حماية نظم القدرة الكهربائية

وقل رب زدني علما
Damascus University

منشورات جامعة دمشق
كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية

حماية نظم القدرة الكهربائية

الدكتور
سميح الجابي
أستاذ في قسم هندسة الطاقة الكهربائية

الدكتور
خالد زيدان
أستاذ مساعد في قسم هندسة الطاقة الكهربائية

جامعة دمشق

1437 -1438 هـ
2015 - 2016 م

وقل رب زدني علما
Damascus University

الفهرس

الموضوع	الصفحة
مقدمة الكتاب	23
الفصل الأول	27
1- المفاهيم الأساسية في أنظمة الحماية الكهربائية	27
1- 1الهدف من أنظمة الحماية الكهربائية	27
1- 2الشروط الواجب توفرها في أنظمة الحماية الكهربائية	28
1- 3 الأنواع الرئيسية لأنظمة الحماية الكهربائية المستخدمة في نظم القدرة الكهربائية	28
1- 3- 1حماية التيار	33
1-3- 2 حماية التوتر	34
1- 3- 3الحماية الاتجاهية	35
1- 3- 4الحماية التفاضلية	37
1- 3- 5الحماية المسافية	38
1- 3- 6الحماية باستخدام المرشحات	39
1- 3- 7 الحماية الحرارية	39
1- 3- 8الحماية بحاكمات الغاز	39
1- 3- 9 مصطلحات علمية	39
1- 4 تصنيف الحاكمات المستخدمة في أنظمة الحماية الكهربائية	41
1-4- 1التصنيف استنادا إلى طريقة ربطها في دارة الحماية	41
1-4- 2 التصنيف استناداً إلى تأثيرها على القواطع الآلية	41
1-4- 3التصنيف استناداً إلى طبيعة الكمية الفيزيائية التي تتحسس بها	41
1-4- 4التصنيف استناداً إلى مبدأ التشغيل وبنية الحاكمات	41

1-4-5التصنيف إستنادا إلى خواص التشغيل	47
الفصل الثاني	51
2- حمايات محطات التحويل و مراكز التحويل الكهربائية	51
2-1 تعريف مراكز ومحطات التحويل	51
2- 2 تصنيف محطات ومراكز التحويل الكهربائية	52
2- 2- 1 تصنيف محطات التحويل الكهربائية	52
2- 2- 2 تصنيف مراكز التحويل الكهربائية	57
2- 3 الاعتبارات والمعايير في تصميم محطات التحويل الكهربائية	58
2- 3-1المتطلبات الأولية والدراسة الكهربائية	58
2- 3-2 معايير التوافق أو التداخل	60
2- 3-3 معايير الموثوقية	60
2- 3-4 معايير التشغيل	60
2-3- 5 معايير الأمان	60
2-3- 6معايير الصيانة	60
2- 4 تجهيزات محطات التحويل الكهربائية	61
2- 4- 1مفرغات الشحنات و مانعات الصواعق	64
2-4- 1-1مانعات الصواعق ومفرغات الشحنات من النوع الطارد	65
2- 4-1-2مانعات الصواعق ومفرغات الشحنات ذات الصمام	66
2 - 4 - 2 محولات التيار	67
2 - 4 - 3 محولات التوتر	71
2- 4 - 4 القواطع اليدوية أو قواطع السكين	74
2- 4 - 5 القواطع الآلية	77
2- 4 - 6 محولات الاستطاعة	81
2- 4- 7 قسم التوتر المتوسط في محطات التحويل	83

2-5 حمايات محطة تحويل 66/20 kV	85
2-5-1وصف المحطة	85
2-5-2مصادر التغذية المساعدة في المحطة	85
2-5-3 مخطط الخط الواحد لمحطة التحويل المدروسة 66/20 kV	86
2-5-4 حمايات محطة التحويل 66/20 kV	88
2-5-4-1 لوحة حماية خلية دخول الخط الهوائي 66kV	88
2-5-4-2 خلية القياس على قضبان تجميع 66kV	89
2-5-4 -3 لوحة حماية المحول	89
2-5-4-4 لوحة الحماية لخلية دخول المحولة	89
2-6 توضع تجهيزات وحواكم الحماية على مخطط محطة التحويل	90
الفصل الثالث	95
3- الأعطال وحالات التشغيل غير النظامية في نظم القدرة الكهربائية	95
3- 1 أنواع الأعطال وحالات التشغيل غير النظامية	95
3-1- 1الأعطال الكهربائية	95
3-1-2حالات التشغيل غير النظامية	96
3- 2 حساب تيارات القصر اللازمة لتصميم أنظمة الحماية الكهربائية	98
3-2-1 فرضيات خاصة لحساب تيارات القصر لتصميم أنظمة الحماية	98
3-2-2فرضيات خاصة لحساب تيارات القصر لتصميم أنظمة الحماية ذات التأخير الزمني	98
3- 3 تيارات القصر الثلاثية المتناظرة	99
3- 3-1حساب المفاعلات الردية المباشرة بالقيمة الواحدية	100

3-3-1-1المولدات الكهربائية	100
3-3-1-2المحولات الكهربائية	100
3-3-1-3الخطوط الكهربائية	101
3-3-1-4النظام الكهربائي العام	102
3- 4حساب تيارات القصر الثلاثية المتناظرة	102
3- 5 تيارات القصر الأحادية	104
3- 5-1معادلات قصر الدارة الأحادي	104
3- 5-2حساب المفاعلات الصفرية بالقيمة الواحدية	106
3-5-2-1المولدات الكهربائية	106
3-5-2-2المحولات الكهربائية	106
3-5-2-3الخطوط الكهربائية	106
3-5-2-4الشبكة الكهربائية العامة	107
3- 6حساب تيارات القصر الأحادية	107
الفصل الرابع	113
4- أنظمة حماية المولدات الكهربائية	113
4- 1أعطال المولدات	113
4- 2 حماية المولدات الكهربائية المربوطة إلى قضبان التجميع من تيارات القصر الخارجية	116
4-3 تنسيق حساسية حماية زيادة التيار	124
4-3-1تنسيق حساسية حماية التيار الأساسية	124
4-3-2 تنسيق حساسية حماية زيادة التيار المزودة بمرشح للمركبة المتناظرة العكسية	129
4- 4الحماية التفاضلية الطولانية للمولدات	132
4- 4-1 زيادة حساسية الحماية التفاضلية الطولانية للمولدات	132

الكهربائية	
4– 5 أنظمة الحماية التفاضلية العملية المستخدمة لحماية المولدات	137
4– 6 حماية المولدات الكهربائية التي لا تزيد استطاعتها عن 3 MW من الأعطال الداخلية متعددة الأطوار	140
4– 7 حماية المولدات الكهربائية من الأعطال بين لفات وشيعة الطور الواحد– الحماية التفاضلية العرضانية	142
4–7 –1 الحماية التفاضلية للمولدات المزودة بستة ملفات على الأطوار	142
4 –7– 2 الحماية التفاضلية العرضانية للمولدات باستخدام محولة قياس	144
4–7– 3 الحماية التفاضلية العرضانية للمولدات ذات الملف الواحد للطور	146
4– 8 حماية المولدات من الأعطال الأحادية في الجزء الثابت	148
4–8 –1استخدام مرشحات المركبة الصفرية للتيار لحماية المولدات من الأعطال الأحادية في الجزء الثابت	151
4–8 –2استخدام محولات المركبة الصفرية لحماية المولدات من الأعطال الأحادية في الجزء الثابت	154
4–8 –3 استخدام الحاكمات الاتجاهية لحماية المولدات من الأعطال الأحادية في الجزء الثابت	156
4–9حماية وشائع دارة تهييج المولد الكهربائي	158
4–9–1 حماية المولدات الكهربائية من العطل الأول في دارة التهييج	159
4–9–2 حماية المولدات من العطل الثاني مع الأرض في دارة	160

التهييج	
4–10 حماية المولدات الكهربائية من زيادة التوتر	162
4– 11 دارة الحماية الكاملة للمولدات الكهربائية	163
4– 12تعيير أنظمة حماية المولدات الكهربائية	167
4–12–1 تعيير أنظمة حماية المولدات الكهربائية في محطات التوليد	167
4–12–2 تعيير حماية زيادة التيار الزمنية	169
4–12–3 تعيير الحماية التفاضلية الطولانية للمولدات الكهربائية	172
4–12–4 تعيير الحماية التفاضلية العرضية	173
4–12– 5 تعيير حماية الجزء الثابت للمولدة	173
4–12–6 تعيير حماية الجزء الدوار للمولدة الكهربائية من تيارات القصر مع الأرض للمرة الأولى	174
4–12–7 تعيير حماية الدوار من القصر مع الأرض للمرة الثانية	174
4–12–8 تعيير حماية المولدة الكهربائية من زيادة الحمل	174
الفصل الخامس	179
5– أنظمة حماية المحولات الكهربائية والمحولات الكهربائية الذاتية	179
5–1 أعطال المحولات والمحولات الذاتية	179
5–2 أنواع أنظمة الحماية المستخدمة للمحولات والمحولات الذاتية	180
5–3 حماية المحولات الكهربائية من زيادة التيار في حالة قصر الدارة أو زيادة الحمل الكهربائي	183
5–3–1 حماية المحولات الكهربائية ثنائية الملفات من زيادة التيار	183
5–3–2حماية المحولات ثلاثية الملفات من زيادة التيار	191
5–4 حماية المحولات الكهربائية ثنائية الملفات من الأعطال	195

الداخلية باستخدام الحماية التفاضلية	
5- 4 -1الحماية التفاضلية باستخدام حاكمات التيار بشكل مباشر	203
5- 4 -2 الحماية التفاضلية باستخدام محولة الإشباع المغناطيسي السريع	205
5- 4 -3الحماية التفاضلية باستخدام حاكمات تيار ذات ملف فرملة	206
5-5 حماية المحولات الكهربائية ثلاثية الملفات وثلاثية الأطوار من الأعطال باستخدام الحماية التفاضلية	207
5-6 الحماية بتقطيع التيار	211
5-7 الحماية باستعمال حاكمات بوخلز الغازية	212
5-8 الحماية من تيارات القصر الأحادية	217
5-9 مسائل خاصة في حماية المحولات الكهربائية الذاتية	220
5-10 مسائل خاصة في حماية المحولات الكهربائية المساعدة المستخدمة لتنظيم التوتر	222
5-11 تعيير حمايات المحولات الكهربائية في محطات التحويل	223
5-12 دارات الحماية الكاملة للمحولات الكهربائية والمحولات الذاتية	229
5-12-1دارة الحماية الكاملة للمحولات الكهربائية ثنائية الملفات وثلاثية الأطوار	229
5-12-2دارة الحماية الكاملة للمحولات الكهربائية ثلاثية الملفات وثلاثية الأطوار	231
5-12-3 دارة الحماية الكاملة للمحولات الكهربائية الذاتية ثلاثية الملفات وثلاثية الأطوار	233
الفصل السادس	237
6- أنظمة حماية مجموعات المولدة-المحولة الكهربائية	237

6-1 خصوصيات حماية زيادة التيار في حالة مجموعات مولدة- محولة	237
6-2 خصوصيات الحماية التفاضلية الطولانية لمجموعة مولدة- محولة	241
6-3 خصوصيات الحماية من تيارات القصر الأحادي في ملفات المولد	245
6-4 نظام الحماية الكامل لمجموعة مولدة – محولة كهربائية	253
الفصل السابع	259
7- حماية قضبان التجميع في محطات التحويل الكهربائية	259
7-1 أنظمة حماية قضبان التجميع الكهربائية	259
7-2 استخدام الحماية التفاضلية لقضبان التجميع الكهربائية	260
7-2-1الحماية التفاضلية الكاملة لقضبان التجميع الكهربائية المفردة	260
7-2-2الحماية التفاضلية الكاملة لقضبان التجميع الكهربائية المزدوجة	262
7-2-3الحماية التفاضلية الكاملة لقضبان التجميع المضاعفة ذات التوزيع الثابت	265
7-2-4 الحماية التفاضلية لقضبان التجميع المضاعفة والمزودة بقاطعين	268
7-2-5 الحماية التفاضلية غير الكاملة لقضبان التجميع المضاعفة	271
7-3 استخدام حاكمات الممانعة لحماية قضبان التجميع الكهربائية	273
الفصل الثامن	277
8- حماية المحركات الكهربائية	277
8-1أنظمة الحماية المستخدمة للمحركات الكهربائية	277

8-2 حماية المحركات الكهربائية التحريضية	278
8-2-1 حماية المحرك من الأعطال التي تحدث ضمن المحرك	278
8-2-2 حماية المحرك التحريضي من الأعطال الأحادية مع الأرض	280
8-2-3 حماية المحرك التحريضي من انخفاض التوتر	280
8-2-4حماية المحركات التحريضية من زيادة الحمولة الكهربائية	281
8-3 حماية المحركات الكهربائية	284
الفصل التاسع	289
9- نظم حماية الخطوط الكهربائية الشعاعية	289
9-1حماية الخطوط الكهربائية الشعاعية	290
9-1-1الحماية من القصر على الخطوط الشعاعية	290
9-1-2حاكمة الحماية بالتيار الزائد الأعظمي الزمنية	291
9-1-3التأخير الزمني لحاكمة الحماية بالتيار الزائد الأعظمي	293
9-2 خيارات موقع حاكمة الحماية بالتيار الزائدعلى نظام القدرة	295
9-3 تنسيق حواكم الحماية بالتيار الزائد على نظام تغذية متعدد المخارج	296
9-3-1نظام قدرة مكون من قضيب تجميع رئيسي S يغذي مخرجي كابلات	296
9-3-2 شبكة شعاعية تتضمن مولدات ومحولات ثنائية وثلاثية الملفات	297
9-4 دارات توصيل عناصر تشغيل الحماية الأعظمية بالتيار الزائد	299
9-4-1دارة الحماية بالتيار الزائد ثلاثية الطور	299
9-4-2دارة الحماية بالتيار الزائد ثنائية الطور	300

9-5 تيار التشغيل لحواكم الحماية بالتيار الزائد	302
9-6 الحماية من القصر الأحادي في الشبكات ذات النقطة النجمية المؤرضة	303
9-7 حماية القطع بالتيار الزائد على الخطوط الشعاعية	304
9-7-1عمل حاكمة التيار الزائد وحاكمة القطع معا	306
9-8الحماية التفاضلية الطولانية للخطوط الشعاعية	307
9-9تنسيق حواكم الحماية بالتيار الزائد على الخطوط القصيرة	310
9-9-1طريقة التنسيق	311
9-9-2القواعد الأساسية للتنسيق الصحيح للحاكمة	311
9-9-2-1مبادئ تدرج تيار/ زمن	312
9-9-2-1-1التنسيق بالزمن	312
9-9-2-1-2التنسيق بالتيار	313
9-9-2-1-3 التنسيق بكلا الزمن والتيار	316
9-10 حاكمة التيار الزائد الرقمية 7SJ600 SIEMENS	331
9-10-1 مواصفات الحاكمة	332
9-10-1-1 بنية الحاكمة الرقمية 7SJ600	334
9-10-1-2 الوظائف التي تقوم بها الحاكمة الرقمية 7SJ600	335
9-10-1-3 وظائف إضافية	336
9-10-1-4 المعطيات التقنية للحاكمة الرقمية 7SJ600	336
9-10-1-5 توصيف مهام الحماية	338
9-10-1-6 تطبيق عملي حول الحاكمة الرقمية 7SJ600	340
9-11 حاكمة الحماية بالتيار الزائد Micom P122	341
9-11-1 الحماية من زيادة التيار وتيار القصر بتأخير زمني	343
9-11-2 الحماية المباشرة من زيادة التيار	343

9-11-3 الحماية من زيادة التيار الأرضي بتأخير زمني 51N	343
9-11-4 الحماية المباشرة من زيادة التيار الأرضي 50N	344
9-11-5 الحماية من التتابع السالب	344
9-11-6 الحماية من إنقطاع أحد الأطوار	345
9-11-7 الحماية الحرارية	345
9-11-8 انخفاض قيمة التيار	345
9-11-9 منطق حجز أي مرحلة من مراحل الحماية	346
9-11-10 الحماية من تيارات الإقلاع	348
الفصل العاشر	357
10- حماية الخطوط المغذاة من الطرفين	357
10-1 استخدام حاكمة التيار الزائد الاتجاهية الزمنية في حماية الخطوط الحلقية	357
10-2 حاكمة الحماية بالتيار الزائد الزمنية العكسية الاتجاهية	359
10-3 خواص حواكم الحماية الاتجاهية	371
10-4 عناصر ودارات حاكمة الحماية بالتيار الزائد الاتجاهية	373
10-5 استخدام الحاكمة الاتجاهية والمرشحات الصفرية في حماية الخطوط الشعاعية من الأعطال الأحادية	377
10-6 حماية القطع بالتيار الزائد للخطوط المغذاة من جانبين	377
10-7 المنطقة الميتة الإتجاهية	379
10-8 حواكم المقارنة الإتجاهية	379
10-9 طريقة التراكم	379
10-10 القياس الاتجاهي	381
10-11 المقارنة الإتجاهية	383
10-12 الحماية الدليلية	384

10-12-1 السلك الدليلي	384
10-12-2 القناة المايكروية	385
10-12-3 خط القدرة الحامل	385
10-12-4 وصلة ألياف ضوئية	386
10-13 دارات الحماية	386
10-13-1 المقارنة الإتجاهية	386
10-13-2 مقارنة الطور	388
10-13-3 الحماية التفاضلية	389
10-13-3-1 الحماية التفاضلية الطولية	389
10-13-4 الفصل عن بعد	391
الفصل الحادي عشر	395
11- الحماية المسافية	395
11-1 مبدأ عمل حاكمة الحماية المسافية	396
11-2 أداء حاكمة الحماية المسافية	399
11-3 مقارنة المطال والطور	399
11-4 تصنيف حواكم الحماية المسافية	400
11-4-1 حواكم الحماية المسافية الكهروميكانيكية	401
11-4-1-1عناصر حاكمة الحماية المسافية	404
11-4-2 حواكم الحماية المسافية الكهروميكانيكية-الستاتيكية	405
11-4-3 حواكم الحماية المسافية الرقمية	413
11-5 العوامل المؤثرة على الحماية المسافية	413
11-5-1 تحت الوصول	414
11-5-2 زيادة الوصول	414
11-5-3 تأرجح الاستطاعة	414

11-5-4 تأثير العلاقة بين توتر الحاكمة و نسبة Z_S/Z_L	414
11-5-5 حد التوتر لقياس نقطة الوصول الدقيقة	416
11-5-6 تحديد موضع العطل	417
11-5-6-1 تحديد موضع العطل باستخدام المفاعلة الظاهرية	417
11-5-6-2 التعويض عن تغذية العطل من قضيب التجميع البعيد	419
11-6 استجابة حاكمة الحماية المسافية للأعطال غير المتوازنة	420
11-7 مناطق الحماية	424
11-7-1 تعيير المرحلة الأولى Zone 1 Setting	424
11-7-2 تعيير المرحلة الثانية Zone 2 Setting	425
11-7-3 تعيير المرحلة الثالثة Zone 3 Setting	425
11-7-4 تعييرات المنطقة العكسية والمناطق الأخرى	426
11-8 خصائص الحاكمة المسافية	427
11-8-1 خواص حاكمة الممانعة البسيطة	427
11-8-2 حاكمة موه MHO ذاتية الاستقطاب	434
11-8-2-1 إستخدام حاكمة MHO المعدلة لبعض الحالات الخاصة	437
11-8-2-2 الحماية من تأرجح الاستطاعة باستخدام خصائص الممانعة	440
11-8-2-3 تعيير خصائص حاكمة موه	440
11-8-2-4 أداء حاكمة موه	442
11-8-3 تحليل خصائص موه MHO الدائرية المزاحة	444
11-8-3-1 تطبيقات حاكمة MHO	447

11-8-3-1-1 المنطقة الثالثة والاحتياطية لقضيب التجميع	448
11-8-3-1-2 وحدة الاقلاع بالنقل في دارات الحماية المسافية مع إقفال	448
11-8-3-1-3 تطبيقات الخصائص العدسية	448
11-8-4 خواص موه MHO بالاستقطاب الكامل	450
11-8-5 خصائص موه المستقطبة جزئيا	452
11-8-6 حاكمة المفاعلة	453
11-8-6-1 أداء حاكمة المفاعلة	455
11-8-7 الحاكمة ذات الخواص المضلعة	458
11-9 إعادة الإغلاق الآلية	459
11-9-1 تعاريف	460
11-9-2 إعادة الإغلاق وحيدة المحاولة	462
11-9-3 تطبيق معيد الاغلاق الآلي	463
11-9-3-1 إعادة الاغلاق الآلي على شبكات التوزيع عالية التوتر HV	464
11-9-3-2 إعادة الاغلاق الآلي على خطوط التوتر العالي جدا	465
11-9-3-3 معيد الاغلاق عالي السرعة على نظم التوتر العالي جدا	467
11-9-3-3-1 خواص الحماية	467
11-9-3-3-2 إزالة قوس العطل	467
11-9-4 خواص القاطع الآلي	468
11-9-4-1 إزالة مسار العطل	469
11-9-4-2 زمن عودة الحماية	469

11-9-5 إعادة الإغلاق أحادي الطور	470
11-9-6 إعادة الإغلاق السريع على الخطوط التي تستخدم حواكم حماية	471
11-9-6-1 الفصل المتبادل أو دارات الحجز	472
11-9-6-2 توسع المنطقة الأولى	472
11-9-7 إعادة إغلاق متأخر على أنظمة EHV	473
11-10 أمثلة عامة	475
الفصل الثاني عشر	483
12- حواكم الحماية المسافية الرقمية	483
12-1 الحواكم الرقمية	483
12-1-1 النظم المايكروية	483
12-1-2 بنية الحاكمة الرقمية	484
12-1-3 مبدأ عمل الحواكم الرقمية	486
12-1-4 مزايا حواكم الحماية الرقمية	488
12-2 حاكمة الحماية المسافية الرقمية	490
12-2-1 مميزات الحماية المسافية الرقمية	491
12-2-2 العناصر المكونة للحاكمة	491
12-2-3 الاتجاهية	492
12-2-4 حواكم المقارنة الاتجاهية	492
12-3 الخصائص المضلعية	492
12-3-1 كيفية رسم المخطط المضلعي للحماية المسافية	493
12-4 تقييم العطل	495
12-4-1 ألغوريتم دلتا في تقييم العطل	496
12-5 الاعتبارات الأساسية في حساب ممانعة تعيير الحاكمة	497

الحماية المسافية	
12-5-1 ممانعة المنبع	498
12-5-2 ممانعة القصر	498
12-5-3 حلقة العطل	499
12-5-4 مقاومة العطل	501
12-5-5 مقاومة القوس	504
12-5-6 أثر مقاومة القوس في الخطوط المغذاة من الطرفين	505
12-5-7 المقاومة الأرضية للأبراج	506
12-5-8 أثر التيارات المساهمة في العطل على قضيب التجميع البعيد	507
12-5-9 أثر محولات التأريض	508
12-5-10 الممانعة التبادلية في حالة الخطوط المتوازية	509
12-5-11 ملاحظات عامة حول المعايرة	512
12-6 خوارزمية قياس	516
12-7 معايرة الحماية المسافية الرقمية	518
الفصل الثالث عشر	557
13- حماية المحولة و مغذي المحولة	557
13-1 طبيعة وأثار أعطال المحولات	557
13-1-1 الملفات الموصلة نجمياً مع تأريض نقطة النجمة عبر ممانعة	557
13-1-2الملفات الموصولة نجمياً مع تأريض مباشر لنقطة النجمية	558
13-1-3 الملفات الموصلة مثلثياً (Δ)	560
13-1-4 أعطال طور- طور	560
13-1-5 الأعطال بين اللفات	560

13-1-6 أعطال القلب الحديدي	561
13-1-7 أعطال جسم المحولة	562
13-1-8 الحالات المطبقة من الخارج	562
13-1-8-1 زيادة الحمل (OL)	562
13-1-8-2 أعطال النظام	563
13-1-8-3 زيادة التوتر (OV)	563
13-1-9 تيار الاندفاع	564
13-1-10 محتوى التوافقيات	567
13-2 الحماية من زيادة التسخين (OH)	567
13-2-1 مكامل حرارة- زمن	569
13-3 حماية زيادة التيار	570
13-3-1 المنصهرات	570
13-3-2 حواكم زيادة التيار (OC)	571
13-3-3 حماية العطل الأرضي المقيدة	572
13-4 الحماية التفاضلية	574
13-5 مسائل محلولة	577
13-6 الانحياز لتغطية أخطاء مبدل الوضعيات وأخطاء CT	582
13-6-1 الانحياز لمعالجة أخطاء مبدل الوضعيات	582
13-6-2 تغطية أخطاء الحماية التفاضلية لمحول استطاعة ثلاثي الملفات	583
13-7 حماية المحولة الذاتية	584
13-8 حماية محولة التأريض	586
13-9 الحماية التفاضلية الرقمية للمحولات طراز KBCH	586

13-9-1 مثال تعويض النسبة بوجود مبدل الوضعيات	590
13-9-2 مثال تعويض النسبة بوجود مبدل المآخذ	592
13-9-3 تعيير الحماية التفاضلية الرقمية بوجود مبدل المآخذ	593
13-10 حمايات اخرى لمحولات الاستطاعة	596
13-10-1 عنصر تعيير تيار القطع التفاضلي	596
13-10-2 حماية العطل الأرضي الإتجاهي	596
13-10-3 حماية من زيادة المغنطة (انذار وفصل)	597
13-10-4 حماية بوخولز	597
13-11 حماية مغذي المحولة	600
13-11-1 دارات الوحدة المستقلة	601
13-11-1-1 أعطال المغذي الطورية و الأرضية	601
13-11-1-2 الأعطال الطورية للمغذي	601
13-11-1-3 الأعطال الأرضية	604
المراجع	607
فهرس الأشكال	611
المصطلحات العلمية	631

Damascus University

مقدمة الكتاب

تستخدم لحماية نظام القدرة الكهربائية مجموعة كبيرة من حواكم الحماية التي تطورت في السنوات الأخيرة من خلال استخدام حواكم الحماية الرقمية التي تغلبت على عيوب حواكم الحماية الكهرومغناطيسية والإلكترونية، وبرزت ميزاتها الكثيرة التي تمثلت بصغر حجمها، وتعدد وظائفها، وسهولة تعييرها وهذا مما سارع في انتشارها على الشبكات الكهربائية حتى على شبكات القدرة القديمة، والتي تم استبدال حماياتها الكهروميكانيكية بحواكم رقمية، ويعود الفضل في ميزات حواكم الحماية الرقمية إلى مبادئ عملها والدارات المنطقية المستخدمة فيها، وبذلك فقد تطورت حواكم الحماية الكهربائية عبر ثلاثة أجيال رئيسية، فكانت أولاً الحواكم الكهروميكانيكية ثم الحواكم الستاتيكية والحواكم الرقمية وتمثل حواكم الحماية المعتمدة على مبدأ المعالج الصغري الجيل الجديد في حماية نظم القدرة وهي ليست مجرد نسخة عن الخصائص التقليدية ولكنها تملك ميزات بارزة كجهاز مؤتمت بشكل كامل من أجل الحماية والتحكم و تحليل الأعطال والاتصال مع أجهزة شبكة التحكم الأخرى.

تشكل حواكم الحماية عند ترابطها فيما بينها نظام الحماية الكهربائية، الذي يهدف الى تأمين حماية متكاملة تحقق عمل القواطع الآلية بشكل آني لعزل جزء الشبكة المعطل قبل أن تفقد الشبكة استقرارها، وتأمين فصل الشبكة من جهة المنبع عند فشل حماية الجزء المعطل، أي تحقيق انتقائية الحماية، وكذلك تأمين حماية رديفة للحماية الأساسية، و تأمين حماية خاصة بكل عنصر من عناصر الشبكة من خطوط نقل ومولدات ومحولات.

من المهم معرفة التغيرات الكهربائية المرافقة لظهور كل عطل على الشبكة، وبالتالي تحديد وظيفة الحاكمة اللازمة للتحسس والكشف عن دارة القصر في عناصر الشبكة المحمية. وبما أن حدوث الأعطال على الشبكة يترافق مع مجموعة من المظاهر تتمثل بارتفاع قيم التيار، وانخفاض قيمة التوتر وتغير قيم الممانعة الظاهرية التي تتناقص بشكل فجائي لحظة حدوث العطل ، وكذلك ظهور المركبات المتناظرة وعدم توازن تيار

الدخل والخرج في عنصر الشبكة كما هو الحال في الحماية التفاضلية مثلا. كل هذه النقاط والمواضيع المهمة تم تناولها ضمن صفحات هذا الكتاب من خلال مجموعة كبيرة من الفصول تناول بعضها أساسيات الحماية ومبادئ عمل كل نوع منها وتطبيقات عملية، وتناول البعض الآخر مسائل تصميمية وتطبيق مبادئ الحماية المدروسة على شبكات عملية.

المؤلفان

الأستاذ الدكتور
سميح الجابي

الأستاذ المساعد الدكتور
خالد زيدان

الفصل الأول

1 – المفاهيم الأساسية في أنظمة الحماية الكهربائية

Principles of Protection Systems

Damascus University

وقل رب زدني علما
Damascus University

الفصل الأول

1 – المفاهيم الأساسية في أنظمة الحماية الكهربائية
Principles of Protection Systems

1 – 1 الهدف من أنظمة الحماية الكهربائية

يتألف نظام الحماية الكهربائية لمنشأة كهربائية ما من جميع التجهيزات والعناصر المستخدمة لتأمين فصل هذه المنشأة عن مصدر التغذية الكهربائية عند ظهور أي عطل أو أية حالات تشغيل غير نظامية تشكل خطراً على المنشأة. أما في حالة الأعطال أو في حالات التشغيل غير النظامية التي لا تشكل خطراً آنياً على المنشأة فإن الحماية الكهربائية لا تعطي أمراً بفصل القواطع الآلية وعزل المنشأة، وإنما تعطي إشارة عن هذه الحالة إلى المستثمر. ويتم فصل المنشأة عن طريق إعطاء الأوامر اللازمة لفتح القواطع الآلية التي تربطها إلى باقي أجزاء النظام الكهربائي، وتهدف عملية فصل الجزء المعطل عن بقية النظام الى تحقيق الأمور الآتية:

- منع تضخيم العطل وانتشار آثاره إلى عناصر أخرى ما قد يؤدي إلى حالة فصل كامل أو حالة تعتيم Black Out
- مواجهة إحتمال تحطيم عناصر وتجهيزات المنشأة الكهربائية التي يظهر بها العطل عن طريق عزلها عن كافة مصادر التوليد التي يمكن أن تغذي العطل الكهربائي، وبالتالي تخفيف آثار العطل على تجهيزات المنشأة الكهربائية.
- تأمين حالة تشغيل نظامية لبقية أجزاء نظام القدرة الكهربائية وتمكينها من استمرار التغذية للمستهلكين.

يكتسب استخدام الحماية الكهربائية أهمية خاصة نظراً إلى الزيادة الكبيرة والمستمرة لكمية الطاقة الكهربائية التي تولد وتنقل لتأمين التغذية للمستهلكين الكهربائيين في القطاع الصناعي والزراعي والتجاري، وقطاع النقل والاتصالات ضمن شروط التشغيل النظامي وشروط استمرارية التغذية.

1 – 2 الشروط الواجب توفرها في أنظمة الحماية الكهربائية

لكي تحقق أنظمة الحماية الكهربائية الأهداف الموضوعة لها فإنها يجب أن تؤمن عدداً من الشروط المميزة في عملها وهي:[4]

1- زمن الاستجابة Acting Time

يحدد زمن الاستجابة نتيجة للأخطار التي يسببها التأخير في فصل حالات القصر واخمادها، التي تشكل الغالبية من الأعطال التي تظهر في الأنظمة الكهربائية. يمكن أن تؤدي تيارات القصر إلى إعطاب التجهيزات الكهربائية التي تمر عبرها، أو أن تسبب هبوط كبيراً في التوتر أو عدم استقرار تشغيل محطات التوليد على التوازي.

ويمكن أن يؤدي الأثر الحراري لتيارات القصر إلى انصهار النواقل في الشبكات الكهربائية، أو انصهار بعض عناصر التجهيزات فيها. وللوصول إلى حالة الاستقرار الحراري في الشبكة الكهربائية عند ظهور تيارات القصر، تحدد قيمة مقاطع النواقل الكهربائية التي تتحمل مرور تيارات القصر دون حدوث انصهار بالعلاقة الآتية:

$$S_{sc} = \frac{I_{\infty}}{K}\sqrt{t_f} \qquad (1-1)$$

حيث:

I_{∞} : القيمة الفعلية لتيار القصر.

t_f : الزمن الوهمي الذي يحتاجه تيار له قيمة مساوية للقيمة الفعلية لتيار القصر المستقر لكي يطلق ذات الكمية من الحرارة التي يطلقها تيار القصر المستقر في الزمن الحقيقي عند مروره في الشبكة الكهربائية.

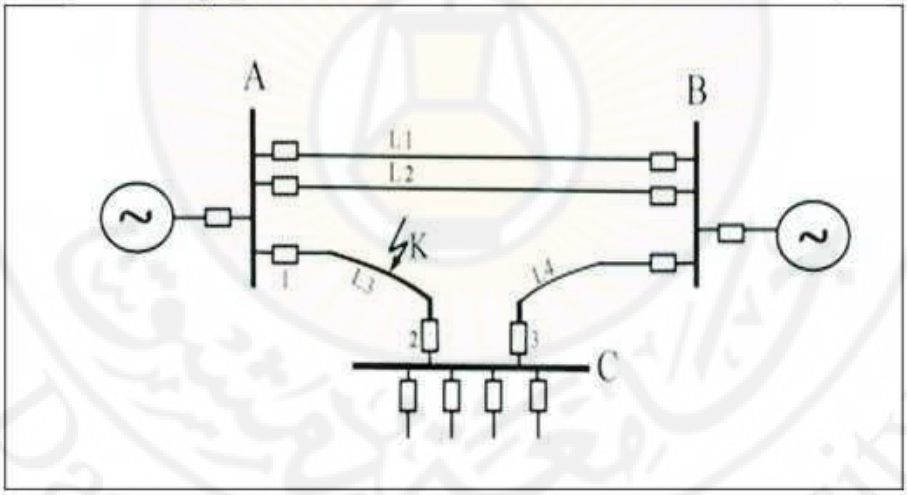
K: ثابت حسابي.

فإذا كانت قيمة سطح المقطع Ssc التي تنتج أكبر من قيمة سطح المقطع النظامي S_n الذي ينتج عن حساب حالة التشغيل النظامية، فإنه من الواضح أن تكبير سطح مقطع الناقل من S_n إلى Ssc هو أمر غير منطقي، لأنه أمر غير اقتصادي. لذلك يتم التأثير في الزمن الوهمي لمرور تيار القصر والذي ينتج من العلاقة (1-1)، ويؤدي لأن تكون

قيمة المقطع S_{sc} مساوية للمقطع النظامي S_n أي يتم تصغير الزمن اللازم لإنهاء العطل الذي سبب ظهور تيار القصر، وهذا ينتج عن زيادة سرعة استجابة الحماية.

2- الانتقائية Selectivity

يجب أن تتمتع أنظمة الحماية بميزة فصل العنصر المعطل فقط دون التأثير على عمل بقية عناصر النظام الكهربائي وبقائها في حالة التشغيل. وتعمل الانتقائية على فصل العنصر المعطل من بين جميع عناصر النظام الكهربائي بحيث تنقطع التغذية الكهربائية عن أقل عدد من المستهلكين الكهربائيين، إذا حدث قصر دارة في النقطة K من النظام الكهربائي المبين في الشكل (1 – 1)، فإنه يمكن لنظام الحماية عزل هذا العطل عن طريق فتح القاطع 1 والقاطع 3 حيث يتم قطع التغذية عن العطل من جميع الإتجاهات، لكن مثل هذا التشغيل هو غير انتقائي لأنه سيتسبب بعد عزل العطل إلى قطع التغذية عن جميع المستهلكين الكهربائيين المربوطين إلى قضبان التجميع في محطة التحويل C.



الشكل(1– 1) قصر في النقطة K من نظام القدرة

ولكي يكون عمل نظام الحماية انتقائياً فإنها يجب أن تعطي الأمر لفتح القاطع الآلي1 والقاطع الآلي2 حيث يتم عزل العطل عن مصادر التغذية مع بقاء التغذية الكهربائية مستمرة للمستهلكين الكهربائيين الموصلين إلى قضبان التجميع في C عن طريق الخط الكهربائيL4 ، وينتج من هذا المثال المبسط حول ميزة الانتقائية أن أنظمة الحماية

الكهربائية يجب أن تعطي أوامر الفتح للقواطع الآلية الأقرب إلى نقطة العطل، وهذه هي قاعدة عامة في عمل الحمايات الكهربائية.

هناك أنظمة حماية تمتلك خاصية الانتقائية مدمجةً في بنيتها وفي مبدأ عملها كالحمايات التفاضلية مثلاً، التي لا تعزل سوى الأعطال التي تنتج ضمن المنطقة المحمية، إن مثل هذه الحمايات تسمى الحمايات ذات الانتقائية المطلقة. كما أن هناك حمايات كهربائية يمكن أن تعمل عند ظهور القصر في منطقة خارجة عن مجالها مما يتطلب إجراءات إضافية لتأمين الانتقائية. كما يمكن في حالة الحمايات البسيطة أن تؤمن الانتقائية بإضافة تأخير زمني على عملها، ولكن هذا الأمر سيؤثر على زمن الاستجابة لهذه الحماية.

يحدث أن تظهر في حالات عملية عديدة ضرورة الاختيار بين الميزتين، زمن الاستجابة والانتقائية وأياً منهما هي المرغوبة، فإذا كانت الميزة المطلوبة هي سرعة الاستجابة فعندها يمكن التضحية بالانتقائية بحيث يتم فتح بعض القواطع الآلية بشكل لا انتقائي ما قد يؤدي إلى فصل بعض عناصر الشبكة المجاورة للعنصر، الذي ظهر عليه العطل مع إمكانية استخدام معيدات الاغلاق الآلية السريعة التي تعيد التغذية للعناصر المفصولة بشكل لا انتقائي بعد فترة قصيرة جداً مع الإبقاء على العنصر المعطل مفصولاً عن التغذية. أما إذا كانت الميزة المطلوبة هي الانتقائية فإنه يمكن ستخدام التأخير الزمني في عمل الحمايات.

3- الوثوقية Reliability

تمثل هذه الميزة إمكانية نظام الحماية أن يعمل دائماً بشكل صحيح عندما يكون هناك حاجة لذلك فقط، وأن لا يكون هناك أي رفض للعمل من قبل هذه الحماية أو أي استجابة غير مرغوبة. ولكي يتم الوصول إلى الوثوقية في عمل الحمايات فإنه يجب تحقيق شرطين هما: التصميم الصحيح لأنظمة الحماية والوثوقية في عمل كل عنصر من عناصر نظام الحماية.

ولكي يتم الوصول إلى درجة عالية من الوثوقية فإنه يجب استخدام عناصر ومكونات متميزة في مجال أنظمة الحماية، ويجب استثمار هذه الأنظمة في أحسن الشروط.

وبما أن الوثوقية في عزل الأعطال تعتمد بشكل كبير على العمل الصحيح للقواطع الآلية، فإن أنظمة الحماية المتطورة تحتوي على حواكم إضافية تعمل عند عدم استجابة القاطع الآلي المعني لأوامر الفصل التي تعطى عندها إلى قواطع مجاورة للعنصر المعطل بهدف عزل العطل.

4- الحساسية Sensitivity

يجب أن تكون أنظمة الحماية ذات حساسية عالية وقادرةً على العمل عند ظهور أي تغيرات صغيرة حول القيمة النظامية للكمية الكهربائية التي تراقبها هذه الأنظمة. حيث أن نظام الحماية الذي يتألف من حاكمات تيار سيكون ذا حساسية مرتفعة كلما استطاع أن يعمل عند ظهور تغيرات أصغر للتيار مقارنةً مع القيمة النظامية في الشبكة التي تتم حمايتها. يتم تحديد مستوى حساسية نظام حماية ما بواسطة ثابت خاص للحساسية. ففي حالة الحمايات الأعظمية، التي تعمل عندما تزداد قيمة الكمية الكهربائية التي تتم مراقبتها عن قيمة محددة مسبقاً كحماية زيادة التيار مثلاً. وتمثل ثابتة الحساسية النسبة بين القيمة الصغرى للكمية المراقبة في حالة عطل مباشر مع الأرض وبين قيمة كمية المراقبة التي تسبب تشغيل الحماية. وتظهر القيمة الصغرى للكمية المراقبة في الحالات التالية:

أ – عندما يظهر العطل في نهاية المنطقة المحمية (أي في أبعد نقطة عن مصدر التغذية).

ب – عندما يؤدي نوع العطل إلى ظهور أصغر قيمة للكمية المراقبة (حالة العطل الثنائي مع الأرض)

ج – عندما تؤدي طريقة ربط مختلف عناصر الشبكة قبل ظهور العطل فيها إلى توليد تيارات تشغيل نظامية أصغريه، بحيث يمكن أن ينتج في الشبكة عند ظهور القصر، تيار

عطل في العنصر المحمي أصغر من التيار النظامي، الأمر الذي يعني أن العنصر المحمي كان يعمل قبل ظهور العطل في حالة تشغيل نظامية أصغريه.

يعطى ثابت الحساسية لنظام حماية التيار الأعظمية بالعلاقة التالية:

$$K_{sens} = \frac{I_{SC\min}}{I_{pp}} \qquad (1\text{-}2)$$

حيث:

$I_{SC\min}$: القيمة الفعلية لتيار القصر الأصغري الذي يمكن أن يظهر في المنطقة التي تتم حمايتها.

I_{pp} : قيمة تيار تشغيل الحماية

يتم تحديد قيمة ثوابت الحساسية لمختلف أنواع أنظمة الحماية عن طريق كود الحماية المعتمدة في كل شبكة كهربائية ووفقاً لاسترتيجية التشغيل في البلدان المعنية، وتقع ثوابت الحساسية عادة في المجال(2.5 - 1.25) لتحقيق التشغيل الصحيح للحمايات.

ولكي يكون نظام الحماية حساساً يجب أن تكون الحاكمات المكونة له ذات استطاعة كهربائية أصغر ما يمكن، أي أن الحاكمات يجب أن تكون ذات حساسية عالية. فإذا كانت الاستطاعة التي تحتاجها الحاكمات لكي تعمل كبيرة، فإنها لن تتحسس للتغيرات الصغيرة التي تطرأ على الكميات الكهربائية التي تتم مراقبتها، وبالتالي ستكون حساسية نظام الحماية متدنية.

يجب أن تعمل أنظمة الحماية الكهربائية بشكل صحيح ومستقل عن شروط التشغيل وعن شكل وبنية الشبكة الكهربائية التي تعمل فيها وطريقة ربط محطات التوليد، وعدد المولدات التي تعمل ضمنها. على سبيل المثال يجب أن تعمل أنظمة حماية النظام المبين في الشكل(1– 1) بشكل صحيح عندما تعمل كافة مجموعات التوليد في الشبكة أو عندما تعمل بعض هذه المجموعات، وكذلك أن تعمل أنظمة الحمايات بشكل صحيح عندما يعمل أحد الخطوط الكهربائية بشكل منفرد، أو في حالة عمل الخطوط الكهربائية على التوازي.

يتم التحقق من عمل أنظمة الحمايات بشكل صحيح لأجل حالة التشغيل الأعظمية وحالة التشغيل الأصغري للعنصر الكهربائي المطلوب حمايته في الشبكة الكهربائية، ويتم التحقق في حالة التشغيل الأعظمي من انتقائية أنظمة الحماية الكهربائية، ويتم في حالة التشغيل الأصغري التحقق من حساسية أنظمة الحماية الكهربائية.

1 – 3 الأنواع الرئيسية لأنظمة الحماية الكهربائية المستخدمة في نظم القدرةالكهربائية[1]

1– 3–1 الحماية بالتيار Current Protection

تستخدم هذه الحماية بشكل كبير في نظم القدرة الكهربائية، وهي تعمل عند ازدياد قيمة التيار المار في عناصر الشبكة نتيجة لظهور دارة قصر أو زيادة الحمولة الكهربائية، وتتألف هذه الحماية من مجموعة من حواكم التيار تعمل عندما تزداد قيمة التيار المار في الدارة المحمية عن القيمة الحدية المعيرة عليها الحاكمة ويسمى تيار إقلاع الحماية I_{pp}، ويعطى بوجود محول التيار بالعلاقة:

$$i_{pr} = \frac{I_{pp}}{n_{ct}} \qquad (1\text{-}3)$$

حيث :

n_{ct} هي نسبة التحويل لمحولات التيار التي تغذي حاكمة التيار .

i_{pr} هو تيار ثانوي محول التيار كما تراه الحاكمة

وبما أن الحاكمة تعمل عندما يكون $I > I_{pr}$ حيث تمثل I التيار في الدارة المحمية، فإنها تسمى حماية أعظمية .

ولكي لا تعمل حاكمة الحماية من زيادة التيار في حالة العمل الطبيعية فإن تيار اقلاع الحماية يجب أن يكون أكبر من التيار الاسمي وأكبر من تيار الحمل الأعظمي أي:

$$I_{pp} > I_{nom} \quad ، \quad I_{pp} > I_{max} \qquad (1\text{-}4)$$

تعد حماية التيار حماية بسيطة ولكنها غير انتقائية أي أن زيادة التيار التي تنتج بسبب قصر دارة ما خارج المنطقة المحمية يؤدي إلى تشغيلها في الوقت الذي يجب أن لا

تعمل فيه، لذلك يضاف للحماية عناصر أخرى تؤمن الانتقائية مثل الحاكمات الزمنية. وبسبب القيمة الكبيرة لتيار الإقلاع تكون حساسية حماية زيادة التيار متدنية إستنادا ا لى العلاقة (1 – 2).

تعد البساطة أهم صفات هذا النوع من أنظمة الحماية إذ إنها تحتاج إلى كمية كهربائية واحدة لكي تعمل، ويمكن أن تكون هذه الحماية حماية أصغرية كما في حالة انقطاع دارة التهيج في المولدات ولكن استخدامات هذا النوع من الحمايات محدود وفي هذه الحالة لا تراقب الحماية زيادة التيار في الشبكة المطلوب حمايتها بل تراقب انقطاع التيار في هذه الشبكة.

