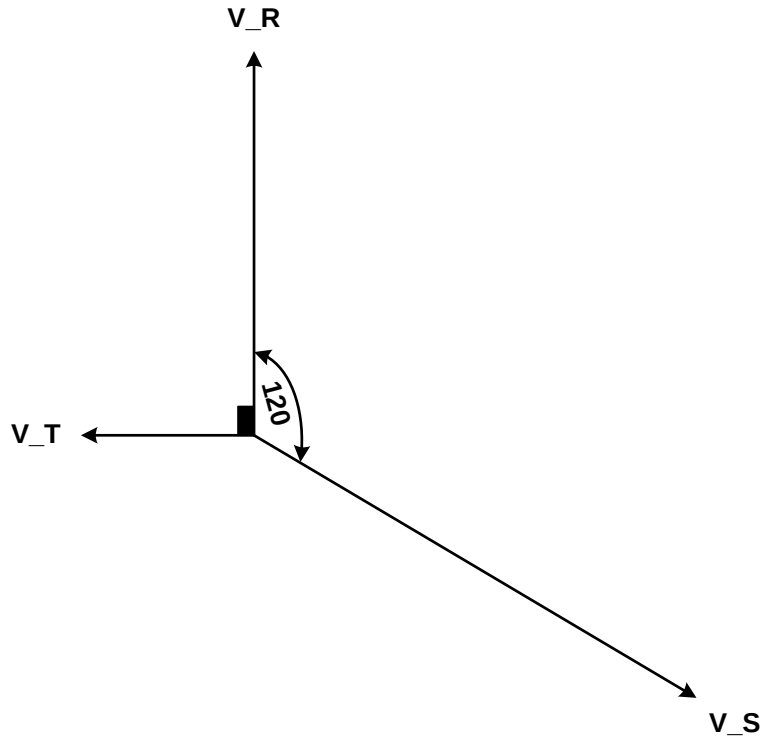
أوجد قيم المركبات المتماثلة لنظام الجهود التى له القيم التالية

$$\mathrm{V}_{\mathrm{R}} = 1\angle 0$$

$$\mathrm{V}_{\mathrm{S}} = 1.5 \angle -120$$

$$V_{\mathrm{T}} = 0.5 \angle +90$$

الحل



- **فى البداية نوجد المركبات المتماثلة للوجه R**

$$\mathrm{v_{R1}} = \mathrm{V_1} = \frac{1}{3}[V_R + \mathrm{aV_S} + \mathrm{a^2V_T}]$$

$$= \frac{1}{3}[1\angle 0 + (1\angle 120)(1.5\angle -120) + (1\angle 240)(0.5\angle 90)]$$

$$= 0.981 \angle -5$$

$$V_{R2} = V_2 = \frac{1}{3}[V_R + a^2V_S + aV_T]$$

$$= 0.355 \angle 100$$

$$V_{R0} = V_0 = 0.279\angle -72.63$$

- **و لإيجاد المركبات المتماثلة للوحه S**

$$V_{S1} = \mathrm{a}^2 \mathrm{v}_1$$

$$= 0.981\angle -125$$

$$V_{S2} = aV_2 = 0.355\angle -140$$

$$V_{S0} = \mathrm{V}_0 = 0.279\angle -72.63$$

- **و بالمثل لإيجاد المركبات المتماثلة للوجه T**

$$V_{T1} = aV_1 = 0.981\angle 115$$

$$V_{T2} = a^2V_2 = 0.355\angle -120$$

$$V_{T0} = V_0 = 0.279\angle -72.63$$

لحساب قيم المركبات المتماثلة للمثال السابق

و الملف التالى تم كتابته باستخدام الماتلاب لحساب قيم المركبات المتماثلة للمثال السابق ويمكن إستخدامة لحساب المركبات المتماثلة لأي نظام آخر مع تغيير قيم الجهود و الزوايا طبقا للحالة المراد حساب المركبات المتماثلة لها.

```
a=cos(120*pi/180)+i*sin(120*pi/180);
% *    input data    *
mag_r=1;
phi_r=0;
mag_s=1.5;
phi_s=-120;
mag_t=0.5;
phi_t=90;

%   calc. of phase voltages
vr=mag_r*[cos(phi_r*pi/180)+i*sin(phi_r*pi/180)];
vs=mag_s*[cos(phi_s*pi/180)+i*sin(phi_s*pi/180)];
vt=mag_t*[cos(phi_t*pi/180)+i*sin(phi_t*pi/180)];

% calc. of sym. commponent
v1=(1/3)*[vr+a*vs+a^2*vt];
v2=(1/3)*[vr+a^2*vs+a*vt];
v0=(1/3)*[vr+vs+vt];

% calc. of sym. commponent phase R
vr1=[abs(v1) angle(v1)*180/pi];
vr2=[abs(v2) angle(v2)*180/pi];
vr0=[abs(v0) angle(v0)*180/pi];

% calc. of sym. commponent phase S
vs1=[abs(a^2*v1) angle(a^2*v1)*180/pi];
vs2=[abs(a*v2) angle(a*v2)*180/pi];
vs0=[abs(v0) angle(v0)*180/pi];

% calc. of sym. commponent phase T
vt1=[abs(a*v1) angle(a*v1)*180/pi];
vt2=[abs(a^2*v2) angle(a^2*v2)*180/pi];
vt0=[abs(v0) angle(v0)*180/pi];

% calc. of sym. commponent all phases
aa=[vr1 vr2 vr0; vs1 vs2 vs0; vt1 vt2 vt0]
```

ملحق ب

المكثفات و تحسين معامل القدرة

ملحق ب

المكثفات و تحسين معامل القدرة

فى البداية نتذكر سويا بعض التعريفات المهمة الخاصة بالقدرة و العلاقات التى تربطها بعضها البعض. و نفترض هنا القدرة الفعالة و القرة الغير فعالة و القدرة الظاهرية أو الكلية و ذلك بالنسبة لمنظومة القوى المكونة من ثلاث أوجه و بفرض أن الثلاث أوجه فى وضع الاتزان.

- القدرة الفعالة P

$$P = \sqrt{3}VI\cos\varphi$$

- القدرة الغير فعالة Q

$$Q = \sqrt{3}VI\sin\varphi$$

- القدرة الظاهرية S

$$S = \sqrt{3}VI$$

حيث

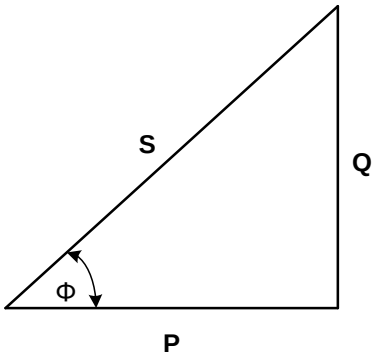
V : الجهد بين وجهين Phase –Phase Voltage

I : تيار الوجه

Φ : زاوية تأخر تيار الوجه عن جهد الوجه

COSΦ : معامل القدرة

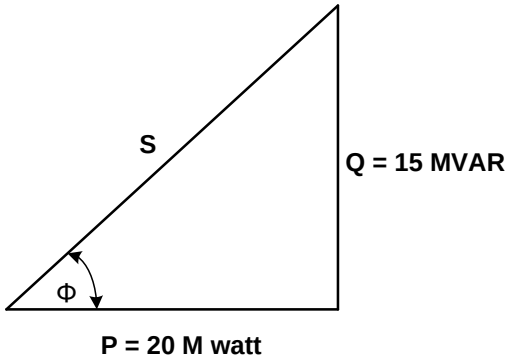
و يمكن تمثيل القدرة الفعالة و الغير الفعالة و الظاهرية عن طريق مثلث القوى الموجود بالشكل (ب-1).



شكل ب-1: القدرة الفعالة والغير فعالة و الظاهرية

يتم تعريف الأحمال بالقدرة الفعالة لها و غالبا ما تكون الأحمال من النوع الحثى أى أن الدائرة المكافئة لها تكون عبارة عن (مقاومة و ملف) و بالتالى فإن تيار الوجه يكون متأخرا عن جهد الوجه بزاوية معينة Φ و تكون هذه الزاوية صغيرة نسبيا فى المناطق التى تحتوى على أحمال سكنية و تزداد هذه القيمة فى المناطق الصناعية و التى غالبا ما تحتوى على مواتير و ماكينات ذات سعات كبيرة مما يقلل من قيمة معامل القدرة.

محول القدرة يتم تعريفة بالقدرة الظاهرية له (م.ف.أ) و لدراسة تأثير الأحمال ذات معاملات القدرة القليلة مع محولات القدرة نفترض المثال التالى و الذى يتكون من محول بقدرة 25 م.ف.أ و المحصلة الاتجاهية للأحمال المركبة على المحول هى (20 م.وات +15 م.ف.أ.ر) و بالتالى يمكن تمثيل مثلث القوى للأحمال المسحوبة من المحول بالشكل (ب-2).