1– 3–2 الحماية بالتوتر Voltage Protection

تعد هذه الحماية بسيطة، وتحتاج إلى كمية كهربائية واحدة لكي تعمل. ويمكن أن تكون هذه الحماية أصغرية أو حماية أعظمية. وتعمل هذه الحماية عند انخفاض التوتر إلى قيمة أقل من القيمة المعيرة عليها في حالة الحماية الأصغرية، أو عند ارتفاع التوتر إلى قيمة أكبر من القيمة المعيرة في حالة الحماية الأعظمية. وتستخدم حماية التوتر الأصغرية في حالة انخفاض التوتر الذي يرافق ظهور دارات القصر.

تعمل حاكمات التوتر الأصغري عندما تنخفض قيمة التوتر في الدارة المحمية إلى قيمة أقل من القيمة المحددة لتوتر تشغيل الحماية U_{pp} . وحتى لا تعمل الحماية في حالات التشغيل النظامية يجب أن تتحقق العلاقة

$$U > U_{pp} \qquad (1\text{-}5)$$

أي يجب أن يكون توتر تشغيل الحماية أصغر من التوتر النظامي لعمل الدارة المحمية وأصغر من أي توتر عمل نظامي يمكن أن يظهر عند استثمار الدارة أي:

$$U_{pp} < U \quad , \quad U_{pp} < U_{min} \qquad (1\text{-}6)$$

ويعطى توتر إقلاع الحاكمة بالعلاقة:

$$U_{pr} = \frac{U_{pp}}{n_u} \qquad (1\text{-}7)$$

إذ تمثل n_{π} نسبة تحويل محولات التوتر التي تغذي أجهزة الحماية بالتوتر المطلوب مراقبته.

تعد حماية التوتر غير انتقائية وذلك لأن ظهور أي قصر دارة يمكن أن يؤدي إلى هبوط التوتر في مناطق مختلفة في الشبكة خارج المناطق التي تراقبها وتحميها الحماية. وتستخدم حماية التوتر الأعظمية بشكل قليل وفي حالات خاصة مثل حالة المولدات المربوطة إلى العنفات المائية أو حالة الخطوط الكهربائية التي تعمل بالتوتر العالي جداً، وتعمل هذه الحماية عند زيادة التوتر في الشبكة المطلوب حمايتها عن القيمة التي تسبب إقلاع الحماية التي تعطى بالعلاقة:

$$U > U_{pp} \qquad (1\text{-}8)$$

ولكي لا تعمل هذه الحماية في حالة التشغيل النظامية فإنه يجب أن تتحقق العلاقة التالية:

$$U_{pp} > U_{\max} \qquad (1\text{-}9)$$

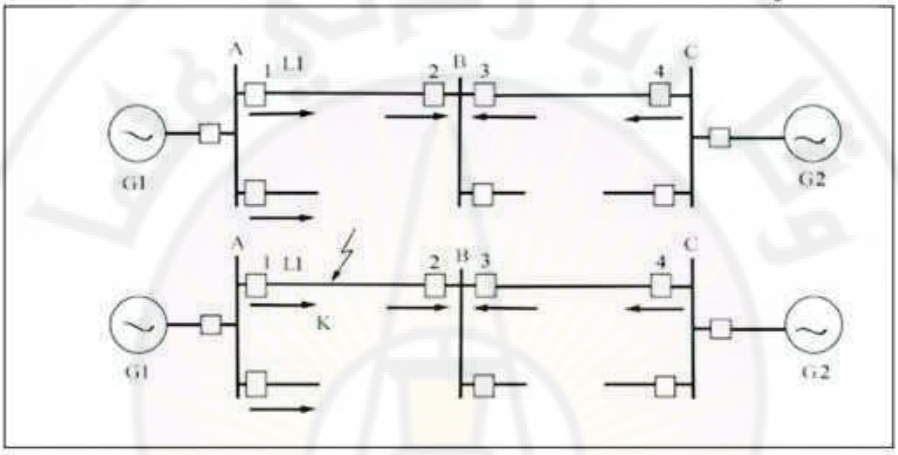
إذ تمثل U_{max} قيمة التوتر الأعظمي الذي يمكن أن يظهر في الشبكة في حالة التشغيل النظامية.

1- 3-3 الحماية الإتجاهية Directional Protection

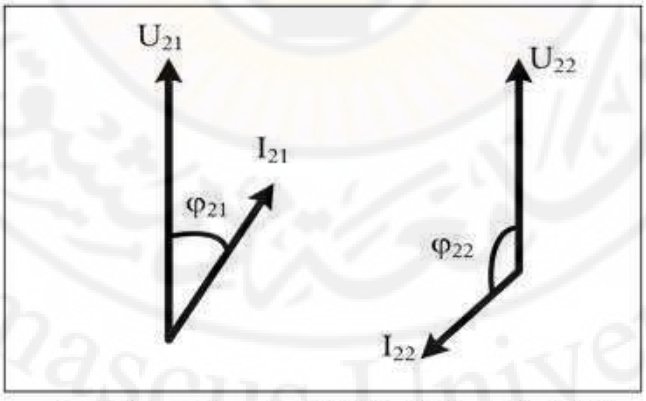
تعمل هذه الحماية عندما يظهر اختلاف في فرق الصفحة بين التوتر والتيار ضمن الشبكة المراد حمايتها، وهذا الأمر يحدث عند ظهور قصر دارة في نقطة ما من الشبكة المطلوب حمايتها.

وكما هو معلوم يفترض في الشبكات الكهربائية اتجاه معين لجريان التيار في نقطة ما وفي لحظة ما من لحظات التشغيل النظامية. ويمكن وضع قيمة هذه التيارات بجانب أسهم الاتجاه بشكل قيم عقدية وليس أنية كما في الشكل (2-1). وعند ظهور قصر دارة في النقطة K مثلاً فإن التيار في النقطة 2 يغير من اتجاهه ويتغير بذلك فرق الصفحة بين التيار والتوتر في هذه النقطة بمقدار π. يبين الشكل (3-1) المخطط الشعاعي للتيار والتوتر في النقطة 2 في حالة التشغيل النظامية، ثم يبين الشكل المخطط الشعاعي

للتيار والتوتر في النقطة 2 في حالة ظهور قصر دارة في النقطة K حيث يكون فرق الصفحة في الحالة النظامية $\varphi_{21} > 0$ ، أما في حالة القصر فإن فرق الصفحة φ_{22} يختلف عن حالة التشغيل بمقدار 180° تقريباً. وهكذا فإنه عند حدوث القصر أو العطل على الخط L_1 فإن اختلافاً كبيراً في فرق الصفحة سوف يظهر بين التوتر والتيار في النقطة 2 التي تمثل أحد أطراف الخط.



الشكل (1- 2) اتجاه جريان التيار



الشكل (1 – 3) المخطط الشعاعي للتيار والتوتر في النقطة 2 في حالة التشغيل النظامية

تستخدم هذه الحقيقة العلمية لتشغيل الحمايات الاتجاهية حيث يلاحظ أن اتجاه التيار يتغير بشكل واضح عند هذه النقطة فقط.

يمكن أن تكون الحماية الاتجاهية انتقائية، وهي حماية مركبة لأنها تحتاج إلى كميتين لتشغيلها.

وتستعمل في التطبيقات العملية أيضا حاكمات اتجاهية خاصة تعمل عند تغير اتجاه الاستطاعة بوصفها حماية إضافية مع أنواع أخرى لتأمين الانتقائية.

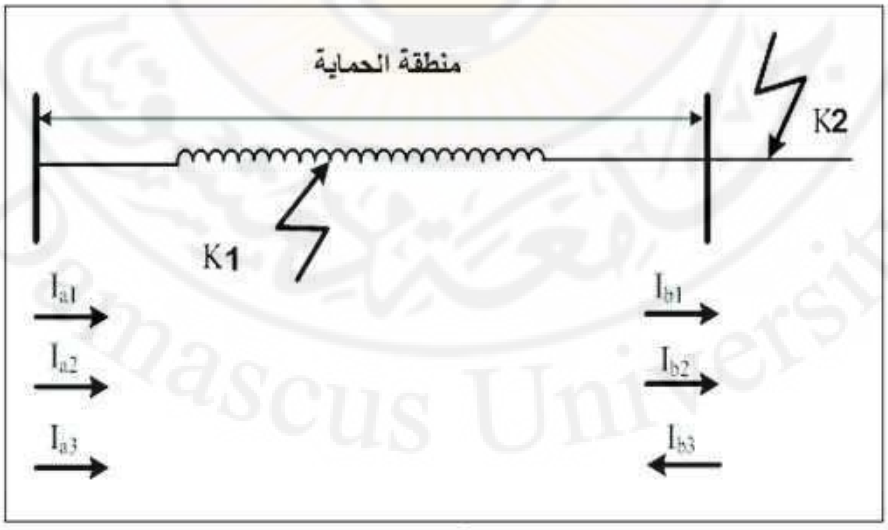
4-3-1 الحماية التفاضلية Differential Protection

تعمل هذه الحماية عندما يظهر اختلاف بين قيمتي التيار في طرفي المنطقة المحمية كما في الشكل (4-1)، حيث تتحقق العلاقة التالية بين التيارات في أطراف المنطقة المحمية في حالة التشغيل النظامية:

$$I_{a1} = I_{b1} \quad , \quad I_{a1} - I_{b1} = 0 \qquad (1\text{-}10)$$

وعندما يظهر عطل في نقطة ما خارج المنطقة المحمية K2 مثلا فإن التيارات التي تمر في طرفي المنطقة المحمية ستكون متساوية أيضاً، وستحقق العلاقة التالية:

$$I_{a2} = I_{b2} \quad , \quad I_{a2} - I_{b2} = 0 \qquad (1\text{-}11)$$



الشكل (1 – 4) مبدأ عمل الحماية التفاضلية

ولكن عندما يظهر عطل أو قصر دارة داخل المنطقة المحمية، مثلاً في النقطة K_1 فإن قيمة التيارات لن تكون متساوية، ولن يساوي الفرق بينها الصفر، وسوف تحقق العلاقة التالية:

$$I_{a3} \neq I_{3b} \quad , \quad I_{3a} - I_{3b} \neq 0 \qquad (1\text{-}12)$$

يمكن الملاحظة أن مبدأ التفاضل يساعد على التمييز بين عطل داخل المنطقة المحمية وعطل خارجها، وهذا ما يجعل الحماية التفاضلية حماية انتقائية بامتياز تميز بين الأعطال داخل المنطقة المحمية والأعطال خارج المنطقة المحمية.

يمكن اختيار تيار إقلاع هذه الحماية عند قيمة أصغر من قيمة التيار النظامي ما يجعلها حماية ذات حساسية عالية وتعدُ حماية مركبة أيضاً، لأنها تحتاج إلى قيمتين للتيار على جانبي المنطقة المحمية لكي تعمل.

وبما أن قيم التيارات على جانبي المنطقة المحمية تكون متساوية، ويساوي الفرق بينهما الصفر، فإن تيار إقلاع الحماية التفاضلية يجب أن لا يحقق العلاقة (1-4) كما في حالة حماية التيار لمنع التشغيل الخاطئ في حالة العمل النظامية.

تكون قيمة تيار اقلاع الحماية التفاضلية أصغر من قيمة التيار الاسمي في المنطقة المحمية ويؤدي هذا الأمر إلى زيادة حساسية هذه الحماية استنادا إلى العلاقة (2-1) .

1-3-5 الحماية المسافية Distance Protection

يتحقق هذا النوع من الحماية الكهربائية باستخدام حاكمة المسافة التي تعمل عندما تنقص قيمة ممانعة الدارة المحمية عن القيمة المعيرة عليها الحاكمة. تكون قيمة ممانعة الدارة المحمية كبيرة عند التشغيل في الحالات النظامية، وعند حدوث قصر في الدارة المحمية تصبح قيمة التيار المار في الدارة المحمية كبيرة جداً وتتناقص قيمة التوتر وهذا يعني أن قيمة النسبة U/I تصغر كثيرا، وتصبح ممانعة الدارة أصغر بكثير وعندئذ تعمل الحماية. وتعد هذه الحماية أصغرية. يمكن أن تحقق الحماية المسافية انتقائية جيدة في التشغيل عند اختيار قيمة محددة لزمن الإقلاع و للممانعة وتعد هذه الحماية من الحمايات المركبة، لأنها تحتاج إلى كميتين كهربائيتين لكي تعمل.

1-3-6 الحماية باستخدام المرشحات Protection Using Filters

من المعروف أنه في حالة حدوث أعطال غير متناظرة تظهر في الشبكة المركبات المتناظرة العكسية للتوترات والتيارات، وفي حال حدوث أعطال مع الأرض تظهر المركبات المتناظرة الصفرية، ويمكن باستعمال مرشحات خاصة استخلاص هذه المركبات وقياسها، وربط الحاكمات إليها بحيث يمكن أن تؤمن حماية للشبكة من هذه الأنواع من الأعطال.

من المعروف إحصائيا أن 95% من مجموع الأعطال التي تظهر في الشبكات الكهربائية هي أعطال غير متناظرة، ومن هذه الأعطال هناك 10% منها أعطال ثنائية بين طورين، والباقي أعطال لطور واحد مع الأرض، وبما أنه يمكن تنفيذ مرشحات المركبات الصفرية بسهولة، فإن هذه المرشحات تستعمل بشكل واسع للحماية من الأعطال المصحوبة بقصر مع الأرض.

1-3-7 الحماية الحرارية Thermal Protection

يعمل هذا النوع من الحماية عند زيادة الحرارة التي تصاحب عادة ظهور أعطال قصر الدارة أو زيادة الحمل، وتستعمل هذه الحماية للمولدات والمحركات الكهربائية وأحياناً للخطوط الكهربائية.

1-3-8 الحماية بحاكمات بوخلز الغازية Gas Protection – Buchholz

تستعمل هذه الحماية فقط للمحولات الكهربائية ذات خزانات الزيت الاحتياطية ، وتركب حاكمات الغاز على الأنبوب الواصل بين حافظة المحول وخزان الزيت الاحتياطي، وتعمل هذه الحاكمة عند أنطلاق الغازات في حال ظهور أعطال داخل حافظة المحولة.

1- 3-9 مصطلحات علمية

تستخدم في تقانة نظم الحماية الكهربائية التعاريف التالية:

1- قيمة الإقلاع

تمثل قيمة الكمية الفيزيائية الأولية التي تراقبها الحماية التي تبدأ عندها الحماية بالعمل لتغلق تماساتها.

2- قيمة الرجوع

تمثل قيمة الكمية الفيزيائية الأولية التي تراقبها الحماية التي تبدأ الحماية عندها بالعمل بالاتجاه المعاكس لتفتح تماساتها والعودة حالة التأهب الأولية.

3- ثابت الرجوع

تمثل النسبة بين قيمة الرجوع وقيمة الإقلاع، وكلما كانت هذه النسبة أقرب إلى الواحد كانت الحاكمة ذات جودة عالية.

يكون للحاكمات الأعظمية ثابت رجوع أصغر من الواحد، بينما يكون للحاكمات الأصغرية ثابت رجوع أكبر من الواحد.

4- القيمة النظامية

تمثل قيمة التيار أو التوتر التي تتحملها ملفات الحاكمة أو داراتها لفترة طويلة جداً من الزمن دون أن تتأثر أو تتغير مواصفاتها.

5- زمن التشغيل الفعلي

يمثل الزمن الذي يمر من لحظة تغير قيمة الكمية التي تراقبها وحتى لحظة إغلاق تماسات الحاكمة أو فتح التماسات أن كانت مغلقة في الحالة النظامية.

6- الاستطاعة النظامية

تمثل قيمة الاستطاعة التي تستهلكها الحاكمة خلال فترة المراقبة والتشغيل، وتحدد هذه القيمة حساسية الحاكمة بحيث كلما ازدادت الاستطاعة المستهلكة تنقص حاسية الحاكمة. كما أن هذه الاستطاعة النظامية التي تستهلكها الحاكمة تؤدي دوراً في تحديد الاستطاعة الإجمالية لمحولات القياس التي تغذي دارات الحماية الكهربائية.

7- الوضعية النظامية لتماسات الحاكمة

تمثل هذه الوضعية الحالة التي تكون فيها تماسات الحاكمة عند حالة التشغيل النظامية قبل أن تتحرض نتيجة ظهور تغيرات على القيمة التي تراقبها الحاكمة، وهذه التماسات يمكن أن تكون مفتوحة في الحالة النظامية ويتم اغلاقها عند تشغل الحاكمة، أو يمكن أن تكون مغلقة في الحالة النظامية ويتم فتحها عند تشغيل الحاكمة.

1-4 تصنيف الحاكمات المستخدمة في أنظمة الحماية الكهربائية

يمكن أن تصنف الحاكمات المستخدمة في أنظمة الحماية الكهربائية استناداً إلى المبادئ والأسس التالية: [4]

1-4-1 التصنيف إستناداً إلى طريقة ربط الحاكمات ووظيفتها في دارة الحماية

تصنف الحاكمات استناداً إلى وظيفتها في الدارة إلى ما يلي :

أ- حاكمات أولية Prime Relays

تربط هذه الحاكمات إلى الدارة الأولية المطلوب حمايتها ويمر فيها التيار الأولي.

ب- حاكمات ثانوي Secondary Relays

تربط هذه الحاكمات إلى ثانوي محولات القياس، ويمر فيها عادة تيار الثانوي.

ت- حاكمات زمنية Time Relays

ث- حاكمات مساعدة Auxiliary Relays

ج- حاكمات إشارة Signal Relays

تربط الحاكمات الثلاثة الأخيرة إلى تماسات حاكمات أخرى أي أن تشغيلها يتم بشكل غير مباشر.

1-4-2 التصنيف إستناداً إلى تأثيرها على القواطع الآلية

- ذات تأثير مباشر على دارة تشغيل القاطع الآلي.
- ذات تأثير غير مباشر على دارة القاطع الآلي عن طريق تجهيزات مساعدة.

1-4-3 التصنيف إستناداً إلى طبيعة الكمية الفيزيائية التي تتحسس بها

يمكن أن تصنف الحاكمات في هذه الحالة كما يلي:

أ-حاكمات تيار
ب-حاكمات توتر
ت-حاكمات ممانعة
ث-حاكمات تردد
ج-حاكمات غاز
د- حاكمات حرارة

1-4-4 التصنيف إستناداً إلى مبدأ التشغيل وبنية الحاكمات

تصنف حاكمات الحماية نسبة إلى مبدأ عملها وبنيتها الداخلية كما يلي:

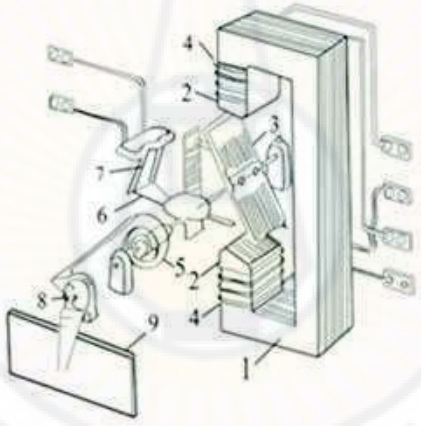
أ-حاكمات كهربائية ميكانيكية يمكن أن تكون حاكمات كهرومغناطيسية، أو حاكمات تحريضية أو حاكمات مغنوكهربائية، أو حاكمات كهروديناميكية

ب- حاكمات ساكنة أو الكترونية **Static Relays**

ت- حاكمات رقمية **Digital Relays**

ث- حاكمات ذكية ذات معالجات صغرية **Smart Relays**

يبين الشكل (1- 5) بنية الحاكمة الكهرومغناطيسية حيث تعمل هذه الحاكمة بالتيار المستمر، وتتميز بحساسية عالية، وهي ذات بنية قوية، ويساوي زمن تشغيلها 0.05 Sec، وتبلغ الاستطاعة اللازمة لتشغيلها 1W وتتراوح الاستطاعة اللازمة لتحريك تماساتها في المجال W(10-20).

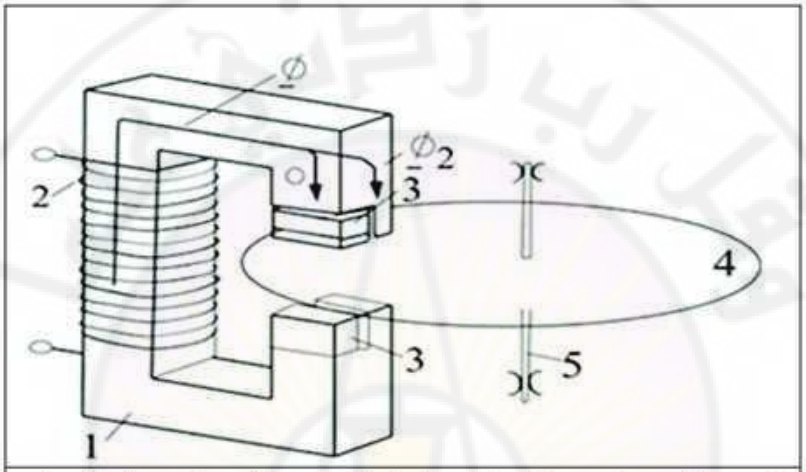


1 – مغناطيس دائم	4 – الذراع المغناطيسي المتحرك
2 – القطعة المغناطيسية القطبية	5 – محور الحركة
3 – الملفات الكهربائية	6- التماس المتحرك
7 – التماس الثابت	

الشكل (1 – 5) الحاكمة الكهرومغناطيسية

كما يبين الشكل (1 – 6) الحاكمة التحريضية ذات القرص المتحرك إذ تبلغ الاستطاعة اللازمة لتشغيل هذه الحاكمة W 0.02 ، ويمكن أن يعير زمن تشغيلها في المجال (2-10)

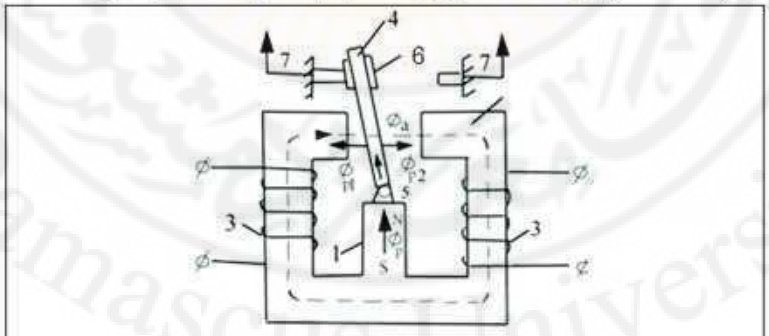
ويبلغ تيار إقلاعها A (10 - 2.5). ويستخدم هذا النوع من الحاكمات التحريضية بشكل واسع في أنظمة الحماية الكهربائية إذ يمكن الحصول بمساعدتها على أنواع متعددة من مميزات التشغيل، وتستعمل الحماية التحريضية بوصفها حاكمة تيار أو حاكمة اتجاهية أو حاكمة تفاضلية أو حاكمة ممانعة.



1 – مغناطيس دائم 2 – قلب دوار أسطواني مغناطيسي 3 – ملف كهربائي متحرك 4 – اطار حامل للملف 5 – نابض من البرونز

الشكل (1 – 6) الحاكمة التحريضية ذات القرص المتحرك

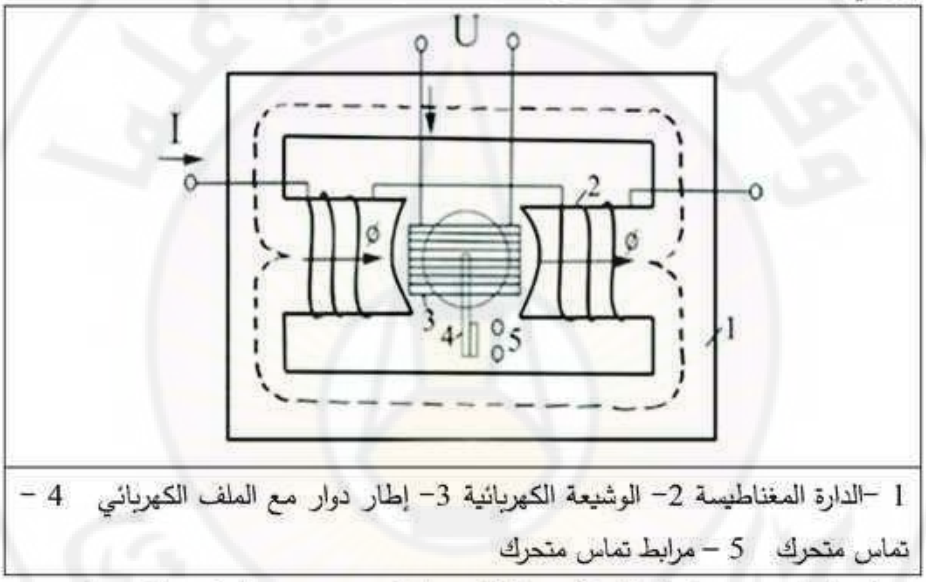
يبين الشكل (1 – 7) بنية حاكمة كهرومغناطيسية قطبية تعمل بالتيار



1 –مغناطيس دائم 2 – القطعة القطبية 3 – الملفات4 – الذراع المتحرك 5 – مفصل تمركز 6 – تماس متحرك 7 – تماس ثابت

الشكل (1 – 7) بنية حاكمة كهرومغناطيسية قطبية

المستمر فقط وهي ذات حساسية عالية جداً ويساوي زمن تشغيلها 0.003Sec، وتبلغ الاستطاعة اللازمة لتشغيلها 0.1W، وتتراوح الاستطاعة اللازمة لتحريك تماساتها (10-30W) ، يبين الشكل (1– 8) البنية الأساسية للحاكمة الكهروديناميكية ذات القلب الدوار. تعمل هذه الحماية بالتيار المستمر وبالتيار المتناوب وتمتاز بحساسية عالية وزمن تشغيل أكبر بالمقارنة مع الحاكمة التحريضية. تستخدم هذه الحاكمة بشكل كبير في أنظمة الحماية الاتجاهية والحماية المسافية.

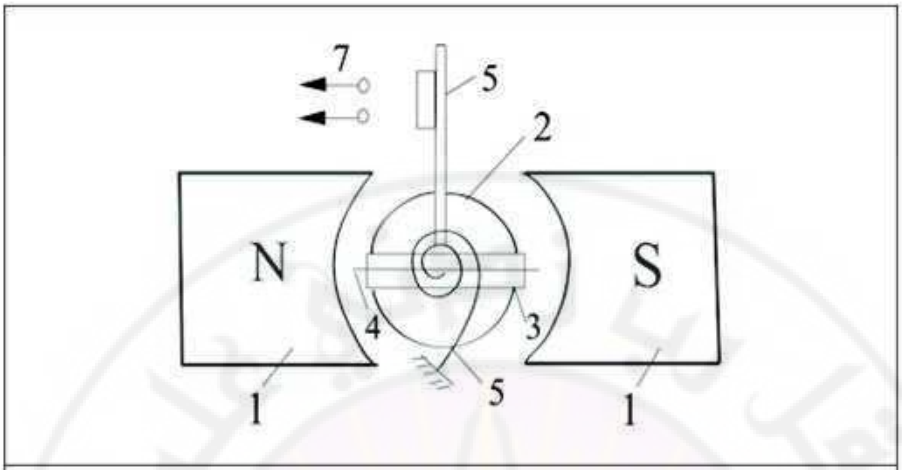


1 –الدارة المغناطيسة 2– الوشيعة الكهربائية 3– إطار دوار مع الملف الكهربائي 4 – تماس متحرك 5 – مرابط تماس متحرك

الشكل (1 – 8) البنية الأساسية للحاكمة الكهروديناميكية ذات القلب الدوار

كما يبين الشكل (1– 9) البنية الأساسية للحاكمة الماغنوكهربائية

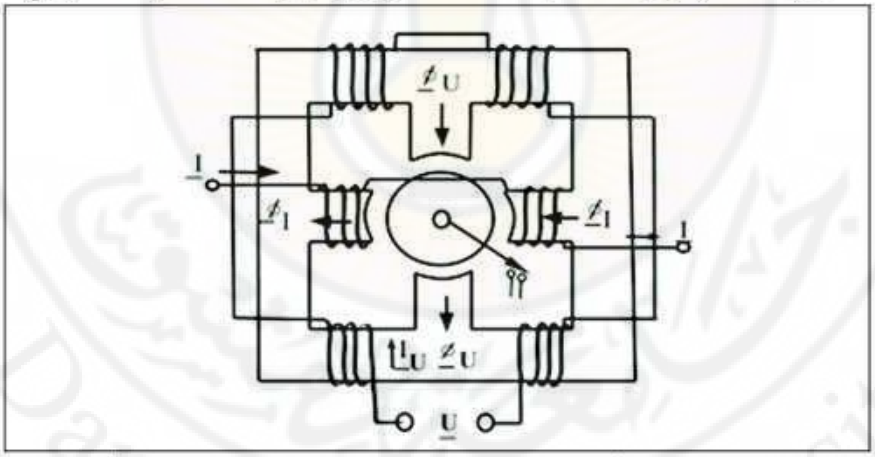
Damascus University



1 – مغناطيس دائم 2– القلب الأسطواني 3– الإطار الدوار 4 –الملف المتحرك المتحرك 5– النابض 6 – التماس المتحرك 7– التماس الثابت

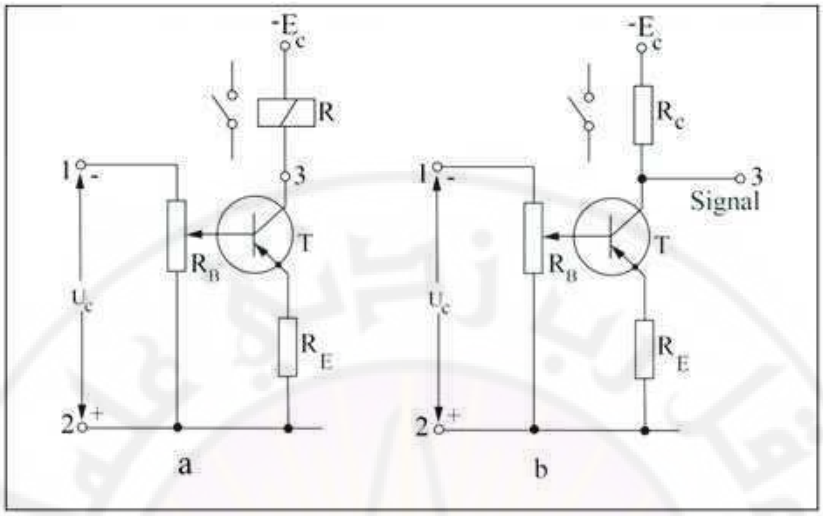
الشكل (1 – 9) البنية الأساسية للحاكمة الماغنوكهربائية

يبين الشكل (1– 10) البنية الأساسية للحاكمة الكهروديناميكية ذات القلب الأسطواني



الشكل(1 – 10) البنية الأساسية للحاكمة الكهروديناميكية ذات القلب الأسطواني

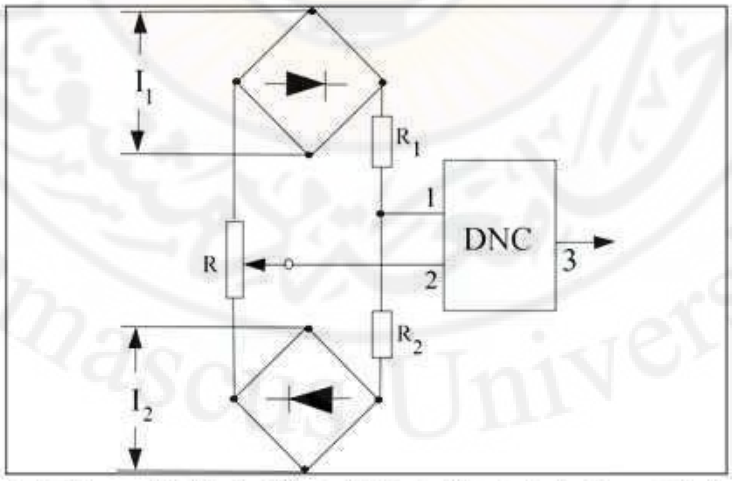
كما يبين الشكل (1– 11) البنية الأساسية للحاكمة الالكترونية حيث يتم استخدام ترانزستور **T** لمراقبة قيمة توتر الدخل **Uc** لكي لا تزيد عن قيمة محددة، بحيث يبقى هذا الترانزستور مغلقاً طالما كانت هذه القيمة أصغر. أما عندما تكون القيمة المطبقة أكبر فإن الترانزستور يوصل ويمرر التيار عبر الكونتاكتور **R** الذي يغلق تماسه.



الشكل (1 – 11) البنية الأساسية للحاكمة الإلكترونية

ويبين الشكل (1–12) الدارة الأساسية للحاكمة الرقمية الإلكترونية التفاضلية، حيث إن عناصرها البنيوية صغيرة جداً ويمكن أن تعمل هذه الحاكمة بالتيار المستمر وبالتيار المتناوب وتمتاز

بحساسية عالية جداً. يبين الشكل (1– 13) الشكل الخارجي للحاكمة الرقمية التفاضلية [14]



الشكل (1 – 12) الدارة الأساسية للحاكمة الرقمية الإلكترونية التفاضلية



الشكل (1 – 13) الحاكمة الرقمية التفاضلية

1-4-5 التصنيف إستنادا إلى خواص التشغيل

تبين مميزة خواص التشغيل للحاكمة الكهربائية العلاقة بين زمن التشغيل t_a والكمية الفيزيائية التي تراقبها الحاكمة، ويمكن تمييز نوعين من الحاكمات:

أ-حاكمات ذات خواص مستقلة

ب-حاكمات ذات خواص غير مستقلة

كما يوجد في التطبيقات العملية أيضاً حاكمات كهربائية لها مميزة تشغيل مختلطة حيث تكون المميزة غير مستقلة في جزء منها ومستقلة في جزء آخر، ولشرح مفهوم خواص التشغيل تؤخذ حاكمة التيار بعين الاعتبار حيث إن مميزة زمن التشغيل معطاة بالعلاقة (1-13) ويمكن أن تكتب كما يلي:

$$t_a = f(I) \qquad (1\text{-}13)$$

يبين الشكل (1 – 14) منحني خواص التشغيل المستقلة وغير المستقلة.

واستنادا إلى شكل العلاقة فإنه يمكن تعريف خواص التشغيل العكسية بالعلاقة (1-14) التالية:

$$t_a . I = C \quad \text{أو} \qquad t_a = \frac{C}{I} \quad (1\text{-}14)$$

ويمكن تعريف خواص التشغيل العكسي الحدي بالعلاقة (1-15) التالية:

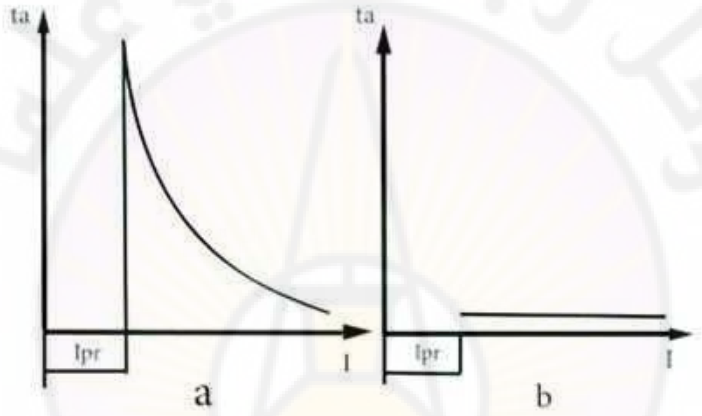
$$I^2 . t_a = C \quad \text{أو} \qquad t_a = \frac{C}{I^2} \quad (1\text{-}15)$$

حيث: C ثابت ما.

يمثل الحد $I^2 . t_a$ كمية التسخين للتجهيزات الكهربائية التي تقوم الحاكمة بحمايتها. وقد تم عملياً تنفيذ حاكمات ذات خواص زمن تشغيل غير مستقلة معرفة بالعلاقة(1– 16) التالية :

$$I^n . t_a = C \qquad (1\text{-}16)$$

حيث يمكن أن تأخذ n القيمة 8.



b – منحني خواص التشغيل المستقلة a –منحني خواص التشغيل غير المستقلة

الشكل (1 – 14) منحني خواص التشغيل

يمكن عد خواص زمن التشغيل المستقلة المبينة في الشكل (1 – 14) على أنها حالة خاصة من خواص زمن التشغيل المعرفة بالعلاقة (1-16) وذلك عندما تكون n = 0 أي:

$$I^0 . t_a = t_a = C \qquad (1\text{-}17)$$

الفصل الثاني

2 – حماية محطات التحويل

و مراكز التحويل الكهربائية

Post Transformers and Substations Protection

Damascus University

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفصل الثاني

2 – حماية محطات التحويل و مراكز التحويل الكهربائية

Post Transformers and Substations Protection

2-1 تعريف مراكز ومحطات التحويل

يمكن تعريف مراكز التحويلPost Transformers أو محطات التحويل الكهربائية Transformer Substations، على أنها منشآت خاصة تشكل جزءاً من نظم القدرة الكهربائية ، يتم فيها تغيير التوتر الكهربائي، زيادة أو نقصاناً، بهدف نقل الاستطاعة الكهربائية بين محطات التوليد الكهربائية التي تشكل مصادر الطاقة الكهربائية وبين المستفيدين الذين يمثلون مجموعة المستهلكين المختلفين للطاقة الكهربائية .

ويتم في مراكز التحويل والمحطات الكهربائية استقبال الطاقة الكهربائية من مصادر التوليد Power Stations عند التوتر الاسمي Nominal Voltage، ورفع هذا التوتر أو خفضه ثم إرسال الطاقة الكهربائية بواسطة خطوط نقل القدرة الكهربائية نحو مراكز الاستهلاك المختلفة.

وتتألف نظم القدرة الكهربائية في منطقة ما أو دولة ما، من محطات التوليد الكهربائية ، ومحطات التحويل الرافعة للتوتر ، ومن خطوط نقل القدرة الكهربائية بالتوتر العالي ، ومن محطات التحويل الخافضة للتوتر ، ومن خطوط توزيع الطاقة الكهربائية بالتوتر المتوسط ثم من مراكز التحويل الكهربائية التي تخفض التوتر في شبكات التوزيع ليصبح ملائماً لاحتياجات المستهلكين الصناعيين والتجاريين والسكنيين الذي يستقبلون بذلك الطاقة الكهربائية المرسلة من محطات التوليد الكهربائية.

وتعد محطات التحويل الكهربائية وكذلك، مراكز التحويل منشآت كهربائية خاصة ، تستخدم فيها تجهيزات كهربائية تعمل بالتوترات العالية والتوترات المتوسطة ، مثل القواطع الكهربائية الآلية والقواطع اليدوية ، والمحولات الكهربائية والمفرغات ومانعات الصواعق ومحولات القياس ، وتجهيزات المراقبة والحماية مثل الحاكمات ومنظمات التوتر ، ومبدلات التوتر وأجهزة قياس التوتر والتيار والتردد والطاقة الكهربائية، وذلك لمراقبة عمل

محطات التحويل بشكل نظامي ضمن حدود الأمان والاستمرارية في تغذية المستهلكين بالطاقة الكهربائية.

2 – 2 تصنيف محطات التحويل ومراكز التحويل الكهربائية

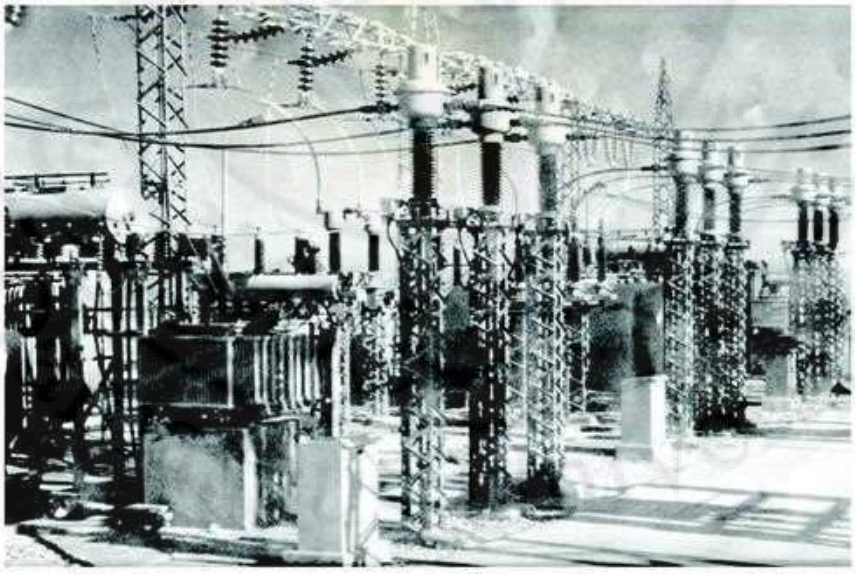
2 – 2 – 1 محطات التحويل الكهربائية [4]

يمكن أن تصنف محطات التحويل نسبة إلى عدد من المعطيات الهندسية والوظيفية كما يلي:

أولا – نسبة لنوع البناء الذي تركب فيه المحطات:

أ– محطات تحويل داخلية **Indoor Substations** : ويتم تركيب جميع تجهيزاتها التي تعمل على التوتر العالي وعلى التوتر المتوسط، عدا المحولات، ضمن بناء يصمم بشكل خاص لهذا الأمر.

ب– محطات تحويل خارجية **Outdoor Substations:** ويتم تركيب تجهيزات التوتر العالي في ساحة خارجية، في الهواء الطلق، أما تجهيزات التوتر المتوسط فتركب داخل بناء خاص.

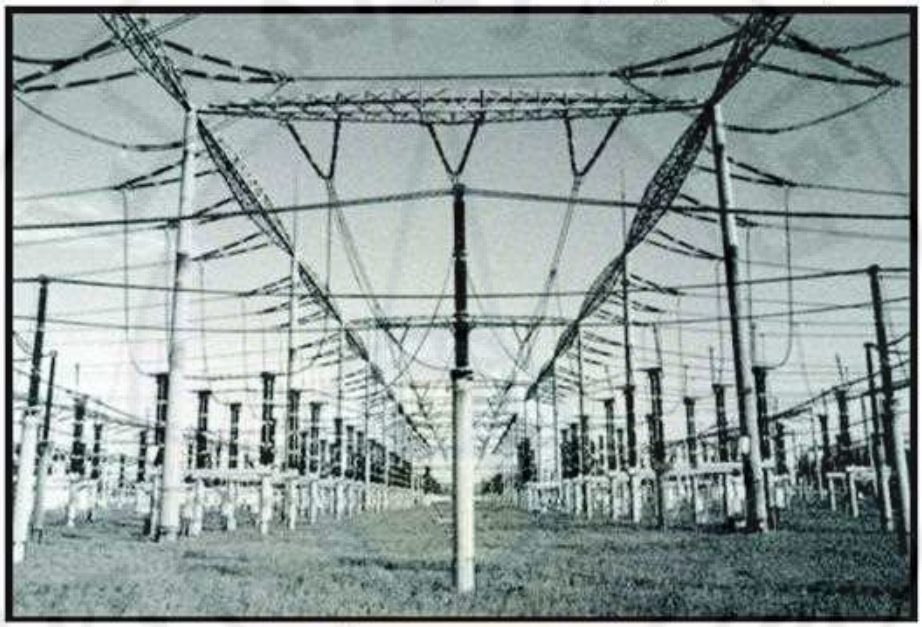


الشكل (2 – 1) محطة تحويل أفاميا في سورية 66/20 kV خافضة للتوتر

ثانياً –نسبة إلى التوتر الكهربائي الذي تعمل به المحطة في نظام القدرة الكهربائية

- محطات تحويل للربط الكهربائي **Interconnection Substations** وتعمل عند التوتر 230/400 kV أو 400/230/66 kV

– محطات تحويل للتوزيع الكهربائي **Distribution Substations** وتعمل عند التوتر 66 kV / 20 أو 230 kV/ 66 / 20 أو 66 kV /11



الشكل (2 – 2) قسم التوتر العالي من محطة تحويل من النوع الخارجي

ثالثاً - نسبة لطريقة تحويل التوتر في المحطة

أ– محطات تحويل رافعة للتوتر Up Rising

يمكن أن تعمل بالقرب من محطات التوليد الكهربائية الحرارية والمائية والنووية وتقوم برفع الجهد من قيمة صغيرة تساوي للتوتر الذي تعطيه مولدات محطات التوليد إلى قيمة كبيرة أو كبيرة جداً تساوي التوتر الذي تعمل عليه الشبكة الكهربائية التي تغذيها محطة التوليد.



الشكل (2- 3) محطة تحويل رافعة للتوتر مركبة قرب محطة توليد

ب-محطات تحويل خافضة للتوتر **Down Rising**

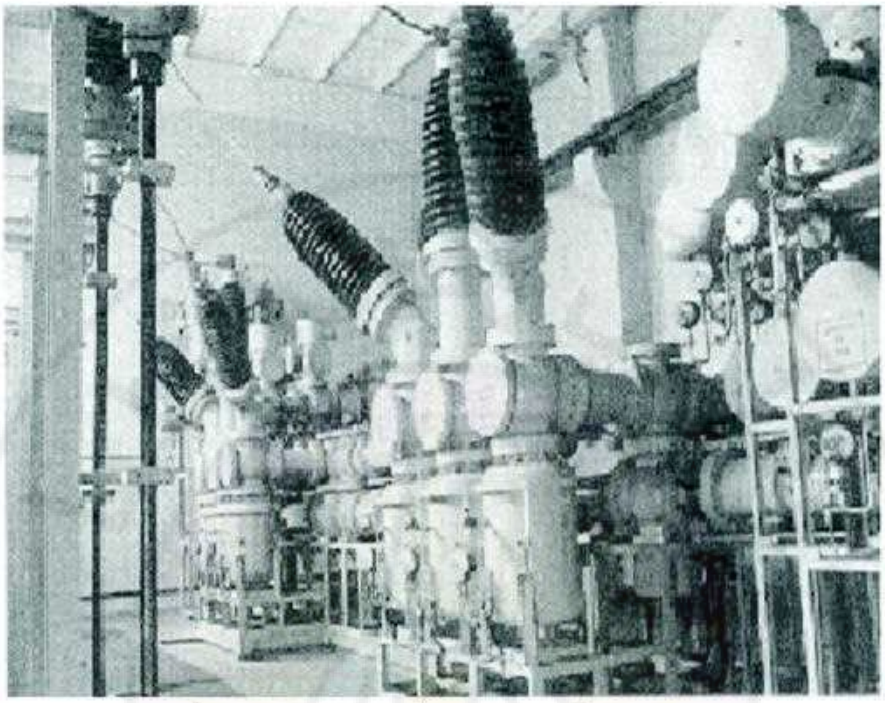
يمكن أن تعمل بالقرب من مراكز الاستهلاك في المدن والمعامل والمنشآت الصناعية وتقوم بخفض التوتر من قيمة كبيرة أو كبيرة جداً، وهو التوتر المستخدم في شبكات نقل وتوزيع الطاقة الكهربائية، إلى قيمة صغيرة ، تساوي التوتر المتوسط الذي تعمل عليه الشبكة الكهربائية التي تغذي المستهلكين الصناعيين أو المنزليين.

رابعاً – نسبة لطريقة العزل الكهربائي المستخدم بين تجهيزات المحطة:

- محطات تقليدية: ويستخدم فيها الهواء وسيطاً عازلاً بين مختلف تجهيزات المحطة.

- محطات محجوبة **Gas Isolated Substations:** ويستخدم فيها غاز سادس فلور الكبريت **SF6** وسيطاً عازلاً بين مختلف تجهيزات المحطة، إذ توضع هذه التجهيزات في أنابيب واسطوانات خاصة مملوءة بالغاز كما هو مبين في الشكل (4-2).

في هذا النوع من المحطات تكون كافة تجهيزات المحطة معزولة بغاز سادس فلور الكبريت من قواطع وكبلات ومحولات توتر ومحولات تيار ومحولات القدرة تكون مغلقة بشكل محكم منعا لتسريب الغاز لخطورته الشديدة. [4]

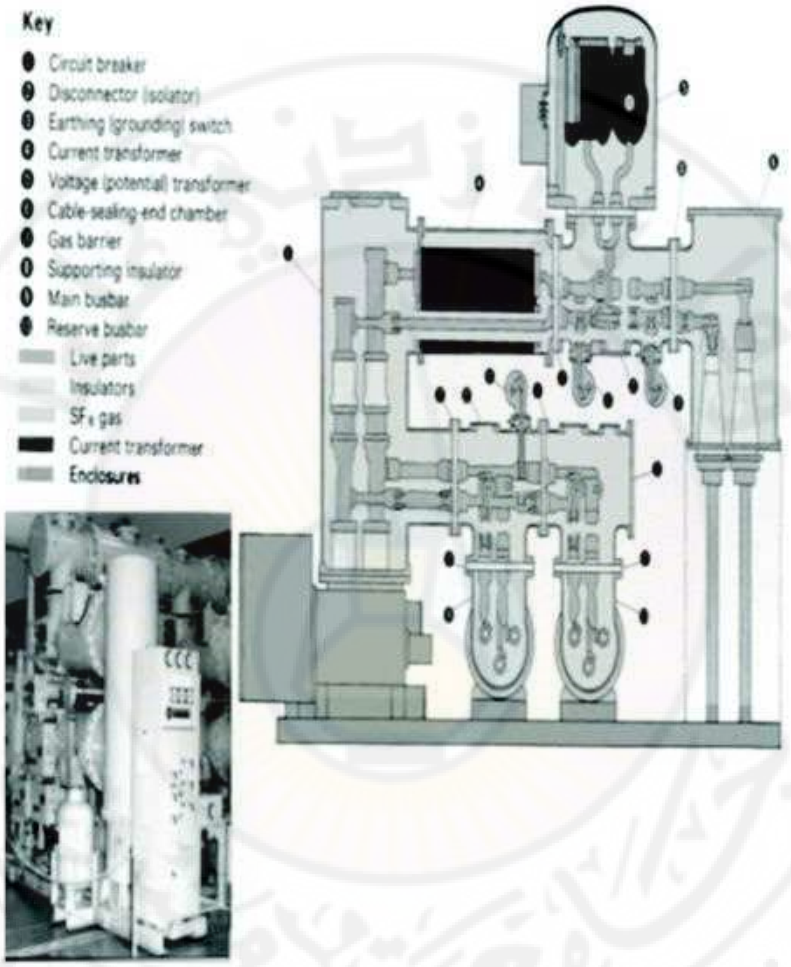


الشكل (2 –4) محطة تحويل داخلية 66/20 kv محجوبة بغاز SF6

يستخدم هذا النوع من المحطات في الأماكن التي تكون فيها الأرض غالية الثمن أو غير متوفرة بمساحات كبيرة، ضمن المدن مثلاً، حيث يمكن باستخدام محطة تحويل معزولة أن يتم تخفيض حجم المحطة حوالي 10 أمثال وتخفيض مساحة الأرض اللازمة لأنشاء محطة التحويل حوالي 3 أمثال.

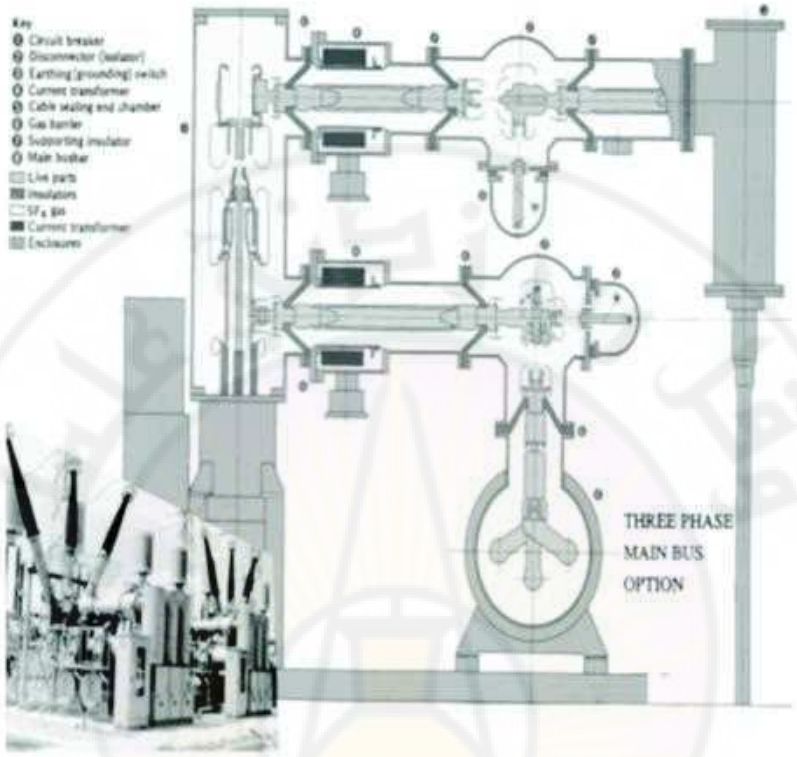
يمكن أن تكون المحطات المحجوبة ثلاثية الأطوار أو أحادية الطور، وتستعمل المحطات المحجوبة ثلاثية الأطوار لأجل التوترات التي تتجاوز 170 kV، مع العلم أنه لا يوجد أي فرق من حيث الميزات بين المحطات أحادية الطور والمحطات ثلاثية الأطوار، باستثناء الحجم، وفي الوقت الحالي فإن (2%) من محطات التحويل في الولايات المتحدة الأمريكية هي محطات محجوبة ومعزولة بغاز سادس فلور الكبريت SF6.

يبين الشكل (2- 5) محطة محجوبة أحادية الطور، كما يبين الشكل (2- 6) محطة محجوبة ثلاثية الأطوار.



الشكل (2 – 5) محطة تحويل محجوبة أحادية الطور

Damascus University



الشكل (2 –6) محطة تحويل محجوبة ثلاثية الأطوار

2 – 2 – 2 تصنيف مراكز التحويل الكهربائية

تقوم مراكز التحويل الكهربائية بخفض قيمة التوتر المتوسط الذي يصل إليها من محطات التحويل إلى توتر منخفض، وهو التوتر الذي يصل عبر شبكات التغذية الكهربائية المختلفة إلى جميع المستهلكين بمختلف أنواعهم، صناعيين أو تجاريين أو منزليين. وتكون بنية مراكز التحويل الكهربائية، وأبعادها، أبسط بكثير من بنية محطات التحويل الكهربائية وأبعاد ولا تتضمن تجهيزات متنوعة ومعقدة كما في حالة محطات التحويل.

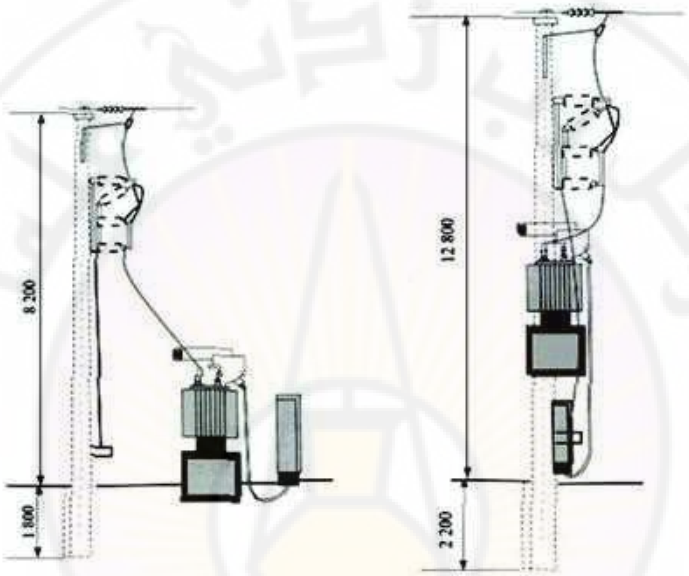
ويمكن أن تصنف مراكز التحويل الكهربائية من حيث بنيتها كما يلي:

أ- مراكز تحويل داخلية **Indoor Post Transformers**

تركب جميع تجهيزات مراكز التحويل في هذه الحالة ضمن بناء خاص بها.

ب- مراكز تحويل خارجية **Outdoor Post Transformers**

تركب جميع تجهيزات مراكز التحويل في هذه الحالة على أبراج معدنية وفي الهواء اما على البرج أو على الأرض مباشرة كما هو مبين في الشكل(7-2) وتوزع هذه المراكز في كافة أنحاء المدن والمناطق الصناعية بشكل يؤمن سهولة التغذية بالطاقة الكهربائية لجميع المستهلكين بشكل مستمر وموثوق.



- المحولة مركبة على البرج الكهربائي - المحولة مركبة على الأرض

الشكل (2- 7) مركز تحويل من النوع الخارجي

2-3 الاعتبارات والمعايير المتبعة في تصميم محطات التحويل الكهربائية

تؤخذ هذه الاعتبارات عند تصميم محطات التحويل الكهربائية وعند وضع خطط تطوير الشبكات الكهربائية ونظام القدرة الكهربائية وتزويد المستهلكين بالطاقة الكهربائية بخدمة ذات وثوقية عالية.

2-3 -1 المتطلبات الأولية والدراسة الكهربائية

تعد الاستطاعة الكهربائية التي ستؤمنها محطة التحويل لخدمة المستهلكين في المنطقة التي سوف تنشأ بها المحطة أساسية للتصميم مع لحظ استطاعة احتياطية للتوسع المستقبلي للمحطة.

أهم العوامل التي تؤثر في تصميم محطات التحويل هي الموقع الذي ستقام عليه المحطة والاختيار المناسب له حيث أن عدم مراعاة هذين العاملين يمكن أن يؤدي إلى استثمار مبالغ في خطوط النقل و منشآت التوزيع بدون فائدة واضحة.

عند اختيار موقع محطة التحويل يجب مراعاة العوامل التالية:

1- موقع مصادر الطاقة الكهربائية التي ستغذي المحطة.

2 -الموقع الحالي والمستقبلي لمركز الحمل الأمر الذي يؤدي دوراً في تحديد استطاعة المحطة، وبالتالي استطاعة محولاتها الكهربائية.

3- توفر الممرات اللازمة لوصول خطوط النقل والتوزيع الهوائية للمحطة الكهربائية.

4- موقع خطوط التوزيع الحالية الأمر الذي يحدد مدى قابلية الربط مع المحطات المجاورة.

5- وجود إمكانية استعمال ارض بديلة عن الأرض الحالية والمساحة الحالية للمحطة والمساحة المستقبلية.

6- القرب من الطرق العامة والمجاورة للسكك الحديدية إن أمكن وإمكانية الوصول إلى كافة التجهيزات الثقيلة تحت أي ظرف جوي، وكذلك إمكانية الوصول إلى المحطة.

7- متطلبات صيانة الموقع بما فيها إصلاح التجهيزات و تحسين المظهر العام.

8- عوامل أخرى مثل المظهر والضجيج والتأثيرات الكهرطيسية، وما سيؤثر ذلك في المنشآت العامة أو الخاصة سواء كان ذلك الآن أو في المستقبل.

9- نوع التربة و الصرف الصحي في الموقع المقترح.

10- السلامة العامة وأمن المحطة من السرقة والتخريب وعوامل الطقس.

11- تكلفة تنظيف التربة من المواد السامة أو المواد المطمورة و كذلك التكلفة الكلية بما فيها خطوط النقل والتوزيع مع مراعاة العوامل والمحميات البيئية والآثار.

12- مسح طبوغرافي للمنطقة والمناطق المحيطة لتجنب تأثير الزلازل و الصواعق والفيضانات والأرض الرطبة.

13- الآثار الجوية المختلفة والأمطار الحمضية والجليد والثلوج و العواصف البرقية...

كذلك تتم مراعاة معايير إضافية بيئية للحد من التلوث بكافة أنواعه البصري والسمعي والجوي، ويدرج ضمنها حسب نظام IEC للتلوث الكهروستاتيكي و الكهرومغناطيسي الذي يؤثر في موجات الراديو والتلفزيون.

2 – 3 – 2 معايير التوافق أو التداخل

Electromagnetic Compatibility Standards

عند اختيار موقع محطة جديدة فإنها على الأغلب تقع بجانب الطرق ومناطق التصريف ونظم الاتصالات وخطوط القدرة الكهربائية، لذلك يجب أن يتحقق توافق بين هذه المنشآت والمحطة التي يتم إنشائها.

2-3-3 معايير الموثوقية

إن الهدف الرئيسي عند تشغيل نظم القدرة الكهربائية هو تقديم خدمة موثوقة ضمن حدود تغيرات التوتر والتردد المسموحة.

2-3-4 معايير التشغيل

لتحقيق البساطة والسهولة في تشغيل المحطة فإن ترتيب أجهزة المحطة والاتصالات الكهربائية والإشارات ولوائح الأسماء يجب أن تكون واضحة ومختصرة قدر الإمكان، قد تمر المحطات الكهربائية أحيانا في حالات تشغيل طارئة تتطلب أن تعمل الأجهزة في حالات عمل غير نظامية (حالة عطل)، ويجب خلالها حساب كافة المتغيرات والمحددات وأخذها بالاعتبار في مرحلة التصميم.

2-3-5 معايير الأمان

يعتبر أمان المحطة لكافة المواطنين ولطاقم التشغيل والصيانة أمر بغاية الأهمية، لذلك يتم اتخاذ خطوات عملية من ضمنها التدريب الجيد للكادر، ووضع قواعد واجراءات أمان عملية و كذلك وضع التصميم المناسب والقيام بعملية التنفيذ بشكل صحيح.

2-3-6 معايير الصيانة

يجب أن يسمح تصميم المحطة باتمام عملية الصيانة بأقل تأثير ممكن على استمرارية تغذية أحمال المحطة.

2– 4 تجهيزات محطات التحويل الكهربائية

تتألف محطات التحويل الكهربائية بشكل عام من ثلاثة أقسام وهي:

–قسم التوتر العالي

–قسم التوتر المتوسط

–قسم القيادة والتحكم والحماية والقياس

توضع التجهيزات المختلفة في المحطة في قسم التوتر العالي وفي قسم التوتر المتوسط في مساحات خاصة تسمى الخلايا **Bays**.

وتكون الخلايا الأساسية في أية محطة تحويل كهربائية كما يلي:

– خلية وصول– خلية خروج

– خلية ربط (كوبلاج)– خلية قياس

– خلية محولة – خلية احتياط

وتتضمن كل خلية في قسم التوتر العالي أو في قسم التوتر المتوسط التجهيزات الأساسية التالية:

– مانعات صواعق أو مفرغات الشحنات الكهربائية

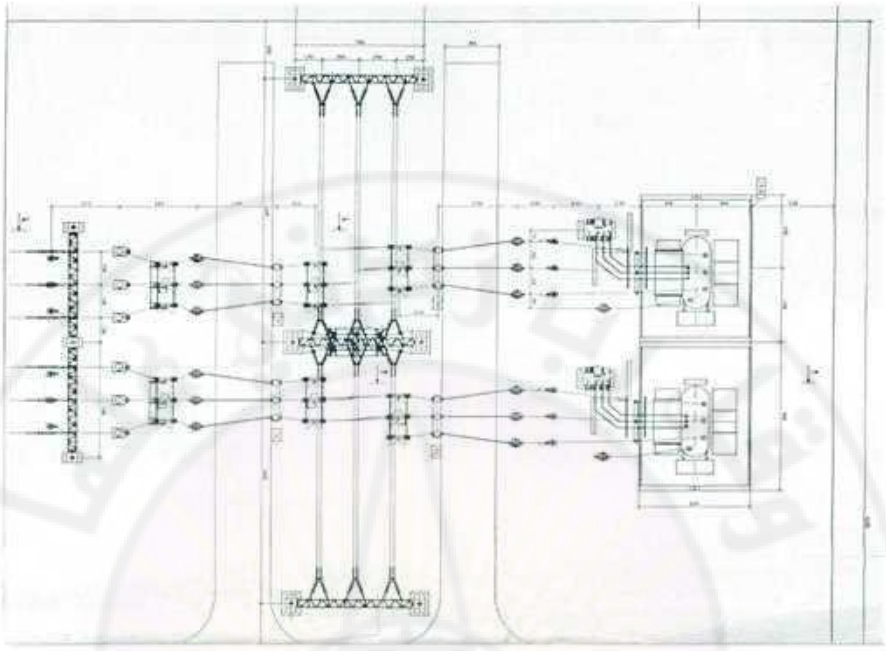
– محولات تيار

– قاطع سكين

– محولات توتر

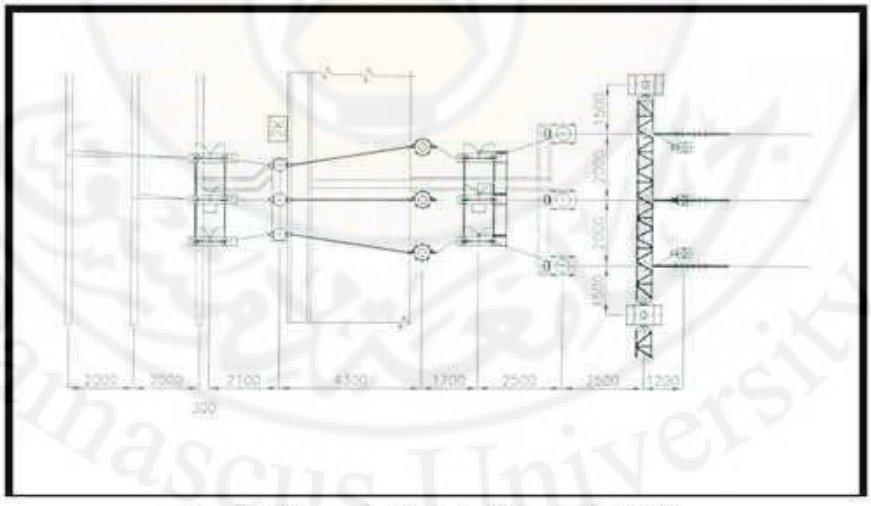
– قاطع آلي

يبين الشكل (2 – 8) المخطط الكهربائي لتوضع التجهيزات في قسم التوتر العالي في محطة تحويل خافضة للتوتر 66 / 20 kV من النوع الخارجي.



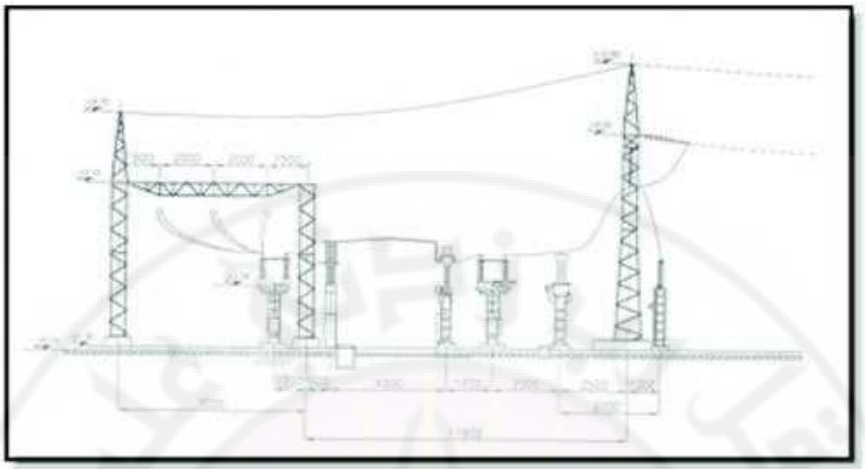
الشكل (2 – 8) المخطط الكهربائي لتوضع التجهيزات في المحطة

كما يبين الشكل (2 – 9) المخطط الرمزي لخلية خط 66kV



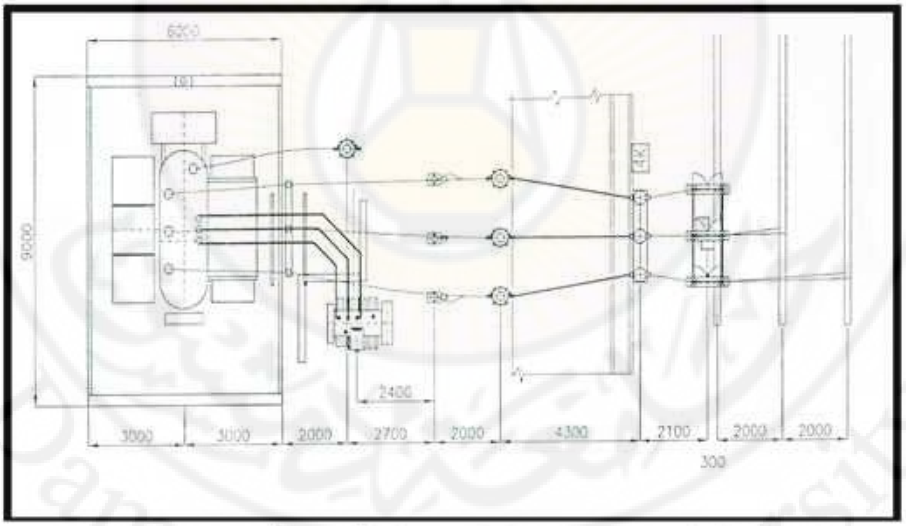
الشكل (2 – 9) المخطط الرمزي لخلية خط 66 kV

ويبين الشكل (2 – 10) مقطع طولي في خلية خط 66 kV



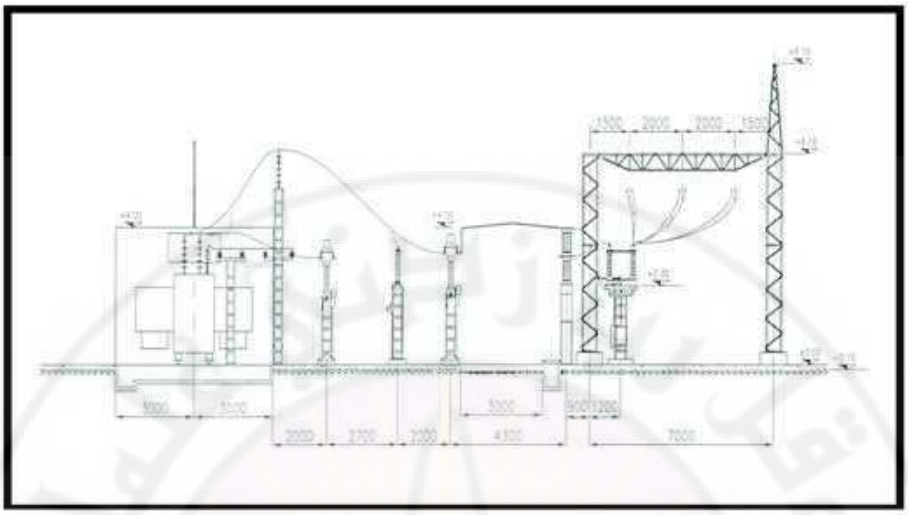
الشكل (2 – 10) مقطع طولي في خلية خط 66 kV

ويبين الشكل (2 – 11) مخطط رمزي لخلية محولة 66/20 kV



الشكل (2 – 11) مخطط رمزي لخلية محولة 66/20 kV

ويبين الشكل (2 – 12) مقطع طولي في خلية محولة 66/20 kV



الشكل (2 – 12) مقطع طولي في خلية محولة 66/20 kV

2–4 –1 مفرغات الشحنات و مانعات الصواعق

Lightning & Surge Arrestors

تستخدم مانعات الصواعق ومفرغات الشحنات للحماية من البرق و الصواعق الكهربائية، ومن التوترات الزائدة التي تنتج على خطوط التوتر العالي، وتمنع دخولها إلى محطة التحويل وتجنب حدوث انقطاعات كبيرة أثناء الخدمة. [4]

تعمل مانعات الصواعق بصورة أساسية بدون الأخذ بالاعتبار نوعها وطرازها على فتح مسرى فرعي للتيار عبر عازليه المانعة عند ظهور هذه الأمواج بسبب التوترات الزائدة الخارجية الناتجة

عن البرق والصواعق والتوترات الزائدة الداخلية الناتجة عن عمليات الوصل والفصل وحالات القصر لامتصاص خطر هذه التوترات على تجهيزات محطة التحويل شريطة ألا يتداخل هذا المسرى الفرعي مع التغذية الكهربائية في حالات التشغيل النظامية، كما أن مانعات الصواعق تستعيد عازليتها بشكل سريع بعد مرور التيار العابر عبر المسرى الفرعي و قبل أن تعمل القواطع الآلية أو المنصهرات على قطع التغذية و بذلك يمكن اعتبار مانعات الصواعق قاطعاً سريعاً للدارة يكون مفتوحا في حالة التشغيل النظامية و يغلق بشكل سريع جداً عند ظهور التوتر الزائد العابر.

وتعتمد آلية عمل مانعات الصواعق على وجود أحد أنواع الثغرات التي تكون عازلة في الحالة الطبيعية وتصبح ناقلة بفعل زيادة التوترعلى جانبي هذه الثغرة وحدوث الانفراغ الكهربائي عندما يصل التوتر العابر إلى قيمة تزيد عن كمون الثغرة و بذلك تنتج دارة فرعية للتيار تسمح بمروره إلى الأرض و إخماد التوتر العابر.

تطورت أنواع عديدة من مانعات الصواعق ومفرغات الشحنات من خلال استثمار التجهيزات الكهربائية في السنوات الأخيرة ويمكن تصنيف الأنواع الحديثة إلى فئتين:

1-مانعات الصواعق ومفرغات الشحنات من النوع الطارد Expulsion Type .

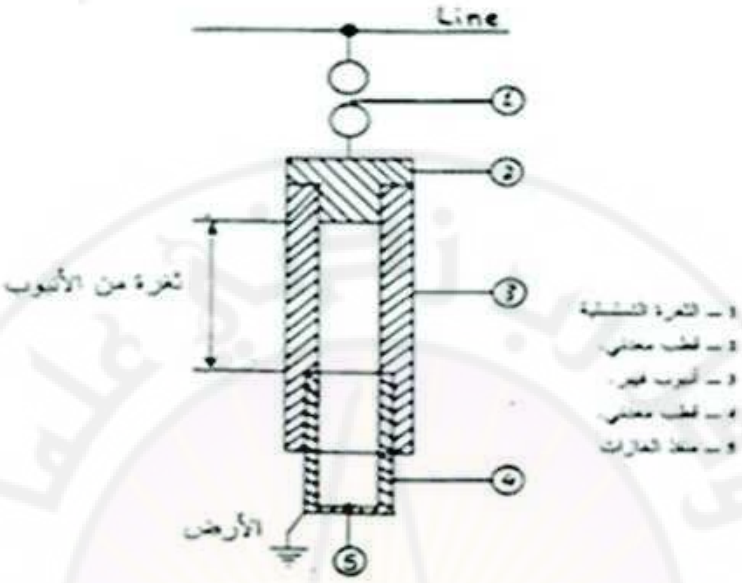
2- مانعات الصواعق ومفرغات الشحنات من النوع ذي الصمام Valve Type.

إضافة إلى هذين النوعين من المانعات هناك مانعة صواعق بسيطة شائعة الاستعمال في حماية الشبكات الكهربائية وخاصة في خطوط التوتر العالي هي مانعة ذات القرون Air Gap.

2-4 -1-1 مانعات الصواعق ومفرغات الشحنات من النوع الطارد

Lightning &Explosion Type Surge Arrestors

تتكون هذه المانعة بصورة أساسية من أنبوب مصنوع من مادة قادرة على إصدار غازات نتيجة الحرارة التي ترافق تشكل القوس الكهربائي، أو من وعاء مملوء بمادة مولدة للغاز عند تعرضها للحرارة، ويستخدم التركيب الأكثر شيوعا أنبوبا من الفيبر وهي مادة مولدة للغاز فعالة جدا و يحتوي الأنبوب في نهايته على قطبين معدنين وبذلك تتكون لدينا ثغرة عازلة ضمن الأنبوب كما هو مبين بالشكل (13-2)، وتستخدم ثغرة أخرى على التسلسل مع الأنبوب إما من جهة الخط أو من الجهة المتصلة بالأرض، وذلك للحفاظ على المادة المولدة للغاز التي تكون عرضة للتفحم عند تطبيق التوتر بصورة دائمة عليها.



الشكل (13-2) مفرغة الشحنات من النوع الطارد

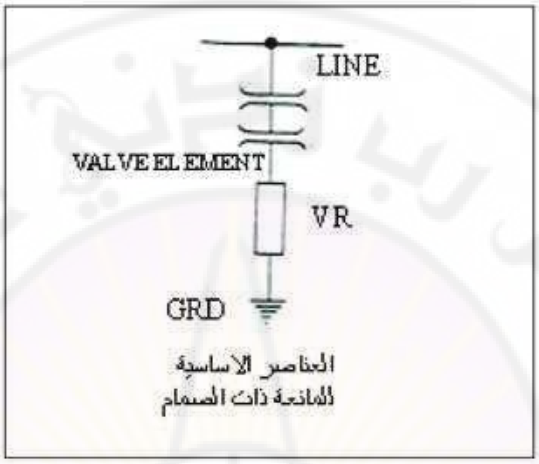
يتلخص مبدأ عمل المانعة بأنه عند ظهور التوتر الزائد بين نهايتي المانعة تتفرغ الثغرتان التسلسلية و الثغرة ضمن الأنبوب تكتمل الدارة من خلال الأنبوب نفسه ويتشكل القوس الكهربائي ويصبح الوسط في الأنبوب ناقلا، وهذا يؤدي إلى مرور التيار نحو الأرض وتنطلق الغازات من جسم الأنبوب بسبب الحرارة المنتشرة من القوس، وهي تعمل على تبريد القوس، وعندما يمر التيار بقيمة الصفر فإن القوس ضمن الأنبوب ينطفئ تلقائيا ويستعيد الأنبوب عازليته وتطرد الغازات من منافذ خاصة ضمن أحد القطبين أو كليهما كما هو مبين في الشكل (2 - 13).

2-4 -1-2 مانعات الصواعق ومفرغات الشحنات ذات الصمام

Lightning &Vave Type Surge Arrestors

تحتوي المانعة على ثغرات هوائية تسلسلية تعزلها عن الخط في حالة التشغيل النظامية، وعند حدوث التوترات الزائدة فإن انهيار الهواء ضمن الثغرة يجعل هذه المانعة ناقلة، وتسمح بمرور التيار عبر المقاومة، ويستخدم مع الثغرات على التسلسل مقاومات خاصة تنتج لهذا الاستعمال، وتمتاز هذه المقاومات التي تسمى بالصمام بأن قيمة مقاومتها

عالية جدا عند تطبيق التوترات المنخفضة عليها ومرور تيارات صغيرة بها. أما عند مرور تيارات كبيرة فتنخفض المقاومة إلى قيمة صغيرة جدا كما هو مبين في الشكل (2 - 14)



الشكل (2 - 14) مفرغة الشحنات من النوع ذي الصمام

يبين الجدول (2 - 1) المواصفات الفنية لمفرغات الشحنات المستخدمة في شبكات التوتر العالي في سورية التي تعمل على التوتر 66 kV والتوتر 230 kV.

الجدول (1-2) المواصفات الفنية لمفرغات الشحنات وفقاً للنظام العالمي IEC

المواصفات الفنية	الوحدة	66 kV	230 kV
توتر العمل الأعظمي	kV	72.5	245
توتر العمل النظامي	kV	60	200
تيار التفريغ النظامي	kA	10	10

2-4 -2 محولات التيار Current Transformers

تستعمل محولات التيار للحصول على تيارات صغيرة يمكن أن تمر في مختلف أجهزة القياس والتحكم والأتمتة والمراقبة والحماية المستخدمة في محطة التحويل الكهربائية دون أن تسبب إتلافها أو تعطيلها، وذلك بتحويل قيمة التيار الكهربائي الذي يمر في أطوار شبكة التوتر العالي الكهربائية إلى قيمة صغيرة ملائمة. [22]

ويمكن أن تكون محولات التيار من ناحية مكان التركيب:

- من النوع الداخلي الذي يركب ضمن بناء المحطات.

-من النوع الخارجي الذي يركب في ساحات المحطات الخارجية في الهواء الطلق.

كما يمكن أن تكون محولات التيار من ناحية البنية التصميمية ومبدأ العمل من النوع التحريضي، ويربط الملف الأولي لمحولة التيار على التسلسل مع خط التوتر العالي ويكون عادة ناقل الطور ذاته. ويمكن أن يكون للمحول في الثانوي ملفان أو ثلاثة ملفات للقياس والمراقبة والحماية. ولا يترك الملف الثانوي بدون حمل إطلاقا لأن التيار الأولي يولد توتراً متحرضاً كبيراً في دارة الثانوي يؤدي إلى انهيار عازلية ملفات الثانوي، كما أن التهييج الزائد يؤدي إلى مفاقيد حرارية كبيرة في نواة محولة التيار ما يسبب إحداث أضرار في عازلية الملفات. يبن الجدول (2 -2) المواصفات الفنية الأساسية لمحولات التيار 66 kV المستخدمة في شبكة التوتر العالي السورية وفقاً للنظام الدولي IEC. أما الجدول (2- 3) فهو يبين المواصفات الفنية الأساسية لمحولات التيار 230 kv المستخدمة في شبكة التوتر العالي السورية وفقاً للنظام الدولي IEC.

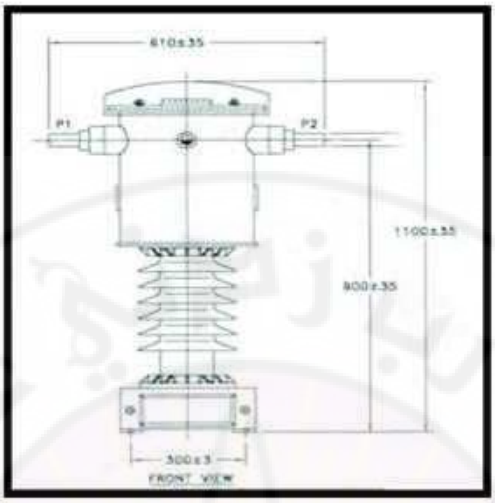
الجدول (2 – 2) المواصفات الفنية الأساسية لمحولات التيار 66kV

Value	مواصفات محولات التيار 66 kV Current Transformer 66 kV	
66 kV	Rated Voltage	توتر العمل الاسمي
72.5 kV	Highest System Voltage	توتر العمل الأعظمي
140 kV	Power Frequency 1 min Withstand Voltage	توتر العازلية لمدة دقيقة عند التردد 50 Hz
325 kV peak	Impulse Withstand Voltage 1,5/50 µs	التوتر النبضي
3 Cores	Nr. Of Cores	عدد الملفات الثانوية
3 X 750 A	Rated Primary Current for Coupling	التيار الأولي النظامي لخلية الربط
2 X 300 A	Rated Primary Current for Incoming	التيار الأولي النظامي لخلية الدخول أو الخروج
750 A	Rated Primary Current for Transformer	التيار الأولي لخلية المحولة
5 / 5 / 5 A	Secondary Rated Current	التيار الثانوي النظامي
0,5	Accuracy Class and Burden for Core 1	درجة الدقة لملف القياس والتحكم – الملف رقم 1
P ≥ 5 - 10	Accuracy Class and Burden for Core 2 and 3	درجة الدقة لملف الحمايات رقم 2 ورقم 3

الجدول (2 – 3) المواصفات الفنية الأساسية لمحولات التيار 230 kV

Value	مواصفات محولات التيار 230 kV Current Transformer 230 kV	
230 kV	Rated Voltage	توتر العمل النظامي
245 kV	Highest System Voltage	توتر العمل الأعظمي
395 kV	Power Frequency 1 min Withstand Voltage	توتر العازلية لمدة دقيقة عند التردد 50Hz
900 kV peak	Impulse Withstand Voltage 1,5/50 µs	التوتر النبضي
3 Cores	Nr. Of Cores	عدد الملفات الثانوية
2 X 1000 A	Rated Primary Current for Coupling	التيار الأولي النظامي لخلية الربط
2 X 400 A	Rated Primary Current for Incoming	التيار الأولي النظامي لخلية الدخول أوالخروج
1000 A	Rated Primary Current for Transformer	التيار الأولي لخلية المحولة
5 / 5 / 5 A	Secondary Rated Current	التيار الثانوي النظامي
0,5	Accuracy Class and Burden for Core 1	درجة الدقة لملف القياس والتحكم للملف1
P ≥ 5 - 10	Accuracy Class and Burden for Core 2 and 3	درجة الدقة لملف الحمايات 2 وملف3

ويبن الشكل (2 – 14) رسماً لمحول تيار 66 kV وصورة لمحول تيار 230 kV



الشكل (2– 14 – آ) رسم لمحول تيار 66 kV



الشكل (2– 14 – ب) محول تيار 230 kV

2–4 –3 محولات التوتر Voltage Transformers

تستعمل محولات التوتر للحصول على توترات منخفضة يمكن أن تطبق على مختلف أجهزة القياس والتحكم والأتمتة والمراقبة والحماية المستخدمة في محطة التحويل الكهربائية دون أن

تسبب إتلافها أو تعطيلها، وذلك بتحويل قيمة التوتر الكهربائي المطبق على أطوار شبكة

التوتر العالي الكهربائية إلى قيمة منخفضة ملائمة. ويمكن أن تكون محولات التوتر وفقاً لمكان تركيبها:[22]

- من النوع الداخلي الذي يركب ضمن بناء المحطات.
- من النوع الخارجي الذي يركب في ساحات المحطات الخارجية في الهواء الطلق.

كما يمكن أن تكون محولات التوتر من ناحية البنية التصميمية ومبدأ العمل من النوع التحريضي أو السعوي، ويربط الملف الأولي لمحولة التوتر على التفرع مع خط التوتر العالي، ويكون توتر الملف الأولي عادة التوتر النظامي للخط ذاته. ويمكن أن يكون للمحول في الثانوي ملفان أو ثلاثة ملفات للقياس والمراقبة والحماية. يبين الجدول(4-2) المواصفات الفنية الأساسية لمحولات التوتر 66 kV.

الجدول (2 - 4) المواصفات الفنية لمحولات التوتر 66 kV.

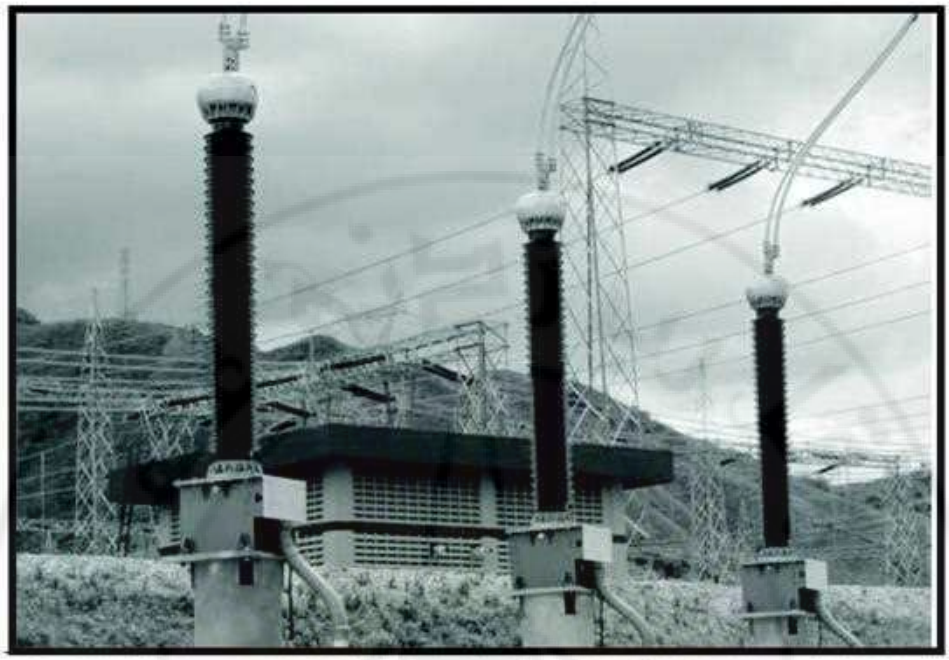
Value	مواصفات محولات التوتر 66 kV Voltage Transformer 66 kV	
66 kV	Rated Voltage	توتر العمل النظامي
72.5 kV	Highest System Voltage	توتر العمل الأعظمي
140 kV rms	Increased Frequency Test Voltage	توتر العازلية لمدة دقيقة عند التردد 50 Hz
325 kV peak	Impulse Withstand Voltage 1,5/50 µs	التوتر النبضي
2 or 3 Cores	Nr. Of Cores	عدد الملفات الثانوية
P 34 0.5	Accuracy Class for Core 1, 2 and 3	درجة الدقة لملفات الثانوية
100 / 3 V	Secondary Rated Voltage	التوتر الثانوي النظامي
120 , 200 VA	Secondary Power Burden	الاستطاعة الثانوية
3 kV peak	Secondary Withstand Voltage 1 Min 50 Hz	توتر العازلية للملفات الثانوية

كما يبن الجدول (2- 5) المواصفات الفنية الأساسية لمحولات التوتر 230 kV.

الجدول (2 - 5) المواصفات الفنية الأساسية لمحولات التوتر 230 kV

Value	مواصفات محولات التوتر 230 kV Voltage Transformer 230 kV	
230 kV	Rated Voltage	توتر العمل النظامي
245kV	Highest System Voltage	توتر العمل الأعظمي
395 kV rms	Increased Frequency Test Voltage	توتر العازلية لمدة دقيقة عند التردد 50 Hz
900 kV peak	Impulse Withstand Voltage 1,5/50 µs	التوتر النبضي
1 Core	Nr. Of Cores	عدد الملفات الثانوية
P 34 0.5	Accuracy Class for Core 1, 2 and 3	درجة الدقة لملف القياس والتحكم ولملف الحماية
100 / 3 V	Secondary Rated Voltage	التوتر الثانوي النظامي
200 -120 VA	Secondary Power (Burden)	الاستطاعة الثانوية
3 kv peak	Secondary Withstand Voltage 1 Min 50 Hz	توتر العازلية للملفات الثانوية

ويبين الشكل (2 - 15) صورة لمحولة توتر 230 kV



الشكل(2 -15) محولات توتر 230 kV

2-4 -4 القواطع اليدوية أو قواطع السكين Separators

تصنع قواطع السكين أو القواطع اليدوية لتعمل تحت التوترات من 6 kV وحتى 500 kV وتقوم قواطع السكين بفصل التوتر وإيجاد فراغ هوائي واضح للعين المجردة عند فتحها لكنها لا تقطع التيار، لذلك يتم فتح قواطع السكين وإغلاقها دائما بدون حمل، أي يجب أن يكون التيار المار فيها لحظة الفتح أو الإغلاق معدوما ومساويا الصفر، ويمكن تصنيفها وفقاً لمكان تركيبها إلى:

- نوع داخلي يركب ضمن بناء المحطات.
- نوع خارجي يركب في ساحات المحطات الخارجية في الهواء الطلق.

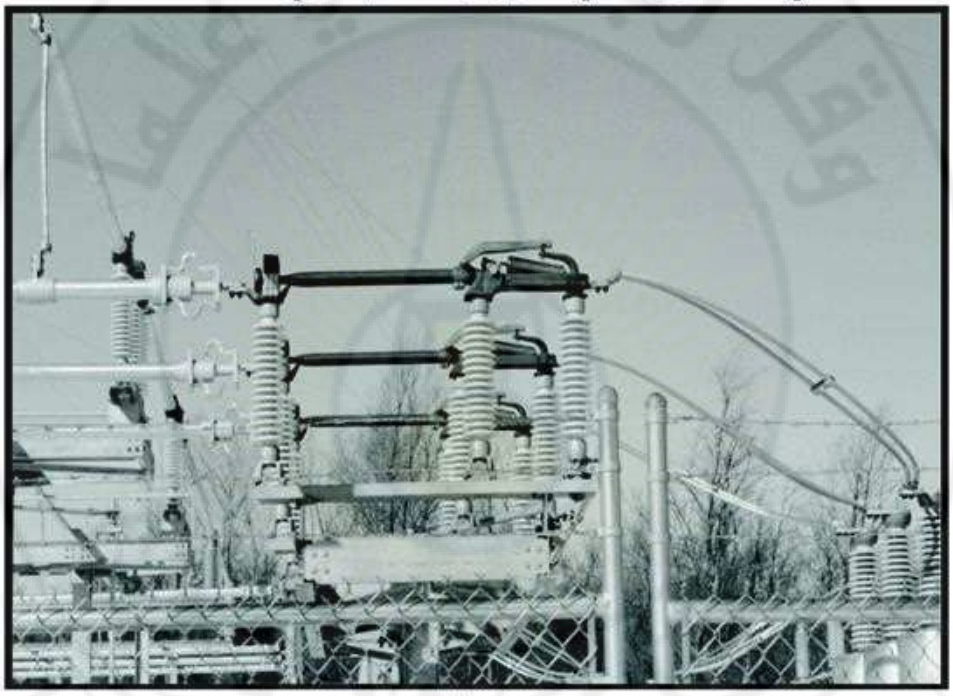
كما يمكن أن تكون من ناحية البنية التصميمية:

- أحادية الأطوار
- قواطع سكين ثلاثية الأطوار مع تأريض
- قواطع سكين ثلاثية الأطوار بدون تأريض

ويمكن أن تصنف وفقاً لوضعية فتح التماسات (فتح السكين) إلى:

- أفقية وتفتح إلى الجانب
- عامودية وتفتح إلى الأعلى

يبين الشكل (2 – 16) نموذجاً لقاطع سكين 66 kV من النوع الخارجي ثلاثي الأطوار والعامودي، ويبين الجدول (2– 6) المواصفات الفنية الأساسية لقواطع السكين 66kV والمستخدمة في شبكة التوتر العالي السورية وفقاً للنظام الدولي IEC.