شكل ب-2 : مثال للقدرة الفعالة والغير فعالة و الظاهرية

و من البيانات المرفقة فإنه يمكن إستنتاج قيمة القدرة الظاهرية للأحمال و هى

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$
$$= \sqrt{(20)^2 + (15)^2} = 25\text{MVA}$$

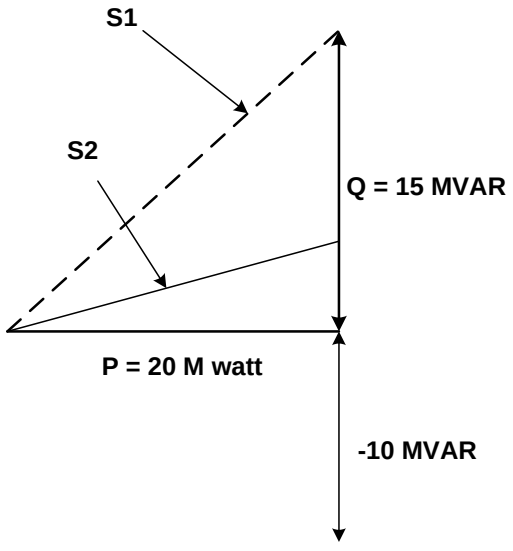
و هى مساوية للحد الأقصى لمحول القدرة على الرغم من أن القدرة الفعالة هى 20 م.وات فقط و لكن لو تخيلنا أننا إستطعنا تقليل قيمة القدرة الغير فعالة إلى 5 م.فار مثلا بدلا من 15 م.فار مع ثبات القدرة الفعالة عند 20 م.وات فإن القدرة الظاهرية فى هذه الحالة يمكن إيجادها من العلاقة

$$\text{S} = \sqrt{(20)^2 + (5)^2} = 20.62\text{MVA}$$

و بالتالى أصبح هناك سماحية لتحميل محول القدرة بحمل آخر قيمته

$$25\text{-}20.62\text{=}4.38\ \text{MVA}$$

و تقليل قيمة القدرة الغير فعالة غالبا يكون عن طريق إستخدام مكثفات. و الشكل (ب-3) يوضح تأثير استخدام المكثفات على تقليل القدرة الظاهرية المسحوبة من محول القدرة من S1 إلى S2 و ذلك عن طريق تقليل القدرة الغير فعالة.



الشكل ب-3: تقليل القدرة الظاهرية عن طريق تحسين معامل القدرة

ملاحظات:

- معظم الأحمال تكون من النوع الحثى و بالتالى مع إضافة تيار سعوى (من المكثفات) يلاشى جزء من التيار الحثى للأحمال مما يؤدى إلى تقليل القدرة الغير فعالة و بالتالى القدرة الظاهرية.
- بتحديد قيمة معينة لمعامل القدرة كهدف (نريد الوصول إليها) و بمعرفة قيمة القدرة الغير فعالة و القدرة الفعالة الحالية يمكن تحديد القدرة الغير فعالة (من النوع السعوى) المراد إضافتها للحصول فى النهاية على قيمة معامل القدرة المراد الوصول إليها.
- من الناحية النظرية فإن أفضل معامل قدرة عند تطابق القدرة الفعالة مع القدرة الظاهرية و فى هذه الحالة تكون القدرة الغير فعالة قيمتها هى صفر و يكون معامل القدرة مساويا للواحد الصحيح و لكن المشكلة هنا تصبح فى إحتمالية زيادة قيمة القدرة الغير فعالة (السعوية) عن القدرة الغير فعالة للأحمال مما يؤدى إلى الوصول إلى معامل قدرة بالسالب أى وكأنه حمل سعوى و هذا أيضا غير مرغوب فيه و بالتالى فعن طريق تحديد معامل القدرة أقل قليلاً من الواحد الصحيح يحمى من الوقوع فى هذه المشكلة و غالباً ما يتم إختيار معامل القدرة ليكون من (0.96: 0.98).
- تتكون لوحة المكثفات من أكثر من مجموعة و بسعات مختلفة يمكن توصيل أى منها على حسب الحاجة و تكون عملية التوصيل إما يدويا من خلال مسئول التشغيل أو تلقائيا من خلال وحدة تحكم خاصة بهذه اللوحة.
- وحدة التحكم الخاصة بالمكثفات تتم تغذيتها من خلال دوائر التيار و الجهد الثانوية و برمجتها بنسبة تحويل محولات التيار و الجهد و بذلك يتم تحديد القيم الابتدائية للقدرة الفعالة و الغير فعالة و الظاهرية و من ثم تحديد قدرة المكثفات المراد إدخالها الخدمة تبعا لقيمة الهدف لمعامل القدرة. بتغير الأحمال من وقت إلى آخر يتم تحديد قيمة المكثفات المطلوبة فى كل حالة و تحديد المرحلة المراد إدخالها فى الخدمة أو إخراجها من الخدمة.
- يراعى بعد فصل لوحة المكثفات لأعمال الصيانة مثلا أن نتأكد من تفرغ شحنة المكثفات قبل الإقتراب منها و ذلك غالباً ما يتم من خلال توصيل المكثفات لحظيا بالأرض لتفرغ الشحنة المتبقية فيها.
- لحماية لوحة المكثفات ضد الأعطال المختلفة فإنه يتم تركيب أجهزة وقاية ضد زيادة أو إنخفاض الجهد و أجهزة وقاية فى حالة حدوث عدم إتزان على الثلاث أوجه و هذه الأجهزة تؤدى إلى فصل لوحة المكثف لحين إصلاح العطل.

- تحتوى لوحة التحكم الخاصة بالمكثفات على مجموعة من الإشارات خاصة بالأعطال التى قد تحدث فى المكثف سواء الخاصة بإشتغال أحد أجهزة الوقاية أو عيب فى مراوح التبريد الخاصة بالمكثفات أو إنخفاض الغاز داخل الكونتاكتور الخاص بأحد المراحل.

ملحق ج

اختبار الاتزان لأجهزة الوقاية التفاضلية

ملحق ج

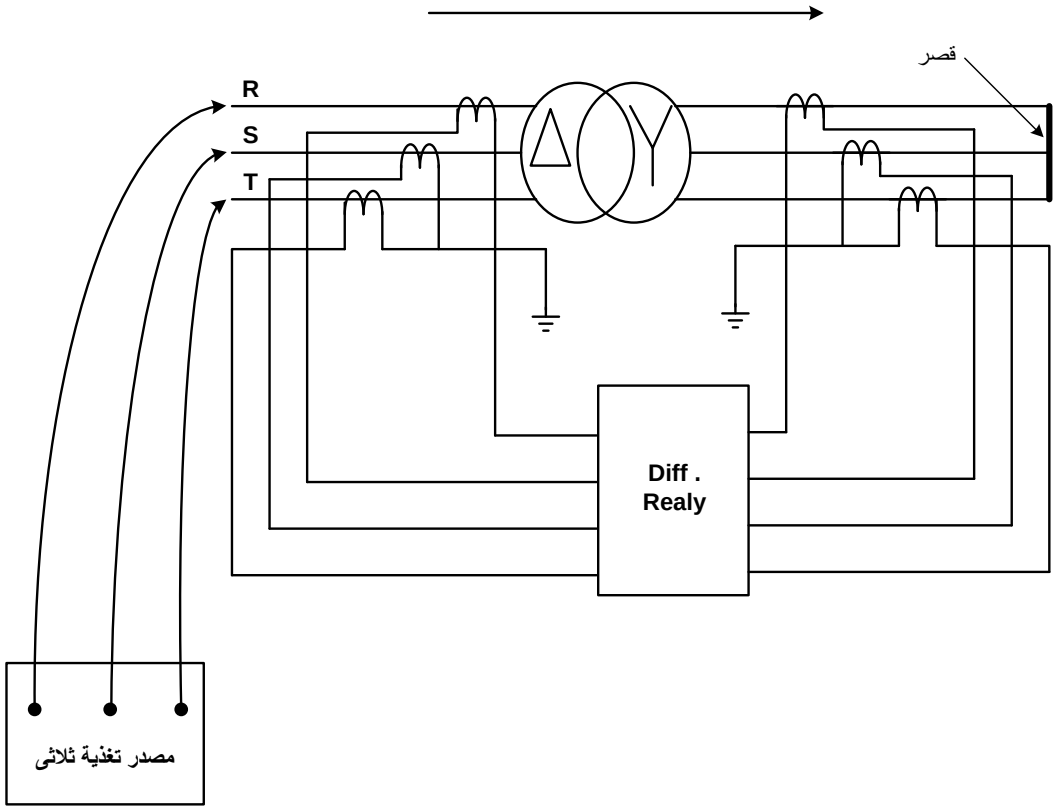
اختبار الاتزان لأجهزة الوقاية التفاضلية

يتم إجراء اختبار الاتزان على جهاز الوقاية التفاضلية للتأكد من سلامة التوصيلات و البرمجة للجهاز قبل دخوله الخدمة لأول مرة أو بعد أي تعديل فى دوائر التيار و من خلال دراستنا للأجزاء السابقة تعرفنا على عدة تطبيقات للوقاية التفاضلية فيوجد الوقاية التفاضلية للمحولات و القضبان بالإضافة للتسرب الأرضي القيد للمحولات و سوف نقوم بعمل اختبار اتزان لجهاز الوقاية في كل من الحالات السابقة

اختبار الاتزان لأجهزة الوقاية التفاضلية للمحولات

الشكل (ج-1) يوضح التوصيلات الخاصة بالاختبار مع إتباع خطوات الاختبار التالية:

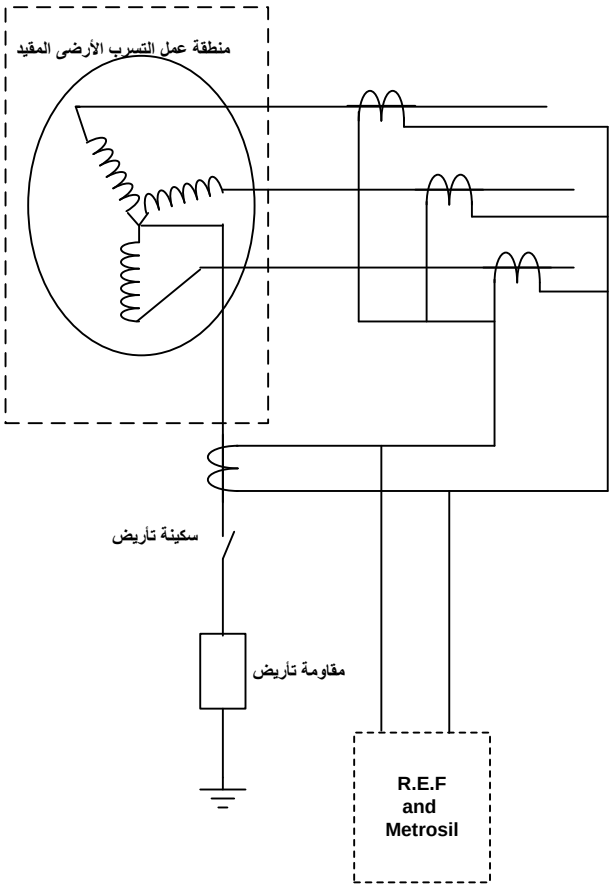
- يتم عمل قصر على خروج الملف الثانوي لمحول القدرة و ذلك بعد محول التيار الخاص بمحول القدرة من جهة الملف الثانوي له.
- يتم تسليط مصدر تغذية قبل محول التيار الخاص بمحول القدرة من جهة الملف الإبتدائى له و هذا المصدر غالبا ما يكون من مساعدات المحطة 400فولت ثلاث أوجه.
- يتم عمل القياسات اللازمة للتأكد من التوصيلات و البرمجة و غالبا فى أجهزة الوقاية الحديثة يتم قراءة تيار الاتزان Stabilizing current و تيار الاشتغال Differential Current و القيم العالية لتيار الاتزان و المنخفضة لتيار الاشتغال دليل على سلامة التوصيلات و البرمجة.
- إذا كانت قيمة تيار الاشتغال عالية فلابد عمل مراجعة للبرمجة و لدوائر التيار الثانوية و باتجاهية تأريض محولات التيار.



شكل ج-1 : اختبار اتزان للوقاية التفاضلية للمحولات

اختبار الاتزان لجهاز التسرب الأرضي المقيد

من المتعارف عليه هو أن جهاز التسرب الأرضي المقيد يتم تركيبه على المحول فى الجهة التى يكون فيها توصيل الملفات من النوع Y و يوجد طريقتين لعمل اختبار الاتزان لجهاز الوقاية ضد التسرب الأرضي المقيد أحدهما تعتمد على الحقن الإبتدائى للتيار و الأخرى تعتمد على وجود مصدر تغذيه أحادى الوجه مع أرضى و سوف نقوم باستعراض الطريقتين لاحقا. الشكل (ج-2) يوضح التوصيلات الثانوية لجهاز الوقاية ضد التسرب الأرضي المقيد بالإضافة إلى تأريض نقطة التعادل للمحول من خلال مقاومة التأريض مرورا بمحول التيار الخاص بنقطة التعادل و سكينة التأريض.



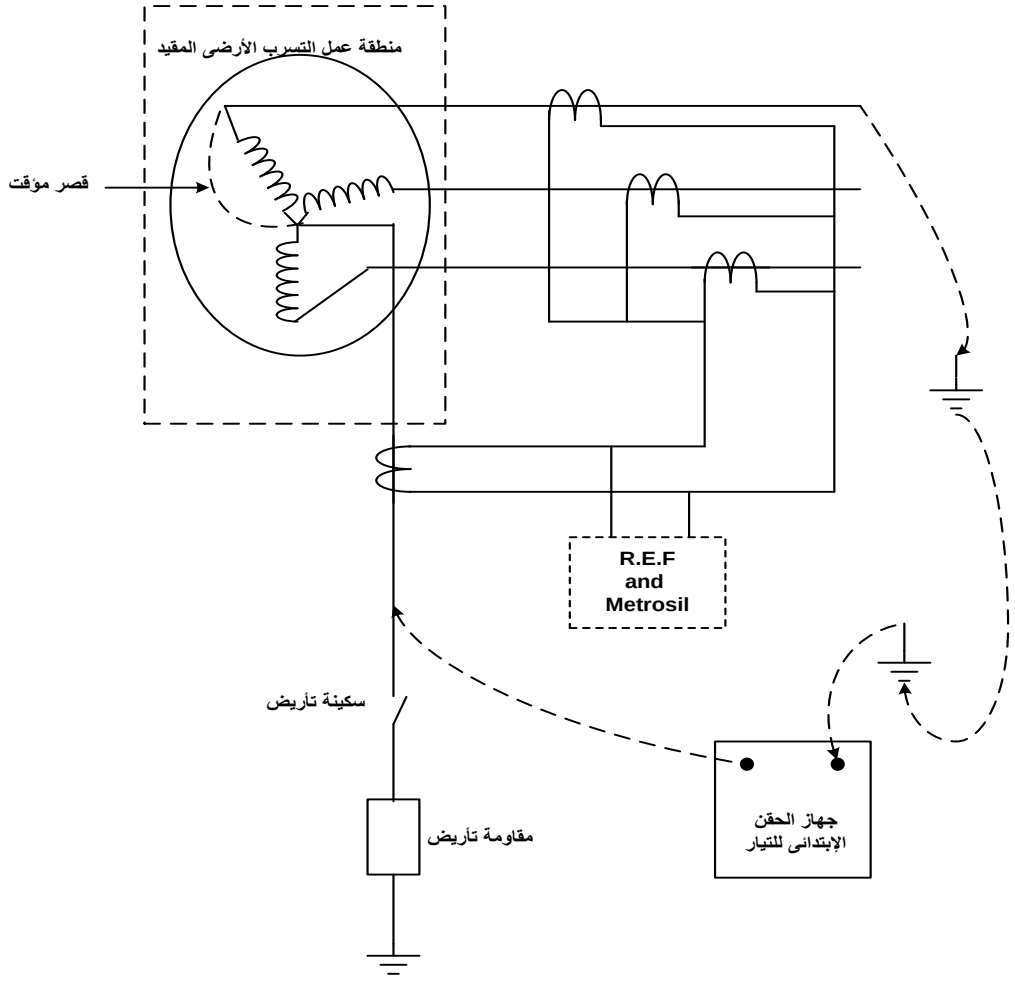
شكل ج-2 : التوصيلات الثانوية لجهاز الوقاية ضد التسرب الأرضي المقيد

الطريقة الأولى

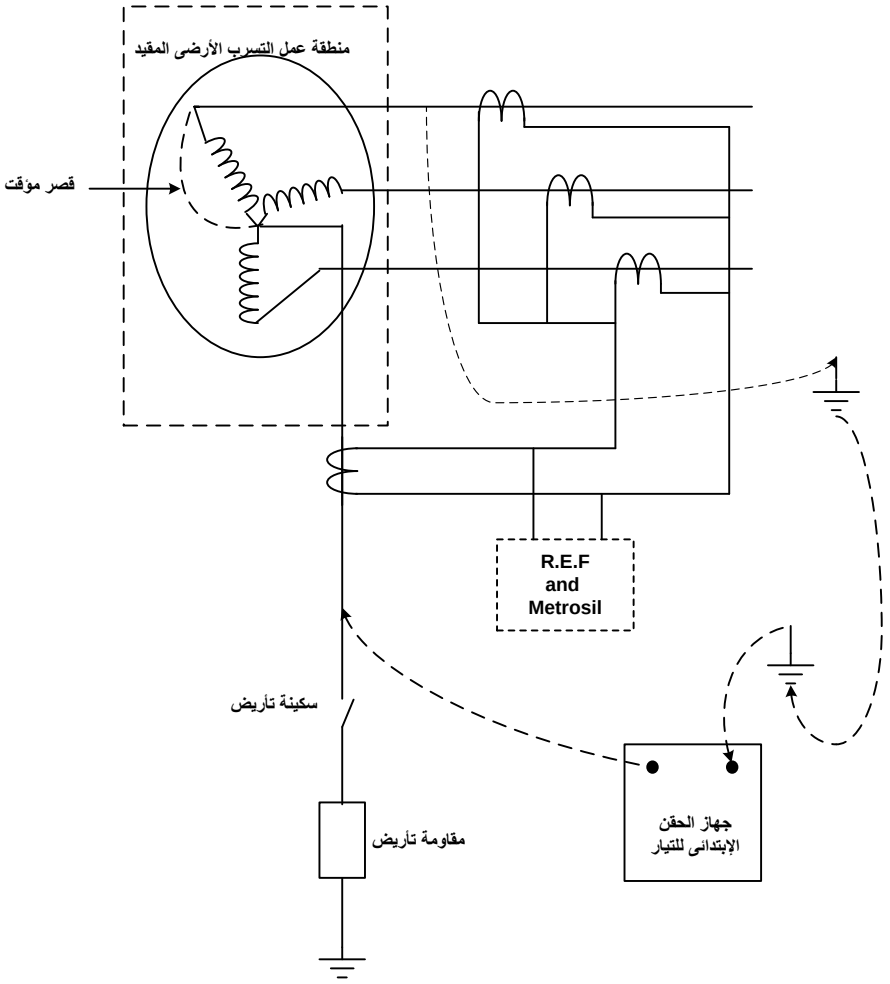
تعتمد فكرة هذه الطريقة على الحقن الإبتدائى للتيار بين أحد الأوجه مع الأرضي بحيث يمر التيار فى هذا الوجه بالإضافة إلى مروره فى محول التيار الخاص بنقطة التعادل مع ملاحظة أن أجهزة الحقن الإبتدائى للتيار لا تتحمل تغذية أحمال ذات قيم كبيرة و بالتالى يجب أخذ ذلك فى الاعتبار أثناء عمل ذلك الاختبار و الشكل (ج-3) يوضح التوصيلات الخاصة بالاختبار مع إتباع خطوات الاختبار التالية:

- الإختبار بين الوجه R مع الأرضي.
- يتم فصل سكينة التأريض للمحول.
- عمل قصر مؤقت بين الوجه R للمحول مع نقطة التعادل (لتلاشى المعاوقة الكبيرة للمحول)
- يتم توصيل جهاز الحقن الإبتدائى كما هو موضح بالشكل.