الشكل(2 – 16) نموذجاً لقاطع سكين 66 kV

الجدول (2 – 6) المواصفات الفنية الأساسية لقواطع السكين 66 kV

Value	Separators 66 kV 66 kV مواصفات قاطع السكين	
66 kV - 50 HZ	Rated Voltage and Frequency	توتر العمل النظامي والتردد النظامي
72.5 kV	Highest System Voltage	توتر العمل الأعظمي
1500 A - 1250 A	Rated Current	التيار النظامي
25 kA	Rated Short Time Current	تيار القصر النظامي قصير الأمد لمدة ثانية
64 kA	Rated Peak Withstand Current	القيمة الأعظمية لتيار القصر المستمر
	Impulse Withstand Voltage 1,5/50 µs:	التوتر النبضي
375 kV	Between open Contac	بين التلامسات المفتوحة
325 kV	To Earth	مع الأرض
	Withstand Voltage at 50 Hz for 1 Minute	توتر العازلية الأعظمي بالتردد الصناعي 50 Hz
190 kV	Under Rain: Between Open Contacts	مع المطر بين التلامسات المفتوحة
140 kV	To Earth	مع الأرض
700 N/m2	Maximum Wind Pressure	إجهاد ضغط الريح الأعظمي
1000 N	Longitudinal Static Tensile Stress	إجهاد الشد الساكن

ويبين الجدول (2 – 7) المواصفات الفنية الأساسية لقواطع السكين 230 kV المستخدمة في شبكة التوتر العالي السورية، وفقاً للنظام الدولي IEC.

الجدول (7-2) المواصفات الفنية الأساسية لقواطع السكين 230 kv

Value	مواصفات قاطع السكين 230 kVSeparators 230 kV	
230 kV - 50 HZ	Rated Voltage and Frequency	توتر العمل النظامي والتردد النظامي
245 kV	Highest System Voltage	توتر العمل الأعظمي
1250 A - 2000A	Rated Current	التيار النظامي
31.5 kA	Rated Short Time Current	تيار القصر النظامي قصير الأمد لمدة ثانية
80 kA	Rated Peak Withstand Current	القيمة الأعظمية لتيار القصر المستمر
	Impulse Withstand Voltage 1,5/50 µs	التوتر النبضي
1045 kV	Between Open Contacts	بين التلامسات المفتوحة
900 kV	To Earth	مع الأرض
	Withstand Voltage at 50 HZ for 1 Minute	توتر العازلية الأعظمي بالتردد الصناعي 50 Hz
435 kV	Under Rain Between Open Contacts	بين التلامسات المفتوحة
395 kV	To Earth	مع الأرض
700 N/m2	Maximum Wind Pressure	إجهاد ضغط الريح الأعظمي
1000 N	Longitudinal Static Tensile Stress	إجهاد الشد الساكن

2- 4 – 5 القواطع الآلية Circuit Breakers

تستعمل القواطع الآلية في الشبكات الكهربائية لفصل التوترات المنخفضة والعالية، ولقطع التيارات النظامية والشديدة التي يمكن أن تنتج عن حالات قصر الدارة. ويتم فصل التوتر في القاطع الآلي عن طريق فتح تماسات القاطع الآلي عند مرور التيار الكهربائي بالقيمة صفر.

يمكن أن تكون القواطع الآلية وفقاً لمكان تركيبها: [22]

– من النوع الداخلي الذي يركب ضمن بناء المحطات.

– من النوع الخارجي الذي يركب في ساحات المحطات الخارجية في الهواء الطلق.

كما، ويمكن أن تكون القواطع الآلية من ناحية المادة العازلة المستخدمة في حجرة إطفاء القوس الكهربائي:

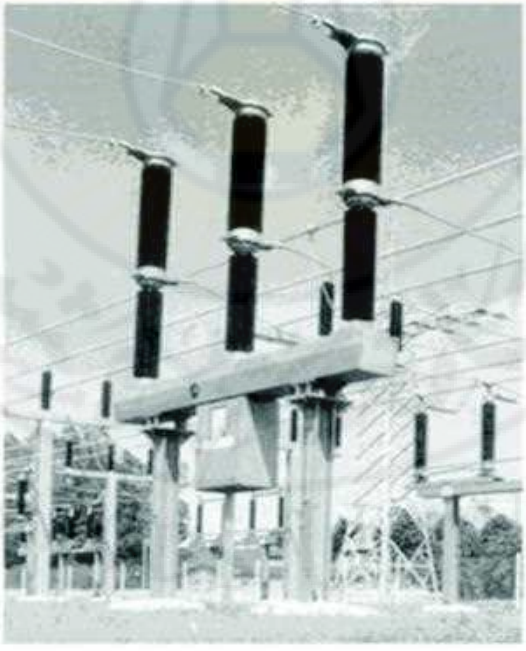
أ- قواطع آلية المادة العازلة المستخدمة الزيت الكهروليتي

ب- قواطع آلية المادة العازلة المستخدمة سادس فلور الكبريت SF6

ت- قواطع آلية المادة العازلية المستخدمة الهواء المضغوط

ويبين الجدول (2 – 8) المواصفات الفنية الأساسية للقواطع الآلية 66 kv المستخدمة في شبكة التوتر العالي السورية، وفقاً للنظام الدولي IEC.

يبين الشكل (2 – 17) نموذجاً لقاطع آلي 230kV من النوع الخارجي المعزول بغاز سادس فلور الكبريت.



الشكل(17–2) قاطع آلي خارجي 230 kV

الجدول(8-2) المواصفات الفنية الأساسية للقواطع الآلية 66 kV

مواصفات القاطع الآلي 66 kV Circuit Breaker 66 kV		Value
توتر العمل والتردد النظامي	Rated Voltage and Frequency	66 kV- 50 Hz
توتر العمل الأعظمي	Highest System Voltage	72.5 kV
توتر العازلية لمدة دقيقة عند التردد 50 Hz	Power Frequency 1 minute Withstand Voltage	140 kV
التوتر النبضي	Impulse Withstand Voltage 1,5/50 µs	325 kV peak
التيار النظامي	Rated Current	
خلية الربط	Coupling Bay	1500 A
بقية الخلايا	Other Bay	1250 A
تيار القصر الأسمي	Rated Short Circuit Current	25 kA
تيار القصر لمدة 1 ثانية	Rated Short Circuit Current for 1 s	25 kA
تيار القصر الأعظمي	Maximum Short Circuit Current	64 kA peak
توتر التغذية الثانوي النظامي	Rated Secondary Supply Voltage AC	220 / 380 V AC
توتر التغذية الثانوية المستمر	Secondary Supply Voltage V DC	220 V DC

يبين الشكل (2- 18) المواصفات الفنية الأساسية للقواطع الآلية 230 kV



الشكل (2 – 18) المواصفات الفنية للقواطع الآلية 230 kV

ويبين الجدول (9-2) المواصفات الفنية الأساسية للقواطع الآلية 230 kV المستخدمة في شبكة التوتر العالي السورية وفقاً للنظام الدولي IEC.

Damascus University

الجدول (9-2) المواصفات الفنية الأساسية للقواطع الآلية 230 kv

Value	مميزات القاطع الآلي 230 kV Circuit Breaker 230 kV	
230 kV - 50 Hz	Rated Voltage and Frequency	توتر العمل النظامي والتردد النظامي
245 kV	Highest System Voltage	توتر العمل الأعظمي
395 kV	Power Frequency 1 minute Withstand Voltage	توتر العازلية لمدة دقيقة عند التردد 50 Hz
950 kV peak	Impulse Withstand Voltage 1,5/50 µs	التوتر النبضي
	Rated Current	التيار النظامي
2000 A	Coupling Bay	خلية الربط
1250 A	Other Bay	بقية الخلايا
31.5 kA	Rated Short Circuit Current	تيار القصر الأسمى
31.5 kA	Rated Short Circuit Current for 1 s	تيار القصر لمدة 1 ثانية
80 kA peak	Maximum Short Circuit Current	تيار القصر الأعظمي
220 / 380 V AC	Rated Secondary Supply Voltage AC	توتر التغذية الثانوي النظامي
220 V DC	Secondary Supply Voltage V DC	توتر التغذية الثانوية المستمر

2 – 4 – 6 محولات الاستطاعة Power Transformers

تستخدم محولات الاستطاعة في الشبكات الكهربائية لرفع التوتر الكهربائي أو لخفضه إلى السويات المعتمدة في كل شبكة كهربائية لتوزيع الاستطاعة أو لنقلها أولاستخدامها في شبكات الارتباط. يبين الجدول(10-2) المواصفات الأساسية لمحولات الاستطاعة المستخدمة في محطات التحويل في سوريا. [22]

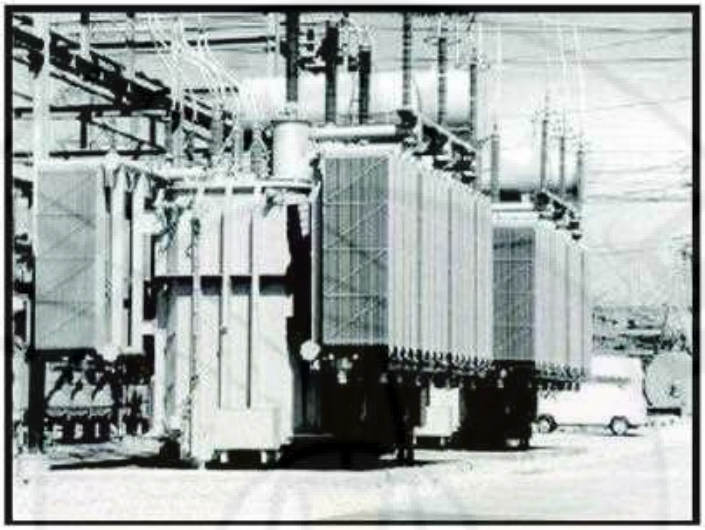
الجدول(2- 10) المواصفات الأساسية لمحولات الاستطاعة

معطيات محولات الاستطاعة التصميمية		230 / 66 kV	66 / 20 kV
Rated power	MVA	80	30
Rated voltage ratio	KV	230 / 66	66 / 20
Connection group		YND11	YND11
Highest working voltage	kV	245/72.5	72.5/24
Rated frequency	Hz	50	50
Maximum ambient temperature	C°	45	45
Impedance voltage	%	13	10
Impulse withstand voltage 1,2/50 µs microsecond	kV	950	325
Power frequency withstand voltage for 1 min	kV	395	140
Method of cooling		ONAN/ONAF	ONAN/ONAF
Tap changer total range	%	± 16.8	± 16
Number of steps		± 14	± 9

ويبين الشكل (19-2) بعض محولات الاستطاعة الكبيرة المستخدمة في شبكات الارتباط



أ- محولة استطاعة 230 /525 kV، 598 MVA



ب–محولة استطاعة مستخدمة في شبكات الارتباط الكهربائية

الشكل(19–2) محولات استطاعة كبيرة

2 –4–7 قسم التوتر المتوسط في محطات التحويل

يتضمن قسم التوتر المتوسط :

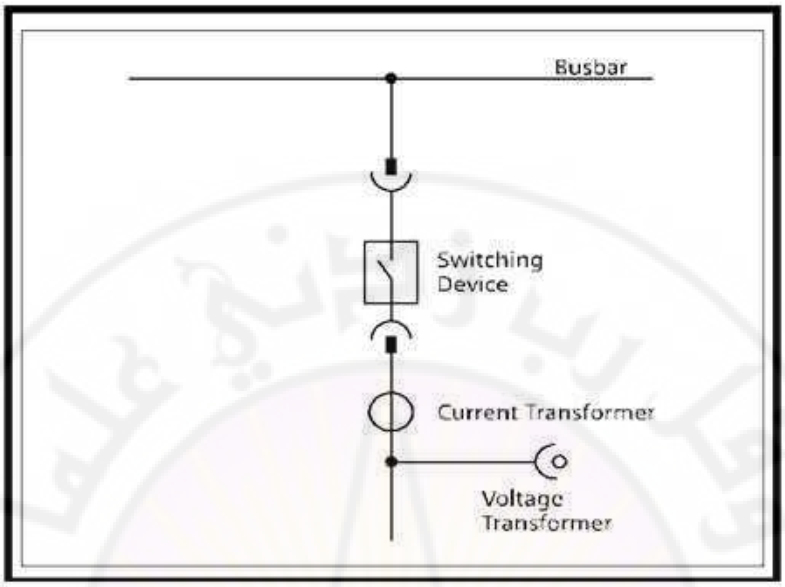
– خلايا دخول من جانب التوتر المتوسط لمحولات الاستطاعة

– خلايا مخارج تنطلق منها مغذيات شبكة التوزيع بالتوتر المتوسط

– خلايا القياس

- خلايا الربط الطولي

يبين الشكل (2 – 20) المخطط الرمزي لخلية توتر متوسط 20 kV في محطة تحويل.



الشكل (2 – 20) المخطط الرمزي لخلية توتر متوسط 20 kV

أما الشكل (2 –21) فيبين توضع الخلايا في قسم التوتر المتوسط 20 kV في محطة التحويل. وتحتوي محطة التحويل بالإضافة إلى تجهيزات التوتر العالي والتوتر المتوسط على أنظمة القياس وأنظمة القيادة، والتحكم وكذلك أنظمة الحماية الكهربائية.



الشكل (2 – 21) توضع الخلايا في قسم التوتر المتوسط في محطة التحويل 20 kV

2-5 حمايات محطة تحويل 66/20 kV

نبين فيما يلي مثال حول نظام الحماية الكهربائية لمحطة تحويل 66/2 kV واختيار تجهيزات وحواكم الحماية الرقمية المناسبة لها ومتمماتها

2-5-1 وصف المحطة

المحطة مصممة كرديف لمحطة توليد حرارية للمنشأة وتتكون من:

- محولي استطاعة ثلاثيي الطور ONAN/ONAF مغموسين بالزيت من النوع الخارجي باستطاعة 35 MVA ونسبة تحويل 66/20 kV لكل منهما وذات ملفات نحاسية على الجانبين الابتدائي 66 kV والثانوي 20 kV.
- محولي تأريض باستطاعة 160 KVA ونسبة تحويل 20/0.4 kV لكل منهما .
- تجهيزات خلايا 66 kV ذات نهاية مفتوحة Open Terminal Switchgear .
- تجهيزات خلايا داخلية Indoor Swichgear 20 kV مزودة بنظام قضيب تجميع وحيد.
- تجهيزات نظام الحماية والتحكم والقياس.
- التجهيزات المساعدة.
- الكابلات الداخلية .
- خطي دخول 66 kV أحدهما هوائي بطول 10 km والآخر كابل تحت الأرض بمقطع 300 mm2 نحاسي وبطول 7 kM .
- البطاريات والشواحن ولوحات تغذية الشواحن.

درجة الحماية للوحات الداخلية IP30 وللوحات حواكم الحماية IP51 وللوحات الخارجية IP54.

2-5-2 مصادر التغذية المساعدة في المحطة

نحتاج في محطة التحويل الى مصادر عديدة للتغذية الكهربائية وهي :

1- تغذية تحت توتر مستمر 220 V DC لتغذية وشائع الفصل للقواطع الآلية.

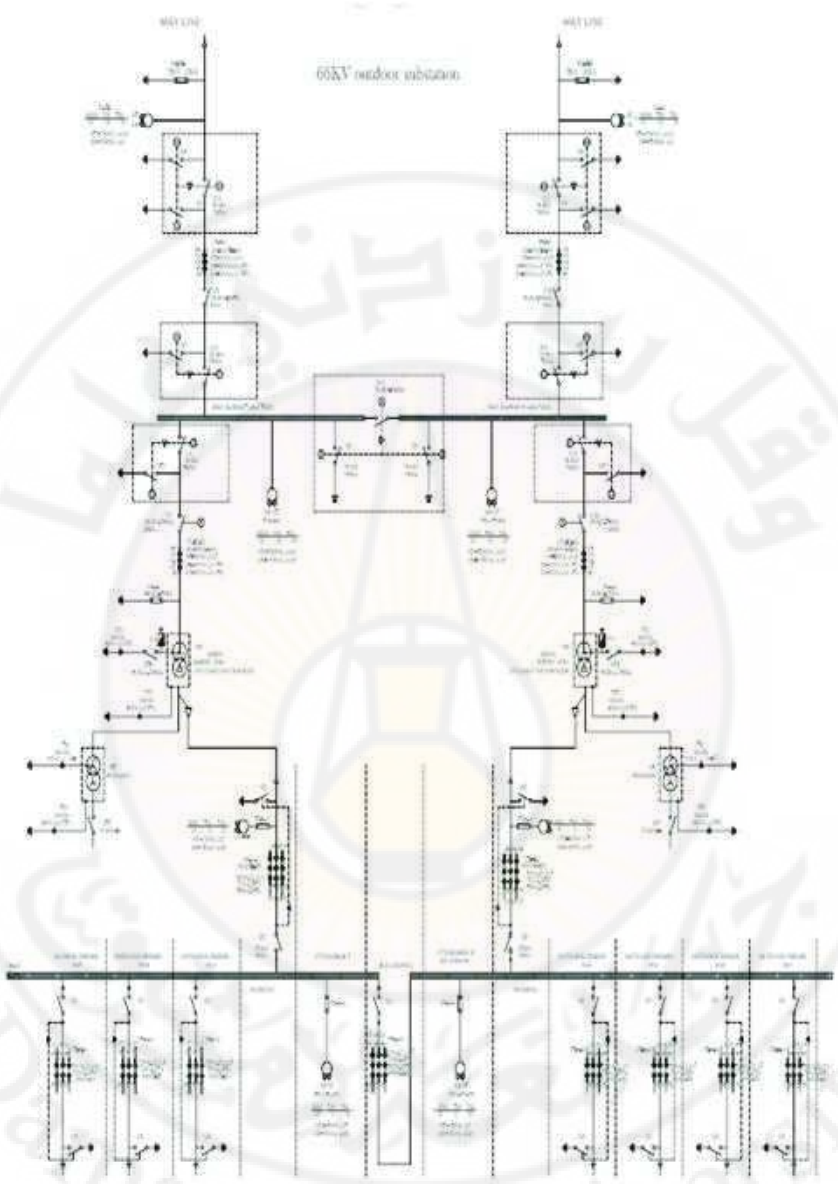
2- تغذية تحت توتر مستمر 220V DC لتغذية تجهيزات الحماية والتحكم ودارات القفل ووشائع إغلاق القواطع الآلية.

3- تغذية تحت توتر متناوب 220 V أحادية الطور وتغذية تحت توتر متناوب 380 V ثلاثية الطور للخدمات العامة وتغذية مراوح المحولات والتدفئة والتهوية والتكييف والإنارة.

2-5-3 مخطط الخط الواحد لمحطة التحويل المدروسة 66/20 kV

يبين الشكل (2-22) مخطط الخط الواحد لمحطة التحويل المدروسة وتظهر عليه عناصر المحطة الأساسية والمتمثلة بخلايا دخول 66 KV من مصدرين للتغذية وقضبان التجميع 66 kV ومغذيات محولات الاستطاعة 66/20 KV ومحولات الاستطاعة ومحولات التأريض والخدمة والقواطع الآلية وقواطع السكين وقواطع التأريض وقواطع الربط بين قضيبي التجميع 66 KV ومحولات القياس والتي تشمل محولات التيار والتوتر اللازمة لتغذية المقاييس وأجهزة الحماية وخلايا الخروج والأحمال متضمنة القواطع الآلية وقواطع السكين والتأريض تحت توتر 20 KV وقضبان تجميع مخارج المحطة تحت توتر 20 kV وقواطع الربط بينها.

Damascus University



الشكل(23-2) مخطط الخط الواحد لمحطة التحويل المدروسة

2-5-4 حمايات محطة التحويل 66/20 kV

استخدمت لحماية المحطة لوحات حواكم الحماية التالية:

2-5-4-1 لوحة حماية خلية دخول الخط الهوائي 66kV

Protection Panel for 66kV OHL

تتضمن لوحة حماية خط الدخول الهوائي 66 kV حواكم الحماية التالية:

1-حاكمة حماية مسافية رقمية نوع REL511 ذات الخصائص التالية:

-خمسة مناطق حماية. Five Zones for Distance Protection

-تأرجح الاستطاعة.Power Swing Blocking

-وظيفة مراقبة التزامن. Synchro Check Function

-مراقبة إنقطاع فيوز محول التوتر Voltage Transformer Fuse Failure Supervision

-حجز زيادة وتحت الوصول للحاكمة. Permissive Under/ Over Reach Blocking

-وظيفة معيد الاغلاق الالي.Auto Reclosure Function

-الحماية من انخفاض/ ارتفاع التوتر Over/Under Voltage Protection

-الإغلاق على العطل..Switch On To Fault (SOTF)

-المراقبة الذاتية.Self Supervision

-محدد موقع العطل.Fault Locator

-مسجل أحداث واعطال.Event / Disturbance Recorder

2-حاكمة حماية احتياطية لحظية / عكسية بالتيار الزائد وحاكمة حماية من العطل الأرضي نوعREX521 . إضافة الى المجموعة التالية من الحواكم المختلفة الخاصة بالاختبار ومراقبة إنقطاع الدارة وحاكمة فصل ومتممات أخرى.

3-حاكمة اختبار نوع RTXP18 2

4-حاكمة مراقبة إنقطاع الدارة نوع TSR

5-حاكمة فصل أحادية الطور وثلاثية الطور نوع RXME

6-حاكمة مراقبة دارة التيار المستمر DC نوع RXSF

7-قاطع للتحكم بالتغذية بالتيار المستمر وبالتيار المتناوب

8-نهايات قابلة للفصل ومزودة بوصلات قصر للتيار والتوتر.

2-5-4-2 خلية القياس على قضبان تجميع 66kV

تتضمن هذه الخلية مبدل اشارة متعدد الغرض وفولتميتر رقمي بدقة 0.5 و مقياس تردد رقمي بدقة 0.5 ومسجل ثنائي، كما تتضمن مؤشر للعمل اليدوي لقاطع التأريض ومفتاح اختيار لمقياس الفولت ولمبات اشارة من نوع LED للحالات المختلفة إضافة الى العناصر التالية:

-حاكمة مراقبة دارة التيار المستمر DC نوع RXSF

-التحكم بقواطع التغذية للتيار المستمر والمتناوب

-نهايات قابلة للفصل ومزودة بوصلات قصر للتيار والتوتر.

2-5-4 -3 لوحة حماية المحول

هذه اللوحة مزودة بحواكم الحماية التالية:

1-حاكمة الحماية التفاضلية للمحول RET 541 والتي تتضمن الحمايات والتجهيزات المتممة التالية:

أ-حماية تفاضلية ثلاثية الطور

ب-حماية من زيادة الحمل

ت-حماية من زيادة التيار

ث-ديودات اشارة ضوئية يمكن تبديل وظيفتها من خلال البرنامج.

ج-مسجلات أحداث وأعطال

2-5-4-4 لوحة الحماية لخلية دخول المحولة

Protection Panel for 66kV Transformer feeder

تتضمن هذه اللوحة حواكم الحماية التالية:

أ-حماية تفاضلية ثنائية الملفات RET541 Two Winding Differential Protection.

ب-حماية رقمية نوع REF على جانب التوتر العالي للمحول REF protection for Transformer HV Side

ت-حماية رقمية نوع REF على جانب التوتر المنخفض للمحول REF protection for Transformer LV Side

ث-الحماية بالتيار الزائد O/C Protection

ج-المراقبة الذاتية Self supervision

ح-حاكمة الحماية من زيادة التيار والعطل الأرضي SPAJ140C

خ-حاكمة الحماية من العطل الأرضي REJ521

د-منظم التوتر الأوتوماتيكي SPAU341C

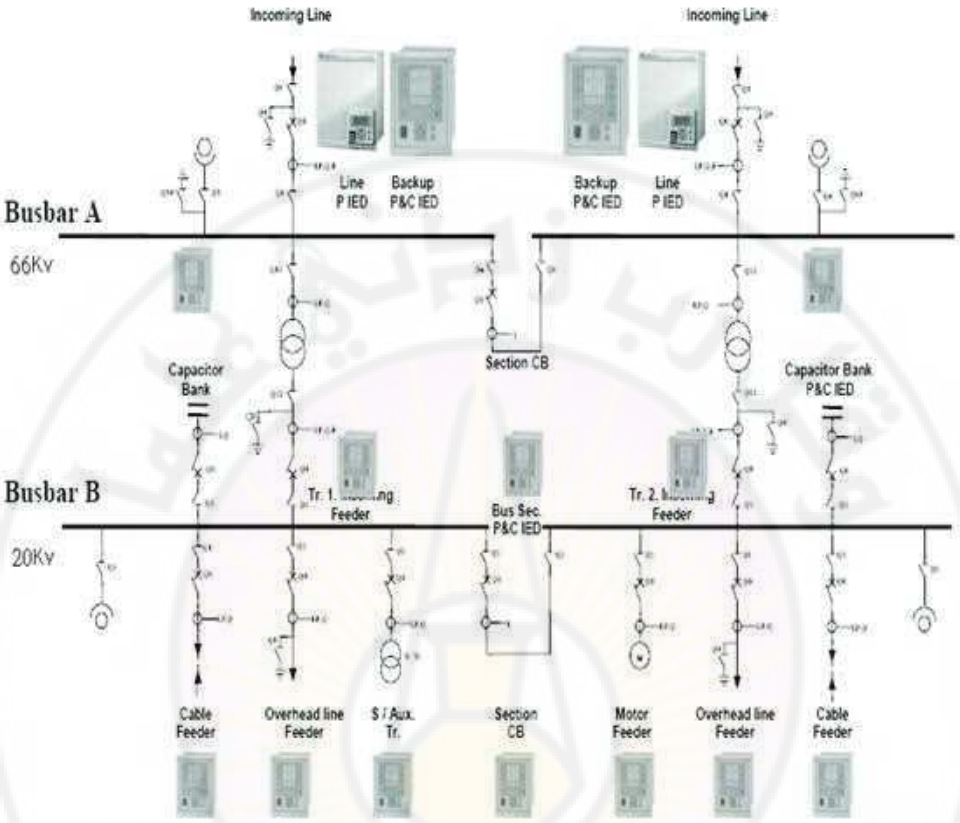
ذ-مفتاح مبدل الوضعيات

إضافة الى مجموعة من حواكم الحماية والتجهيزات المتممة التالية:

- حاكمة اختبار نوع RTXP18 2
- ر يلية مراقبة إنقطاع الدارة نوع TSR 2
- حاكمة فصل أحادية الطور وثلاثية الطور نوع RXME
- حاكمة مراقبة دارة التيار المستمر DC نوع RXSF
- التحكم بقواطع التغذية للتيار المستمر والمتناوب
- نهايات قابلة للفصل ومزودة بوصلات قصر للتيار والتوتر.

2-6 توضع تجهيزات وحواكم الحماية على مخطط محطة التحويل

يبين الشكل (24-2) طريقة توضع عناصر الحماية الكهربائية على مخطط الخط الواحد لمحطة التحويل 66/20 kV



الشكل(24-2) توضع حواكم الحماية لمحطة التحويل

Damascus University

وقل رب زدني علما
Damascus University

الفصل الثالث

3 – الأعطال وحالات التشغيل الطبيعية وغير الطبيعية في نظم القدرة الكهربائية

Faults, Normal and Abnormal Running of Electric Power Systems

Damascus University

وقل رب زدني علما
Damascus University

الفصل الثالث

3 – الأعطال وحالات التشغيل غير النظامية في نظم القدرة الكهربائية

Faults, Normal and Abnormal Running of Electric Power Systems

3–1 أنواع الأعطال وحالات التشغيل غير النظامية

3–1–1 الأعطال الكهربائية

تعد دارات القصر الكهربائية في أشكالها المختلفة، قصر ثلاثي وقصر ثنائي وقصر أحادي، أكثر أشكال الأعطال التي تظهر في نظم القدرة الكهربائية. كما يمكن أن تظهر أيضاً أعطال أخرى مثل انقطاع طور وعدم فتح أو إغلاق تماسات القواطع الآلية للأطوار الثلاثة في نفس اللحظة الزمنية. [1]

تنتج خلال فترة استمرار حالة القصر ظواهر كهرطيسية معقدة تسهم في تحديدها عوامل عدة أهمها شكل الشبكة الكهربائية في لحظة حدوث القصر، ومكان ظهور القصر في الشبكة الكهربائية ونوع هذا القصر، إضافة إلى خواص وبارامترات التجهيزات الكهربائية المركبة في الشبكة الكهربائية. وأن أخذ كافة العوامل المؤثرة بالاعتبار عند تحديد قيمة تيارات القصر يؤدي إلى حسابات معقدة جداً، لذلك تعتمد مجموعة من الفرضيات الحسابية الملائمة التي تسهل هذه الحسابات وتخففها. وبهذا يتم حساب تيارات القصر في الشبكات الكهربائية بإهمال المقاومات الكهربائية لعناصر الشبكة الكهربائية، وإهمال تيارات المغنطة في المحولات الكهربائية وإهمال ظاهرة الإشباع المغناطيسي وإهمال فرق الصفحة بين مصادر القوة المحركة الكهربائية لمختلف المولدات التي تعمل في الشبكة الكهربائية، ويهمل أيضاً تأثير استطاعة المستهلكين المربوطين إلى الشبكة الكهربائية لحظة حدوث القصر.

كذلك تحسب قيمة تيار القصر باعتبار الأعطال مباشرة وغير مترافقة مع ظهور القوس الكهربائي، وبالتالي تهمل المقاومة الكهربائية للقوس، وبذلك ستنتج قيمةً أكبر لتيار القصر مقارنةً مع القيمة الفعلية وهذا الأمر يساعد على تأمين الانتقائية للحماية بشكل أفضل لكنه يؤثر سلباً على حساسية الحماية، لأن قيمة تيار القصر تكون أصغر عند الأخذ بالإعتبار ظهور القوس الكهربائية ومع ذلك ولتأمين الحساسية والتشغيل الصحيح

للحماية الكهربائية، يتم في التطبيقات العملية اعتماد قيمة أكبر من الواحد لثابتة الحساسية المعرفة في الفصل الأول بالعلاقة (1– 3)، بحيث أنه وبالرغم من تخفيض قيمة تيار القصر بسبب ظهور القوس الكهربائية فإن هذه القيمة تبقى أعلى من قيمة تيار إقلاع الحماية الكهربائية في هذه الحالة.

يحتاج تصميم أنظمة الحماية الكهربائية إلى حساب قيمة تيارات العطل في حالة ظهور قصر دارة ثلاثي الأطوار وثنائي الأطوار وأحادي الطور وكذلك قصر دارة ثنائي الطور مع الأرض. تستخدم قيمة تيار القصر ثلاثي الأطوار وثنائي الطور لتحديد تيارات إقلاع الحمايات الكهربائية والتأكد من انتقائيتها ضد الأعطال متعددة الأطوار. وتستخدم قيمة تيار القصر أحادي الطور لتحديد تيار الإقلاع للحمايات ضد الأعطال الأحادية وللتأكد من خواصها ومميزاتها.

يسبب قصر دارة أحد الأطوار مع الأرض إزدياد التوتر على الطورين السليمين بالمقارنة مع كمون الأرض وقد يقود هذا الأمر إلى ازدياد الإجهاد الكهربائي على المواد العازلة لهذين الطورين، مع احتمال أنهيار هذه العازلية في إحدى نقاط الطور السليم، الأمر الذي يكافئ ظهور قصر دارة ثنائي الطور مع الأرض الذي يجب التعامل معه بسرعة وإزالته عن طريق الحماية الكهربائية الملائمة.

ينتج انقطاع أحد أطوار الخطوط الكهربائية عملياً عن انقطاع ناقل الطور المعتبر أو عن عدم إغلاق أحد أطوار الخط بعد عمل معيد الوصل الآلي في الشبكة الكهربائية، وتستخدم قيمة تيار العطل الذي يظهر في هذه الحالة في تصميم أنظمة الحماية للخطوط الكهربائية المضاعفة أو في حالة الخطوط المصممة لتعمل فترات طويلة خطوطاً ثنائية الأطوار وكذلك للتأكد من أن قيمة المركبة العكسية للتيار التي تنتج في هذه الحالة لا تؤثر بشكل سيئ في عمل المولدات الكهربائية في الشبكة.

3–1–2 حالات التشغيل غير النظامية

إن أهم حالات التشغيل غير النظامية التي تؤدي دوراً عند تصميم أنظمة الحماية الكهربائية هي حالة زيادة التيار وحالة تأرجح الاستطاعة. وتنتج زيادة التيار الكهربائي عن ظهور قصر دارة في منطقة خارج العنصر الكهربائي المطلوب حمايته، أو تنتج عن

زيادة الأحمال الكهربائية. لا تتطلب زيادة التيار في الحالات الاعتيادية الفصل المباشر للتغذية عن العنصر المطلوب حمايته، لكنه من غير المرغوب فيه أيضاً أن تستمر هذه الحالة غير النظامية لفترات زمنية طويلة لما تسببه من اجهادات حرارية، وتسخين زائد للمواد العازلة وللتماسات الكهربائية. [1]

تقود حالة تأرجح الاستطاعة إلى فقدان استقرار الشبكة الكهربائية، وقد تنتج هذه الحالة عن التأخر في فصل بعض حالات القصر، أو عند تجاوز قيمة الاستطاعة المنقولة القيمة المسموح بها على أحد خطوط الارتباط الكهربائية، أو عند فصل بعض خطوط الارتباط، الأمر الذي يسبب خروج محطات التوليد العاملة في النظام الكهربائي من حالة التزامن.

تظهر على الخطوط الكهربائية التي تربط بين محطات التوليد الكهربائية تيارات يمكن أن تتجاوز قيمتها كثيراً قيمة تيارات إقلاع أنظمة الحماية الأمر الذي يؤدي إلى حالات تشغيل للحمايات غير انتقائية، وتكون تيارات التعادل متغيرة دورياً، في الزمن وتتراوح قيمة دور تغيراتها الدورية في المجال Sec(2-0.2). كما قد تظهر في حالة تأرجح الاستطاعة تغيرات كبيرة في قيمة التوترات على الأطوار التي يمكن أن تؤدي إلى تشغيل خاطئ لحماية هبوط التوتر للمولدات الكهربائية في محطات التوليد.

ولكي لا تعمل الحماية الكهربائية بشكل خاطئ في حالة تأرجح الاستطاعة يتم تزويد خطوط نقل الطاقة الكهربائية المهمة بتجهيزات خاصة لمنع التشغيل الخاطئ. تتصرف هذه التجهيزات بشكل مختلف في حالة التأرجح عن حالة قصر الدارة حيث تسمح بتشغيل الحماية، وذلك استنادا إلى الاختلافات الكبيرة بين شكل تغيرات التيارات والتوترات والاستطاعة في كلتا الحالتين. ويستند مبدأ عمل تجهيزات منع التشغيل الخاطئ على الحقيقة العلمية أن تغيرات تيارات القصر عندما تحدث تكون مفاجئة وكبيرة، أما في حالة التأرجح فتكون التغيرات بطيئة جداً، وكذلك على أنه في حالة قصر الدارة تظهر المركبات المتناظرة العكسية والصفرية في حين تكون هذه المركبات معدومة في حالة تأرجح الاستطاعة.

3-2 حساب تيارات القصر اللازمة لتصميم أنظمة الحماية الكهربائية

3-2-1 فرضيات خاصة لحساب تيارات القصر لتصميم أنظمة الحماية

يلزم من أجل اختيار تيارات الإقلاع، والتحقق من خواص الحمايات الكهربائية السريعة، معرفة قيمة تيارات القصر في اللحظة $t = 0$، ومعرفة القيمة فوق العابرة لتيار القصر. أما في حالة الحمايات ذات التأخير الزمني فهناك حاجة لمعرفة القيمة المستقرة لتيارات القصر، وتستعمل أيضاً في هذه الحالة تيارات العمل النظامية وتيارات زيادة الأحمال، وذلك لأجل إختيار تيارات إقلاع الحمايات، كما ويمكن عند إجراء بعض الحسابات التقريبية لتحديد تيارات إقلاع الحمايات ذات التأخير الزمني استخدام قيمة تيارات القصر عند اللحظة الزمنية $t = 0$.

تعمل الحمايات السريعة بشكل آني تقريباً وعند زمن إقلاع ذاتي لا يتجاوز 0.1Sec، الأمر الذي يسمح بإدخال بعض التعديلات والفرضيات عند حساب تيارات القصر .ومن أهمها ما يلي:

- تعمل جميع المولدات في الشبكة على التفرع عند تحديد الدارة المكافئة للشبكة واللازمة لحساب تيار العطل للوصول إلى مولد مكافئ واحد ومفاعلة مكافئة واحدة للعطل وهذا يسهل عملية الحساب.
- نظراً إلى أن زمن إقلاع الحماية السريعة هو 0.1 Sec، فإنها لن تتأثر بالمركبة اللادورية لتيار القصر، لذلك فإنه يمكن استخدام القيمة فوق العابرة للمركبة الدورية لتيار القصر لتحديد قيمة تيار إقلاع الحمايات.
- تهمل تأثيرات المحركات الكهربائية العاملة لدى المستهلكين على قيمة تيارات القصر.

3-2-2 فرضيات خاصة لحساب تيارات القصر لتصميم أنظمة الحماية ذات التأخير الزمني:

بما أن هذه الحماية تعمل بتأخير زمني فإن تحقيق الانتقائية في عملها يمكن تأمينها عن طريق الإختيار الملائم لأزمنة التأخير، ولذلك فإنه لا يتم اختيار تيارات الإقلاع إستناداً إلى قيمة التيار في المنطقة المطلوب حمايتها، بل يتم إختيارها إستنادا إلى تيار العمل

النظامي وكذلك تيار زيادة الحمل الأعظمي، هذا وإن أهم التعديلات والفرضيات التي تعتمد في حساب تيارات القصر في حالة أنظمة الحماية ذات التأخير الزمني هي:

1- تكون الممانعة المكافئة في حالة الأعطال البعيدة عن مصادر التوليد كبيرة ، ما يجعل القيمة المستقرة لتيار القصر مساوية للقيمة فوق العابرة.

2- تزود المولدات الكهربائية والمعوضات التزامنية الدوارة بمنظمات توتر آلية التي تعمل خلال المرحلة العابرة على زيادة قيمة المركبة المتناوبة الأمر الذي يعوض من عملية تخميد هذه المركبة.

3- تصميم الحمايات ذات التأخير الزمني بحيث يكون عامل حساسيتها كبيراً مافيه الكفاية ليغطي أي تجاوز للقيم المحددة، وبحيث تعمل الحماية بشكل صحيح حتى ولو كانت القيمة المستقرة لتيار القصر أصغر من القيمة فوق العابرة التي تستخدم للتحقق من حساسية الحماية.

3-3 تيارات القصر الثلاثية المتناظرة

يتم حساب تيارات القصر الثلاثية المتناظرة المحتملة في شبكة كهربائية ما استنادا إلى مخطط الدارة الكهربائية المكافئة وحيدة الطور إذ يتم استبدال كافة عناصر الشبكة الكهربائية من مولدات ومحولات وخطوط كهربائية بممانعاتها بالقيم الواحدية. وعند اعتبار الفرضيات الخاصة المستخدمة لتسهيل عملية حساب تيارات القصر مثل إهمال المقاومات الكهربائية لعناصر الشبكة الكهربائية، وإهمال التحريض الكهرطيسي بين الخطوط الكهربائية، وإهمال الإشباع المغناطيسي في المحولات، فإن كل عنصر من عناصر الشبكة الكهربائية سوف يستبدل في الدارة المكافئة بمفاعلته التحريضية المكافئة X، ثم يتم نسب هذه المفاعلات إلى الكميات الأساسية في الشبكة الكهربائية وهي S_b , U_b , I_b .

يتم اختيار الكميات الأساسية في الشبكة بحيث تنتج عنها قيم ملائمة للمفاعلات. إذ يؤخذ توتر الأساس عادةً مساويا لأكبر توتر عمل في الشبكة واستطاعة الأساس مساوية لأكبر استطاعة وبذلك تنتج قيمة تيار الأساس من العلاقة التالية: [1]

$$I_b = \frac{S_b}{\sqrt{3}U_{tb}} \quad \text{kA} \qquad (3\text{-}1)$$

3–3 –1 حساب المفاعلات الردية المباشرة بالقيمة الواحدية

3–3 –1–1 المولدات الكهربائية Electrical Generators

تعطى المميزات الكهربائية للمولدات من قبل الشركة المصنعة وتتضمن عادة المعطيات التالية:

$$X_0\,\%\,,\ X_d'\,\%\ ,\ X_d''\,\%\,,\ S_n\ ,\ U_n$$

وتكون هذه المعطيات متضمنة في النشرات الفنية للمولدات، وتحسب المفاعلة الردية الواحدية للمولدة بالعلاقة:

$$X_g(pu) = \frac{X_d''}{100} \cdot \frac{S_b}{S_n} \qquad (3\text{-}2)$$

حيث :

X_d'' تمثل المفاعلة فوق العابرة للمولد الكهربائي منسوبة إلى توتر واستطاعة المولد.

S_b تمثل استطاعة الأساس MVA

S_n تمثل الاستطاعة الإسمية للمولد MVA

وبذلك فإن كل مولد من المولدات التي تعمل في الشبكة الكهربائية سوف يتم استبداله بقوة محركة كهربائية مكافئة E_d وبمفاعلة ردية مكافئة X_g .

3 – 3 – 1– 2 المحولات الكهربائية Electrical Transformers

تعطى المميزات الكهربائية للمحولات من قبل الشركة الصانعة، وتكون متضمنة في النشرات الفنية للمحولات وعلى الشكل التالي:

$$P_{fe}\ ,\ P_{cu}\ ,\ I_o\%\ ,\ U_{sc}\%\ ,\ U_n\ ,\ S_n$$

وتحسب المفاعلة الردية للمحولات بالعلاقة:

$$X_T = \frac{U_{SC}\,\% \cdot U^2{}_n \cdot 10^3}{S_n} \qquad (3-3)$$

حيث X_T تمثل المفاعلة الردية للمحولة الكهربائية منسوبة إلى توتر المحولة واستطاعتها.

أما المفاعلة الردية الواحدية للمحولة فتعطى بالعلاقة:

$$X_{T(PU)} = U_{SC}\% \cdot \frac{S_b}{S_n} \qquad (3-4)$$

حيث:

$U_{sc}\%$ تمثل توتر القصر للمحولة الكهربائية

U_n تمثل الاستطاعة النظامية للمحولة الكهربائية MVA

S_n تمثل استطاعة الأساس MVA

3 – 3–1– 3 الخطوط الكهربائية Electrical Lines

تحسب المحددات الكهربائية لخطوط النقل حسابياً استنادا إلى تصميم الخط الكهربائي وإلى البنية الهندسية والكهربائية المعتمدة له كما يلي:

- تحسب المفاعلة الردية للخط الكهربائي بالعلاقة:

$$x = \omega \cdot L \qquad (3-5)$$

وتمثل L عامل التحريض الذاتي للخط الكهربائي. ويحسب عامل التحريض الذاتي في الحالة التي تكون فيها النواقل الكهربائية المستخدمة في الخط ذات طبيعة لا مغناطيسية بالعلاقة:

$$L = [4.6 \cdot \log \frac{D_m}{r} + 0.5\mu_r] \cdot 10^{-4} \quad \text{H/km} \qquad (3-6)$$

حيث:

D_m المسافة الوسطية بين نواقل الخط الكهربائي وتحدد بالعلاقة:

$$D_m = \sqrt[3]{D_{12} \cdot D_{23} \cdot D_{31}} \qquad (3-7)$$

μ_r تمثل ثابتة النفاذ المغناطيسية النسبية للهواء.

- تحسب المفاعلة الردية الكلية للخط الكهربائي وللطور الواحد بالعلاقة:

$$X = x.\ell \qquad (3-8)$$

حيث

ℓ تمثل طول الخط بالكيلومتر.

- تحسب المفاعلة الردية الواحدية للخط الكهربائي وللطور الواحد بالعلاقة:

$$X_{L(p.u)} = x \cdot \ell \cdot \frac{S_b}{U_b^{\,2}} \qquad (3-9)$$

3– 3–1– 4 النظام الكهربائي العام Electrical Power System

يتم استبدال المولد المكافئ للنظام الكهربائي العام عند إعداد الدارة الكهربائية المكافئة للشبكة بهدف حساب تيارات القصر الثلاثية بمولد مكافئ ومفاعلة ردية مكافئة. وتحسب المفاعلة الردية النسبية المباشرة المكافئة للشبكة العامة بالعلاقة:

$$X_{sys\,d} = \frac{U^2{}_n}{S_{sc}} \quad [\text{KV}^2/\text{MVA}] \qquad (3\text{-}10)$$

أما المفاعلة الواحدية المباشرة المكافئة للشبكة فتحسب بالعلاقة:

$$X_{sysd\,(p.u)} = \frac{X_{sysd} \cdot I_b}{U_b} \qquad (3\text{-}11)$$

وبذلك يتم استبدال الشبكة الكهربائية العامة (الربط مع النظام الكهربائي) بقوة محركة كهربائية E_d ومفاعلة ردية مكافئة واحدية X_{sysd}.

3 – 4 حساب تيارات القصر الثلاثية المتناظرة

Symmetrical Three Phase Short Circuits

يتم حساب تيارات القصر الثلاثية المتناظرة في أية شبكة كهربائية لغرض تصميم نظام حماية ملائم وذلك وفق الخطوات التالية:

- يتم رسم الدارة المكافئة للشبكة الكهربائية المطلوب دراستها بحيث يتم استبدال جميع عناصر الشبكة بالمفاعلات الردية المكافئة المباشرة الواحدية لكل منها.
- تحدد نقاط قصر الدارة الثلاثي المتناظر المحتملة على مجموعات قضبان التجميع في الشبكة الكهربائية.
- تحدد لأجل كل نقطة من القصر المحتملة على مجموعات القضبان العناصر التي يجب أن تعمل حمايتها الآلية الرئيسية والعناصر التي يجب أن تعمل حمايتها الاحتياطية.

- تحدد لكل عنصر من عناصر الشبكة، مولد أو محولة أو خط كهربائي، الحالة التي يمكن أن يظهر بها تيار قصر أعظمي والحالة التي يمكن أن يظهر بها تيار قصر أصغري.