- بالحقن الإبتدائى يتولد جهد بين طرفى جهاز التسرب الأرضي المقيد إذا كان هناك خطأ فى التوصيلات الثانوية أو فى البرمجة و يكون قيمة الجهد مساوية للصفر فى حالة ما إذا كان الوضع صحيحا.
- يجب إعادة الاختبار بالنسبة للوجهين الآخرين S,T.
- لابد من التأكد من إلغاء القصر المؤقت بعد الانتهاء من الاختبار.
- للتأكد من سلامة التوصيلات الثانوية الخاصة بالفصل و الإنذار يمكن إعادة الاختبار مع نقل طرف جهاز الحقن الإبتدائى للتيار قبل محول التيار للوحه R كما هو موضح بالشكل (ج-4) و فى هذه الحالة يقوم جهاز الوقاية بالاشتغال و إرسال إشارة فصل للقواطع المراد فصلها مع حدوث إنذار مرئي و مسموع.



شكل ج-3 : اختبار اتزان للتسرب الأرضي المقيد بالحقن الابتدائي



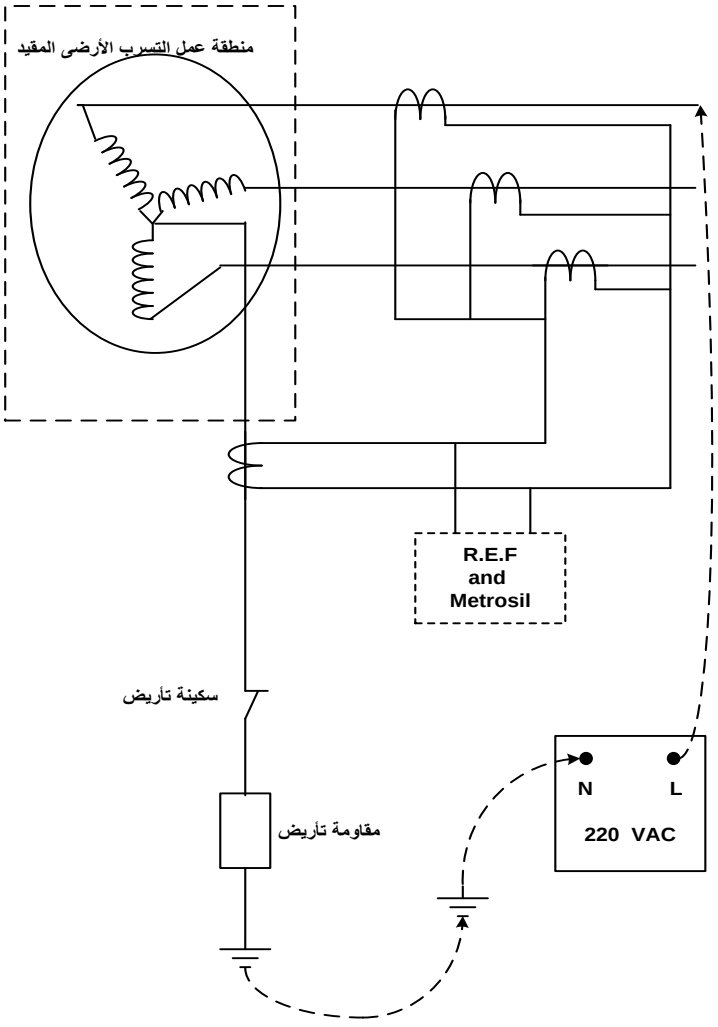
شكل ج-4 : تمثيل حالة عطل داخلي للتسرب الأرضي المقيد بالحقن الابتدائي

الطريقة الثانية

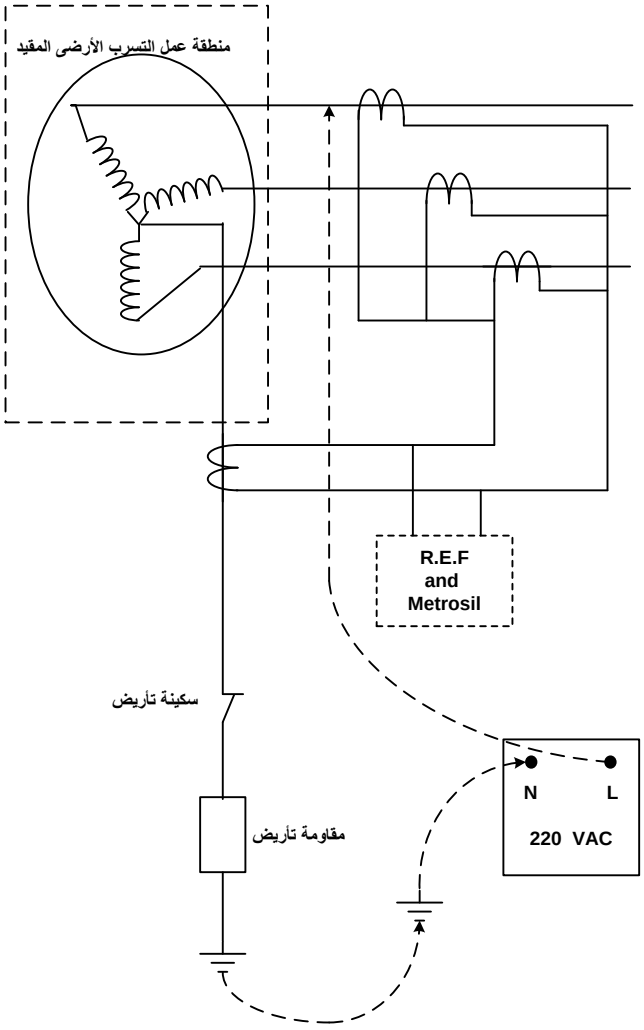
فى هذه الطريقة يتم الاعتماد على مصدر تغذية 220 فولت مثلا فى الحقن بدلا من استخدام جهاز الحقن الإبتدائى للتيار و فى هذه الطريقة يتم توصيل مصدر التغذية كما هو كوضح بالشك (ج-5) مع إتباع الخطوات التالية فى الاختبار:

- الإختبار بين الوجه R مع الأرضي.
- نقوم بتوصيل مصدر التغذية كما هو بالشكل.
- للحكم على صحة التوصيلات الثانوية و برمجة الجهاز يتم قياس الجهد المتولد بين طرفى جهاز الوقاية ضد التسرب الأرضي المقيد و الذى تكون قيمته تسوى صفر فى حالة التوصيلات الصحيحة و تكون له قيمة أخرى إذا كان هناك خطأ فى التوصيلات.

- يجب إعادة الاختبار للوجهين الآخرين للتأكد من سلامة دوائر القياس بالنسبة لجميع الأوجه.
- تجربة دوائر الإنذار أو الفصل لجهاز الوقاية ضد التسرب الأرضي المقيد و ذلك عن طريق نقل طرف مصدر التغذية قبل محول التيار كما هو موضح بالشكل (ج-6) و فى هذه الحالة يقوم جهاز الوقاية بالاشتغال و إرسال إشارة فصل مع حدوث إنذار مرئي و مسموع.



شكل ج-5 : اختبار اتزان للتسرب الأرضي المقيد باستخدام مصدر جهد 220 VAC



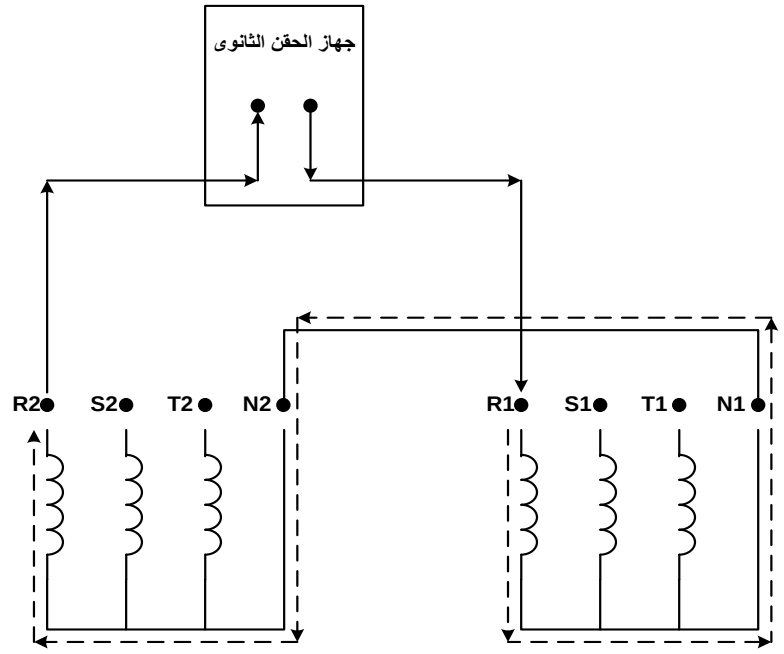
شكل ج-6 : تمثيل حالة عطل داخلي للتسرب الأرضي المقيد باستخدام مصدر جهد 220 VAC

اختبار الاتزان لجهاز الوقاية التفاضلية للقضبان

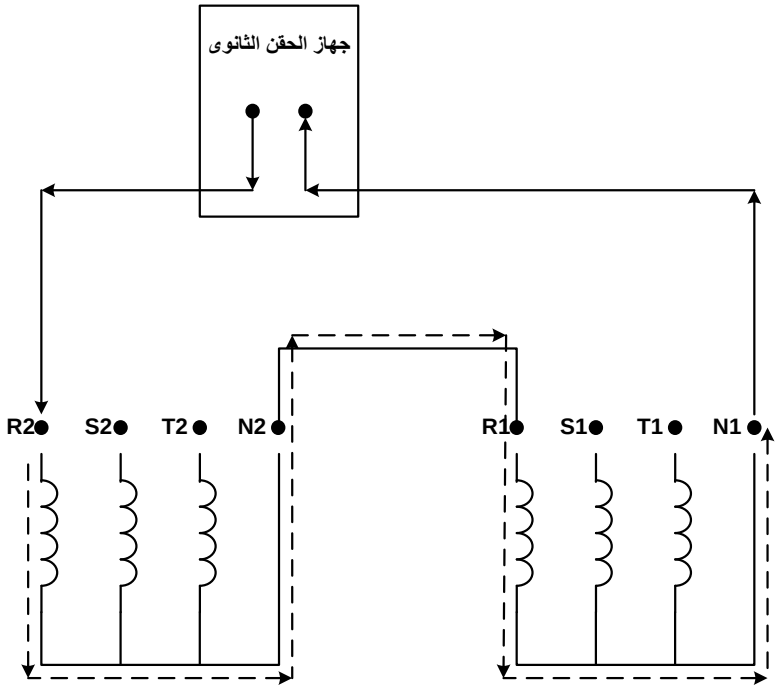
بعد الانتهاء من عمل جميع التوصيلات الثانوية لجهاز الوقاية التفاضلية للقضبان يتم التأكد من سلامة التوصيل الخاصة بدوائر التيار الثانوية و ذلك بالحقن الإبتدائى للتيار و مراجعة مسار التيار بداية من خروج الملف الثانوي مرورا بخلية الحوش (Marshalling) و منها حتى جهاز الوقاية التفاضلية للقضبان و مراجعة جميع التوصيلات الثانوية الخاصة بوضع سكاكين القضبان لجميع المهمات بالإضافة لوضع القاطع و ذلك فى حالة ما إذا كان جهاز الوقاية التفاضلية للقضبان يحتوى بداخله على جهاز الوقاية ضد فشل القاطع و بعد ذلك يتم عمل اختبار اتزان لجهاز الوقاية التفاضلية للقضبان سواء بالحقن الثانوي أو الحقن الإبتدائى للتيار.

اختبار الاتزان بالحقن الثانوي للتيار

تتكون محطة المحولات من مجموعة من المهمات (محولات و خطوط بالإضافة إلى رابط القضبان) و تختلف قيمة نسبة تحويل محولات التيار من مهمة إلى أخرى فلابد من مراعاة ذلك أثناء ضبط Setting لجهاز الوقاية التفاضلية للقضبان. نقوم باختبار الاتزان بين مهمتين لهما نفس نسبة تحويل محول التيار بحيث يمكن استخدام جهاز حقن أحادى الوجه و يكون الحقن كما هو موضح بالشكل (ج-7) بحيث نقوم بتوصيل طرفى الحقن لجهاز الاختبار بين الوجه R للمهمة الأولى و الوجه R للمهمة الثانية مع عمل قصر بين نقطة التعادل للمهمة الأولى مع نقطة التعادل للمهمة الثانية و ملاحظة قيم التيار فى ملف الاشتغال و لابد أن يكون هناك اتزان و عدم اشتغال الجهاز مع عكس اتجاه الحقن كالموجود فى الشكل (ج- 8). نلاحظ اشتغال جهاز الوقاية التفاضلية. يجب تكرار ذلك للوجهين الآخرين T,S.



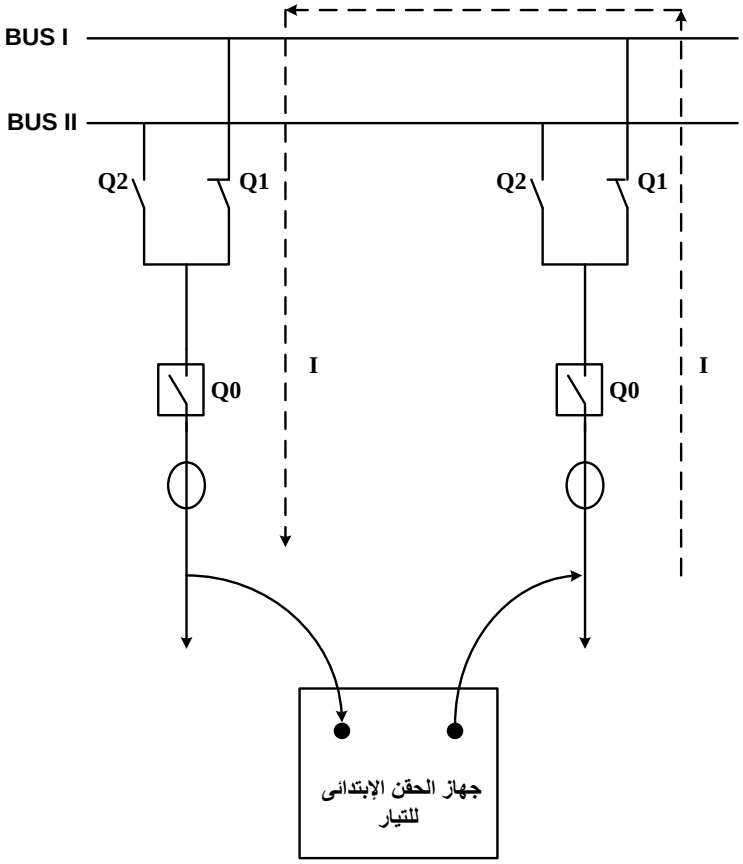
شكل ج-7: اختبار اتزان لوقاية القضبان بالحقن الثانوي للتيار



شكل ج- 8 : تمثيل حالة عطل داخلي لوقاية القضبان بالحقن الثانوي للتيار

اختبار الاتزان بالحقن الإبتدائى

تتكون محطات المحولات من عدة مهمات و التى يصعب اختبار الاتزان لها جميعا فى وقت واحد بالحقن الإبتدائى للتيار و لكن نقوم بعمل اختبار للاتزان بين كل مهمتين متتاليتين على حده كالمبين بالشكل (ج-9) بحيث نتخيل أن أحد المهمتين يقوم بتغذية المهمة الأخرى مرورا بقضبان التوزيع و لكى يتم ذلك فلابد من توصيل أحد سكينتى القضبان للمهمة الأولى و توصيل المهمة الأخرى على نفس القضبان مع توصيل القاطع الخاص بكل منهما و توصيل جهاز الحقن الإبتدائى كما هو موضح بالشكل و نلاحظ قيم تيار التشغيل و التى من المفترض أن تكون صغيرة جدا مما يدل على صحة التوصيلات الثانوية و صحة البرمجة.