تحسب تيارات القصر الثلاثي المتناظر كما يلي:

من المعلوم أن قيمة تيار القصر تعطى بالعلاقة التالية:

$$I_{sc} = \frac{U_b}{x} [\,V/\Omega\,] \;,\; [\,A\,] \qquad (3\text{-}12)$$

وتعطى قيمة المفاعلة الردية المكافئة بالقيم الواحدية بالعلاقة:

$$X_{pu} = X_{\Omega} \cdot \frac{I_b}{U_b} \qquad (3\text{-}13)$$

ومن العلاقتين(3-13) و (3-12) تنتج قيمة تيار قصر الدارة الثلاثي المتناظر كما يلي:

$$I_{sc} = \frac{I_b}{X_{pu}} \qquad (3\text{-}14)$$

وهي علاقة قطع زائد حيث أن لتيار الأساس قيمة ثابتة.

وبعد أن يتم حساب تيارات قصر الدارة الثلاثية المتناظرة الأعظمية والأصغرية ولكل عنصر من عناصر الدارة فإنه يجب تنسيق عمل القواطع الآلية في الشبكة الكهربائية بحيث يعمل أقرب قاطع آلي إلى مكان العطل لفصله وعزل العطل عن التغذية الكهربائية، وذلك قبل أن تعمل القواطع الآلية الأخرى المتتالية، وبذلك فإن التغذية الكهربائية سوف تنقطع عن أصغر جزء ممكن من الشبكة الكهربائية. وفي حال فشل القاطع الآلي الأقرب إلى مكان العطل في فصل الجزء المعطل من الشبكة فيجب أن يعمل القاطع الآلي الذي يليه مباشرة في القرب إلى مكان العطل، وبمعرفة قيمة التيارات التي يجب أن تتحسس عندها الحمايات المختلفة المستعملة في الشبكة الكهربائية فإنه يجب أخذ مختلف حالات الأعطال الثلاثية التي يمكن أن تحدث في الشبكة. يمكن بعد حساب تيار القصر على مختلف قضبان التجميع رسم منحنيات القصر لكل حالة على

حدة ولكل عنصر من عناصر الشبكة آخذين بعين الاعتبار أن منحنيات القصر ستكون على شكل قطع.

3 – 5 تيارات القصر الأحادية Line to Ground Short Circuit

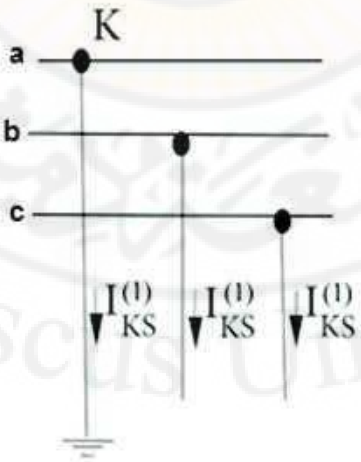
تكون معظم الأعطال التي تحدث في الشبكات الكهربائية من النوع الأحادي. وقد تكون هذه الأعطال دائمة أو لحظيةً، وتنشأ لأسباب كثيرة منها: انهيار العازل الحامل للناقل، أو نتيجةً للاهتزاز أو الانفراغ بين الخط والأرض. ويمكن لهذا النوع من الأعطال أن يؤدي إلى مرور تيار قصر أكبر من تيار القصر الثلاثي المتناظر وذلك في بعض الحالات الخاصة، إلا أنه بشكل عام يكون تيار القصر الأحادي أصغر من تيار القصر الثلاثي المتناظر.

3 – 5 – 1 معادلات قصر الدارة الأحادي

إذا كان هناك شبكة كهربائية ثلاثية الأطوار وحدث فيها عطل أحادي على أحد الأطوار كما هو مبين في الشكل (3 – 1)، فإن شروط حدوث العطل الأحادي تترجم بالعلاقات التالية:

التيارات في نقطة العطل:

$$\underline{I}_b = 0 \ , \ \underline{I}_c = 0 \qquad (3\text{-}15)$$
$$I_a = I_f$$



الشكل (3 – 1) شبكة كهربائية ثلاثية الأطوار حدث فيها عطل أحادي

التوترات في نقطة العطل:

$$U_b \neq 0 \ , \ U_c \neq 0 \qquad (3\text{-}16)$$

$$U_{af} = 0$$

باستخدام نظرية المركبات المتناظرة يمكن كتابة العلاقات التالية:

$$\underline{U}_{af} = \underline{U}_{a1} + \underline{U}_{a2} + \underline{U}_{a3} = 0$$

$$\underline{I}_{a1} = \underline{I}_{a2} = \underline{I}_{a3} = 1/3 \ . \ \underline{I}_a$$

$$\underline{U}_a = \underline{E}_a - \underline{I}_{a1}\underline{Z}_1 - \underline{E}_{a2}\underline{Z}_2 - \underline{I}$$

$$\underline{U}_a = \underline{E}_a - \underline{I}_{a0}(\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 + \underline{Z}_0) \qquad (3\text{-}17)$$

$$U_{af} = 0$$

ومن هذه العلاقات ينتج:

$$\underline{I}_{a0} = \frac{\underline{E}_a}{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 + \underline{Z}_0} \qquad (3\text{-}18)$$

حيث: $Ea = 1.08\ U_{nph}$

وبذلك يمكن الكتابة:

$$\underline{I}_{a0} = 1.08 \frac{\underline{U}_{nph}}{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 + \underline{Z}_0} \qquad (3\text{-}19)$$

وفي حال تساوي الممانعة المباشرة والممانعة العكسية، أي $\underline{Z}_1 = \underline{Z}_2$ ينتج:

$$\underline{I}_{a0} = 1.08 \frac{\underline{U}_{nph}}{2\underline{Z}_1 + \underline{Z}_0} \qquad (3\text{-}20)$$

وبالتحويل إلى القيم الواحدية المنسوبة ينتج:

$$\underline{Z}_1 = \frac{U_b}{I_b} \cdot \underline{Z}_1(pu) \qquad (3\text{-}21)$$

وعندما يكون: $U_{nph} = U_{bph}$ ينتج:

$$I_{a0} = \frac{1.08.\underline{I}_b}{2.\underline{Z}_1(pu) + \underline{Z}_0(pu)} \qquad (3\text{-}22)$$

وإذا تم إهمال مقاومة مختلف العناصر يمكن أن نكتب:

$$I_{a0} = \frac{1.08.I_b}{2.\underline{X}_1(p.u) + \underline{X}_0(p.u)} \qquad (3\text{-}23)$$

وعليه تصبح قيمة تيار القصر الأحادي كما يلي:

$$I_{sc} = 3\ I_{a1} = 3\ I_{a2} = 3\ I_{a3} = 3\ I_{a0} \qquad (3\text{-}24)$$

حيث:

X_1المفاعلة الردية الموجبة أو المباشرة بالقيمة الواحدية

X_0المفاعلة الردية الصفرية بالقيمة الواحدية

I_bتيار الأساس

3 – 5 – 2 حساب المفاعلات الصفرية بالقيمة الواحدية

3 – 5 – 2 – 1 المولدات الكهربائية

تعتبر المفاعلة الصفرية في الحسابات التقريبية مساوية:

$$X_{g0} = (0.15 - 0.6)\ .\ X_d" \qquad (3\text{-}25)$$

3 – 5 – 2 – 2 المحولات الكهربائية

تختلف قيمة المفاعلة الصفرية للمحولات الكهربائية بالقيمة الواحدية حسب طريقة توصيل ملفات هذه المحولات، نجمي أو مثلثي أو متعرج، وتؤخذ قيمة المفاعلة الردية الصفرية مساوية: [1]

$$X_{T0} = X_{Td} \qquad (3\text{-}26)$$

3 – 5 – 2– 3 الخطوط الكهربائية

تحدد قيمة المفاعلة الصفرية المكافئة بالقيمة الواحدية للخطوط الكهربائية مساوية:

$$X_{L0} = 3.5\ .\ X_L \qquad (3\text{-}27)$$

3 – 5 – 2 – 4 الشبكة الكهربائية العامة

يتم استبدال النظام الكهربائي العام عند إعداد الدارة الكهربائية الصفرية المكافئة للشبكة بهدف حساب تيارات القصر الأحادية بمفاعلة ردية صفرية مكافئة. وتحسب المفاعلة المباشرة المكافئة للشبكة العامة بالعلاقة:

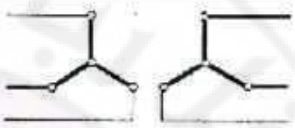
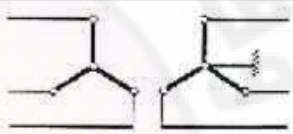
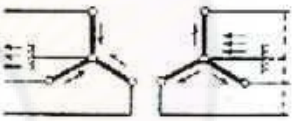
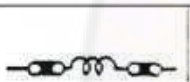
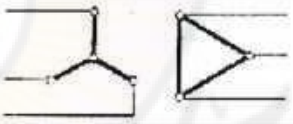
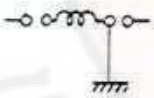
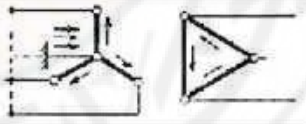
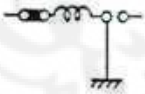
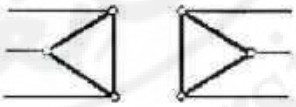
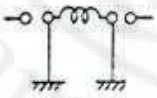
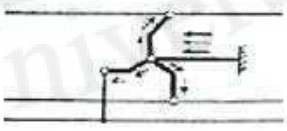
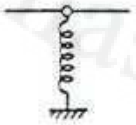
$$X_{SYSO} = 0.7 \cdot X_{SYSd} \qquad (3\text{-}28)$$

3- 6 حساب تيارات القصر الأحادية

- يتم حساب تيارات القصر الأحادي في أية شبكة كهربائية لغرض تصميم نظام حماية كهربائية ملائم، وفق الخطوات التالية:
- يتم إعداد الدارة الكهربائية المكافئة للشبكة الكهربائية المطلوب دراستها بحيث تستبدل عناصر الشبكة بالمفاعلات الردية الصفرية المكافئة بالقيمة الواحدية.
- تحدد نقاط حدوث الأعطال المحتملة على مجموعات قضبان التجميع في الشبكة الكهربائية المعتبرة.
- تؤخذ بعين الاعتبار عند إعداد الدارة المكافئة للممانعات الصفرية، طريقة ربط ملفات المحولات الكهربائية, نجمي أو مثلثي أو متعرج، وطريقة تأريض هذه المحولات.
- تعد المفاعلتان المباشرة والعكسية للشبكة الكهربائية متساويتان أي $X_1 = X_2$
- عند وجود محطات توليد مائية تعمل في الشبكة الكهربائية تعتبر النقطة الحيادية لجميع المولدات في هذه المحطات مربوطةً مباشرةً إلى الأرض.
- نعتبر في محطات التوليد الحرارية التي تعمل في الشبكة الكهربائية أن هناك دائما مجموعة توليد مؤرضة وأخرى غير مؤرضة.
- يحدد لكل عنصر من عناصر الشبكة الكهربائية، مولد أو محولة أو خط كهربائي، الحالة التي يمكن أن يظهر فيها تيار قصر أحادي أعظمي والحالة التي يمكن أن يظهر فيها تيار قصر أحادي أصغري.
- تحدد لأجل كل نقطة من نقاط حدوث القصر الأحادي المحتمل على مجموعات قضبان التجميع، العناصر التي يجب أن تعمل حمايتها الرئيسية والعناصر التي يجب أن تعمل حمايتها الاحتياطية.

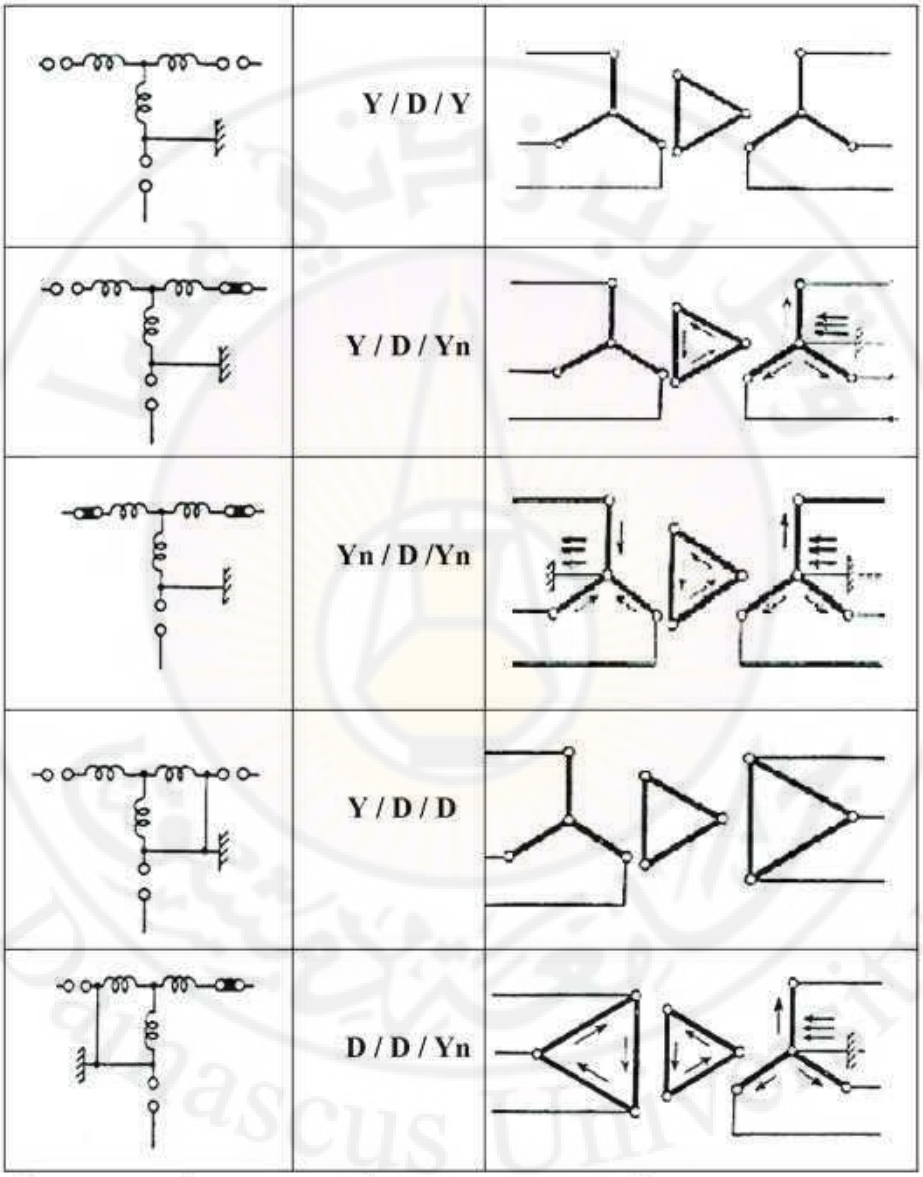
- تحسب تيارات القصر الأحادي بالعلاقتين (3-24) و (3-23)

يبين الشكل(3 – 2) طريقة ربط مفاعلات المحولات ثلاثية الأطوار في الدارة الصفرية المكافئة

طريقة ربط وشائع المحولات ثلاثية الملفات		الدارة الصفرية المكافئة للمحولة
Y / Y		
Y / Yn		
Yn / Yn		
Y / D		
Yn / D		
D / D		
Zn		

الشكل(3 – 2) طريقة ربط المفاعلات الصفرية للمحولات ثلاثية الطور وثنائية الملفات في الدارة المكافئة الصفرية للشبكة الكهربائية.

كما يبين الشكل(3 – 3) طريقة ربط المحولات ثلاثية الملفات ثلاثية الأطوار في الدارة الصفرية



الشكل (3 – 3) طريقة ربط المفاعلات الصفرية للمحولات ثلاثية الطور وثلاثية الملفات في الدارة المكافئة الصفرية للشبكة الكهربائية

وقل رب زدني علما
Damascus University

الفصل الرابع

4 – أنظمة حماية المولدات الكهربائية

Electric Generators Protections

Damascus University

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفصل الرابع

4- أنظمة حماية المولدات الكهربائية

Generators Protection Systems

4 – 1 أعطال المولدات

تعد المولدات الكهربائية عناصر الشبكة الأكثر أهمية والأغلى ثمناً، لذلك يجب أن تكون حماية المولدات على قدر كبير من الدقة والوثوقية والانتقائية وتضمن تأمين الحماية ضد الأعطال الكهربائية الخارجية والداخلية وحالات التشغيل غير النظامية.

تنتج الأعطال الخارجية دائماً في الشبكات التي تتم تغذيها من المولدة. أما الأعطال الداخلية فتنتج ضمن المولد ويمكن أن تحدث في الجزء الثابت أوالجزء الدائر من المولدة الكهربائية. [19]

يمكن أن تكون الأعطال في الجزء الثابت أعطالاً ثلاثية الأطوار أو أحادية مع الأرض أو أعطال في ملفات وشيعة الطور الواحد ويتبين عملياً أن أخطرها هي الأعطال الثلاثية. وتكمن خطورة الأعطال الأحادية في تشكل القوس الكهربائية في مكان العطل الأمر الذي قد يؤدي إلى انصهار جزء من حديد الثابت، وبالتالي إلى إتلاف قسم من الصفائح الفولاذية للجزء الثابت، وهذا يسبب تكاليف كبيرة لصعوبة الإصلاح، كما يمكن أن يتحول العطل الأحادي إذا استمر إلى عطل ثلاثي. وتؤدي الأعطال بين لفات الوشيعة الواحدة من أحد أطوار المولد إلى ارتفاع درجة حرارة الوشيعة، وهذا يؤدي إلى احتراق المواد العازلة وحدوث عطل في الأطوار.

يمكن أن تكون الأعطال الداخلية التي تصيب الجزء الدوار على شكل قصر مع الأرض في نقطة من نقاط دارة التهييج، ولا يشكل هذا القصر خطراً مباشراً، ولكن عندما يحدث قصر مع الأرض في نقطتين من دارة التهييج، فإنه يسبب ضرراً كبيراً للمولد، ويؤدي إلى خروجه من العمل.

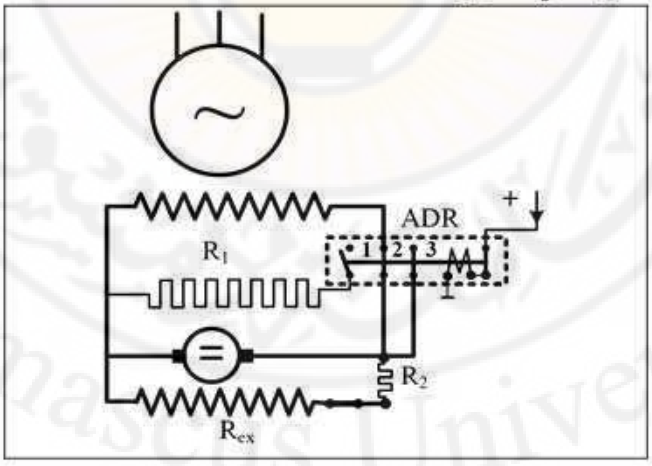
تعد حالات التشغيل غير النظامية الحالات التي تظهر فيها تيارات كبيرة مثل تيارات قصر الدارة خارج المولد، أو زيادة الحمل، أو الزيادة الكبيرة في المركبة المتناظرة

العكسية لأكثر من 10% من التيار الاسمي للمولد، أو حالات زيادة التوتر، أو فقدان التهييج وانتقال المولد إلى العمل كمحرك ، أو زيادة قيمة الحرارة عن الحدود المسموح فيها الأمر الذي يسبب تقادم المواد العازلة للملفات بسرعة وبالتالي انقاص عمر المولدة. أما زيادة التوتر فقد تؤدي إلى انهيار عازلية ملفاته، وكذلك فإن زيادة المركبة العكسية قد تسبب ظهور تسخين إضافي أواهتزازات ثانوية قد تؤذي المولدة. ويسبب الانتقال إلى حالة التشغيل كمحرك إتلاف المولد والعنفة التي تديرها فوراً.

يجب أن تحقق حماية المولدة الكهربائية المهام الأساسية التالية: [19]

- قيادة أجهزة تشغيل القواطع الآلية للمولد .
- قيادة جهاز إزالة تيار التهييج الآلي السريع.
- إعطاء الإشارات المختلفة لعناصر التشغيل .

عند إعطاء الأوامر لأجهزة تشغيل القواطع الآلية لكي تفصل عند حدوث عطل داخلي أو خارجي، فيجب أن تؤمن الحماية في نفس الوقت فصل التغذية عن دارة تهييج المولد لكي لا يزداد التوترعلى أقطاب المولد. يبين الشكل (1-4) الدارة الكهربائية الرمزية لجهاز إزالة التهييج الآلي السريع **ADR** .



الشكل (4 – 1) الدارة الكهربائية الرمزية لجهاز إزالة التهييج الآلي السريع ADR

عندما يعمل هذا الجهاز فإن دارة تهييج المولد تقطع وتوصل إلى المقاومة المساعدة R_1 لامتصاص آثار الحالة العابرة في ملف التهييج.

تكون تماسات جهاز إزالة التهييج **ADR** مصممة بحيث يغلق التماس (1) أولاً وقبل أن يفتح التماس (2)، وذلك لمنع ظهور الحالات العابرة في دارة تهييج المولد عن طريق ادخال المقاومة R_1 في دارة تهييج المولد.

عند فتح التلامس (3) تدخل المقاومة R_2 في دارة تهييج آلة التيار المستمر التي تستخدم لتغذية دارة تهييج المولدة الكهربائي، لكي لا تظهر فيها زيادة تيار تؤدي إلى إتلاف هذه الدارة.

إن أهم نظم حماية المولدات الكهربائية المستخدمة في الشبكات الكهربائية في مختلف دول العالم هي:

-حماية المولدات الكهربائية من تيارات القصر الخارجية.

- حماية المولدات الكهربائية من تيارات القصر المتعددة في ملفات الثابت.

- حماية المولدات الكهربائية من تيارات قصر طور في ملفات الثابت.

- الحماية التفاضلية الطولانية.

- حماية المولدات الكهربائية من تيارات القصر بين لفات وشيعة الطور الواحد.

- الحماية بإستخدام المرشحات.

- الحماية الإتجاهية.

- حماية ملفات التهييج الدوارة في المولدات الكهربائية.

- الحماية من تيارات القصر الأول مع الأرض في دارة الجزء الدوار.

- الحماية من تيارات القصر الثاني إلى الأرض في دارة الجزء الدوار.

- حماية المولدات الكهربائية من انقطاع تيار التهييج في الجزء الدوار للمولد.

- حماية الممانعة الأصغرية للمولدات الكهربائية.

-حماية المولدات الكهربائية من تغيرات التردد.

- حماية المولد من زيادة التوتر.

4 – 2 حماية المولدات الكهربائية المربوطة إلى قضبان التجميع من تيارات القصر الخارجية [19]

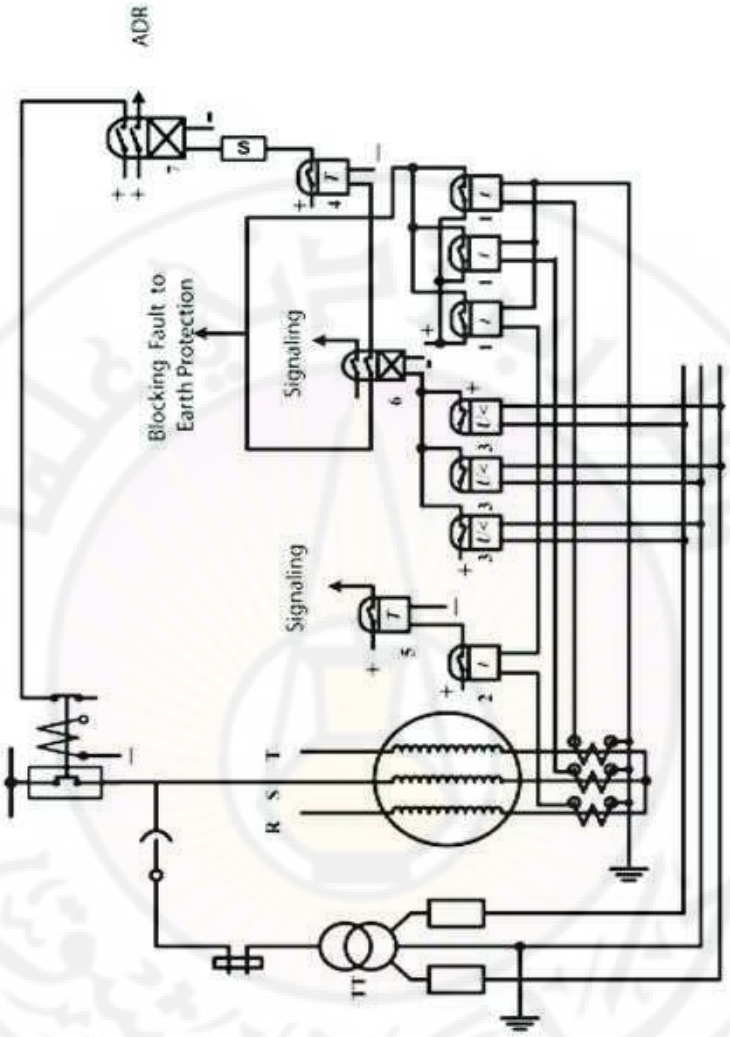
يستخدم لتحقيق حماية المولدات من تيارات القصر الخارجية نظام الحماية من زيادة التيار " Over Current Protection، وهي تؤمن الحماية من زيادة تيار الحمل الكهربائي أيضا. عند ظهور قصر دارة خارجي على أي خط كهربائي يغذى من قضبان التجميع الكهربائية التي يكون المولد مربوطاً اليها، فإن هذه الحماية يجب أن تعمل بتأخير زمني لتسمح لحماية الخط المصاب بالعطل أن تعمل أولاً. لا يسبب هذا التأخير في حال الأعطال الخارجية أي ضرر للمولد الكهربائي لأن المولد يتحمل من حيث بنيته، زيادة تيار معينة لفترة زمنية محددة حسب تعليمات الهيئة الدولية للكهرباء IEC، التي تسمح بمرور تيار يساوي (2.5 In) لمدة دقيقة واحدة. تتغذى حاكمات التيار المتضمنة في هذه الحماية من محولات التيار التي تركب على أطوار المولد من جهة النقطة الحيادية، وهذا يمكنها أن تتحسس أي عطل داخلي أيضاً.

يبين الشكل (2–4) المخطط الكهربائي لنظام الحماية هذا. تؤمن هذه الدارة حماية المولدات الكهربائية التي تتراوح استطاعتها بين 3 و 50 ميغاوات إذ تستخدم في هذه الدارة حاكمات زيادة تيار (1) التي تتم تغذيتها من ثانوي محولات التيار التي تركب على جانب النقطة الحيادية للمولدة الكهربائية، وهذا يجعلها صالحة للعمل حتى في حالة ظهور العطل الكهربائي في الجزء الثابت للمولد الكهربائي وتشكل حماية احتياطيةً من الأعطال الداخلية.

وتلحظ في نظام الحماية هذا حاكمات توتر أصغري (3) تشكل مع الحاكمة المساعدة (6) مجموعة إقفال التوتر الأصغري. الذي يساعد بأن لا تعطي الحاكمات (1) تشغيلاً خاطئاً وتفصل القاطع الآلي في حالة زيادة الحمولة الكهربائية التي تتجاوز 40% من الحمولة الإسمية للمولدة الكهربائية.

تقوم الحاكمة (3) باغلاق تماساتها عند هبوط التوتر بشكل ملحوظ في الشبكة والمرافق لحالة ظهور قصر الدارة ولكنها لا تغلقها في حالة زيادة الحمولة. وعند ظهور العطل

تعطي الحاكمة (3) الأمر لتشغيل الحاكمة المساعدة (6) لتؤمن عن طريق تماسها الأسفل وصول توتر التغذية إلى الحاكمة الزمنية (4) من حاكمة التيار الزائد (1).
ويستخدم التماس الأعلى للحاكمة المساعدة (6) لإرسال إشارة تنبيه إلى غرفة القيادة في محطة التحويل عند انهيار الفاصمة المستخدمة في دارة ثانوي محولة التوتر TT حيث تصل قيمة التوتر الثانوي للمحولة TT في هذه الحالة للصفر وبالتالي ستقوم الحاكمة (3) بإغلاق تماساتها بالرغم من عدم ظهور حالة القصر. ويجب عند ظهور مثل هذه الحالة ووصول إشارة التنبيه إلى غرفة القيادة أن يقوم عناصر التشغيل باستبدال الفاصمة المنهارة بسرعة لكي لا يتم تشغيل القاطع الآلي بشكل خاطئ لأن تغذية الحاكمة (1) تكون مؤمنة في هذه الحالة. يلاحظ أنه تستخدم في نظام الحماية هذا الحاكمة (2) والحاكمة (5) تأمين الحماية من زيادة الحمولة وتستخدم حاكمة الإشارة (S) والحاكمة المساعدة (7) لتأمين فتح القاطع الآلي للمولدة والفصل السريع لدارة التهييج. ويلاحظ أنه تستخدم في دارة الحماية المبينة في الشكل (4 – 2) الحاكمة (2) والحاكمة (5) لتأمين الحماية من زيادة الحمولة وحاكمة الإشارة (S) والحاكمة (5) لتأمين فتح القاطع الآلي للمولدة وفصل دارة التهييج السريع **ADR**.
يمتاز نظام الحماية هذا والمبين في الشكل (4 – 2) أنه يعمل بشكل منفصل للحماية من زيادة الحمولة الكهربائية وللحماية من الأعطال الخارجية ويؤدي المهمة المطلوبة بشكل جيد. لكن هذا النظام له مساوئ من وجهة نظر الحساسية. فمثلاً إذا حدث عطل خارجي بالقرب من إحدى محولات الاستطاعة وكانت قيمة التوتر المتبقي U_{rem} على أحد الأطوار الذي يغذي محولة القياس **TT** المستخدمة لتغذية إقفال التوتر أكبر من توتر إقلاع حاكمات اقفال التوتر U_{pp3} فإن هذا الأمر الذي سيؤدي إلى منع تشغيل الحماية واستمرار تأثير العطل.



الشكل (4 –2) المخطط الكهربائي لنظام الحماية

لذلك تم تنفيذ نظام حماية تيار أعظمي ضد الأعطال الخارجية مطور يهدف لرفع حساسية هذه الحماية كما هو مبين في الشكل (4 – 3) حيث يلاحظ إستخدام مرشح للمركبة المتناظرة العكسية أو غير المباشرة للتوتر (8) لتغذية حاكمة التوتر الأصغري (3) حيث تتم عن طريق التماس المغلق (في الحالة الطبيعية) لهذه الحاكمة تغذية ملف تشغيل الحاكمة (3) أو قطع هذه التغذية.

وتستخدم هذه الحماية ضد الأعطال الخارجية غير المتناظرة والحد من آثارها إذ يمثل هذا النوع من الأعطال الغالبية العظمى من الأعطال الممكنة في الشبكات الكهربائية، وحيث تظهر في هذه الحالة المركبة المتناظرة العكسية للتوتر وللتيار.

كما هو معروف، تولد المركبة المتناظرة العكسية للتيار حقلاً مغناطيسياً يدور داخل المولد الكهربائية بسرعة دوران مضاعفة بالمقارنة مع دوران الجزء الدوار للمولدة الكهربائية مما يؤدي إلى توليد تيارات تحريضية تسبب تسخيناً زائداً وخطراً على المواد العازلة المستخدمة في المولدة. كما تظهر في بعض المولدات الكهربائية اهتزازات تؤدي إلى توليد عزوم نبضية غير مرغوب بها قد تؤذي المولدة الكهربائية. وتعمل الحمايات المختلفة في النظام المبين في الشكل (4 – 3) كما يلي:

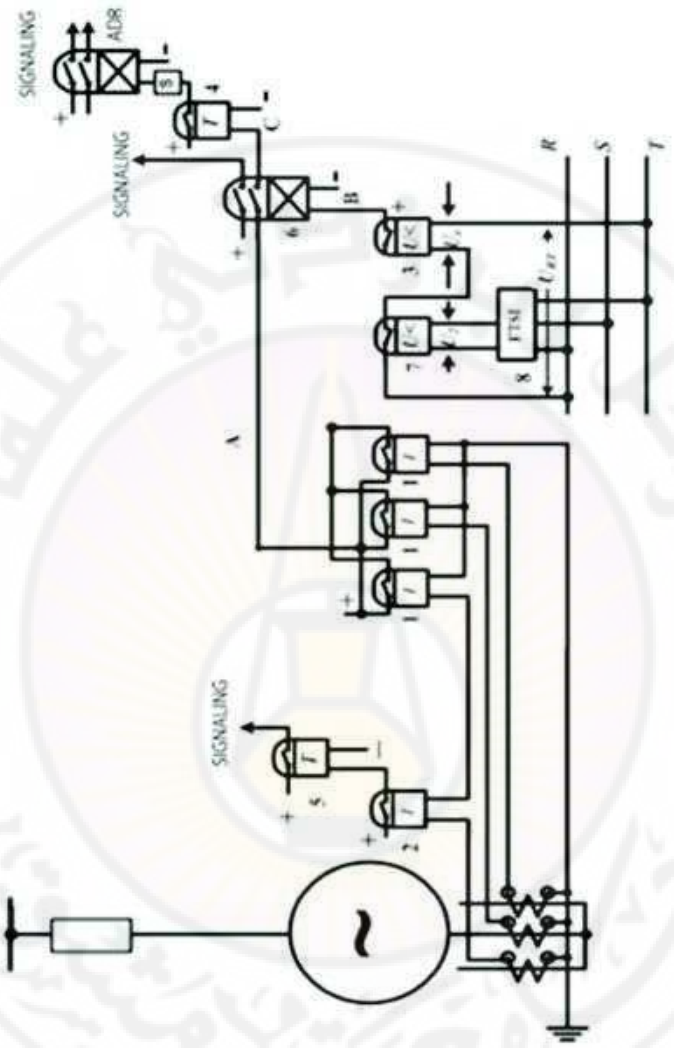
بافتراض أن تماسات حاكمة التوتر (7) مغلقة فإن حاكمة التوتر الأصغري (3) في نظام إقفال التوتر سوف تعمل وتغلق تماساتها فقط في حالة الأعطال الخارجية التي تكون فيها قيمة التوتر المتبقي أصغر من توتر تشغيل الحاكمة (3). أما في حالة الأعطال الخارجية غير المتناظرة التي تكون فيها قيمة التوتر المتبقي بعد حدوث العطل أكبر من قيمة تشغيل الحاكمة (3) فإن الحاكمة (7) تقوم بفتح تماساتها لأن التوتر الناتج عن مرشح المركبة المتناظرة العكسية يكون كبيراً وتقطع بذلك التغذية عن حاكمة التوتر الأصغري (3) فتقوم هذه بفتح تماساتها وتعطي الأمر للحاكمة (6) للعمل وإرسال الأمر القادم من الحاكمات (1) إلى الحاكمة الزمنية (4) ومنها إلى الحاكمة المساعدة التي تعطي الأمر لفتح القاطع الآلي للمولدة الكهربائية.

يتم تعيير الحاكمة (7) وتحديد توتر تشغيلها بحيث لا تعمل هذه الحاكمة فتفتح تماساتها تحت تأثير التوترات المختلفة التي يمكن أن تظهر في حالة التشغيل النظامية على مخارج مرشحة المركبة المتناظرة العكسية للتوتر **FTSI** . وتؤخذ قيمة توتر تشغيل هذه الحماية تجريبياً مساوية:

$$U_{pp7} = 0,6\ U_n \qquad (4\text{-}1)$$

حيث:

U_n التوتر الاسمي للمولدة الكهربائية و U_{pp7} توتر تشغيل وإقلاع الحاكمة (7).



الشكل (4 – 3) حماية تيار أعظمي من الأعطال الخارجية

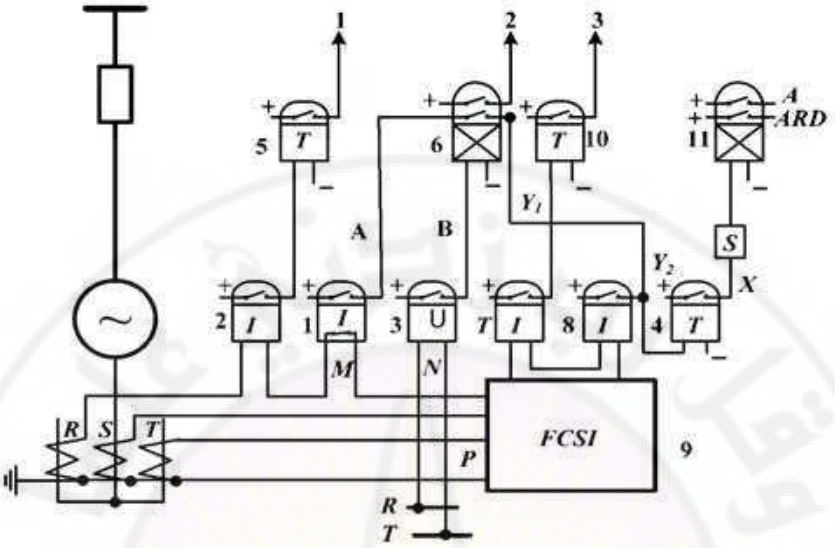
يبين الشكل (4 – 4) المخطط الكهربائي الرمزي لنظام حماية زيادة التيار الأعظمي المستخدم للمولدات التي تساوي استطاعتها النظامية 50 MW أو أكثر. تتغذى حاكمات التيار المتضمنة في نظام الحماية هذا من محولات التيار التي تركب على أطوار المولد من جهة النقطة الحيادية وهكذا يمكنها أن تتحسس أي عطل داخلي أيضاً. تؤمن هذه

الدارة حماية المولدات الكهربائية، من كافة أنواع تيارات القصر الخارجي الثلاثية ولتيارات القصر التنائية باستعمال مرشحة للمركبة المتناظرة العكسية للتيار، وتؤمن كذلك الحماية من زيادة تيارات الأحمال الكهربائية. تشكل حاكمة التيار (2) وحاكمة الزمن (5) الحماية ضد زيادة التيار في حالة زيادة الحمولة الكهربائية، فبعد عمل الحاكمة (2) عندما تزداد قيمة التيار الذي يعطيه المولد بنسبة 20% عن قيمة التيار النظامي للمولد، تعمل الحاكمة الزمنية (5) التي تغلق تماساتها بتأخير زمني لتعطي إشارة تنبيه لعناصر التشغيل.

توفر حاكمة التيار (1) الحماية ضد تيارات قصر الدارة الخارجي الثلاثي المتناظر، أما حاكمة التوتر(3) التي تغلق تماساتها عند إنخفاض التوتر على أقطاب المولد ومعها الحاكمة المساعدة (6) فإنهما تقومأن بتمييز العطل إذا كان خارجيا، أو إذا كان زيادة حمل كهربائي حيث تمنع الحاكمة (3) عمل الحاكمة (1) عند ظهور زيادة الحمل، أما عندما يحدث قصر خارجي يرافقه إنخفاض التوتر فتعمل بتأخير زمني عن طريق الحاكمة (4) على فصل المولدة والتهييج. تتغذى حاكمة التيار(7) وحاكمة التيار(8) من مرشح المركبة المتناظرة العكسية للتيار FCSI وتؤمنان الحماية ضد الأعطال الخارجية غير المتناظرة حيث تظهر في هذه الحالة مركبة عكسية كبيرة ضمن تيار القصر.

حاكمة التيار(7) ذات حساسية عالية وتعطي إشارة تنبيه بتأخير زمني بواسطة الحاكمة(10)، وأما حاكمة التيار (8) فهي ذات تيار إقلاع أكبر من الحاكمة (7) وتعمل بتأخير زمني على فصل المولدة ودارة التهييج عن طريق الحاكمة (4).

ويسمح عادة بتشغيل المولدات في محطات التوليد الحرارية لفترات طويلة مع وجود المركبة المتناظرة غير المباشرة للتيار والتي لا تتجاوز 8% من التيار النظامي للمولدة الكهربائية، أما في حالة المولدات التي تعمل في محطات التوليد المائية فيسمح بالتشغيل شريطة أن لا تتجاوز قيمة المركبة غير المباسرة للتيار 20% من التيار النظامي للمولدة، ويعتمد تحديد قيمة المركبة غير المباشرة هذه على الاستطاعة الإسمية للمولدة الكهربائية المطلوب حمايتها.



1 – 2 – 3 – إشارة 4 – فتح القاطع الآلي

الشكل (4 – 4) نظام حماية زيادة التيار الأعظمي للمولدات استطاعة أكبر من 50 MW

كما هو معروف يمكن أن تظهر المركبة المتناظرة غير المباشرة أو العكسية ليس فقط في حالة الأعطال غير المتناظرة، بل يمكن أن تظهر أيضاً في حالة انقطاع أحد أطوار الخطوط الكهربائية، أو في حالة عدم فتح أحد أقطاب القاطع الآلي في الشبكة الكهربائية أو عدم اغلاقه أو في حالة وصل الأحمال الكهربائية الكبيرة وحيدة الطور أو فصلها، كما هو في الجر الكهربائي بالتيار المتناوب مثل حالة القطارات الكهربائية أو الباصات الكهربائية. [20]

ومن أجل تأمين الانتقائية فإن الحاكمة الزمنية (4) تعير على زمن t_{a4} أكبر بقيمة **(Δt)** من زمن عمل حماية العناصر الواقعة بعد المولد باتجاه مكان القصر.

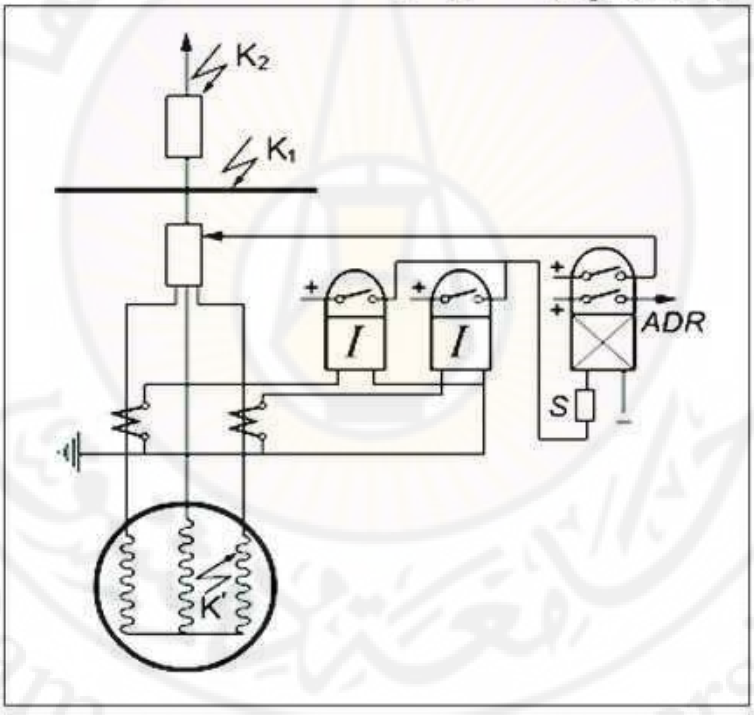
$$t_{a4} = t_a + \Delta t \quad , \quad \Delta t = 0.5 - 0.6 \text{ sec} \qquad (4-2)$$

وتعير حاكمة الزمن (5) على زمن أكبر من عمل الحاكمة t_{a4} :

$$t_{a5} = t_{a4} + \Delta t \; .. \; t_{a5} = 10 \text{ sec} \qquad (4-3)$$

يؤخذ زمن تشغيل الحاكمة الزمنية عادة مساويا $t_{44} = 4 - 8$ sec ، وتتم حماية المولدات الكهربائية التي لا تتجاوز استطاعتها 3 MW من زيادة التيارات الناتجة عن الأعطال الخارجية باستخدام نظام الحماية المبين في الشكل (4 – 5).

يلاحظ أن هذا النظام ذو بنية أبسط من دارات الحماية المستخدمة في حالة المولدات ذات الاستطاعات الكبيرة، وذلك بسبب الأهمية الأقل لمثل هذه المولدات في الشبكات الكهربائية وبالتالي فإن تكلفة مثل هذه الحماية ستكون أقل. وحيث إن مثل هذه المولدات ذات الاستطاعة الصغيرة تصنع دون إظهار النقطة الحيادية إلى خارج المولدة فإن محولتي التيار تركبأن في جهة أقطاب المولدة.



الشكل (4 – 5) حماية المولدات ذات استطاعة أصغر من 3 MW من زيادة التيارات الناتجة عن الأعطال الخارجية

تنفذ هذه الحماية باستخدام محولتي تيار فقط تركب على طورين من أطوار المولد الكهربائي ولا تلحظ فيها حاكمة إقفال التوتر ولا حاكمة زيادة الحمل. يمكن أن تؤمن هذه

الدارة حماية المولد من أي نوع من تيارات القصر الخارجية بين الأطوار . تحدد قيمة تيار إقلاع هذه الحماية بحيث يكون أكبر من تيار الحمل الأعظمي للمولد، ويتم تعيير الحماية كما يلي:

تحدد قيمة تيار إقلاع نظام الحماية الكهربائية بالعلاقة:

$$I_{pp} = K_{sec}.I''_{sc\ max\ K} \qquad (4-4)$$

حيث:

K_{sec} : تمثل ثابتة الأمان وتؤخذ مساوية $K_{sec} = 1.3 \ldots 1.4$

$I''_{sc\ max\ K}$: قيمة المركبة فوق العابرة لتيار القصر الذي يمكن أن يحدث على قضبان التجميع في النقطة K_1 أو على بداية خط الخروج في النقطة K_2 . أما عندما يحدث العطل ضمن المولدة الكهربائية في النقطة 'K فإنه سوف يمر في محولات التيار التي تغذي نظام الحماية تيار القصر الذي يحقنه النظام الكهربائي بإتجاه نقطة العطل، وحيث إن استطاعة مثل هذه المولدات تكون صغيرة جداً بالمقارنة مع استطاعة النظام، فإن التيار الذي يحقنه النظام في نقطة العطل تكون أكبر بكثير من تيار إقلاع نظام الحماية ما يجعل عمل هذه الحماية صحيحاً، أما في حالة المولدات ذات الاستطاعة التي تقل عن 3 MW التي تعمل في شبكة كهربائية معزولة فتركب الحماية على جانب المولد الكهربائي وقرب النقطة الحيادية، وتستطيع أن تحمي المولد حتى من الأعطال التي تحدث ضمنه.