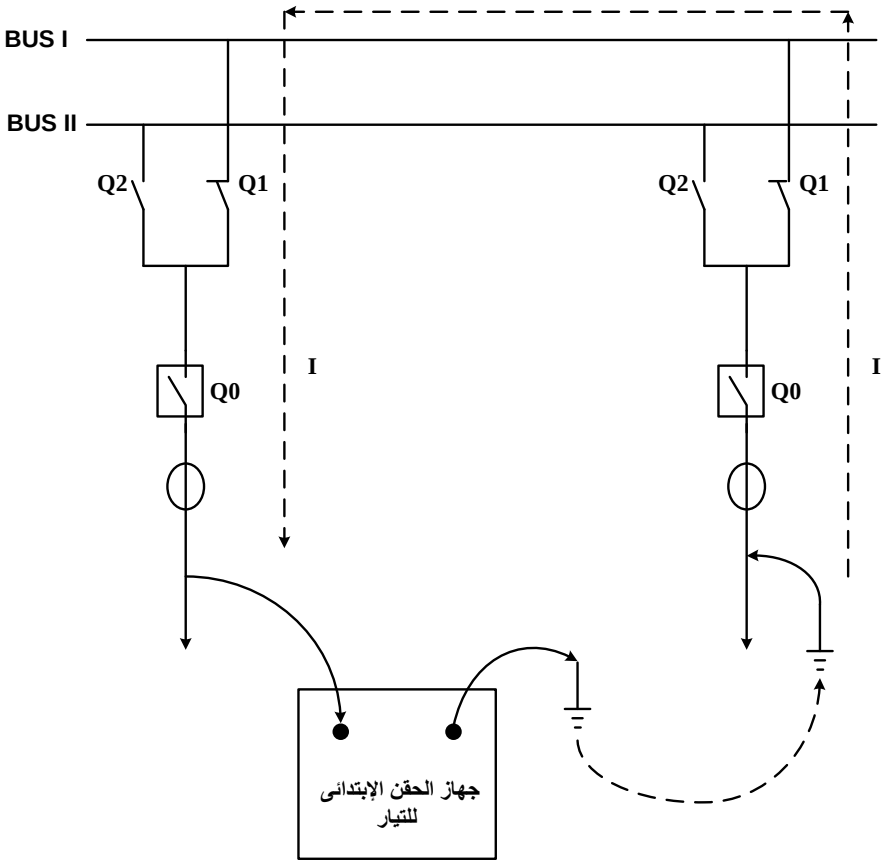
شكل ج-9 : اختبار اتزان لوقاية القضبان بالحقن الإبتدائى للتيار

ملحوظة:

عمليا أثناء عمل هذا الاختبار تكون هناك مشكلة فى أطوال الموصلات الخاصة بأطراف الحقن الإبتدائى و خاصة فى حالة الجهود العالية و التى تكون المسافة بين المهمات كبيرة و فى هذه الحالة نلجأ إلى استخدام شبكة أرضى المحطة للتغلب على هذه المشكلة و بالتالى تكون دائرة الاختبار كالموضحة بالشكل (ج-10) و تكون خطوات الاختبار كالأتي:

- نقوم بتوصيل سكينة القضبان رقم I و القاطع للمهمة الأولى من مهمات المحطة.
- نكرر الخطوة السابقة بالنسبة للمهمة رقم 2 من مهمات المحطة.
- نقوم بتوصيل الطرف الأول لجهاز الحقن الإبتدائى للتيار قبل محول التيار للوحه R للمهمة الأولى.
- نقوم بتوصيل الطرف الثانى لجهاز الحقن الإبتدائى للتيار بالأرض.
- نقوم بعمل قصر بين الأرضي و دخول محول التيار الوجه R للمهمة الثانية (و فى هذه الحالة نقوم باستخدام شبكة الأرضي للمحطة كجزء من مسار الحقن للتيار).

- لابد من التأكد من سلامة عمل الملامسات المساعدة الخاصة بسكينتي القضبان رقم I للمهمتين و للقاطعين أيضا و ذلك من خلال القياس على الجزء الخاص بهما على جهاز الوقاية التفاضلية للقضبان.
- نقوم بحقن التيار و نلاحظ قيمة تيار الاشتغال (I_{DIFF}) و تيار الاتزان (I_{STAB}) ونلاحظ صغر قيمة I_{DIFF} بالنسبة I_{STAB} وهذا دليل على سلامة التوصيلات الثانوية و البرمجة.
- نقوم بنقل الطرف الثانى لجهاز الحقن الإبتدائى على الطرف الداخلي لمحول التيار للوجه R للمهمة الأولى (نقوم بالحقن على محول التيار للوجه R للمهمة الأولى فقط) و مع زيادة تيار الحقن حتى قيمة تيار الملاحظة ($I_{Supervision}$) و لابد من التأكد من نزول الإشارة الخاصة بذلك.
- نزيد من تيار الحقن حتى نصل إلى القيمة اللازمة للاشتغال و نقوم بفصل جهاز الحقن مع الاحتفاظ بقيمة الحقن السابقة و إعادة تشغيل جهاز الحقن الإبتدائى مع هذه القيمة و ملاحظة اشتغال الجهاز و فصل جميع القواطع للمهمات الموصلة على هذه القضبان و من الممكن توصيل بعض المهمات على القضبان الأخرى و التأكد من عدم فصلها مع هذا الاشتغال لضمان عدم الفصل الخاطئ لها و يمكن تكرار الاختبار مع توصيل القاطع الخاص برابط القضبان و التأكد من فصله مع اشتغال الجهاز.
- يمكن عزل طرف الملامس المساعد لسكينة القضبان و بإعادة الحقن نلاحظ عدم اشتغال جهاز الوقاية.
- نقوم بتكرار ذلك بالنسبة للوجه S و بنفس الطريقة و ملاحظة النتائج و مقارنتها بالنتائج المتوقعة.
- نكرر نفس الاختبار للوجه T و التأكد من مطابقة النتائج مع النتائج المتوقعة.
- إعادة الاختبار فى حالة توصيل سكينة القضبان رقم II بدلا من I
- نكرر نفس الاختبارات بين المهمتين الثانية و الثالثة بدلا من الأولى و الثانية ثم نكرر ذلك تباعا بين كل مهمتين متتاليتين لحين الانتهاء من كل المهمات.
- في كل حالة من الحالات السابقة نقوم بالتأكد من سلامة جميع دوائر الفصل و الإشارات سواء على جهاز الوقاية أو على لوحة الإشارات في غرفة التحكم.



شكل ج-10 : اختبار اتزان لوقاية القضبان بالحقن الإبتدائى للتيار عن طريق الأرض

ملحق د

قياس المركبة الموجبة و الصفرية لمعاوقة الخطوط

ملحق د

قياس المركبة الموجبة و الصفرية لمعاوقة الخطوط
Transmission line positive and zero sequence impedances measurements

مقدمة

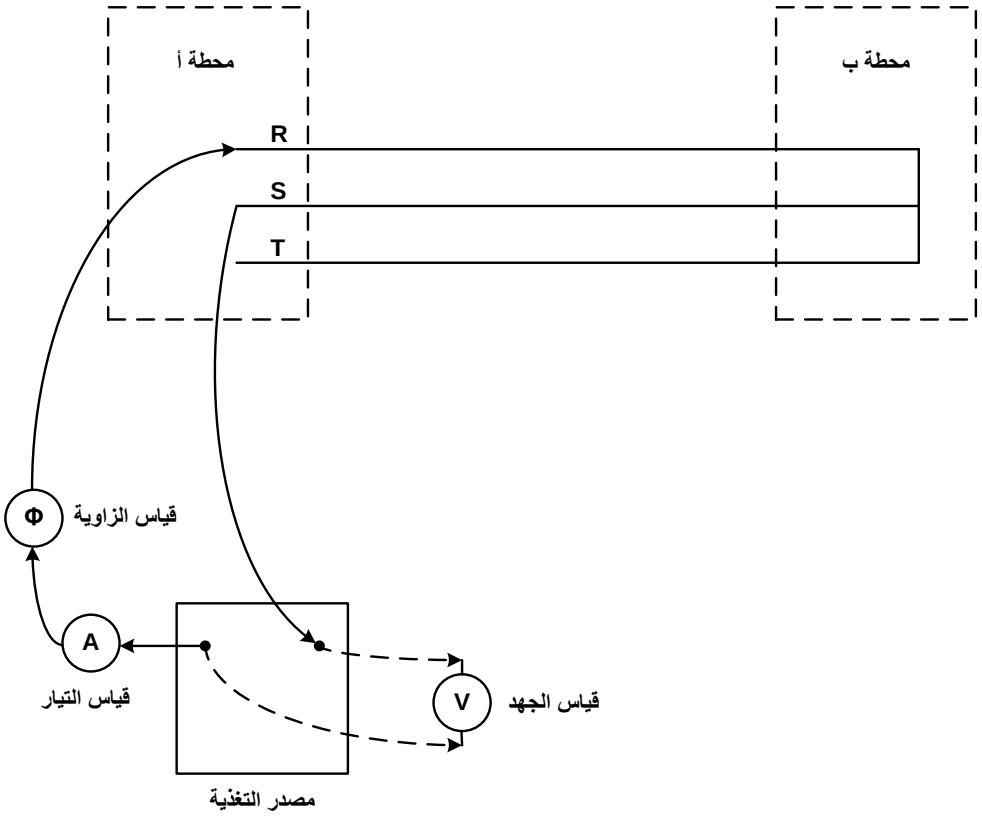
أحد أهم العناصر التى يعتمد عليها سلامة اشتغال أجهزة الوقاية المسافية هى المعاوقة الخاصة بالخطوط و التى يجب قياسها بكل دقة لضمان اشتغال أجهزة الوقاية بصورة صحيحة. و من المعروف أن جهاز الوقاية المسافية يشتمل على عدة مراحل و لكل مرحلة منها زمن اشتغال مختلف عن باقي المراحل و أي خطأ في حساب المعاوقة الخاصة بالخطوط يؤثر على سلامة اشتغال جهاز الوقاية و قد يجعل إحساس الجهاز بعطل في مرحلة ما و كأنه في مرحلة أخرى و هذا ما دعا إلى أهمية قياس المعاوقة تجنبا للحسابات الخاطئة للأعطال و سوف نقوم بعمل هذه الدراسة بصورة عملية مع شرح مثال فعلي لقياس المعاوقة الخاصة بالخطوط و معامل التعديل الخاص بالأعطال الأرضية Earth Fault Compensation Factor.

كيفية قياس معاوقة الخطوط

سوف نقوم في هذا الجزء بقياس القيمة الاتجاهية للمركبة الموجبة للمعاوقة Z_1 ومعامل التعديل للأعطال الأرضية K_0. و لكي نقوم بهذه الدراسة نفترض الخط المراد قياس هذه القيم له بحيث يكون توازي مع خط آخر على نفس البرج و لإيجاد قيمة كل من Z_1 ، K_0 لهذا الخط نتبع الخطوات التالية :

- نفترض أن الخط المراد قياس المعاوقة له هو أحد الخطين الواصلين بين المحطتين (أ) و (ب) على أن تتم القياسات من داخل المحطة (أ).
- نقوم بفصل الخطين الواصلين بين المحطتين (أ) و (ب) و يكون الفصل للقاطع و سكينتي الخط و القضبان من الجهتين.
- نقوم بعمل قصر بين الثلاث أوجه للخط من داخل المحطة (ب) شكل (د–1).

- نقوم بتسليط مصدر جهد 220 فولت مثلا بين الوجهين R ، S من داخل المحطة (أ) و نقوم بقياس القيمة الفعلية لهذا المصدر مع توصيل جهاز قياس تيار(أميتر) و جهاز قياس زاوية كما هو موضح بالشكل (د–1).
- نوجد القيمة الاتجاهية للمعاوقة في هذه الحالة عن طريق قسمة قيمة الجهد على التيار و هي في هذه الحالة تمثل ضعف قيمة المركبة الموجبة للمعاوقة لهذا الخط.
- نكرر العملية السابقة للوجهين T، S ثم للوجهين R،T.
- نوجد القيمة المتوسطة للمعاوقة بين الثلاث اختبارات السابقة و بهذا نكون قد انتهينا من إيجاد قيمة Z_1 لهذا الخط.
- نقوم بإلغاء القصر بين الثلاث أوجه.



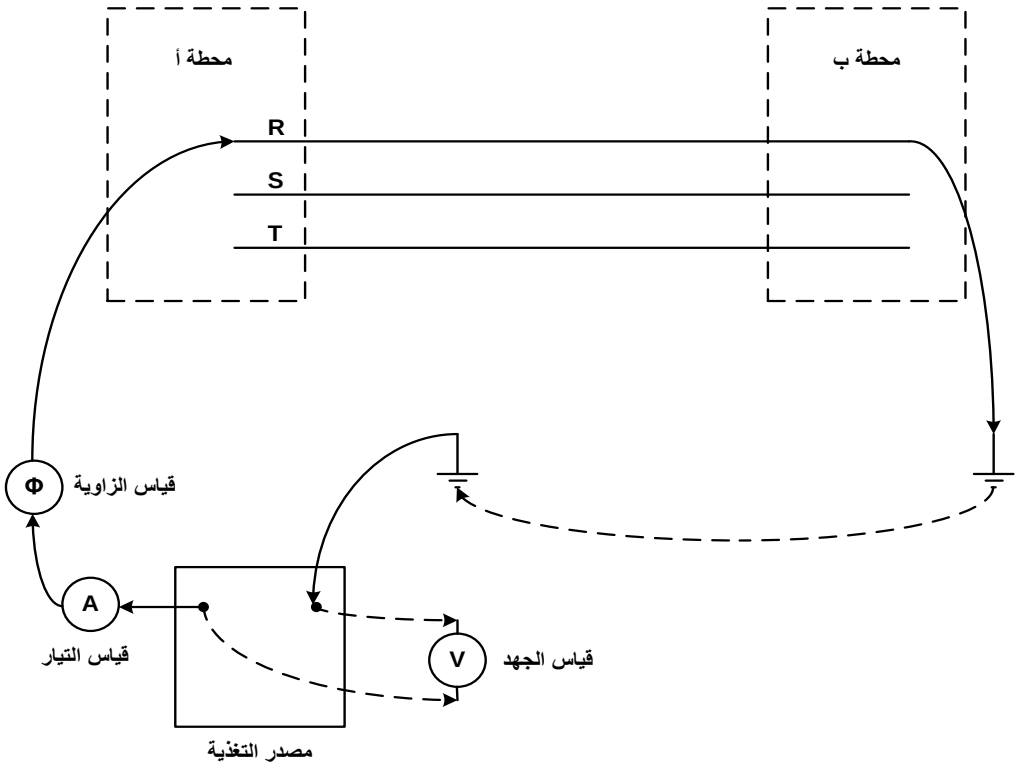
شكل د – 1 : قياس المركبة الموجبة لمعاوقة الخطوط

قياس معامل التعديل للأعطال الأرضية K_0

- نقوم بتوصيل الوجه R بالأرضي من داخل المحطة (ب) و يمكن عمل هذا عن طريق توصيل سكينة أرضي الخط من داخل المحطة (ب).
- نقوم بتسليط مصدر الجهد بين الوجه R و الأرضي من داخل المحطة (أ) بحيث يكون جهد الوجه المسلط على الوجه R للخط و أرضي المصدر بأرضي الخط (سكينة الأرضي للمحطة) مع توصيل نفس الدائرة السابقة كما هو موضح بالشكل (د – 2).
- نوجد القيمة الاتجاهية للمعاوقة عن طريق قسمة قيمة الجهد على التيار و تكون قيمة المعاوقة في هذه الحالة Z_E و بمعرفة قيمة Z_1 و التى تم حسابها سابقا يصبح المجهول الوحيد في المعادلة هو K_0 و الذي يمكن حسابه.

$$\mathbf{Z_E = (1 + K_0)Z_1}$$

- نقوم بتكرار الاختبارات السابقة للوجهين S مع الأرضي ثم T مع الأرض ثم نوجد القيمة المتوسطة ل K_0 للثلاث أوجه و المثال التالي يوضح نتائج فعلية لأحد الاختبارات.



شكل د– 2 : قياس المركبة الصفرية لمعاوقة الخطوط

مثال د-1

بتطبيق الخطوات السابقة على الخط الواصل بين محطتي القنايات وهيا جهد 66 كف وكانت القياسات من داخل محطة محولات القنايات كالتالى:

الأوجه	V	I	Φ
R-S	211.1	11.76	-73
S-T	211.5	11.85	-73
T-R	212.3	10.73	-73
R-N	215.7	13.62	-76
S-N	215.8	13.62	-76
T-N	215.8	13.65	-76

$$Z_{RS} = \frac{211.1\angle 0}{11.76\angle -73} = 17.95\angle 73$$

$$Z_{ST} = \frac{211.5\angle 0}{11.85\angle -73} = 17.85\angle 73$$

$$Z_{TR} = \frac{212.3\angle 0}{10.73\angle -75} = 19.79\angle 75$$

القيمة المتوسطة ل Z_1 يمكن إيجادها من المعادلة التالية :

$$Z_1 = \frac{(Z_{RS} + Z_{ST} + Z_{TR})}{6} = 9.26\angle 73.71$$

و لإيجاد قيمة K_0

$$K_0 = \frac{Z_E}{Z_1} - 1$$

$$K_0(RN) = \left[\frac{V_{RN}/I_{RN}}{Z_1}\right] - 1$$

$$K_0(RN) = 0.708 + J0680$$

$$K_0(SN) = 0.709 + J0.068$$

$$\mathrm{K}_0(TN) = 0.705 + \mathrm{J}0.068$$

و بالتالي فان K_0 يمكن إيجادها من المتوسط للثلاث أوجه من العلاقة:

$$\mathrm{K}_0 = \frac{\mathrm{K}_0(\mathrm{RN}) + \mathrm{K}_0(\mathrm{SN}) + \mathrm{K}_0(\mathrm{TN})}{3} = 0.7109\angle 5.51$$

توصيل الأرضي من الجهتين

فى حالة فصل أحد الخطين وتوصيل سكينة الأرضي من جهة واحدة على الأكثر فإن قيمة المعاوقة وقيمة معامل التعديل K_0 للدائرة الأخرى لا يحدث بها تغيير يذكر ولكن التغيير فى هذه القيم يكون أكبر فى حالة توصيل سكينتى الارضى للدائرة الأخرى من الجهتين. ولدراسة هذه الحالة تم إجراء نفس الاختبار السابق و لكن مع توصيل سكينتى الارضى للدائرة الأخرى من الجهتين و كانت النتائج كالتالى:

الأوجه	V	I	Φ
R-S	211.9	11.81	-73
S-T	211.8	11.86	-73
T-R	212.5	10.75	-75
R-N	214.2	17.17	-76
S-N	214.0	17.30	-76
T-N	214.6	17.20	-76

و بتطبيق نفس المعادلات السابقة فإن:

$$Z_1 = 9.33\angle 73.371$$
$$K_0 = 0.337\angle 9.11$$

ملحوظة

قيمة Z_1 لم تختلف كثيرا عن القيمة السابقة و لكن الاختلاف الأكبر يكون في قيمة K_0 و التي تؤثر سلبا على أداء جهاز الوقاية المسافية و لحل هذه المشكلة لا بد من تعديل قيمة K_0 في setting في حالة فصل الدائرة الأخرى و وضع أرضي من الجهتين و أجهزة الوقاية الحديثة تسمح بذلك عن طريق توظيف مجموعتين setting أحدهما تعمل في الوضع العادي و الأخرى تعمل في حالة فصل الدائرة الأخرى و وضع أرضي من الجهتين و يكون ذلك تلقائيا عن طريق توظيف أحد المدخلات الرقمية (Binary Inputs) لجهاز الوقاية بحيث تكتمل الدائرة الكهربية له في حالة توصيل سكينتي أرضي الخط للدائرة الأخرى من الجهتين و لعمل ذلك لا بد من توافر دوائر للاتصالات بين المحطتين.