4-3 تنسيق حساسية حماية زيادة التيار

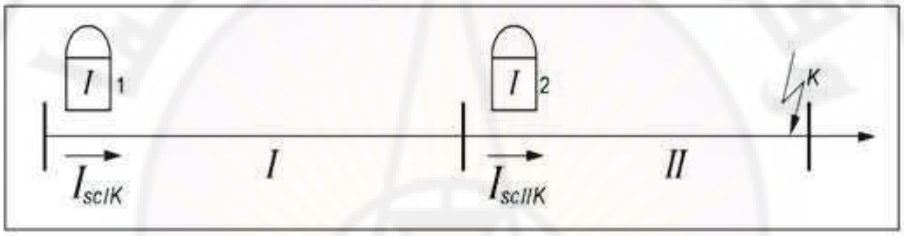
4 – 3 – 1 تنسيق حساسية حماية التيار الأساسية

تعمل حماية زيادة التيار بمختلف أنواعها للحد من آثار الأعطال الثلاثية المتناظرة، أو للحد من آثار الأعطال غير المتناظرة مثل الأعطال الثنائية و الثنائية مع الأرض، عن طريق التحسس لوجود المركبة العكسية في تيارات الأعطال، أو للحد من الأعطال الأحادية عن طريق التحسس لوجود المركبة المتناظرة الصفرية، وذلك عندما تحدث هذه الأعطال داخل المنطقة التي تحميها الحماية الكهربائية، أو حتى عندما تحدث الأعطال خارج المنطقة المحمية. وتتم عملية تنسيق حساسية حماية زيادة التيار الأعظمي

بمختلف أنواعها وفقاً لشكل الشبكة الكهربائية المطلوب حمايتها ووفقاً لطريقة ربط مختلف العناصر الكهربائية في هذه الشبكة، ويبين الشكل (6-4) أنه في حالة العطل على العنصر الكهربائي (I) الذي يؤمن النظام 1 حمايته وعندما يظهر العطل على العنصر الكهربائي (II) والذي يؤمن النظام 2 حمايته، يتم تحقيق الانتقائية في عمل هاتين الحمايتين عن طريق تعيير زمن إقلاع نظام الحماية 1 بحيث ينتج:

$$t_{a1} = t_{a2} + \Delta t \qquad (4 - 5)$$

لكن هذا الأمر غير كافٍ ويحتاج إلى تنسيق حمايات زيادة التيار الأعظمي للعنصرين الكهربائيين(I و II) عن طريق اختيار تيارات إقلاع هذه الحمايات بشكل ملائم. [16]



الشكل (6-4) تحقيق الانتقائية في عمل حاكمتي الحماية

فعندما يحدث عطل ما في النقطة K على العنصر (II) تكون التيارات الكهربائية التي تمر في محولات القياس التي تغذي الحمايات 1 و 2 متساويةً أي:

$$I_{sc\,IK} = I_{sc\,IIK} \qquad (4 - 6)$$

ولكي تعمل الحماية 1 بوصفها نظام حماية احتياطي في الحالة التي تفشل فيها الحماية 2 عن العمل عند ظهور العطل في النقطة K على العنصر الكهربائي (II) فإن تيار إقلاع نظام الحماية 1 يجب أن يحقق العلاقة:

$$I_{PPI} > I_{sc} = I_{pp2} \qquad (4 - 7)$$

ومن شرط تنسيق الحمايات 1 و 2 ينتج:

$$I_{PP2} > K_{sec} \cdot I_{ppI} \qquad (4 - 8)$$

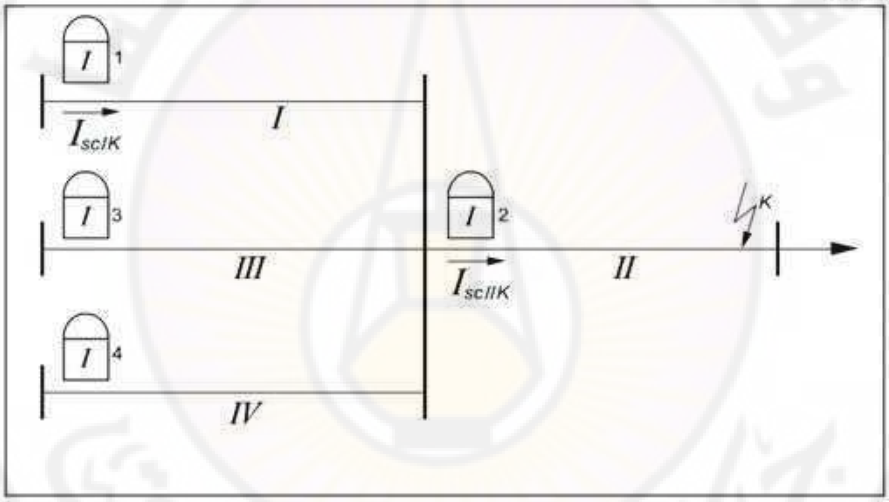
ويؤخذ ثابت الأمان في المجال $K_{sec} = (1.1 - 1.3)$

ويبين الشكل (7-4) أنه في الحالة التي يكون فيها العنصر (I) مربوطاً مع العناصر (III و IV)، وعندما يظهر العطل الكهربائي على العنصر (II)، فإن تيار

إقلاع نظام الحماية 1 يجب أن يكون أكبر من تيار العطل $I_{SC\,IK}$ الذي يمر في العنصر (I) عندما يظهر العطل في النقطة K على العنصر (II)، أي يجب أن يحقق الشرط التالي:

$$I_{ppl} = K_{sec}.I_{selk} = K_{sec}.I_{selK}.\frac{I_{scIIK}}{I_{IscIIK}} = K_{sec}.\frac{I_{scIIK}}{\frac{I_{scIIK}}{I_{scIK}}} \qquad (4\text{-}9)$$

إذ تتمثل النسبة $K_{rep} = \frac{I_{scIIK}}{I_{scIK}}$ بعامل يسمى ثابت توزيع تيار القصر على العناصر الكهربائية.



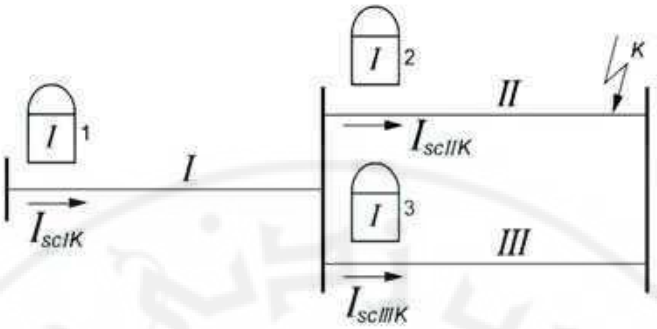
الشكل (4–7) تيار إقلاع نظام الحماية وهو أكبر من تيار العطل $I_{SC\,IK}$

ويمكن الملاحظة من الشكل (4–7) أن عامل توزيع تيار القصر على العنصر (I) في هذه الحالة سيكون $K_{rep} > 1$. ومع الأخذ بالاعتبار أن $I_{scIIK} = I_{pp2}$ ينتج:

$$t_{a1} = t_{a1} + \Delta t \qquad (4\text{-}10)$$

لكن هذا الأمر غير كافٍ ويحتاج إلى تنسيق حمايات زيادة التيار الأعظمي للعنصرين الكهربائيين (I و II) عن طريق اختيار تيارات إقلاع هذه الحمايات بشكل ملائم.

أما في الشكل (4 – 8) وعندما يغذي العنصر الكهربائي (I) العنصرين (II و III) على التفرع فإن عامل توزيع تيارات القصر على العناصر سيكون أصغر من الواحد إذ يمكننا أن نكتب العلاقة التالية (4-11):



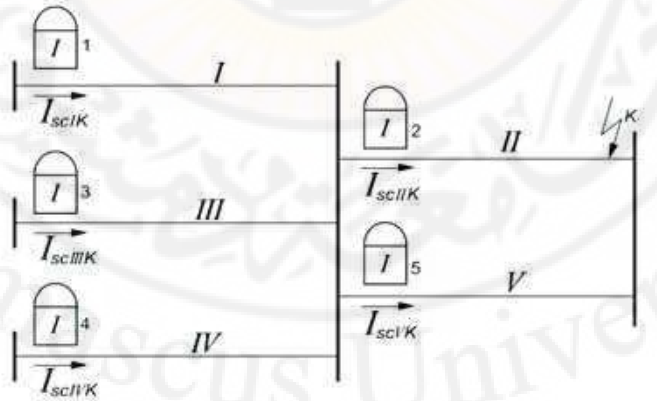
الشكل (4 – 8) عامل توزيع تيارات القصر على العناصر أصغر من الواحد

$$K_{rep} = \frac{I_{scIIK}}{I_{scIK}} \qquad < 1 \qquad \text{11)-(4}$$

أما في الحالة الأعم والمبينة في الشكل (4 – 9) فإن قيمة عامل توزيع تيارات القصر على العناصر الكهربائية يمكن أن تكون أكبر أو أصغر أو تساوي الواحد:

$$K_{rep} = \frac{I_{scIIK}}{I_{scIK}} \quad < > = \ 1 \qquad (4\text{-}12)$$

وتتعلق قيمة عامل التوزيع هذا بعدد العناصر المغذية لقضبان التجميع وعدد العناصر الكهربائية المربوطة على التفرع مع الخط (II) الذي يظهر عليه العطل **K**.



الشكل (4 – 9) عامل توزيع تيارات القصر على العناصر الكهربائية أكبر أو أصغر أو يساوي الواحد

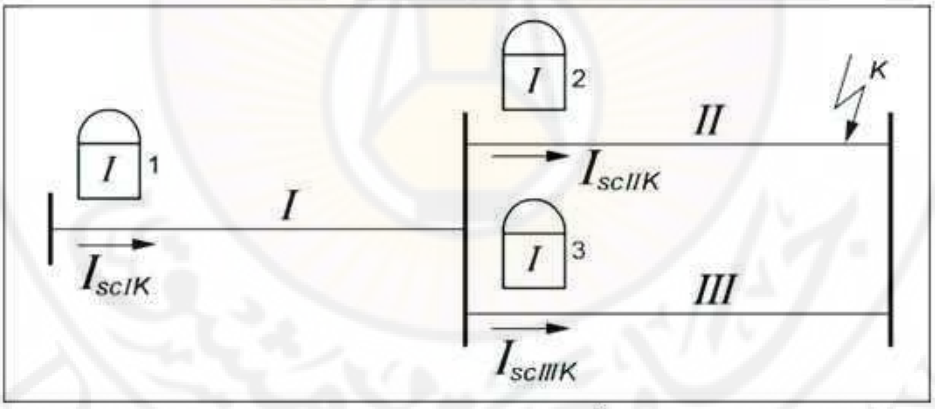
يلاحظ أنه لم تؤخذ تيارات الحمل الكهربائي التي تستمر في المرور في العناصر الكهربائية المختلفة بعد ظهور العطل بالاعتبار في الحالات الأربع السابقة. ولا يؤثر إهمال تيارات الحمل الكهربائي عندما تكون قيمتها صغيرة بالمقارنة مع تيارات القصر المحتملة في الشبكة الكهربائية، أما إذا كانت قيمة تيارات الحمل الكهربائي كبيرة فإنها تؤخذ بالاعتبار كما هو مبين في الشكل (4 – 10)، حيث يتم تنسيق عمل الحماية 1 مع الحماية 3 عندما تستمر تغذية الحمل الكهربائي من قضبان التجميع الأخرى كما هو مبين في العلاقة التالية:

$$I_{pp1} \geq K_{sec}.I_{pp2} + I_{LcscK1} = K_{sec}.I_{pp2} + K_{pc}.I_{Lc}\frac{u_{remAscK1}}{u_{phn}}$$

(4-13)

حيث:

K_{sec} : ثابت أمان **Secur ity Factor** ويؤخذ مساويا 1.1



الشكل (4 – 10) أخذ بالاعتبار تيارات الحمل الكهربائي الكبيرة

I_{LcscK1} : تيار الحمل الكهربائي على القضبان الأخرى في حالة التشغيل النظامية

I_{Lc} : تيار الحمل الكهربائي للعنصر (III) عند ظهور قصر دارة ثلاثي في نقطةأخرى.

K_{pc} : ثابت يأخذ بالاعتبار زيادة تيار الحمل الكهربائي في العناصر (I و II) التي تنتج عن انخفاض سرعة دوران المحركات التحريضية المربوطة إلى قضبان التجميع الأخرى عندما يحدث عطل في نقطة أخرى .

u_{phn} : توتر الطور الاسمي

u :التوتر المتبقي على الطور الواحد على قضبان التجميع

وبطريقة مشابهة يتم تنسيق عمل الحماية (1) مع الحماية (2) وذلك وفق العلاقة التالية:

$$I_{pp1} \geq K_{sec}.I_{pp3} + I_{LBscK1} = K_{sec}.I_{pp3} + K_{pc}.I_{LB}\frac{u_{remAscK2}}{u_{phn}} \qquad (4\text{-}14)$$

ويتم تعيير تيار إقلاع نظام الحماية I_{pp1} على أكبر قيمة تنتج من العلاقتين السابقتين.

4-3-2 تنسيق حساسية حماية زيادة التيار بمرشح المركبة المتناظرة العكسية :

يتم تحديد قيمة تيار إقلاع حماية زيادة التيار الأعظمي المزودة بمرشح للمركبة المتناظرة العكسية للتيار I_{pp8} (الحاكمة 8 مع مرشح المركبة المتناظرة العكسية للتيار **FCSI**) في الشكل (4 – 4) مع الأخذ بالاعتبار الشروط التالية:

أولاً-منع حدوث اضرار في المولد الكهربائي بسبب المركبة المتناظرة العكسية للتيار I_2

وذلك لأن ظهور المركبة المتناظرة العكسية للتيار ذات القيمة الصغيرة والتي لا تؤدي إلى تشغيل نظام الحماية (**FCSI + 8**) وتحتاج إلى حوالي دقيقتين لكي تقوم عناصر المراقبة في محطة التحويل بإزالة هذه الحالة وبذلك فإنه يجب أخذ هذا الزمن بعين الاعتبار عند تعيير هذه الحماية.

ويتم تحديد قيمة المركبة المتناظرة العكسية لتيار إقلاع الحماية الذي يمر عبر المرشح I_{2pp8} بحيث لا يتم تجاوزها خلال فترة دقيقتين، ويتم الحصول على قيمة تيار الإقلاع هذا من العلاقة التقريبية التالية:

$$\frac{I_{2pp8}}{I_n} \leq I_{*2}.\frac{I_2}{I_n} \qquad (4\text{-}15)$$

حيث:

$$I_2 = \sqrt{\frac{I}{t_{ad}}\int_0^t I_{*2t}^2.dt} \quad , \qquad t_{ad} = \frac{A}{I_{*2}^2} \qquad (4\text{-}16)$$

حيث تمثل **A** ثابت يحسب لكل نوع من أنواع المولدات الكهربائية من قبل الشركات المصنعة للمولدات.

ومن تطبيق هذه العلاقات ينتج:

- لأجل المولدات الكهربائية في محطات التوليد المائية حيث تؤخذ **A = 40** تكون قيمة المركبة المتناظرة العكسية لتيار إقلاع الحماية 8 مع المرشح **FCSI** كما يلي:

$$I_{2pp8} \leq 0.6\, I_n \qquad (4\text{-}17)$$

- لأجل المولدات الكهربائية في محطات التوليد الحرارية مع تبريد قسري للمولدة بالهيدروجين حيث تؤخذ **15 - A = 2.5** تكون قيمة المركبة المتناظرة العكسية لتيار إقلاع الحماية 8 مع المرشح **FCSI** كما يلي:

$$I_{2pp8} \leq 0.25\, I_n \qquad (4\text{-}18)$$

- لأجل بقية أنواع المولدات الكهربائية في محطات التوليد الحرارية حيث تؤخذ قيمة الثابتة A = 30

- تكون قيمة المركبة المتناظرة العكسية لتيار إقلاع الحماية 8 مع المرشح **FCSI** كما يلي:

$$I_{2pp8} \leq 0.5\, I_n \qquad (4\text{-}19)$$

ثانياً – منع التحسس بتيار عدم التوازن في خرج مرشح المركبة العكسية للتيار FCSI

يجب أن لا تتحسس الحماية بتيار عدم التوازن الذي ينتج في خرج مرشح المركبة المتناظرة العكسية للتيار **FCSI** عندما يعمل المولد الكهربائي بالحمل الأعظمي، حيث تستخدم العلاقة التالية لتحديد تيار الإقلاع:

$$I_{2pp8} = \frac{K_{\sec}}{K_{rev}} . I_{desp} \qquad (4\text{-}20)$$

حيث:

$K_{\sec} = 1.2$ تؤخذ قيمة ثابتة الأمان في التشغيل مساوية

$K_{rev} = 0.85$ وتؤخذ قيمة ثابتة الرجوع الحاكمة

وتعطى قيمة تيار عدم التوازن في خرج المرشح بالعلاقة:

$$I_{desp} = (\Delta I + K . \frac{\Delta f}{f_n} . + \Delta\varphi) . I_{L\max} \qquad (4\text{-}21)$$

حيث:

ΔI : تمثل تيار عدم التوازن في خرج مرشح المركبة المتناظرة العكسية والناتج عن الخطأ في قياس التيارات بالمحولات التي تغذي المرشح وتساوي قيمتها $\Delta I = 0.1\ \%$

$\Delta\varphi$: تمثل الخطأ النسبي في قيمة خرج مرشح المركبة المتناظرة العكسية للتيار وتساوي قيمتها $\Delta\varphi = 1\ \%$.

Δf تمثل تغيرات التردد المسموحة عن القيمة النظامية وتساوي $\Delta f = (2-3)\ \%$

f_n التردد الاسمي

K ثابتة تتعلق بنوع ومركبات مرشح المركبة المتناظرة العكسية للتيار

I_{Lmx} تيار الحمل الأعظمي المسموح به للمولدة ويساوي $I_{Lmax} = 1.4\ I_n$

ثالثاً – التنسيق مع حمايات العناصر الكهربائية الأخرى

يجب أن تحقق حماية زيادة التيار مع مرشح المركبة المتناظرة العكسية التنسيق مع حمايات العناصر الكهربائية التي تلي العنصر الكهربائي المطلوب حمايته باتجاه المستهلكين بحيث تتحقق العلاقة التالية بالعودة إلى الشكل (4 – 5)

$$I_{2pp8} = K_{\sec} \cdot \frac{I_{2ppII}}{K_{2rep}} \qquad (4\text{-}22)$$

وقد تم عدّ العنصر الكهربائي (I) في هذه العلاقة أنه المولد الكهربائي والعنصر (II) المستهلك وحيث:

K_{2rep} : ثابت توزع التيارات التي تنتج في الدارة الكهربائية العكسية المكافئة للشبكة.

I_{2ppII} : هي أكبر قيمة لتيار إقلاع نظم الحماية بالمركبة العكسية للعناصر الكهربائية المربوطة إلى قضبان التجميع المركب عليها المولد الكهربائي أو قضبان تجميع التوتر العالي للمحول الكهربائي الرافع للتوتر.

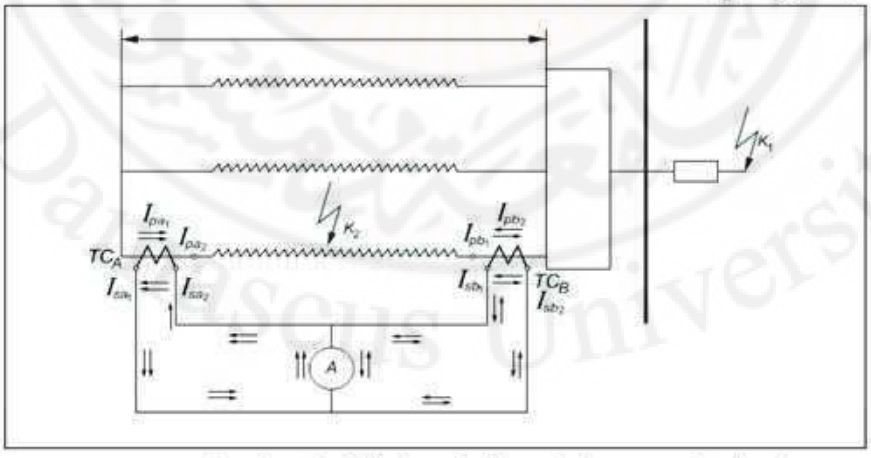
4 – 4 الحماية التفاضلية الطولانية للمولدات

Generators Differential Protection

تعمل الحماية التفاضلية الطولانية لوقاية المولدات من الأعطال التي تحدث داخل الجزء الثابت للمولد بوصفها حماية أساسية، وذلك لأن حماية التيار الأعظمية لا تتوفر لها شروط الانتقائية والسرعة اللازمة لإزالة آثار مثل هذه الأعطال بأسرع زمن ممكن لتخفيف الاضرار الناتجة إلى أقل قدر ممكن. وتحدد الأنظمة العالمية ضرورة استخدام هذه الحماية كحماية رئيسية من تيارات الأعطال التي يمكن أن تظهر في الجزء الثابت من المولدة. [20]

تقع المنطقة التي تراقبها هذه الحماية التفاضلية بين النقطة الحيادية للمولدة الكهربائية والقاطع الآلي عند قضبان التجميع. يتم اختيار محولات التيار بحيث تكون متماثلة تماما وذات مواصفات مثالية لتحقيق هذه الحماية.

يبين الشكل (4 – 11) المخطط الكهربائي الرمزي لهذه الحماية ولطور واحد ومبدأ عمل هذه الحماية، حيث تكون المنطقة المطلوب حمايتها محصورة بين النقطة الحيادية للمولد الكهربائي والقاطع الآلي بإتجاه قضبان التجميع ويلاحظ أن محولات القياس التي تغذي هذه الحماية تربط على جانبي المنطقة المحمية بما فيها النواقل التي تؤمن ربط المولد بالقاطع الآلي.

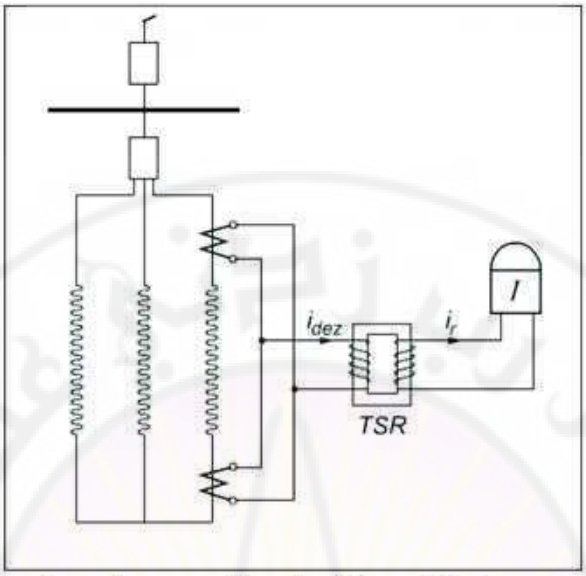


الشكل (4 – 11) الحماية التفاضلية للمولد على طور واحد

يمكن الملاحظة أنه في حالة التشغيل النظامية تكون التيارات الأولية التي تمر في محولات التيار متساوية، وبالتالي تكون التيارات الثانوية التي تمر في الدارة التفاضلية متساوية والتيار الذي يمر في مقياس الأمبير الأمبير مساويا الصفر. وكذلك يكون الأمر عندما يظهر قصر دارة ما خارج المنطقة المحمية في النقطة **K1** مثلاً. أما عندما يظهر القصر في النقطة **K2** داخل المنطقة المحمية فإن التيارات التي ستمر في محولات القياس المربوطة على جانبي المنطقة المحمية، ستكون غير متساوية وبالتالي سيمر في مقياس الأمبير تيار يساوي تفاضل التيارين. يستبدل مقياس الأمبير في أنظمة الحماية التفاضلية بحاكمة تيار أعظمية، والتي تتحسس بالتيار التفاضلي عند ظهور القصر داخل المنطقة المحمية فتعطي الأمر لفصل القاطع الآلي وفصل المولد وإزالة التهييج السريع.

4-4-1 زيادة حساسية الحماية التفاضلية الطولانية للمولدات الكهربائية

يتم تحسين حساسية ووثوقية عمل الحماية التفاضلية الطولانية للمولدات الكهربائية عن طريق إدخال محولة اشباع مغناطيسي سريع TSR أو استعمال حاكمة تيار خاصة ذات ملف فرملة. تركب محولات الاشباع المغناطيسي السريع بين الدارة التفاضلية في نظام الحماية، وحاكمة التيار، ويكون منحني المغنطة للقلب المغناطيسي لهذه المحولة ذا سطح صغير ويصل إلى الاشباع المغناطيسي لأجل قيمة صغيرة لتيار المغنطة وتكون هذه المحولات صغيرة الحجم ورخيصة الثمن، ويمكن الملاحظة في الشكل (4 – 12) أن الملف الأولي لمحولة الاشباع المغناطيسي السريع يتم ربطه على التفرع مع الدارة التفاضلية للحماية بينما يقوم ملفه الثانوي بتغذية ملف التشغيل لحاكمة التيار (I).



الشكل (4 – 12) الملف الأولي لمحولة الاشباع المغناطيسي السريع

يبن الشكل(4– 13) منحني المغنطة للقلب المغناطيسي لمحولة الإشباع المغناطيسي السريع وطريقة عمل هذه المحولة في حالة ظهور عطل خارج المنطقة المحمية.

يمكن الملاحظة أنه سيمر في هذه الحالة في الملف الأولي لمحولة الإشباع المغناطيسي السريع تيار عدم التوازن $\mathbf{I_{des}}$، وبسبب تغيرات التيار بوصفه تابعاً للزمن فإن منحني المغنطة سيمر على الجزء العلوي فقط، والذي يشبه القطع الزائد، من النقطة **M** على الضلع العلوي وحتى النقطة **N** ثم يعود على الضلع السفلي من النقطة **N** إلى النقطة **M**. وينتج عن المرور في نقاط هذا المنحني المغلق تغير في التحريض المغناطيسي يساوي:

$$\Delta B = B_s - B_{rem} \qquad (4\text{-}23)$$

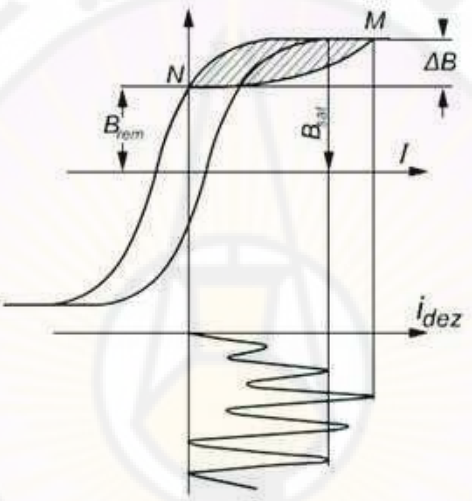
حيث:

B_s : تمثل التحريض المغناطيسي في نقطة الاشباع عندما تكون قيمة التيار أعظمية.

B_{rem} : تمثل التحريض المغناطيسي المتبقي عندما تكون قيمة التيار أصغرية.

ولأن قيمة التغير في التحريض المغناطيسي تكون صغيرة في هذه الحالة فإن القوة المحركة الكهرطيسية **emf** التي تنتج في الملف الثانوي لمحولة الإشباع المغناطيسي

ستكون صغيرة جداً وتكون قيمة التيار الذي سيمر في ملف تشغيل الحاكمة (I) أصغر بكثير من قيمة التيار الذي يمر في الحاكمة في حالة عدم وجود محولة الإشباع المغناطيسي السريع. وبذلك فإن استعمال محولة الإشباع المغناطيسي السريع سوف يسبب تخفيض قيمة تيار عدم التوازن I_{descal} الذي سيمر في حاكمة التيار (I) مما يساعد على تصغير قيمة تيار إقلاع هذه الحاكمة $\mathbf{I_{pr}}$ وبالتالي رفع حساسية الحاكمة والحماية.



الشكل (4 – 13) منحني المغنطة للقلب المغناطيسي لمحولة الإشباع المغناطيسي

يتم تحديد تيار إقلاع نظام الحماية التفاضلية عند إضافة محولة الإشباع المغناطيسي السريع الذي يمر في الملف الأولي لمحولات القياس بالعلاقة:

$$I_{pp} = K_{\sec} . I_{descal.p} \qquad (4\text{-}24)$$

حيث يمثل $I_{descal.p}$ قيمة تيار عدم التوازن الحسابي منسوباً إلى الملف الأولي لمحولة القياس (محولة التيار) الذي يمر فعلياً في الجزء الثابت للمولد الكهربائي المطلوب حمايته. وبما أن الخطأ النسبي f_i لمحولتي القياس المستخدمتين للطور الواحد يساوي:

$$f_i = f_{i1} - f_{i2} \qquad (4\text{-}25)$$

حيث:

f_{i1} : الخطأ في نسبة تحويل محولة القياس الأولى على أحد أطوار الشبكة الكهربائية.

f_{i2} : الخطأ في نسبة تحويل محولة القياس الثانية على ذات الطور للشبكة الكهربائية.

وبذلك سينتج أن قيمة الخطأ النسبي f_i ستكون أصغر من أيٍ من الأخطاء في نسبة تحويل محولات القياس التي لايسمح أن تزيد عن 10% . ويسمح هذا الأمر تعريف ثابتة تستخدم في حساب تيار عدم التوازن الحسابي منسوباً إلى الأولي تسمى ثابتة التعريف التي تؤخذ قيمتها في المجال(0.5-1) . وتؤخذ بالإضافة إلى هذه الثوابت المذكورة أعلاه، ثابتة أخرى $\mathbf{K_{aper}}$ تسمى ثابتة التصحيح للمركبة غير الدورية وتكون مرتبطة بزيادة الخطأ في محولات القياس كونها ناتجة عن ظهور المركبة غير الدورية العابرة في تيارات القصر الخارجية. وبذلك تعطى قيمة تيار عدم التوازن الحسابي منسوبة إلى أولي محولات القياس بالعلاقة التالية:

$$I_{descal.p} = K_{id}.K_{aper}.f_i.I''_{scmax.ex} \qquad (4\text{-}26)$$

$I''_{scmax.ex}$: القيمة الأعظمية للمركبة المباشرة فوق العابرة لتيار القصر الذي ينتج خارج المنطقة التي تؤمن حمايتها الحماية التفاضلية.

K_{aper} : ثابت التصحيح للمركبة غير الدورية لتيار القصر التي تنتج بسبب إدخال محولة الإشباع المغناطيسي السريع في نظام الحماية.

في الحالة التي لا تستعمل فيها محولة إشباع مغناطيسي سريع تؤخذ قيمة هذه الثابتة مساوية $(K_{aper} \geq 2)$. وتؤخذ قيمة الثوابت الأخرى كما يلي:

$$K_{aper} = 1 \quad , \quad f_i = 0.5 - 1 \quad , K_{id} \quad = 0.1\ f_i$$

وبذلك تنتج العلاقة التالية للتيار الأولي لإقلاع نظام الحماية التفاضلية:

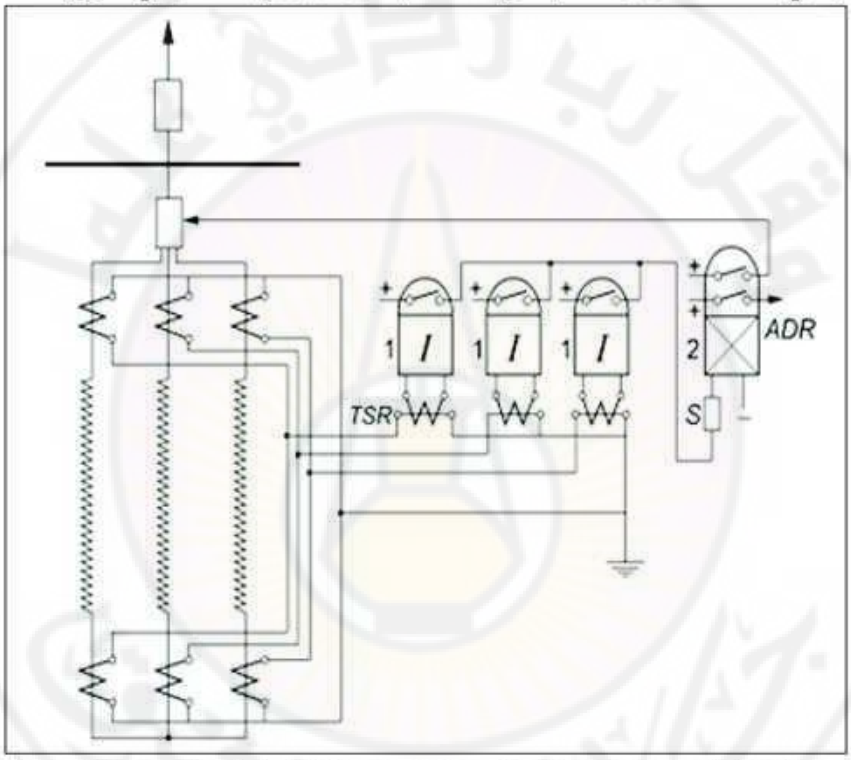
$$I_{pp} = K_{\sec}.I_{descal.p} = K_{\sec}.K_{id}.K_{aper}.f_i.I''_{scmax.ex} \qquad (4\text{-}27)$$

تؤخذ قيمة ثابتة الأمان $K_{\sec} = 1.2 - 1.4$.

يتم تصغير قيمة تيار الإقلاع عن طريق تغيير عدد اللفات في أولي محولة الإشباع المغناطيسي السريع التي تكون مجهزة بعدد ملائم من المرابط متناسب مع عدد اللفات.

4– 5 أنظمة الحماية التفاضلية العملية المستخدمة لحماية المولدات الكهربائية

يبين الشكل (4 – 14) المخطط الكهربائي لنظام الحماية التفاضلية للمولدات الكهربائية المركبة في محطات التوليد المائية مع استخدام محولة إشباع مغناطيسي سريع **TSR**.



الشكل (4 – 14) نظام الحماية التفاضلية للمولدات الكهربائية في محطات التوليد المائية مع استخدام محولة سريعة الإشباع المغناطيسي TSR

يعير تيار اقلاع نظام الحماية في هذه الحالة على القيمة التالية:

$$I_{pp} = (0.5 – 0.6) I_n \qquad (4\text{-}28)$$

حيث:

I_n: التيار الاسمي للمولد

I_{pp}: تيار إقلاع الحماية والذي يمر في أطوار المولدة قبل مكان تركيب محولات القياس.

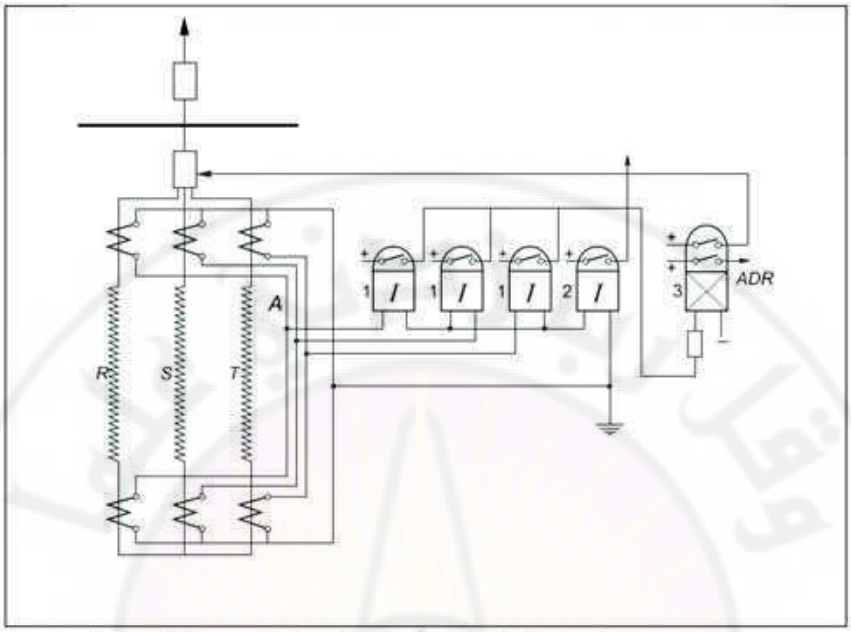
تعمل هذه الحماية عندما يظهر تيار عدم التوازن بين قيم التيارات الثانوية التي تمر في ملفات محولات القياس على أي طور من الأطوار الثلاثة.

يسمح في حالة المولدات الكهربائية المركبة في محطات التوليد الحرارية التي لا تزيد استطاعتها عن 50 MW أن تحدد قيمة تيار إقلاع نظام الحماية بالعلاقة:

$$I_{pp} = (1.3 - 1.4) I_n \qquad (4\text{-}29)$$

ولا تستخدم في هذه الحالة محولات اشباع مغناطيسي سريع لأن قيمة تيار إقلاع نظام الحماية الناتجة تكون كبيرة، ولن يؤدي إستخدام محولة الاشباع المغناطيسي السريع إلى تحسن في حساسية نظام الحماية.

يبين الشكل (15-4) نظام الحماية التفاضلية للمولدات الكهربائية المركبة في محطات التوليد الحرارية والتي تزيد استطاعتها عن 50 MW إذ توجد ستة محولات مربوطة على جانبي المنطقة المحمية توصل معها حاكمات التيار الثلاث (1) التي تؤمن عمل الحماية التفاضلية. أما الحاكمة (3) فهي حاكمة مساعدة تعطي إشارة كهربائية عند تهييج وشيعتها وإغلاق تماسها يؤدي إلى فصل القاطع الآلي للمولد وفصل جهاز إزالة تيار التهييج الآلي السريع **ADR**.



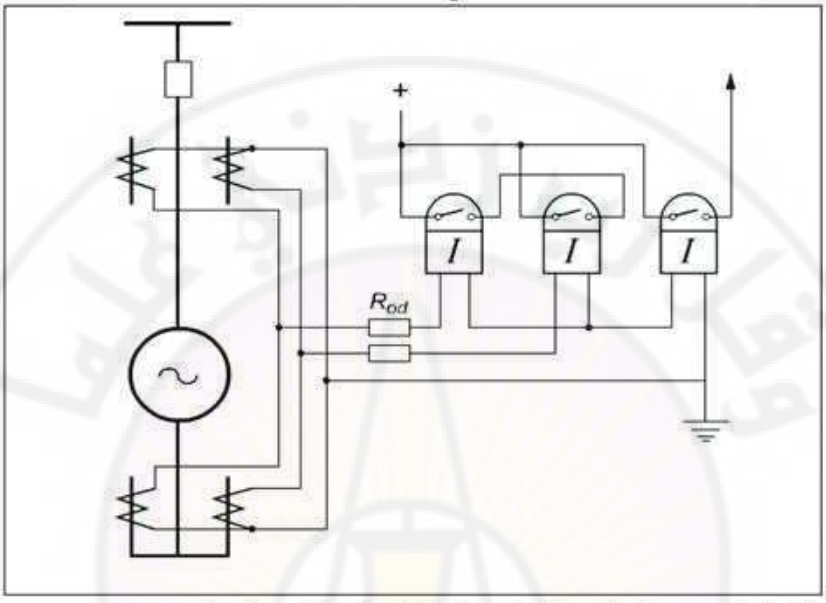
الشكل (15-4) الحماية التفاضلية للمولدات الكهربائية في محطات التوليد الحرارية حتى 50 MW

تعمل هذه الحماية عندما يظهر تيارعدم التوازن بين قيم التيارات الثانوية التي تمر في ملفات محولات القياس على أي طور من الأطوار الثلاثة. وتعد الحاكمة (2) حاكمة تيار خاصة تعطي إشارة تنبيه في حال حدوث أي انقطاع في أي نقطة من نقاط الدارة التفاضلية مثلاً في النقطة A. يجب أن يكون تيار تشغيل الحاكمة (2) في هذا النظام I_{pr2} أكبر من تيار عدم التوازن في الدارات التفاضلية، والذي يظهر في حالة التشغيل النظامية للمولد الكهربائي. ويتم إختيار تيار الإقلاع كما يلي:

$$I_{pr2} = 0.2.\frac{I_n}{n_{TC}} \qquad (4\text{-}30)$$

حيث تمثل n_{TC} نسبة تحويل محولة القياس المستخدمة لتغذية دارة نظام الحماية التفاضلية.

يمكن في حالة المولدات التي لا تتجاوز استطاعتها 10 MW استعمال أنظمة الحماية التفاضلية ثنائية الأطوار كما هو مبين في الشكل (4-16).



الشكل (16-4) الحماية التفاضلية ثنائية الأطوار للمولدات حتى 10 MW

ومن أهم مميزات هذه الأنظمة أنها تستخدم عدداً أقل من محولات القياس الأمر الذي يخفف من تكلفة هذه الأنظمة. لكن هذه الحماية لها سيئة كبيرة وهي عدم تحسسها عند ظهور قصر مع الأرض على الطور الذي لا تركب علية محولات التيار داخل المنطقة المحمية مترافق مع قصر إلى الأرض على أي طور آخر خارج المنطقة المحمية.

يمكن الملاحظة في هذه الدارة أن ملف حاكمة التيار الثالثة والمركبة على ناقل العودة سيمر فيه مجموع التيارين في الناقلين الآخرين وبذلك تنتج دارة التفاضل بين هذين التيارين والتيار الثالث الذي يمر في ناقل العودة.

4 – 6 حماية المولدات الكهربائية التي لا تزيد استطاعتها عن 3 MW من الأعطال الداخلية متعددة الأطوار

تحقق الحماية من الأعطال الثلاثية أو الثنائية مع أو بدون القصر مع الأرض في حالة المولدات الكهربائية التي تعمل على التوازي مع الشبكة الكهربائية أو مع مولدات أخرى

كما هو مبين في الشكل (4 – 17). وتسمى هذه الحماية " حماية تقسيم التيار"، وتستخدم فيها محولتا وحاكمتا تيار. يتم تحديد قيمة تيار الإقلاع عن طريق تيار القصر الأعظمي الذي يظهر على أقطاب المولد، وتحدد قيمة تيار إقلاع هذه الحماية بالعلاقة التالية:

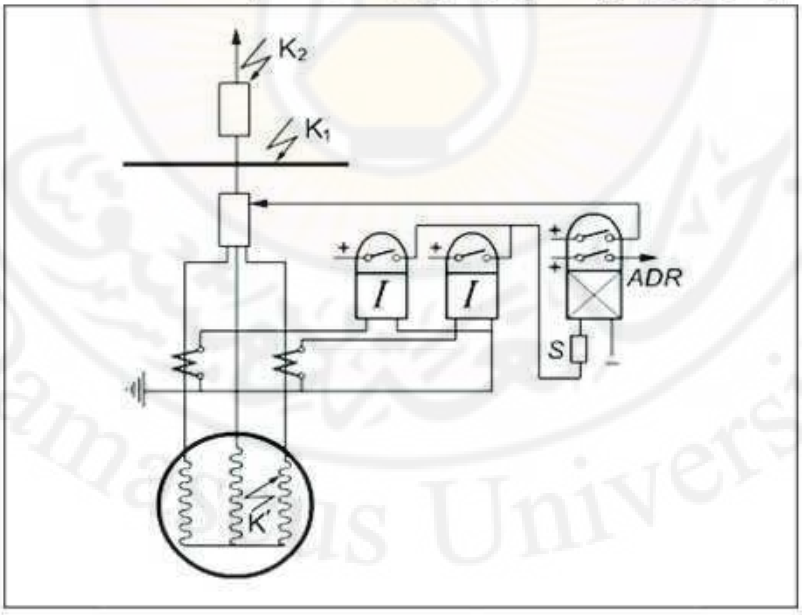
$$I_{pp} = K_{sec} \cdot I''_{sc\ max} \qquad (4\text{-}31)$$

حيث:

K_{sec} : ثابت الأمان وتؤخذ قيمته $K_{sec} = 1.3 - 1.4$

$I''_{sc\ max}$: القيمة الأعظمية فوق العابرة لمركبة تيار القصر الدورية من أجل عطل ثلاثي أو ثنائي مع الربط مع الأرض في النقطة K_1 أو في النقطة K_2 أو بدونه.

يمكن الملاحظة أن الحماية لن تعمل في حالة ظهور العطل خارج المنطقة المحمية. أما في حالة ظهور عطل داخل المنطقة المحمية، في النقطة 'K مثلاً فإن التيار الذي يمر في محولات التيار يتم حقنه في نقطة العطل عن طريق الشبكة الكهربائية، والذي يكون أكبر بكثير من تيار إقلاع الحماية وهذا يسبب عمل الحماية.



الشكل (4 – 17) حماية تقسيم التيار

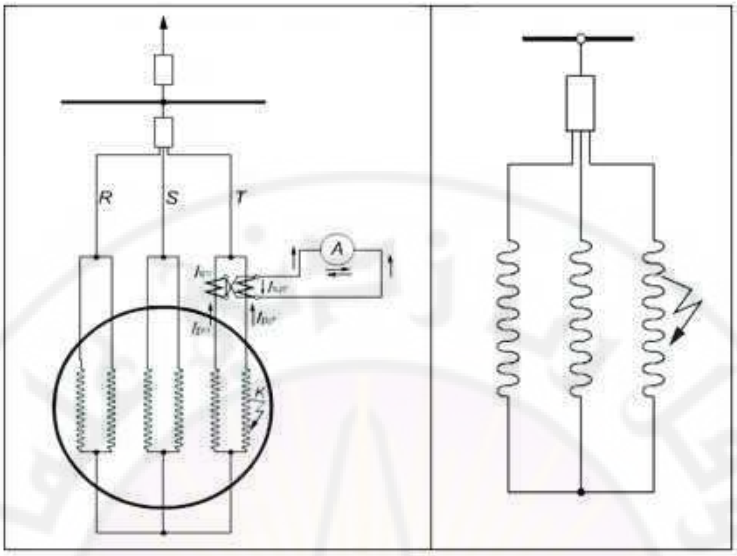
4 – 7 حماية المولدات الكهربائية من الأعطال بين لفات وشيعة الطور الواحد "الحماية التفاضلية العرضية"

Transversal Differential Protection

تستعمل الحماية التفاضلية العرضية عند ظهور قصر دارة بين لفات الوشيعة الواحدة. لأن الحماية التفاضلية الطولية لا تعمل في هذه الحالة إذ تبقى قيمة التيار على جانبي المنطقة المحمية بالحماية التفاضلية الطولية متساوية، وبالتالي لا تتحسس العطل، بينما تتحسس الحماية التفاضلية العرضية ذلك. ولكي يمكن استخدام هذه الحماية فلا بد من أن يكون المولد مزوداً بوشيعتن مربوطتين على التوازي لكل طور من الأطوار الثلاثة. وتشدد الهيئة الدولية للكهرباء **IEC** على ضرورة استخدام هذا النوع من الحماية الكهربائية في المولدات التي تساوي استطاعتها الاسمية 50 MW ومافوق.[20]

4– 7 –1 الحماية التفاضلية للمولدات المزودة بستة ملفات على الأطوار

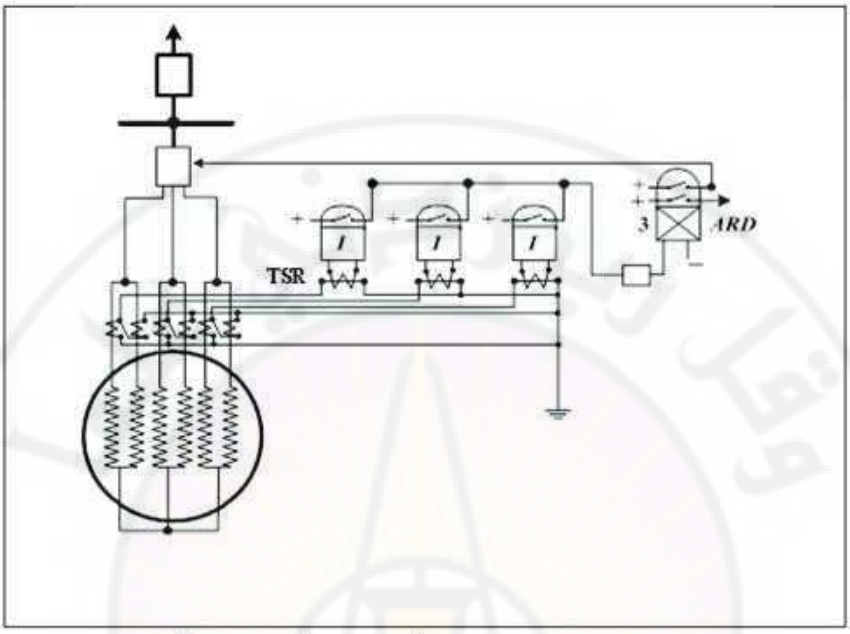
تعتمد حماية المولدات ضد الأعطال بين لفات الوشيعة الواحدة على المبدأ المبين في المخطط الكهربائي الموضح في الشكل (4 – 18)، حيث بينت التجربة والخبرة العملية أن أفضل طريقة للوصول إلى حماية المولدات من الأعطال التي تظهر بين لفات وشيعة الطور الواحد هي تقسيم كل وشيعة طور من الأطوار إلى ملفين مربوطين على التفرع وتطبيق الحماية التفاضلية العرضانية.



الشكل (4 – 18) حماية المولدات ضد الأعطال بين لفات الوشيعة الواحدة

ويعتمد مبدأ هذه الحماية على تركيب محولتي تيار على كل طور من أطوار المولدة بشكل تفاضلي بحيث يمر التيار التفاضلي في مقياس الأمبير عندما يظهر قصر دارة بين لفات أحد ملفات الطور الواحد. أما في حالة التشغيل النظامية فستكون قيمة التيار مساوية الصفر ولن يمر أي تيار تفاضلي في مقياس الأمبير.

ويبين الشكل (4 – 19) نظام الحماية التفاضلية العرضانية للمولدات الكهربائية المركبة في محطات التوليد الحرارية، والتي تزيد استطاعتها عن50 MW إذ تربط كل ثلاث من الوشائع الست لأطوار المولد مع بعضها إلى حيادي واحد بحيث يتم الحصول على نقطتين حياديتين تربطان مع بعضها بعد ذلك، ويركب على الناقل الذي يربط بين النقطتين الحياديتين، محولة التيار **TSR** التي تغذي حاكمة التيار (I). يبقى فرق الكمون بين نقطتي الحيادي في حالة التشغيل النظامية مساويا الصفر، ولا يمر أي تيار عبر محولة التيار. أما في حال ظهور قصر دارة بين لفات وشائع الطور الواحد فإن قيمة المجموع الشعاعي للتيارات التي تمر عبر مجموعتي الوشائع الست تصبح غير متساوية ويمر عبر محولة القياس تيار يساوي الفرق بين تيارات وشيعتي الطور الواحد ما يسبب اقلاع الحاكمة.

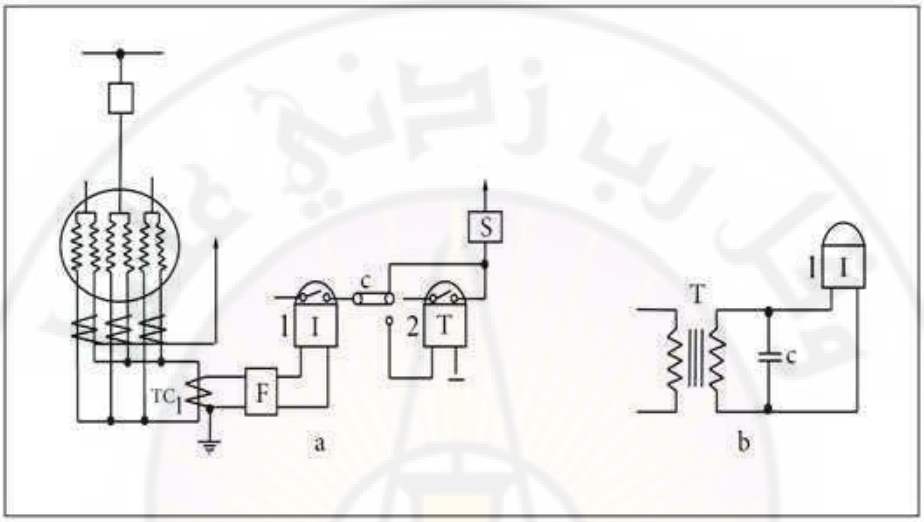


الشكل (4 – 19) نظام الحماية التفاضلية العرضانية للمولدات الكهربائية في محطات التوليد الحرارية اكبر من 50 MW

4 – 7–2 الحماية التفاضلية العرضية للمولدات باستخدام محولة قياس

هناك طريقة أخرى لتحقيق الحماية من تيارات القصر التي يمكن أن تحدث بين لفات الوشيعة الواحدة لأحد أطوار المولدة، والتي تعتمد على استعمال محولة تيار وحاكمة تيار واحدة ما يؤدي إلى تخفيض كبير في التجهزات اللازمة لتحقيق الحماية وبالتالي إلى تخفيض كبير في التكاليف. وتفضل هذه الطريقة في حالة المولدات الدكهربائية التي تكون ملفات أطوارها مربوطة بشكل نجمي كما هو مبين في الشكل (4 – 20). تربط كل ثلاثة أنصاف من الوشائع مع بعضها بشكل نجمة مما يؤدي إلى ظهور نقطتين نجميتين تربطان مع بعضهما، وتركب محولة التيار **TC1** على الخط الذي يصل نقطتي النجمة مع بعضهما، وتقوم هذه المحولة بتغذية الحاكمة 1 عن طريق المرشحة **F**.

يمكن الملاحظة أنه في حالة ظهور قصر دارة خارج المولد أو في حالة التشغيل النظامية له يكون الكمون في نقطتي النجمة متساوياً، وبذلك لن يمر أي تيار في محولة القياس ولن تتحسس حاكمة التيار ولن تعمل



الشكل (4 – 20) الحماية التفاضلية العرضية للمولدات باستخدام محولة قياس

أما في الحالة التي يظهر فيها قصر دارة بين لفات أنصاف الوشيعة على أي طور من أطوار المولد فسوف ينتج تيار تفاضلي لا يساوي الصفر يمر في محولة التيار ويسبب تشغيل حاكمة التيار.

يستخدم المرشح **F** لمنع التوافقية الثالثة أو التوافقيات من مضاعفاتها من إعطاء أوامر تشغيل خاطئة لحاكمة التيار، والتي يمكن أن تنتج في حالة التشغيل النظامية للمولد بسبب تشوه منحني موجة التيار الكهربائي الذي يعطيه المولد.

ويبين الشكل أيضاً المخطط الكهربائي المبسط لمرشح التوافقية الأساسية **F** والتي تنفذ بإستخدام المحولة **T** والمكثف الكهربائي **C** الذي يربط على التفرع مع ملف التشغيل لحاكمة التيار **I**. وكما هو معروف تتناقص ممانعة المكثف الكهربائي بشكل كبير مع إزدياد التردد، وتزداد ممانعة ملف تشغيل حاكمة التيار مع إزدياد التردد، مما يسبب إنخفاض قيمة تيار عدم التوازن الذي يمر في ملف حاكمة التيار والذي ينتج عن التوافقية الثالثة أو عن مضاعفاتها. ويمكن بسبب تخفيض القيمة الأعظمية لتيار عدم

التوازن أن يتم تخفيض قيمة تيار تشغيل حاكمة التيار بشكل متناسب، الأمر الذي يؤدي إلى زيادة حساسية نظام الحماية هذا.

ولأن حساب تيار عدم التوازن نظرياً يكون معقداً جداً فإنه يتم تحديد هذا التيار باستخدام العلاقة التقريبية التالية المحددة عن طريق الخبرة العملية:

$$I_{pp} = (0.2 - 0.3) I_n \qquad (4\text{-}32)$$

حيث يمثل I_n التيار النظامي للمولدة المطلوب حمايتها.

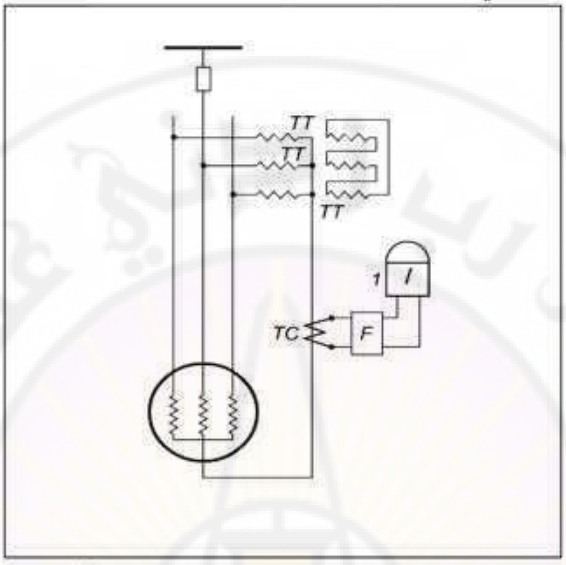
يلاحظ في الشكل أنه يمكن ادخال الحاكمة الزمنية 2 في دارة الحماية عن طريق مبدلة الوضعيات **C**. ولا تستخدم هذه الحاكمة التي تعير على زمن بين sec (0.5-1) ، إلا إذا تمت الإشارة إلى ظهور عطل أول مع الأرض في ملف تهييج المولد الكهربائي، الأمر الذي يمنع التشغيل الخاطئ لحاكمة التيار. إن ظهور العطل مع الأرض في ملف تهييج المولد يسبب توليد قوة محركة مغناطيسية غير متناظرة على جزئي أنصاف وشائع الطور الواحد في ثابت المولدة ما يؤدي إلى توليد توترات كهربائية تحريضية مختلفة على أجزاء الوشائع وبالتالي توليد تيار عدم توازن يسبب إقلاع حاكمة التيار بشكل خاطئ.

4 – 7 – 3 الحماية التفاضلية العرضانية للمولدات ذات الملف الواحد للطور

تتم حماية المولدات ذات الاستطاعة الصغيرة من تيارات القصر التي تنتج عن قصر دارة لفات وشيعة الطور الواحد بإستخدام طريقة تختلف عن الحماية التفاضلية، تعتمد هذه الطريقة على تشكيل نقطة حيادية اصطناعية بواسطة الملفات الأولية لمحولات التوتر **TT** التي تكون مربوطة بشكل نجمي كما هو مبين في الشكل (4 – 21).

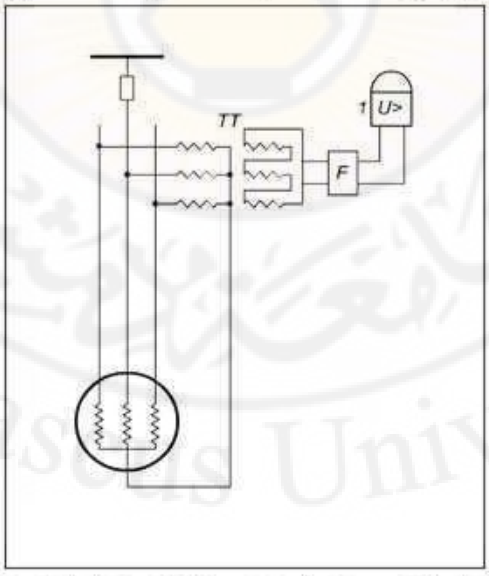
إذ ينشأ عند ظهور قصر دارة بين لفات وشيعة الطور الواحد للمولد عدم تناظر في القوى المحركة الكهربائية في أطوار المولد الثلاثة ما يسبب انزياح النقطة الحيادية في المخطط الشعاعي لتوترات أطوار المولدة نسبةً إلى النقطة الحيادية الاصطناعية المشكلة على أولي محولات التوتر. فإذا تم ربط النقطتين الحياديتين بسلك واحد فإنه سوف يمر في هذا السلك عند ظهور قصر دارة ما بين لفات وشيعة طور ما من الأطوار تيار سببه فرق الكمون الذي ينشأ في هذه الحالة بين النقطتين الحياديتين ويسبب هذا التيار عند ظهوره ومروره في ملف تشغيل حاكمة التيار (1) إقلاع هذه الحاكمة. يستخدم المرشح **F**

في الدارة للتخلص من الآثار غير المرغوبة للتوافقية الثالثة ومضاعفاتها كما هو في الدارة الكهربائية المبينة في الشكل (4 – 20).



الشكل (4 – 21) تشكيل نقطة حيادية اصطناعية بواسطة أولي محولات التوتر TT

ويبن الشكل (4 – 22) دارة معدلة للحماية التفاضلية تعتمد على ربط الملفات الثانوية

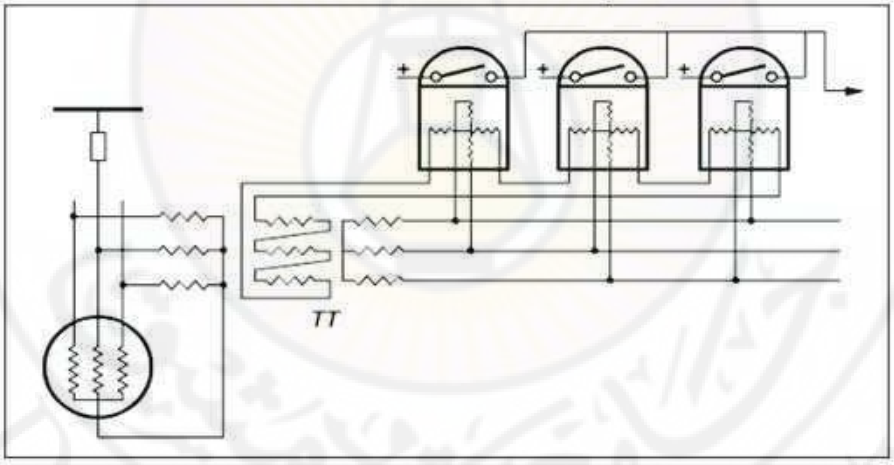


الشكل (4 – 22) دارة معدلة للحماية التفاضلية

لمحولات التوتر على شكل مثلث مفتوح مما يؤدي إلى تطبيق توتر يتناسب مع المركبة الصفرية للتوترات الأولية U_0 على مدخل المرشح F:

$$U_a + U_b + U_c = 3U_0 \qquad (4\text{-}33)$$

وفي حالة ظهور قصر دارة بين لفات وشيعة أي من الأطوار يظهر انزياح في كمون النقطة الحيادية، وتتولد المركبة الصفرية للتوتر ما يسبب تشغيل حاكمة التوتر 1. وتستعمل في الشكل (4 – 23) دارة مختلفة لنظام الحماية من تيارات القصر بين لفات الوشيعة الواحدة لأحد أطوار المولدة تعتمد على نفس المبدأ المبين الشكل (4 – 22)، وتستخدم فيها الحاكمات الاتجاهية. وتتم تغذية إحدى وشائع الحاكمات الاتجاهية من ثانوي محولات التوتر TT المربوطة على شكل مثلث مفتوح، وتتم تغذية الملفات الثانية للحاكمات، ويزيد استعمال ثلاثة حاكمات اتجاهية من وثوقية نظام الحماية بغض النظر عن الملف والطور الذي يحدث عليه القصر.



الشكل (4 – 23) الحماية من تيارات القصر بين لفات الوشيعة الواحدة لطور

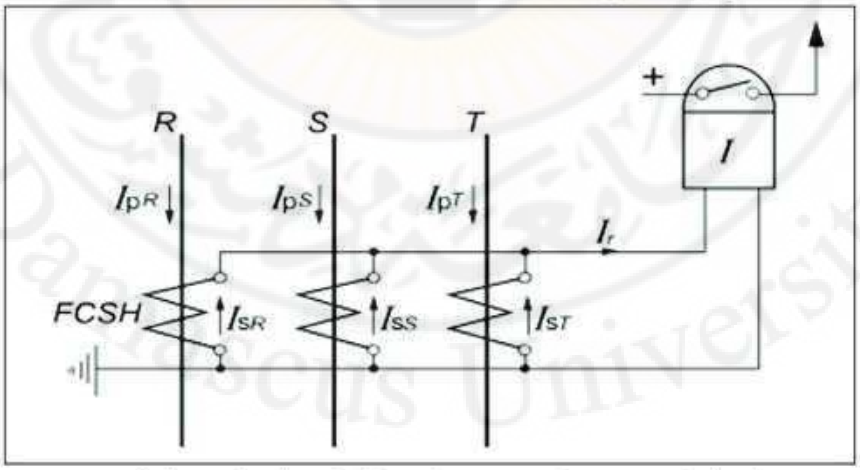
4 – 8 حماية المولدات من الأعطال الأحادية في الجزء الثابت

يعد قصر الدارة الأحادي مع الأرض في الجزء الثابت للمولد العطل الأكثر انتشاراً في المولدات الكهربائية. ويصبح هذا التيار خطراً عندما تتجاوز قيمته (5A) وذلك بسبب ظهور القوس الكهربائي واتلاف الحديد ما يستدعي إجراء صيانة صعبة ومكلفة لذلك

تستخدم هذه الحماية من أجل حالة أعطال المولد عند تيارات أكبر من (5A)، وبما أن الحماية تعمل عند تيارات عطل صغيرة فإنها يجب أن تكون ذات حساسية عالية.

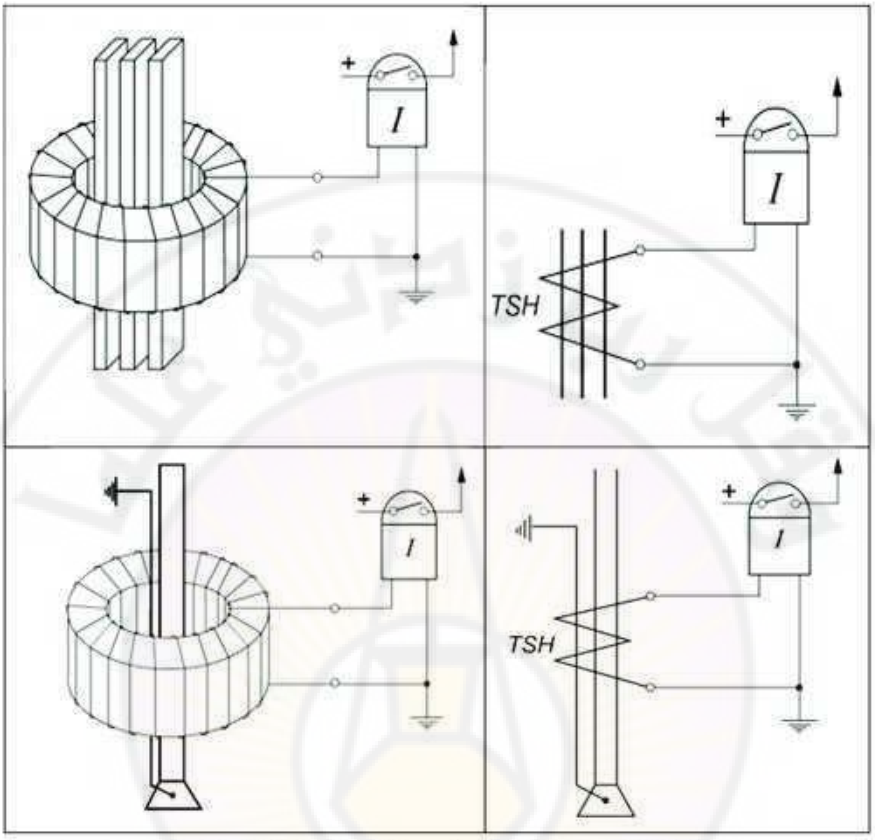
يتم تحقيق أنظمة الحماية من الأعطال الأحادية مع الأرض في الجزء الثابت للمولدات باستخدام مرشحات المركبة الصفرية لتيار القصر وذلك لأن قصر الدارة الأحادي مع الأرض يترافق دائماً مع ظهور المركبة الصفرية للتيار. وتستعمل حالياً طريقتان مختلفتان للحصول على المركبة الصفرية لغرض حماية المولدات الكهربائية من تيارات قصر الأحادي مع الأرض في الجزء الثابت تعتمد الأولى على مرشحات المركبة الصفرية للتيار **FCSH**، وتعتمد الثانية على إستخدام محولات المركبة الصفرية للتيار **TSH** .

يتم تحقيق مرشحات المركبة المتناظرة الصفرية للتيار باستخدام ثلاثة محولات تيار متماثلة تربط ملفاتها الثانوية على التفرع كما هو مبين في الشكل (4 – 24). يلاحظ في هذا الشكل أن التيار الذي سيمر في ملف حاكمة التيار سيكون مساويا المجموع الشعاعي للتيارات الثانوية للمحولات وسيكون متناسباً مع قيمة المركبة الصفرية للتيار. يمر في حالة التشغيل النظامية في ملف تشغيل حاكمة التيار، تيار عدم التوازن I_r، والذي ينتج عن عدم تطابق مواصفات محولات التيار بشكل كامل، ويتم تعيير الحاكمة بحيث لا تتحسس لهذا التيار.



الشكل (4 – 24) مرشحات المركبة المتناظرة الصفرية للتيار

ويتم تصنيع محولات المركبة الصفرية للتيار من قلب مغناطيسي تلف عليه الوشيعة الثانوية بشكل متناظر ومتجانس تماما، وتمرر ضمنه نواقل الأطوار الثلاثة التي تشكل أولي المحولة، وتربط أقطاب الملف الثانوي إلى حاكمة التيار كما هو مبين في الشكل (4 – 25) تتولد في حالة التشغيل النظامية في القلب المغناطيسي ثلاثة فيوض متناظرة ومتساوية، وتكون محصلتها مساوية تقريباً الصفر، وتكون هذه الفيوض الناتجة عن التيارات التي تمر في أطوار المولدة الثلاثة متساويةً، ويكون مجموعها الشعاعي مساويا الصفر، ولن تتحرض بذلك أية قوة محركة كهربائية في الملف الثانوي ولن يمر أي تيار في وشيعة حاكمة التيار **I**. أما في حالة ظهور قصر دارة مع الأرض في الجزء الثابت للمولد فإن المركبة الصفرية للتيار سوف تظهر ولن يكون المجموع الشعاعي لتيارات الأطوار مساويا للصفر وكذلك المجموع الشعاعي للفيوض التي تتحرض في القلب المغناطيسي لن يكون مساويا للصفر، وستتولد في الملف الثانوي للمحولة قوة محركة كهربائية لا تساوي للصفر وتتناسب مع المركبة الصفرية للتيار, وتسبب هذه القوة المحركة الكهربائية توليد تيار يمر في وشيعة حاكمة التيار يؤدي إلى تشغيلها, لكن يلاحظ في التطبيقات العملية أن الفيوض التي تتولد في القلب الفولاذي الناتجة عن تيارات الأطوار لا تكون متناظرة تماما ويكون مجموعها الشعاعي في حالة التشغيل النظامية لا يساوي الصفر وهذا يسبب توليد تيار عدم توازن يمر في وشيعة حاكمة التيار، ويتم تعيير الحاكمة بحيث لا تتحسس لهذا التيار.

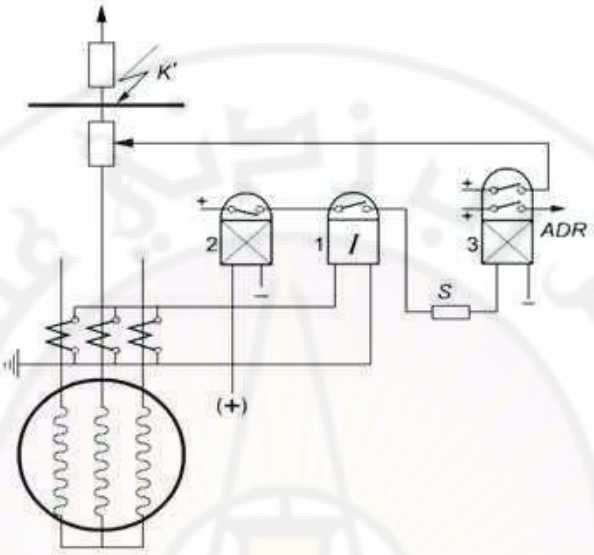


الشكل(4 – 25) بنية محولات المركبة الصفرية

4 – 8 – 1 استخدام مرشحات المركبة الصفرية للتيار لحماية المولدات من الأعطال الأحادية في الجزء الثابت

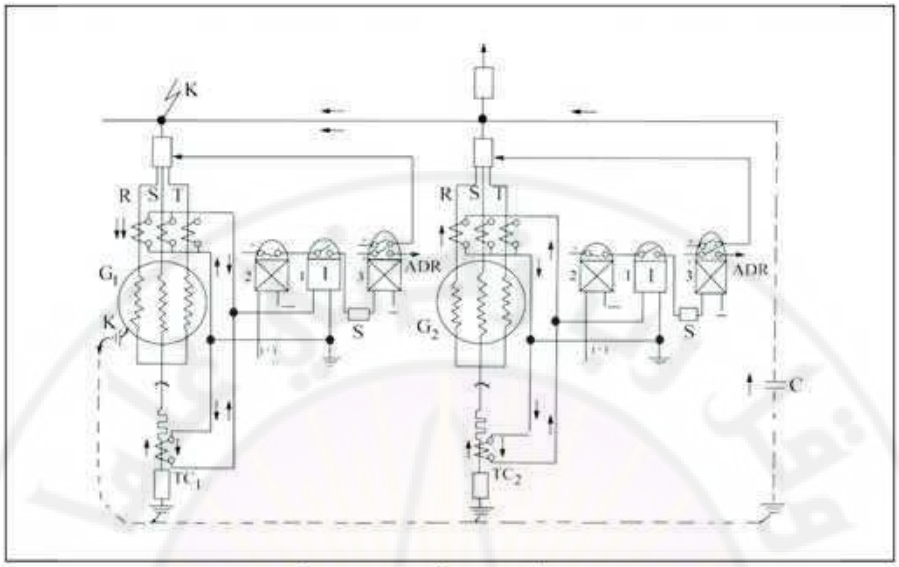
يبين الشكل (4 – 26) الدارة الكهربائية لنظام حماية المولدات الكهربائية من الأعطال الأحادية التي تظهر في الجزء الثابت بلستخدام مرشحات المركبة الصفرية للتيار **FCSH** في حالة مولد كهربائي ذات نقطة حيادية معزولة. تتم تغذية الحاكمة المساعدة 2 بالتوتر المستمر عن طريق تماسات حاكمات التيار في نظام حماية المولد من زيادة التيارات التي تنتج عن الأعطال الخارجية أو عن زيادة الحمولة المبينة في الشكل المذكور سابقاً (4 – 2) وذلك لرفع حساسية هذه الحماية وانتقائيتها، وعندما تكون المولدة الكهربائية ذات نقطة حيادية غير معزولة ومربوطة إلى الأرض عن طريق وشيعة إخماد، أو عن

طريق مقاومة تأريض فإن نظام الحماية من الأعطال الأحادية مع الأرض في الجزء الثابت للمولدة يصبح له المخطط المبين في الشكل (4 – 27).



الشكل (4 – 26) نظام حماية المولدات الكهربائية من الأعطال الأحادية في الجزء الثابت

يمكن الملاحظة في هذا الشكل أنه بالإضافة إلى استخدام مرشح المركبة المتناظرة الصفرية يتم استخدام محولة تيار إضافية **TC** تربط إلى ناقل ربط النقطة الحيادية إلى الأرض. تشكل هذه المحولة مع مرشح المركبة المتناظرة الصفرية دارة تفاضلية تطبق بشكل تفرعي على حاكمة التيار I. تؤمن هذه الدارة التفاضلية الانتقائية المطلوبة لنظام الحماية هذا.

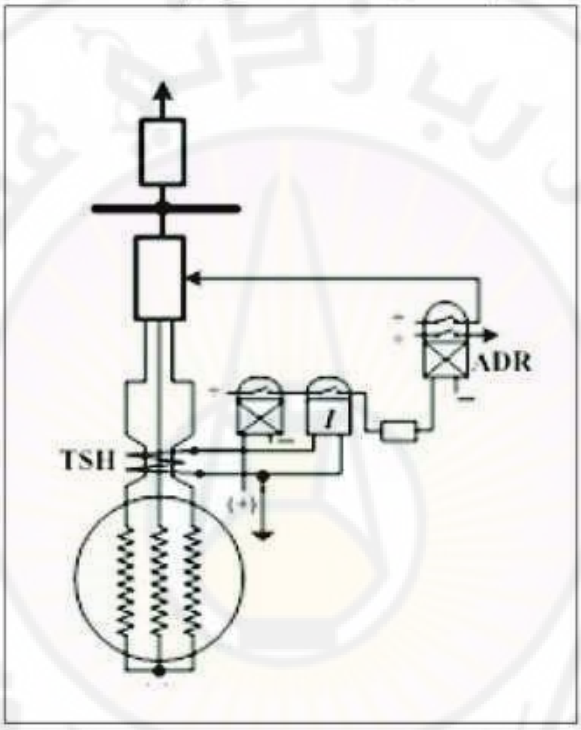


الشكل (4 – 27) الحماية من الأعطال الأحادية مع الأرض في الجزء الثابت للمولد عندما تكون نقطته النجمية مؤرضة

فعندما يحدث قصر دارة في النقطة K خارج المولدة مثلاً فإن التيار الذي سيمر في الدارة التفاضلية المشكلة من مرشح المركبة الصفرية للتيار ومن محولة التيار الاضافية TC سيكون نظرياً مساويا الصفر، وبالتالي لن تعمل الحاكمة I. أما إذا حدث القصر مع الأرض في النقطة K داخل المولدة وعلى أحد ملفات الجزء الثابت فإن تيار القصر الأرضي سوف يمر في كافة دارات تأريض المولدات المربوطة على التفرع مع المولد المصاب بالقصر، وفي دارة تأريض المولد المصاب وكذلك عبر المكثف المكافئ للدارة نسبة للأرض C. يمكن الملاحظة أن تيار العطل الذي يظهر في المولد المعطل سيمر باتجاهين متعاكسين في محولة المركبة الصفرية للتيار وفي المحولة الاضافية TC في الدارة التفاضلية ما يسبب زيادة القيمة المحصلة للتيار في ثانوي كل منهما وبالتالي زيادة التيار الذي سيمر في الحاكمة I، وبهذا فإن الحماية ستعمل لفصل التغذية عن نقطة العطل.

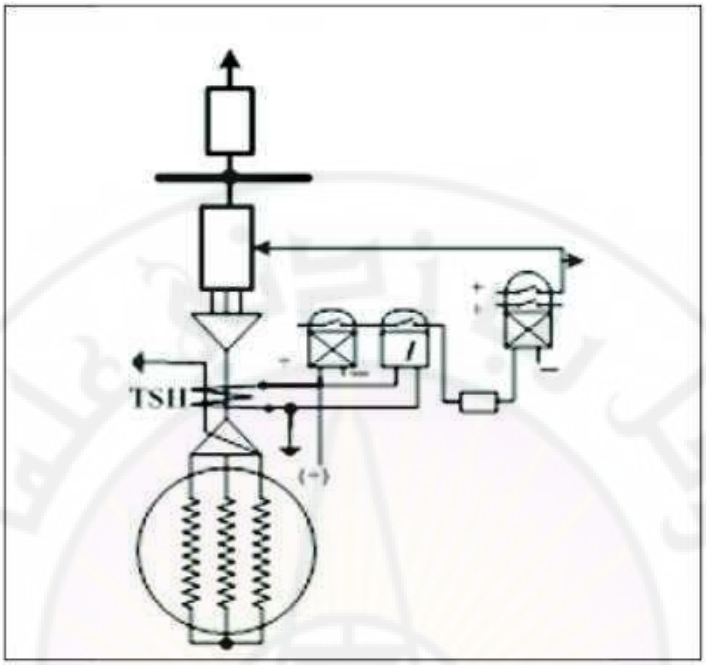
4-8-2 إستخدام محولات المركبة الصفرية لحماية المولدات من الأعطال الأحادية في الجزء الثابت

يبين الشكل (4 – 28) المخطط الكهربائي لهذه الحماية في حالة المولدات التي تعمل بنقطة حيادية معزولة ومربوطة إلى قضبان التجميع في المحطة.



الشكل (4– 28) حماية المولدات من الأعطال الأحادية في الجزء الثابت

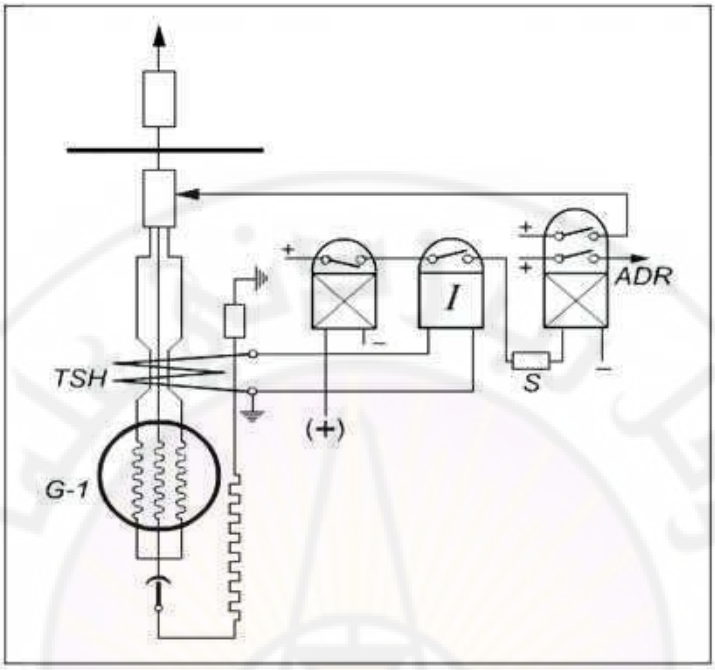
تتغذى حاكمة التيار I من محولة المركبة الصفرية للتيار **TSH**، وتمثل هذه المحولة مرشحاً للمركبة الصفرية للتيار. الحاكمة (S) عبارة عن حاكمة إشارة تعطي ضوءاً كهربائياً لتنبيه عناصر المراقبة في محطة التحويل الكهربائية.



الشكل (4 – 29) حماية المولدات التي تعمل بنقطة حيادية معزولة

يمثل الشكل (4 – 29) دارة حماية المولدات التي تعمل بنقطة حيادية معزولة وتكون مربوطة إلى قضبان التجميع بواسطة كابل كهربائي معزول. تربط علبة النهاية للكابل الكهربائي إلى الأرضي العام بواسطة ناقل يمر عبر دارة محولة المركبة الصفرية للتيار .

يمثل الشكل (4 – 30) دارة حماية المولدات التي تعمل بنقطة حيادية مربوطة إلى الأرض بواسطة وشيعة إخماد أومية. يمرر الناقل الحيادي عبر محولة المركبة الصفرية للتيار بحيث يمر تيار العطل الأحادي الواقع خارج المولد المراد حمايته مرتين وبشكل متعاكس عبر لفات محولة المركبة الصفرية للتيار، وبذلك لن يؤدي هذا التيار إلى إقلاع الحماية.

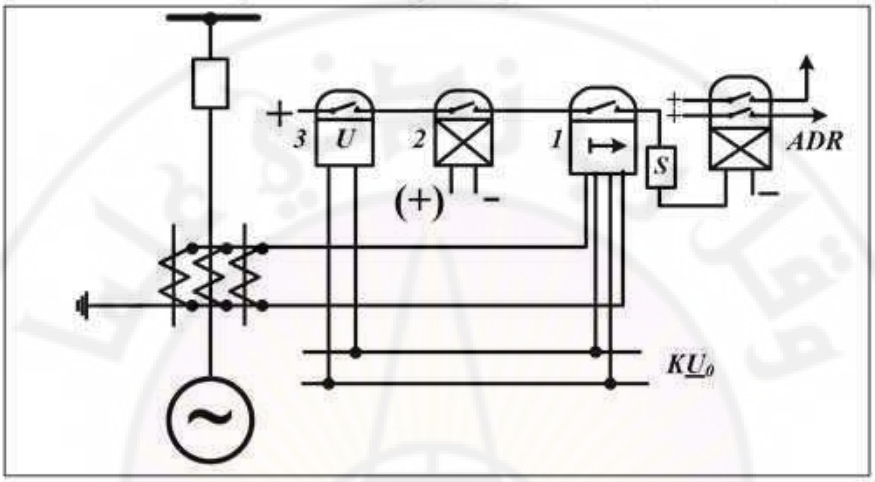


الشكل (4 – 30) حماية المولدات ذات نقطة حيادية مؤرضة عن طريق وشيعة إخماد أومية

4 – 8 – 3 استخدام الحاكمات الاتجاهية لحماية المولدات من الأعطال الأحادية في الجزء الثابت :

تمكن حماية المولدات الكهربائية من تيارات قصر الدارة الأحادية مع الأرض التي تظهر في الجزء الثابت باستخدام الحاكمات الاتجاهية كما هو مبين في الشكل (4 – 31). فكما هو معروف يتغير اتجاه عزم الدوران في الحاكمة الاتجاهية عندما تتغير زاوية فرق الصفحة بين التوتر والتيار المطبق على الحاكمة، وهذا ما يحدث عندما يظهر العطل الكهربائي في نقطة تقع داخل المولد. وسوف تعمل الحاكمة الاتجاهية عندما تكون نقطة القصر مع الأرض واقعة داخل المولدة، ولن تعمل الحاكمة عندما تكون نقطة القصر مع الأرض خارج المولد. يلاحظ أن هذه الحماية تنفذ باستخدام مرشح المركبة الصفرية للتيار **FCSH** الذي يغذي ملف التيار للحاكمة الاتجاهية 1. بينما تتم تغذية ملف التوتر للحاكمة الاتجاهية عن طريق الملف الثانوي لمحولة توتر مربوط على شكل

مثلث مفتوح ما يشكل مرشح للمركبة الصفرية للتوتر. وينتج عند استخدام الحاكمات الاتجاهية في هذه الحالة تحسين كبير لحساسية الحماية لأن الاستطاعة اللازمة لتشغيل الحاكمة سيتم تأمين قسم منها عن طريق مرشح المركبة الصفرية للتيار



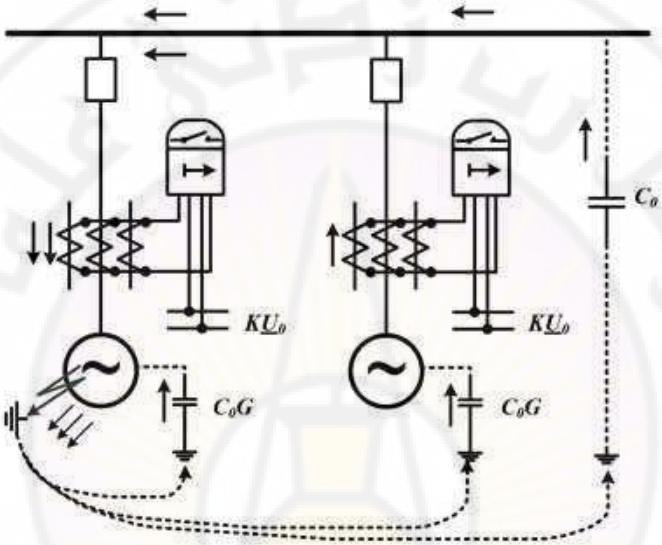
الشكل (4 – 31) الحماية من تيارات قصر الدارة الأحادية مع الأرض

والقسم الآخر عن طريق محولة التوتر المستخدمة مرشح مركبة صفرية للتوتر. وتستخدم كذلك في هذه الدارة الحاكمة المساعدة 2 التي تشكل حاكمة إقفال يتم تشغيلها عن طريق نظام حماية زيادة التيار للمولدة. وتستعمل في هذه الدارة الحاكمة 3 التي تشكل عنصر إقلاع لمنع التشغيل الخاطئ للحاكمة الاتجاهية 1، وتتم تغذية هذه الحاكمة من الملف الثانوي لمحولة توتر مربوط على شكل مثلث مفتوح ما يشكل مرشح للمركبة الصفرية للتوتر KU_0، ولا تغلق هذه الحاكمة تماساتها إلا إذا حدث قصر مع الأرض. [20]

يمكن توضيح انتقائية الحماية الإتجاهية هذه، إذا أخذنا بعين الاعتبار حالة تشغيل المولدة على التفرع مع مولدات أخرى كما هو مبين في الشكل (4 – 32)، وظهور قصر دارة مع الأرض في أحد المولدات حيث ستمر في عناصر الشبكة التيارات الموضحة في الشكل، إذ يلاحظ أن التيار الذي سيمر في مرشح المركبة الصفرية للتيار للمولد التي ظهر فيها القصر مع الأرض باتجاه معاكس للتيار في مرشح المركبة

الصفرية للمولد السليم، وبذلك سيتم تشغيل الحاكمة الاتجاهية لهذه المولد المصابة بالعطل الأرضي، أما بقية الحاكمات الاتجاهية فلن تعمل.

تمثل المكثفات C_0G السعات المكافئة لملفات الجزء الثابت للمولدات ويمثل المكثف C_0 السعة المكافئة للشبكة الكهربائية على قضبان تجميع المولدة.



الشكل (4 – 32) انتقائية الحماية الإتجاهية عند تشغيل المولد على التفرع

4 – 9 حماية وشائع دارة تهييج المولد الكهربائي

إن أكثر الأعطال التي يمكن أن تحدث في دارة التهييج في المولدات هي قصر دارة مع الأرض في نقطة ما من نقاط الدارة، لا يمر أي تيار في هذه الحالة في منطقة العطل ولا يشكل خطراً مباشراً على ملفات التهييج، ويمكن إذا اتخذت الإجراءات اللازمة أن يعمل المولد بشكل مقبول حتى حلول فترة الصيانة المبرمجة. أما إذا ظهر عطل آخر مع الأرض في دارة التهييج في نقطة ثانية فإنه يمكن أن يحدث تلف كبير في الجزء الدوار من المولد وفي ملفات التهييج، وذلك لأن الجزء الواقع بين نقطتي العطل من وشيعة الدارة يكون عندئذ مقصوراً عبر الأرض، ما يؤدي إلى ظهور تيارات كبيرة وتسخين لوشائع وحديد الجزء الدوار من المولد، التي قد تسبب انحناء الجزء الدوار وتلف

عازلية الملفات وظهور اهتزازات خطيرة وخاصة في المحطات المائية. تظهر الاهتزازات بسبب عدم توازن القوى المحركة الكهربائية المتولدة في مختلف الأقطاب وذلك نسبة إلى محور الجزء الدوار.

يمكن تحديد العطل مع الأرض في دارة التهييج باستعمال الفحص الدوري لعازلية وشائع الجزء الدوار أو باستعمال حماية خاصة تعطي إشارة تنبيه عند ظهور هذا العطل. تجهز المولدات في محطات التوليد البخارية بحماية تعطي إشارة عند ظهور العطل الأول مع الأرض، أما المولدات في المحطات المائية فتجهز بحماية ضد الأعطال الأحادية فقط.

4- 9 – 1 حماية المولدات الكهربائية من العطل الأول في دارة التهييج

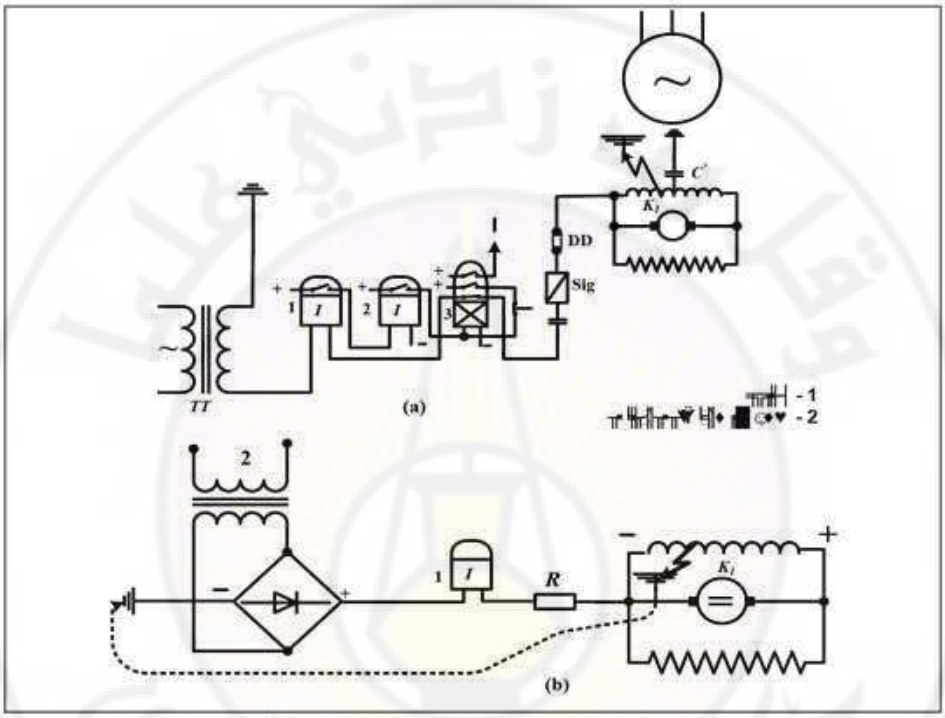
يبين في الشكل (4- 33) إحدى الدارات المستعملة لتحقيق هذه الحماية وهي تتألف من حاكمة تيار (1) وحاكمة زمنية (2)، وحاكمة مساعدة (3)، ومكثف (C) تساوي سعته (0.5μF)، ومحولة توتر **TT** ذي توتر ثانوي يساوي V (400 - 100) .

يربط أحد أقطاب وشيعة تشغيل حاكمة التيار (1) إلى دارة التهييج عبر التماس الطبيعي المغلق للحاكمة المساعدة (3) وعبر المكثف ويربط القطب الآخر إلى الأرض عبر الملف الثانوي لمحول التوتر والذي يتغذى ملفه الأولي من قضبان التغذية الذاتية لمحطة التوليد، وذلك لكي تعمل الحماية بشكل صحيح عندما يكون المولد متوقفاً عن العمل.