ملحق هـ

توصيل المحولات على التوازي

ملحق هـ

توصيل المحولات على التوازي
Parallel operation of power transformers

يقصد بعملية توصيل المحولات على التوازي أن تكون الملفات الابتدائية لجميع المحولات تكون متصلة بعضها البعض و بالمثل الملفات الثانوية لجميع المحولات و تتم هذه العملية عن طريق توصيل المحولات على نفس القضبان أو عن طريق توصيل رابط القضبان بينها.

تنبع أهمية توصيل المحولات على التوازي من ضرورة استمرار تغذية أحمال أحد المحولات فى حالة فصل هذا المحول سواء فصلا تلقائيا بأجهزة الوقاية لحدوث عطل ما أو فصلا يدويا لعمل أى نوع من أنواع الصيانات الخاصة بالمحول. على الرغم من وجود مميزات لتوصيل المحولات على التوازي إلا إنه يوجد بعض العيوب التى تصاحب هذه العملية منها زيادة تيارات القصر نتيجة انخفاض المعاوقة الناتجة من توصيل المحولات على التوازي وفى حالة حدوث عطل فإن كل المحولات الموصلة على التوازي تكون عرضة للفصل التلقائي فى وقت واحد مما يؤدى إلى انقطاع التغذية عن كثير من الأحمال.

شروط توصيل المحولات على التوازي

لابد من توافر مجموعة من الشروط حتى يسمح بتوصيل المحولات على التوازي و هى :-

- يكون لها نفس التردد
- يكون لها نفس الجهد الإبتدائى و نفس الجهد الثانوي
- نفس نوع التوصيلة Vector group
- نفس المعاوقة النسبية percentage impedance
- الًا تزيد النسبة بين قدرات المحولات عن 3:1

من الناحية العملية لابد من توافر الشرط الأول حتى تتم عملية التوصيل على التوازي و لكن باقي الشروط من الممكن أن تختل و لكن مع وجود فروق بسيطة و عندها يمكن إتمام عملية التوصيل على التوازي و سوف نقوم باستعراض بعض الحالات في حالة وجود بعض الفروق بين المحولات المختلفة و دراسة تأثيرها على الحمل المسحوب من كل من المحولات الموصلة على التوازي.

توصيل المحولات على التوازي مع اختلاف نسبة التحويل لها

عند توصيل محولين على التوازي بحيث كانت نسبة التحويل لهما مختلفة فإن أحد المحولين يقوم بتغذية المحول الثاني و كأنه حمل على المحول الأول مما يؤدي إلى مرور تيار بينهما circulating current و ذلك يكون في حالة اللّا حمل أو في حالة الأحمال الصغيرة جدا أما إذا ما زادت الأحمال الكلية فإن نسبة تحميل المحولين تكون مختلفة و لدراسة ذلك بالتفصيل نفترض توصيل المحولين على التوازي بحيث كانت قيمة الجهد الابتدائي لكل منهما واحدة مع اختلاف قيمة الجهد الثانوي ففي هذه الحالة يمر تيار بين المحولين circulating current و الذي يمكن حسابه من المعادلة

$$I_{CIR} = \frac{\Delta K}{\frac{Z_1\ \%}{I_{S1}} + \frac{Z_2\ \%}{I_{S2}}}$$

$$K = \sqrt{K_1\ K_2}$$

$$\Delta K = \frac{K_2 - K_1}{K}$$

حيث:

K2،K1	نسبة تحويل المحولين 1 ، 2 على الترتيب
Z_2 % ، Z_1 %	المعاوقة النسبية للمحولين
I_{S2} ، I_{S1}	أقصى تيار جهة الملف الثانوي للمحولين (rated current)

و غالبا ما يتم التعبير عن circulating current كنسبة بين rated current للمحول و بفرض أن المحول الأول هو الدليل فانه يمكن التعبير عن هذا التيار كما يلي

$$I_{CIR} = \frac{\Delta K \ * \ 100}{Z_1 \ \% \ + \ Z_2 \ \% \ \left(\frac{I_{S1}}{I_{S2}}\right)}$$

توصيل المحولات على التوازي مع اختلاف المعاوقة النسبية

لدراسة تأثير اختلاف قيمة المعاوقة النسبية للمحولات على نسبة تحميل كل محول و ذلك في حالة توصيلهما على التوازي نفترض المثال التالي و الذي يتكون من ثلاث محولات T1 ، T2 ، T3 بحيث كانت لها المواصفات التالية :

$P_1max = 100$ MVA $\quad Z_1 \% = 10$

$P_2max = 150$ MVA $\quad Z_2 \% = 9$

$P_3max = 150$ MVA $\quad Z_3 \% = 8$

الحل:

في حالة توصيل المحولات على التوازي يتناسب تحميل كل محول عكسيا مع قيمة المعاوقة النسبية له و يمكن التعبير عن ذلك بالمعادلة التالية :

$$P_1 : P_2 : P_3 = \frac{1}{Z_1\%} : \frac{1}{Z_2\%} : \frac{1}{Z_3\%}$$

و من البيانات الخاصة بالمحولات فإن أقصى حمل يمكن أن يتم تغذيته نظرياً من خلال هذه المحولات هو:

$$P_{TOT} = P_1 + P_2 + P_2$$

$$= 100 + 150 + 150$$

$$= 400 \ \text{MVA}$$

و نفترض أننا نريد تغطية حمل قدره 400 م.ف.أ

نسبة تحميل كل محول من المحولات الثلاثة يمكن إيجادها من العلاقة:

$$P_i = \frac{P_{tot}}{\sum_{i=1}^{3} \frac{P_i}{Z_i\ \%}} * \frac{P_i}{Z_i\%}$$

حيث :

Pi : القدرة المسحوبة من المحول رقم i

P_{tot} : القدرة الكلية المسحوبة

و بالتعويض في المعادلة السابقة لإيجاد P1 ، P2 ، P3

$$P_i = \frac{400}{\frac{100}{10} + \frac{150}{9} + \frac{150}{8}} * \frac{100}{10}$$

$$= 88.073 \text{ MVA}$$

و بالمثل:

$$P_2 = 146.7889 \text{ MVA}$$

$$P_3 = 165.137 \text{ MVA}$$

و لكن الحد الأقصى للمحول T3 هو 150 م.ف.أ وبناءً على ذلك فإن أقصى قيمه ممكنه للتحميل تكون عند T3=150MVA وفى هذه الحالة يكون أقصى حمل يمكن الحصول علية من المحولين T1، T2 يمكن إيجاده من العلاقة التالية:

$$\frac{P_1^{old}}{P_1^{new}} = \frac{P_2^{old}}{P_2^{new}} = \frac{P_3^{old}}{P_3^{new}}$$

$$\frac{88.073}{P_1^{new}} = \frac{165.137}{150}$$

$$\therefore \quad P_1^{new} = 80 \text{ MVA}$$

و بالمثل

$$\frac{146.7889}{P_2^{new}} = \frac{165.137}{150}$$

$$\therefore \quad P_2^{new} = 133.3 \text{ MVA}$$

و بالتالي فان قيمة القدرة الكلية التي يمكن الحصول عليها من هذه المحولات في حالة توصيلها على التوازي هي:

$$P_{tot}^{new} = 80 + 133.3 + 150$$

$$= 363.3 \text{ MVA}$$

و هذه تمثل حوالي 90.8 % من مجموع القدرة الكلية للثلاثة محولات

ملحوظة :

في حالة الفروق الكبيرة بين المعاوقات النسبية للمحولات فان ذلك يؤدي إلى انخفاض القدرة الكلية المسموح تحميلها على المحولات الموصلة على التوازي أما في حالة ما إذا كانت هذه الفروق صغيرة فإن القدرة المسموح تحميلها يقترب من مجموع القدرات الكلية للمحولات الموصلة على التوازي و لكي تحدث أكبر استفادة من عملية التوصيل على التوازي فيجب ألا يزيد الفرق بين المعاوقة النسبية لأي محول من المحولات الموصلة على التوازي و القيمة المتوسطة للمعاوقات النسبية عن 10 % من القيمة المتوسطة.

توصيل المحولات على التوازي مع اختلاف نوع التوصيلة

لقد علمنا أن توصيل المحولات على التوازي لا بد أن يكون لها نفس نوع التوصيلة و لكن مع عمل بعض التعديلات على التوصيلات الخاصة بالمحولات يمكن توصيلها على التوازي و الجدول التالي يوضح كيفية عمل هذه التعديلات و إن كانت صعبة التنفيذ من الناحية العملية خاصة مع الجهود العالية.

Vector Group	For parallel operation	
	High Voltage Side	Low Voltage Side
1	RST	rst
5	RST STR	trs rst
1	RST	rst
7	RTS TSR SRT	srt rts tsr
1	RST	rst
11	RTS TSR SRT	rts tsr srt
5	RST	rst
7	RTS TSR SRT	rts tsr srt
5	RST	rst
11	RTS TSR SRT	tsr srt rts
7	RST	rst
11	RST STR	trs rst