يمر في حالة التشغيل النظامية تيار متناوب عبر الدارة في الطريق المؤلف من :

الأرض – ثانوي محولة التوتر – وشيعة الحاكمة (1) – تماس الحاكمة المساعدة المغلق (3) – المكثف والفاصمة – جهاز الفصل **DD** – وشيعة التهييج – المكثف المكافئ للدارة مع الأرض الأرض(c). بما أن المكثف (C) يمثل ممانعة كبيرة في طريق التيار (**0.5 μF**) فإن قيمة التيار الذي يمر عبر الحاكمة (1) سيكون صغيراً جداً، ولا يكفي لإقلاع الحاكمة. أما في حالة ظهور عطل مع الأرض في دارة التهييج في النقطة **K1** فإن الممانعة، التي يمر فيها التيار المتناوب، تصغر بشكل ملحوظ ويكبر التيار بشكل واضح وتعمل الحاكمة (1) وتقلع الحاكمة الزمنية (2) ثم تعمل الحاكمة (3) وتعطي عبر تماسها العلوي إشارة التنبيه، ويؤمن التماس الأوسط التهييج الذاتي للحاكمة،

أما التماس السفلي فإنه يقطع دارة التيار المتناوب عبر الأرض لكي يخفف من فترة مروره عبر نقطة العطل.

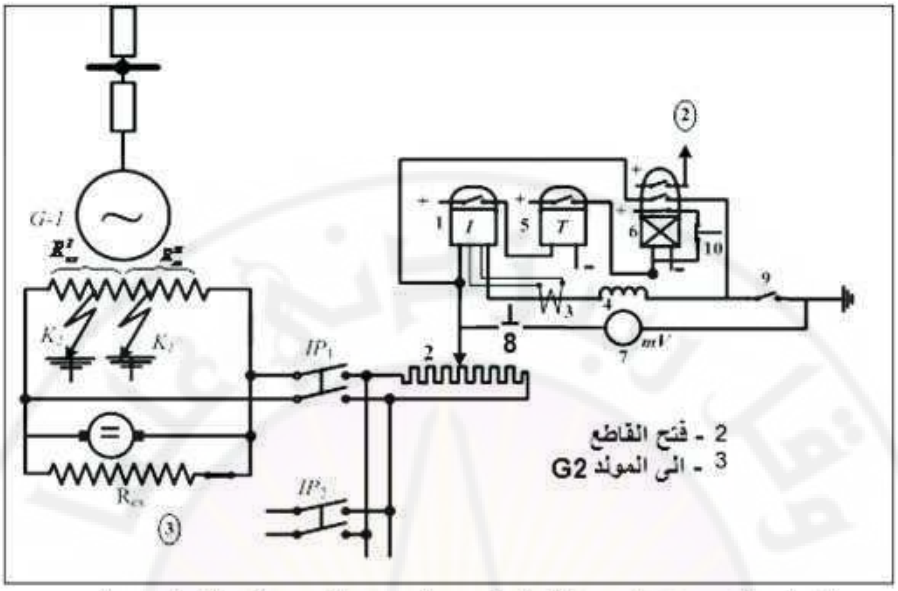


الشكل (4 – 33) حماية المولدات الكهربائية من العطل الأول في دارة التهييج

الحاكمة الزمنية ضرورية لكي لا تعمل الحماية عند ظهور الأعطال العابرة، وتستعمل الفاصمة **Sig** من أجل قطع الدارة عند انهيار المكثف **(C)**، ويستعمل جهاز الفصل **DD** من أجل تجريب الحماية من وقت لآخر. ويستخدم المفتاح **B** من أجل إزالة التغذية الذاتية للحاكمة المساعدة.

4 –9– 2 حماية المولدات من العطل الثاني مع الأرض في دارة التهييج

تتم حماية المولدات الكهربائية من الأعطال في نقطتين من نقاط دارة التهييج استنادا إلى مبدأ عمل دارة جسر واطستون كما هو مبين في الشكل (4 – 34).



الشكل (4 – 34) حماية المولدات الكهربائية من الأعطال في نقطتين

تربط هذه الحماية من قبل عناصر التشغيل إلى المولد الذي يصاب بقصر مع الأرض في دارة التهييج للمرة الأولى. يتم ربط هذه الحماية مع المولد المصاب باستعمال القاطع (**IP_1**)، وبهذا تدخل المقاومة المتغيرة P في الدارة على التوازي مع وشيعة الدائر .

تتألف الأضلاع الأربعة لجسر واطستون من المقاومات 'Rex-Rex المحددة بواسطة نقطة العطل الأول مع الأرض **K1**. ومن المقاومات **'RP-RP** المحددة بواسطة منزلقة المقاومة المتغيرة. يغذى الجسر بالتيار المستمر من آلة التيار المستمر في دارة التهييج. أما الحاكمة (1) يربط قطبها الأول إلى المنزلقة، وقطبها الثاني مع الأرض، كما يربط بواسطة المفتاح (8) جهاز ميلي فولت على التوازي مع الحاكمة.

بعد ربط الحماية إلى المولد المصاب بأول عطل مع الأرض بواسطة المفتاح **(IP1)** تحرك منزلقة المقاومة المتغيرة حتى تصل إلى نقطة توازن الجسر، أي عندما لا يمر تيار في دارة مقياس الميللي فولت حيث يتحقق الشرط التالي:

$$Rex'' * R'_p = R'ex * R''_p \qquad (4\text{-}34)$$

وعندما يظهر العطل الثاني مع الأرض في دارة التهييج في النقطة K2 مثلاً. فإن جزءاً من الدارة سوف يقصر عبر الأرض بين النقطتين K1,K2 وسوف تتغير قيمة Rex- Rex'

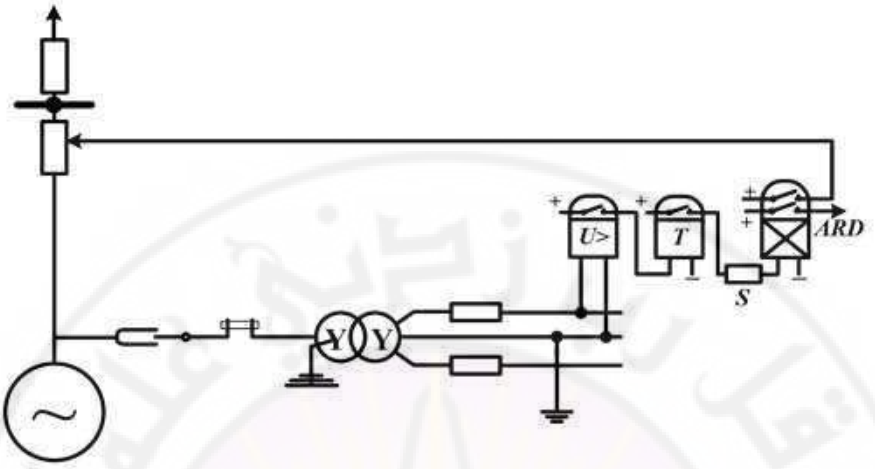
و ينتج عدم اتزان الجسر، و سيمر تيار عبر الحاكمة (1) يؤدي إلى إقلاعها.

يمكن أن تعير الحاكمة الزمنية (5) بحيث تؤمن تأخير عمل الحماية لفترة تتراوح في المجال sec (1-1.5)، لكي تمنع عمل الحماية عند ظهور الأعطال العابرة. يتم تهييج الحاكمة المساعدة (6) ذاتياً بواسطة التماس السفلي، وتقوم بقصر دارة وشيعة الحاكمة (1) عبر مقاومة صغيرة لكي لا يمر فيها تيار لفترة زمنية طويلة يؤدي إلى الاضرار بها، وتقوم بواسطة تماسها العلوي بفصل القاطع الآلي للمولد الكهربائي.

تقوم الوشيعة (4) والمحولة (3)، وهي ذات نسبة تحويل 1:1 بإزالة أثر المركبة المتناوبة للتيار التي يمكن أن تؤدي إلى الإقلاع الخاطئ للحاكمة (1).

4 – 10 حماية المولدات الكهربائية من زيادة التوتر

يمكن أن تنتج زيادة التوتر في المولدة عن عوامل عديدة وهي خطيرة أحيانا وخاصة في المحطات المائية، فعند انخفاض الحمولة المفاجئ يؤدي تدفق الماء على شفرات العنفة إلى زيادة سرعتها وبالتالي زيادة التوتر، وذلك لأن تخفيف حجم الماء الذي يمر في العنفة مع إنخفاض الحمل لا يمكن أن يتم بنفس السرعة. يمكن أن تنتج زيادة التوتر عندما تغذي المولدات بعض الأحمال السعوية الكبيرة كما في حالة تغذية الخطوط الهوائية الطويلة عالية التوتر، أو كما في حالة تغذية شبكة كابلات عالية التوتر وواسعة الانتشار، ولهذا تستخدم مع هذه المولدات حماية توتر أعظمي كما في الشكل(4– 35)، وتستعمل لذلك حاكمة توتر أعظمي مع حاكمة زمنية لتأخير عملها عبر حاكمة مساعدة تعطي إشارة لفصل القاطع الآلي وإزالة تيار تهييج المولد.



الشكل (4 – 35) حماية المولدات الكهربائية من زيادة التوتر

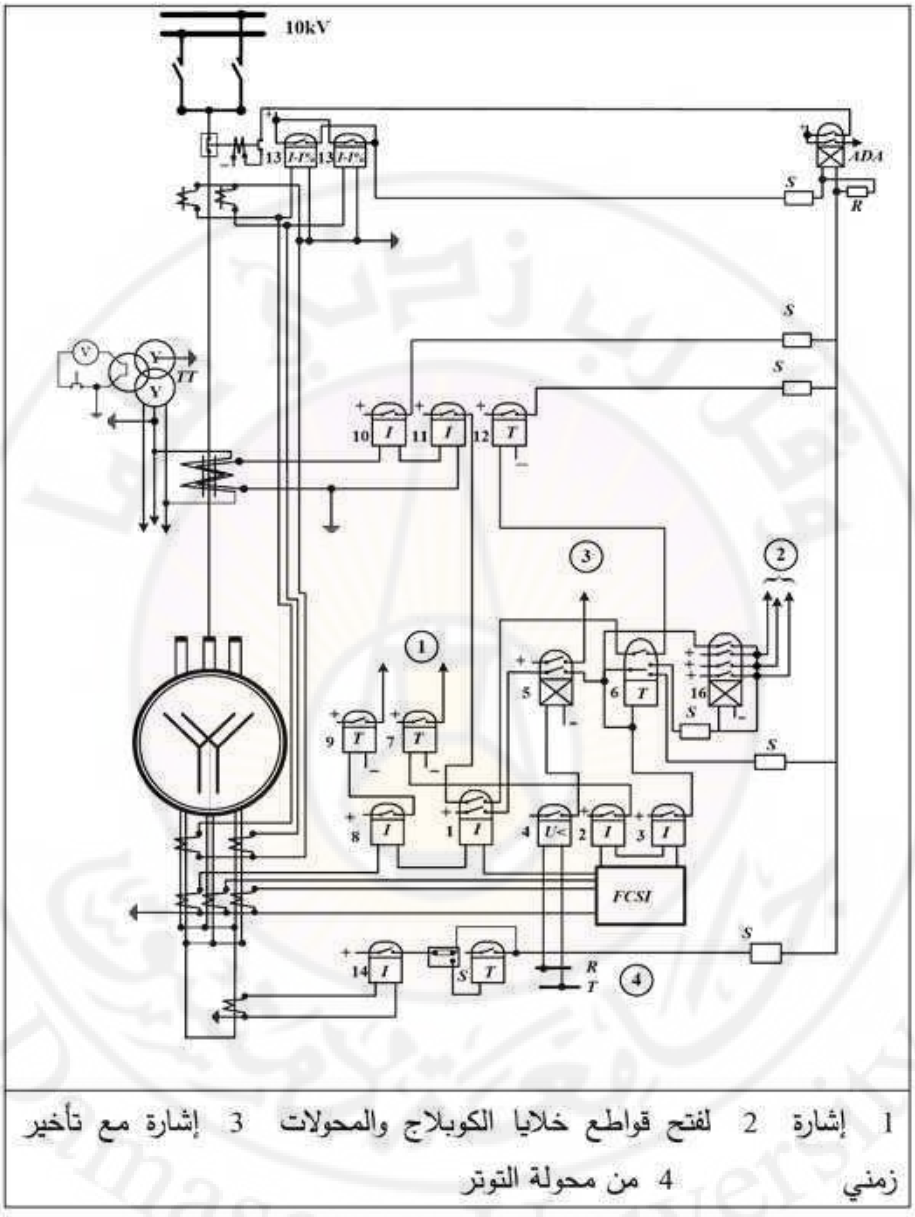
4 – 11 دارة الحماية الكاملة للمولدات الكهربائية

يبين الشكل (4 –36) الدارة الكهربائية الكاملة لجملة الحمايات المستعملة لمولدة كهربائية تديرها عنفة بخارية. إذ تؤلف الحاكمات(1 و 2 و 3 و 4 و 6 و 7) مجموعة الحمايات ضد زيادة التيار الناتجة عن أعطال قصر الدارة الخارجية وعن زيادة الحمل. وتتغذى هذه الحاكمات من مرشح المركبة المتناظرة العكسية.

تكون الحاكمة (2) حاكمة ذات حساسية عالية، وهي تعطي إشارة تنبيه لعناصر التشغيل، أما الحاكمة (3) فهي ذات حساسية أقل وتعمل على فصل القاطع الآلي للمولد عن طريق الحاكمة الزمنية (6).

تعمل الحاكمات (1 و 4 و 5) ضد أعطال قصر الدارة الخارجية المتناظرة. وتعمل الحاكمات(8 و 9) ضد زيادة الأحمال الثلاثية المتناظرة. أما حماية المولدة ضد الأعطال الأحادية داخل لفات الجزء الثابت فتؤمن بواسطة محولة المركبة الصفرية للتوتر والحاكمات (11و12). تعمل الحاكمة (15) عند ظهور قصر دارة أحادي داخل الجزء الثابت، أو قصر دارة أحادي خارجي على طور آخر من الأطوار.

تشكل الحاكمة (13) الحماية التفاضلية الطولية، وتشكل الحاكمات (15 , 14) الحماية التفاضلية العرضية من الأعطال بين لفات الوشيعة الواحدة.



1 إشارة 2 لفتح قواطع خلايا الكوبلاج والمحولات 3 إشارة مع تأخير زمني 4 من محولة التوتر

الشكل (4 – 36) الدارة الكهربائية الكاملة لجملة الحمايات المستخدمة لمولد كهربائي تديره عنفة بخارية

تعطي الحاكمة (16) الأمر لفتح قواطع خلايا الربط الطولي والربط العرضي لقضبان تجميع محطة التوليد. يعطي التماس السفلي لكافة حاكمات الإشارة عبر الحاكمة المساعدة لفصل القاطع الآلي للمولد.

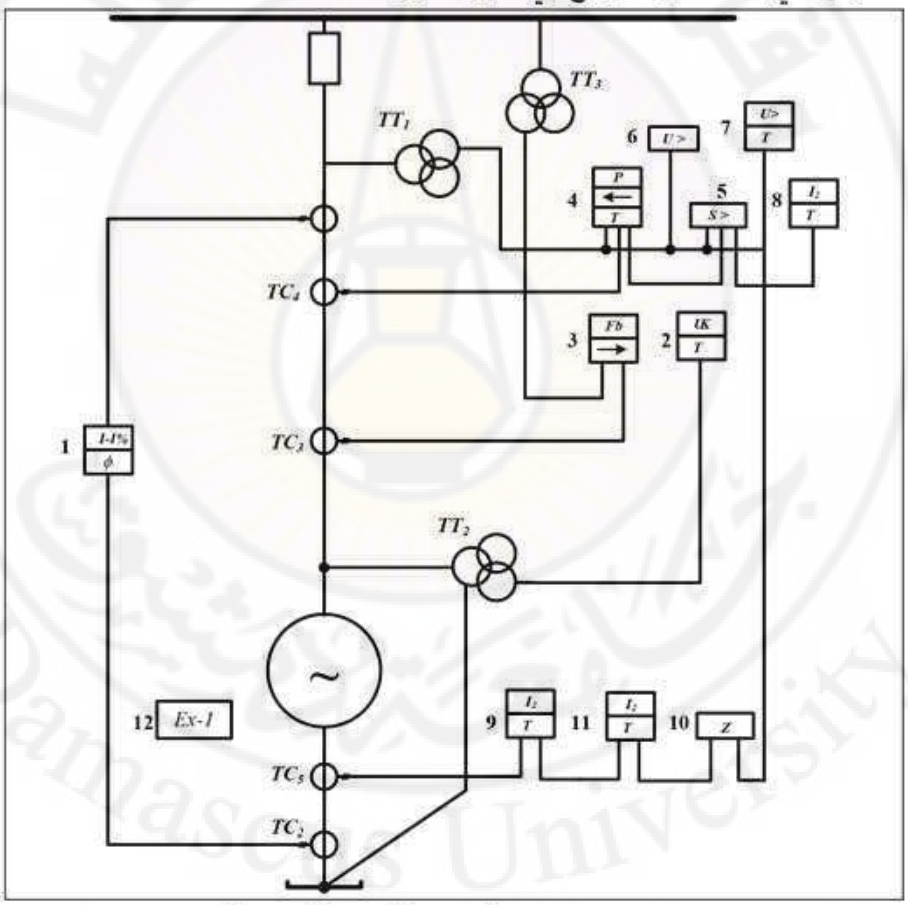
ويبين الشكل (4– 37) الدارة الكهربائية الرمزية الكاملة لجملة الحمايات التي تستعمل للمولدات الكهربائية ذات الاستطاعة المتوسطة أو الكبيرة، وتبين هذه الدارة مكان توضع مختلف أنظمة الحماية نسبةً للمولد الكهربائي.

المولدة المبين في الشكل مجهزة بوشيعة واحدة لكل طور من أطوار الجزء الثابت. حيث تمثل الحماية 1 نظام الحماية التفاضلية لملفات الجزء الثابت للمولد من الأعطال بين وشائع الأطوار الثلاثة، وتتم تغذيتها من محولات القياس **TC1** و**TC** . وبما أن المولدة مجهزة بوشيعة واحدة لكل طور فإن الحماية (2) من الأعطال بين لفات وشيعة الطور الواحد يتم تنفيذها بإستخدام مرشح المركبة الصفرية للتوتر المبينة في الشكل (4 – 22)، وتتم تغذيتها من محولة التوتر **TT2** عن طريق ملفها الثانوي المربوط على شكل مثلث مفتوح.

تستعمل الحماية الصفرية الاتجاهية (3) للحد من آثار الأعطال الأحادية مع الأرض في ملفات أطوار الجزء الثابت وتتم تغذيتها من الملف الثانوي لمحولة التوتر **TT3** المربوط على شكل مثلث مفتوح ومن محولات التيار **TC3** ، وتنفذ بشكل مشابه لدارة الحماية المبينة في الشكل (4 – 31).

يتم استخدام محولة التوتر **TT1** ومحولة التيار **TC4** لتغذية نظام حماية المولدة من الانعكاس للعمل بصفة محرك تزامني (4). كما يتم استخدام محولة التوتر ومحولة التيار هذه لتغذية نظام الحماية (5) المستخدمة لحماية المولد من الانخفاض المفاجئ لتيار التهييج وانعكاس المولدة للعمل مولداً تحريضياً وخروجه من التزامن والتي يتم تنفيذها بإستخدام حاكمات ممانعة. وتستعمل محولة التوتر **TT1** لتغذية حماية زيادة التوتر (7) والتي تستخدم للحد من توتر المولدة في حالة إزدياد سرعتها وكذلك لتغذية حماية زيادة التوتر (6) التي تعمل مع الحماية (5) للحد من زيادة التوتر التي يمكن أن تنتج عندما تتم تغذية أحمال سعوية مهمه من المولد كما تم ذكره في الشكل (4 – 32). تستعمل

الحماية (8) للحد من آثار تيارات القصر الخارجية غير المتناظرة ومن زيادة الأحمال غير المتناظرة وتتم تغذية هذه الحماية من محولة التيار **TC4**. وتستعمل الحماية (9) والحماية (10) للحد من آثار تيارات القصر الخارجية المتناظرة ومن زيادة الأحمال المتناظرة، وتتم تغذية هذه الحماية من محولة التيار **TC5**. وتعد حماية الممانعة الأصغرية (11) حماية احتياطية للجزء الثابت للمولد، وتتم تغذيتها من محولة التوتر **TT1** ومن محولة التيار **TC5**. وتستخدم الحماية (12) للحد من آثار تيارات القصر مع الأرض في ملفات دارة التهييج في الجزء الدوار.



الشكل (4 – 37) الدارة الكهربائية الرمزية الكاملة لجملة الحمايات التي تستخدم للمولدات الكهربائية ذات الاستطاعة المتوسطة أو الكبيرة

4 – 12 تعيير أنظمة حماية المولدات الكهربائية

4 – 12– 1 تعيير أنظمة حماية المولدات الكهربائية في محطات التوليد

يتم تجهيز المولدات الكهربائية حسب النظم العالمية وبشكل إلزامي، بأنظمة الحماية الأساسية التالية وهي: [19]

أ – الحماية التفاضلية الطولية.

ب – الحماية التفاضلية العرضية.

ج – حماية زيادة التيار الزمنية.

د – حماية وشائع الجزء الثابت للمولد.

هـ – حماية الجزء الدوار ضد القصر مع الأرض للمرة الأولى.

و – حماية الجزء الدوار ضد القصر مع الأرض للمرة الثانية.

ز – الحماية ضد زيادة التوتر.

لتغذية ملفات هذه الحاكمات بالتوتر والتيار المنخفض يجب تحديد التيار الاسمي لكل مولد. تعطى قيمة هذا التيار الاسمي بالعلاقة التالية:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3}u\cos\emptyset} \qquad (4\text{-}35)$$

يجب اختيار محولات تيار ملائمة لتغذية ملفات دارات الحماية بنسبة تحويل ملائمة. تحدد مواصفات محولات التيار الجافة المستعملة في الشبكة السورية كما هو مبين في الجدول(4– 1)

جدول (4 – 1) محولات التيار الجافة

المواصفات	الوحدة	مكان الاستعمال	
		لتغذية حماية جسم المحولة	على حيادي محولة التأريض
توتر التشغيل الاعظمي	V	750	750
نسبة التحويل	A/A	5/100	5/300
الاستطاعة (Burden)	VA	30	30

وتعطى في الجدول (4 – 2) المواصفات الرئيسية لمحولات التيار المغمورة بالزيت المستعملة في الشبكة السورية ومكان استخدامها.

جدول (4 – 2) محولات التيار المغمورة بالزيت

المواصفات	الوحدة	التوتر النظامي	
		230kV	66kV
توتر التشغيل ألأعظمي	kV	245	72.5
توتر العازلية لمدة دقيقة واحدة بالتردد الصناعي	kV	395	140
توتر العازلية النبضي لموجة (1.2/50)µs	أعظميkV	900	325
عدد الملفات الثانوية	عدد	3	3
التيار الاسمي لخلية الربط (Coupling)	A	2x1000	2x750
التيار الاسمي للمخارج	A	2x400	2x300
التيار الاسمي لخلية المحولات	A	200	2x100
التيار الاسمي لخلية الوصول	A	–	750
التيار الثانوي النظامي	A	5/5/5	5/5/5
التيار الحراري المستمر	A	120%*In	120%*In
تيار القصر لمدة ثانية واحدة	kA/sec	31.5	25

وتعطى المواصفات الرئيسية لمحولات التوتر المستخدمة في خلايا القياس والتحكم والحماية والمراقبة في الجدول(4 – 3). تعطى نسبة التحويل لمحولات التيار بالعلاقة: 5

$$N_{ct} = I_n /$$

كما تعطى نسبة التحويل لمحولات التوتر بالعلاقة:

$$N_{TT} = U_n /100$$

جدول (4 – 3) محولات التوتر المغمورة بالزيت

المواصفات	الوحدة	توتر التشغيل	
		230 kV	66 kV
الطراز	–	سعوي	سعوي أو تحريضي
التوتر النظامي الأولي	kV	$230/\sqrt{3}$	$66/\sqrt{3}$
التوتر النظامي الثانوي	V	$100/\sqrt{3}$	$100/\sqrt{3}$
توتر العازلية لمدة(1)دقيقة بالتردد الصناعي	kV	395	140
توتر العازلية النبضي لموجة (1.2/50) m µs	kV	900	325
مخرج للاتصالات الهاتفية PLC على خطوط الطاقة الكهربائية		يجب أن يكون موجوداً	

4– 12–2 تعيير حماية زيادة التيار الزمنية

يجب أن يكون تيار إقلاع هذه الحماية I_{pp} وتيار الرجوع I_{rev} أكبر من التيار النظامي للمولدة وذلك منعا لأي امكانية للتشغيل الخاطئ في حالة التشغيل النظامية. ولهذا يتم اختيار تيار رجوع الحماية، في حالة الأعطال الثلاثية الخارجية التي تعطي أمر فصل القاطع الآلي من العلاقة:

$$I_{rev} = K_{sec} . I_n \qquad (4\text{-}36)$$

حيث K_{sec} عامل الأمان Security Factor ويؤخذ مساويا" K_{sec} =(1.1-1.2)

ويعرف عامل الرجوع بالعلاقة:

$$K_{rev} = \frac{I_{rev}}{I_{pr}} \qquad (4\text{-}37)$$

ويمكن أن يكتب:

$$I_{pr} = \frac{I_{rev}}{K_{rev}} \qquad (4\text{-}38)$$

وبذلك ينتج لتعيير حاكمات التيار في نظام الحماية من تيارات القصر الثلاثية الخارجية (الحاكمات 1) في الشكل (4 – 2) القيمة المحددة بالعلاقة:

$$I_{pr1} = \frac{I_{rev}}{K_{sec}} . I_n \qquad (4\text{-}39)$$

وبما أن غالبية حاكمات التيار المستخدمة لها عامل رجوع يساوي $I_{rev} = 0.85$ فإنه سينتج:

$$I_{pr1} = \frac{1.05}{0.85} . I_n \cong (1.3....1.4) . I_n \qquad (4\text{-}40)$$

ويظهر من العلاقة أن هذه الحماية من تيارات القصر الثلاثية الخارجية لن تعمل عند ظهور زيادة حمولة كهربائية أصغر من حوالي 40% من الاستطاعة النظامية، ولذلك يضاف إلى نظام الحماية هذا حاكمة تيار لإعطاء الإشارة عند وصول زيادة الحمولة إلى 20% من الاستطاعة الاسمية (الحاكمة 2) في الشكل (4 – 2). ويستخدم للحماية من زيادة الحمولة عامل أمان يساوي $K_{sec} = 1.05$ وبذلك ينتج:

$$I_{pr2} = \frac{1.05}{0.85} . I_n \cong 1.2 I_n \qquad (4\text{-}41)$$

ومن أجل تأمين الانتقائية فإن الحاكمة الزمنية (4) تعير على زمن(t_{a4}) أكبر بقيمة(Δt) من زمن عمل حماية الأجزاء الواقعة بعد المولد باتجاه مكان القصر .

$$t_{a4} = t_a + \Delta t \qquad \Delta t = 0.5 - 0.6 \text{ sec} \qquad (4\text{-}42)$$

حيث تمثل t_a أكبر زمن من أزمنة تشغيل حماية زيادة التيار لمختلف العناصر المربوطة إلى قضبان تجميع المولدة المراد حمايتها.

تعير حاكمة الزمن (5) على زمن أكبر من عمل الحاكمة t_{a4} :

$$T_{a5} = 10 \text{ sec} \qquad T_{a5} = t_{a4} + \Delta t . \qquad (4\text{-}43)$$

يؤخذ زمن تشغيل حاكمة الزمن مساويا:

$$t_{a4} = 4 - 8 \text{ sec} \qquad (4\text{-}44)$$

أما تيار إقلاع الحاكمة 1 أو الحاكمة 2 فيحسب بالعلاقة:

$$i_{pr2} = \frac{I_{PR2}}{n_{ct}} \quad ، \quad i_{pr1} = \frac{I_{PR1}}{n_{ct}} \qquad (4\text{-}45)$$

حيث n_{ct} تمثل نسبة تحويل محولة التيار المستخدمة لتغذية نظام الحماية.

يتم حساب التوتر الأصغري الذي تعير عليه الحماية من انخفاض التوتر في نظام حماية زيادة التيار هذا بالعلاقة :

$$U_{PR3} \le \frac{U_{min\ expl}}{K_{sec}.K_{rev}} = \frac{0.95\ U_n}{k_{sec}.k_{rev}} \qquad (4\text{-}46)$$

حيث يمثل $U_{min\ expl}$ التوتر الأصغري الذي يمكن أن يظهر عند استثمار المولد، وتؤخذ قيمته مساوية 0.95 من التوتر النظامي الأمر الذي يأخذ بعين الاعتبار تغيرات التوتر المسموحة حول قيمة التوتر النظامي $\pm$ 5% وتؤخذ قيمة عامل الأمان في هذه الحالة مساوية

$$K_{sec} = 1.1 \ldots 1.15$$

وقيمة عامل الرجوع $K_{rev} = 1.15$

يعير إقلاع نظام الحماية من هبوط التوتر U_{pr} في التطبيقات العملية على قيمة أصغر من قيمة التوتر الأصغري الذي يمكن أن يظهر في أثناء القيام بعملية تزامن المولد أو أثناء عملية الإقلاع الآلي للمحركات الكهربائية الذاتية الموجودة في محطة التوليد، لذلك تؤخذ قيمة التوتر الأولي لنظام الحماية بشكل عام مساوي:

$$U_{pp3} = (0.5 \ldots 0.6)\ U_n \qquad (4\text{-}47)$$

أما قيمة توتر إقلاع الحاكمة 3 فإنها تحسب بعلاقات تأخذ بعين الاعتبار نسبة تحويل محولات التوتر التي تغذي هذه الحمايات وكما يلي:

$$u_{pr3} = \frac{U_{pr3}}{n_{tt}} \qquad (4\text{-}48)$$

حيث

n_{tt} هي نسبة تحويل محولة التوتر $n_{tt} = \frac{u_n}{100}$

4 – 12– 3 تعيير الحماية التفاضلية الطولانية للمولدات الكهربائية

تحقق هذه الحماية باستعمال حاكمة تفاضلية من النوع الذي يقارن قيمة التيارات. ويتم تعيير تيار إقلاع هذه الحماية إستنادا إلى قيمة التيار التفاضلي الأعظمي الذي ينتج في حالة حدوث قصر دارة خارجي يقع مباشرة على أقطاب المولدة ؛ أي على قضبان التجميع المربوطة إليها المولدة، مع الأخذ بالاعتبار عدم تماثل محولات التيار المستعملة بشكل كامل.

بافتراض أن الخطأ في نسبة التحويل في محولات التيار تساوي $\Delta f_i = 10\%$.

يمكن أن نحسب تيار إقلاع الحماية الأولي بالعلاقة:

$$I_{PR} = K_{\sec} \times I_{dis\max} \qquad (4\text{-}49)$$

حيث:

K_{sec}: ثابت أمان

$I_{dis\max}$: تيار عدم التوازن الأعظمي، ويعطى بالعلاقة:

$$I_{dis\max} = \frac{\Delta f_i}{100} \times I_{scex\max} \qquad (4\text{-}50)$$

حيث لدينا:

$I_{scex\max}$: تيار القصر الأعظمي الخارجي على قضبان التجميع في المحطة التي تربط إليها المولدة، ويحسب هذا التيار منسوباً إلى توتر المولدة.

عند حساب تيار إقلاع الحماية I_{pr} Protection Run off Current يتم التحقق من ثابت حساسية الحماية K_{scn} التفاضلية كما يلي:

$$I_{sc} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_{scex\max} \frac{u_{bb}}{u_{ng}} \qquad (4\text{-}51)$$

حيث:

U_{bb} : التوتر الاسمي لقضبان التجميع.

U_{ng} : التوتر الاسمي للمولد.

ويحسب ثابت حساسية الحماية بالعلاقة:

$$K_{sce} = \frac{I_{sc}}{I_{pp}} > 2 \qquad (4\text{-}52)$$

وتعطى قيمة التيار الذي سيمر عبر حاكمة الحماية بالعلاقة:

$$i_p = \frac{I_{pp}}{n_{ct}} \qquad (4\text{-}53)$$

تؤخذ قيمة عامل الأمان $K_{séc}$ عادة مساوية 1.3

4-12-4 تعيير الحماية التفاضلية العرضية

تستعمل لتحقيق هذه الحماية مجموعة حاكمات كاملة مؤلفة من حاكمات تيار ومرشح للتوافقيات الكبيرة ويتم تعيير هذه الحماية على تيار إقلاع أولي كما هو مبين في العلاقة التالية:

$$I_{PR} \geq K_{\text{sec}} I_{descalc} \qquad (4\text{-}54)$$

حيث:

$\mathbf{I_{des\ ct}}$: هو تيار عدم التوازن الحسابي مع الأخذ بالاعتبار دور محولة الإشباع السريع **TSR**

تعتمد في التطبيقات العملية القيم التالية:

$$I_{PR} = (0.6 \div 0.8)\frac{I_n}{2} \qquad (4\text{-}55)$$

وسيكون تيار إقلاع الحاكمة:

$$i_p = (0.6 \div 0.8)\frac{I_n}{2n_{ct}} \qquad (4\text{-}56)$$

حيث:

$\frac{I_n}{2}$: هو التيار النظامي الذي سيمر في كل نصف من أنصاف وشيعة الثابت.

5-12-4 تعيير حماية الجزء الثابت للمولد

يستعمل لتحقيق هذه الحماية، مرشح خاص للمركبة المتناظرة الصفرية للتيار، ويتم تحديد تيار الإقلاع الاسمي لهذه الحماية بالعلاقة :

$$I_{PR} \geq K_{\sec} I_{des\max} \qquad (4\text{-}57)$$

حيث: يمثل $I_{des\max}$ تيار عدم التوازن الناتج في مرشحة المركبة الصفرية عند حدوث قصر دارة خارجي.

$\mathbf{K_{sec}}$: عامل أمان ويؤخذ دائماً أكبر من الواحد

ولتأخير إقلاع الحماية يتم تعيير الحاكمة الزمنية بتأخير من 1sec إلى 2sec وتتم تغذية هذه الحاكمة عن طريق حاكمة التيار في الحماية التيار الأعظمي المستعملة للحماية من الأعطال الخارجية.

$$I_{PR} = K_{\sec} I_{descalc} \qquad (4\text{-}58)$$

حيث:

$I_{descalc}$: تيار عدم التوازن بعد انقضاء فترة التأخير الزمني وهو يساوي تيارعدم التوازن الذي ينتج من المرشحة عند حدوث عطل خارجي، ومرور تيار يساوي تيار إقلاع حماية التيار الأعظمية الزمنية في الدارة الأولية.

4- 12-6 تعيير حماية الجزء الدوار للمولدة من تيارات القصر مع الأرض

تستعمل لذلك دارة خاصة تؤدي الغرض المطلوب تم شرحها في الفقرات السابقة.

4- 12-7 تعيير حماية الجزء الدوار من تيار القصر مع الأرض للمرة الثانية

تستعمل لهذا الغرض دارة خاصة تكون مفصولة عن المولدة، ثم تدخل إلى دارة الجزء الدوار من المولد بعد ظهور العطل الأول مع الأرض وقد تم شرحها في الفقرات السابقة.

4- 12-8 تعيير حماية المولدة الكهربائية من زيادة الحمل

يعطي تيار إقلاع هذه الحماية بالعلاقة:

$$I_{PR} = \frac{k_{\sec}}{k_{rev}} I_n = \frac{1.05}{0.85} I_n \qquad (4\text{-}59)$$

أما تيار إقلاع حاكمة التيار فيعطى بالعلاقة:

$$i_p = \frac{I_{PR}}{n_{ct}} \qquad (4\text{-}60)$$

الفصل الخامس

5 – أنظمة حماية المحولات والمحولات الذاتية

Transformers and Autotransformers Protection Systems

Damascus University

وقل رب زدني علما
Damascus University

الفصل الخامس

5 – أنظمة حماية المحولات والمحولات الذاتية

Transformers and Autotransformers Protections

5-1 أعطال المحولات والمحولات الذاتية

تعد المحولات الكهربائية ثاني عناصر الشبكة الأكثر أهمية والأغلى ثمناً بعد المولدات، لذلك يجب أن تكون حماية المحولات كما في حالة المولدات على قدر كبير من الدقة والوثوقية والانتقائية، وتضمن تأمين الحماية ضد الأعطال الكهربائية الخارجية والداخلية وحالات التشغيل غير النظامية.

نتج الأعطال الخارجية دائماً في الشبكات التي ترتبط مع المحولات الكهربائية. أما الأعطال الداخلية فتحدث ضمن المحولة، ويمكن أن تحدث في ملفات التوتر العالي، أوفي ملفات التوتر المنخفض من المحولة الكهربائية. يمكن أن تكون الأعطال ضمن المحولات أعطالاً ثلاثية الطور أو أحادية الطور مع الأرض، أو أعطال في ملفات وشيعة الطور الواحد، ويتبين عملياً أن أخطرها هي الأعطال الثلاثية، وتكمن خطورة الأعطال الأحادية في تشكل القوس الكهربائية في مكان العطل الأمر الذي قد يؤدي إلى انصهار جزء من حديد الدارة المغناطيسية للمحولة، وبالتالي إلى تلف قسم من الصفائح الفولاذية لهذه الدارة، ما يسبب تكاليف كبيرة نظراً لصعوبة الإصلاح، كما يمكن أن يتحول العطل الأحادي إذا استمر إلى عطل ثلاثي.

تؤدي الأعطال بين لفات الوشيعة الواحدة من أحد أطوار المحولة إلى ارتفاع درجة حرارة الوشيعة وهذا يؤدي إلى احتراق المواد العازلة، وحدوث عطل في الأطوار. تعد حالات التشغيل غير النظامية الحالات التي تظهر فيها تيارات كبيرة مثل تيارات قصر الدارة خارج المحولة، أو زيادة الحمل، أو الزيادة الكبيرة في المركبة المتناظرة العكسية لأكثر من 10% من التيار الاسمي للمحولة، أو زيادة قيمة الحرارة عن الحدود المسموح فيها الأمر الذي يسبب تقادم المواد العازلة لملفات المحولة بسرعة، وبالتالي إنقاص من عمر المحولة.

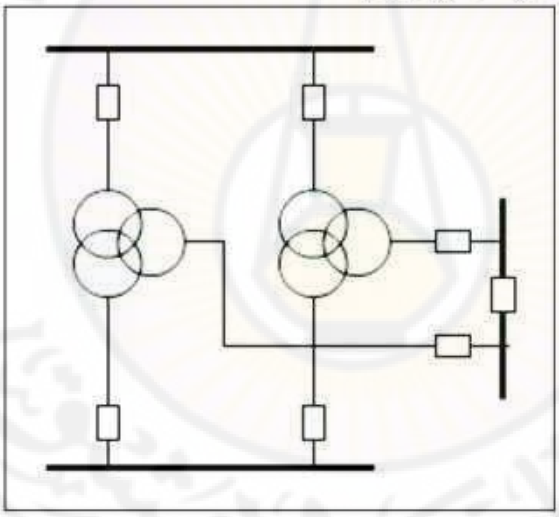
يجب أن تحقق حماية المحولة الكهربائية المهام الأساسية التالية:

- قيادة أجهزة تشغيل القواطع الآلية للمحولة وفصلها عند ظهور حالات التشغيل غير النظامية.

- إعطاء الإشارات المختلفة لعناصر التشغيل.

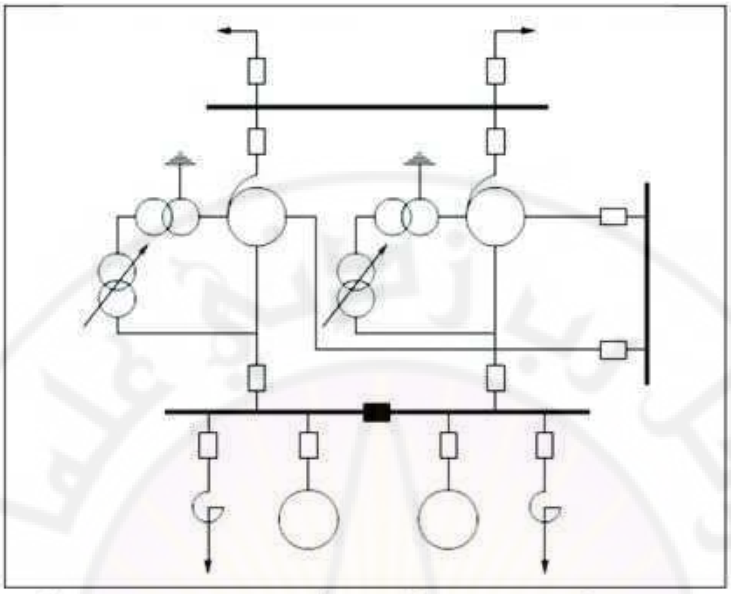
5 – 2 أنواع أنظمة الحماية المستخدمة للمحولات والمحولات الذاتية

يتم ربط المحولات والمحولات الذاتية الكهربائية في محطات التحويل الكهربائية مباشرة إلى قضبان التجميع بإستخدام عدد من الطرائق العملية، حيث يبين الشكل (5 – 1) المخطط الرمزي المبسط لمحطة تحويل رافعة أو خافضة للتوتر مركب فيها محولات كهربائية ثلاثية الملفات وثلاثية الأطوار .[19]



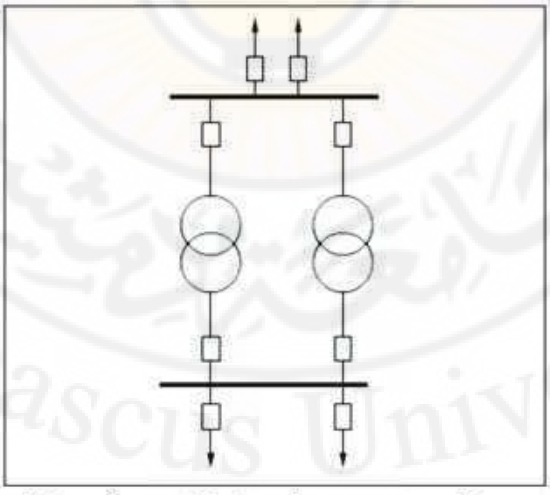
الشكل (5 – 1) المخطط الرمزي المبسط لمحطة تحويل رافعة أو خافضة للتوتر

يبين الشكل (5 – 2) المخطط الرمزي المبسط لمحطة تحويل كهربائية خافضة للتوتر مركب فيها محولات ذاتية كهربائية ثلاثية الملفات وثلاثية الأطوار مع محولات كهربائية مساعدة لتنظيم التوتر تحت الحمل.



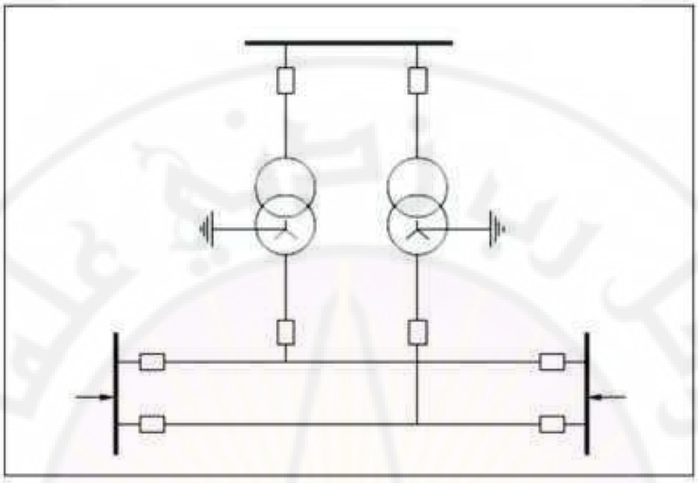
الشكل(5 – 2) محطة تحويل كهربائية خافضة للتوتر مع محولات ذاتية كهربائية ثلاثية الملفات وثلاثية الأطوار

ويوضح الشكل (5 – 3) المخطط المبسط لمحطة تحويل كهربائية خافضة للتوتر أو رافعة للتوتر ومركب فيها محولات ثنائية الملفات وثلاثية الأطوار.



الشكل (5 – 3) محطة تحويل كهربائية خافضة للتوتر أو رافعة للتوتر مع محولات ثنائية الملفات وثلاثية الأطوار

أما الشكل (4 – 4) فيبين المخطط المبسط لمحطة تحويل كهربائية خافضة للتوتر تفرعيه ومركب فيها محولات كهربائية ثنائية الملفات وثلاثية الأطوار.



الشكل (5 – 4) محطة تحويل كهربائية خافضة للتوتر تفرعيه

تستخدم أنظمة الحماية الكهربائية لتأمين حماية المحولات في حالات التشغيل غير النظامية وفي حالات قصر الدارة. ويتم تحقيق أنظمة الحماية مع الأخذ بالاعتبار خصوصيات مخطط التوصيل لمحطة التحويل الكهربائية المعتبرة. وتقوم أنظمة الحماية المستخدمة في حالة المحولات الكهربائية بفصل جميع القواطع الآلية للمحولة الكهربائية عند ظهور حالات قصر الدارة، أما في حالات التشغيل غير النظامية، مثل حالة زيادة الحمل أو حالة انخفاض مستوي الزيت في جسم المحولة الكهربائية، فإن أنظمة الحماية تقوم بإعطاء إشارة ضوئية لعناصر التشغيل في صالة القيادة لمحطة التحويل الكهربائية. وفي حالة محطات التحويل الكهربائية التي يتم استثمارها وتشغيلها عن بعد ودون وجود عناصر تشغيل فيها، تعمل أنظمة الحماية الكهربائية على فصل جميع القواطع الآلية للمحولة الكهربائية في حالات قصر الدارة وحالات التشغيل غير النظامية. تستخدم أنظمة الحماية الكهربائية التفاضلية الطولانية لحماية المحولات ذات الاستطاعته (**10 MVA≤ S**) من الأعطال الكهربائية التي يمكن أن تظهر ضمن المحولة الكهربائية، كما تستخدم الحماية التفاضلية الطولية أيضاً في حالة محولات التغذية الذاتية لمحطات

التوليد الكهربائية التي تكون استطاعتها ($P \geq 1$ MVA) وذلك إذا لم تؤمن حماية تجزئة التيار الكهربائية الحساسية المطلوبة لهذه الحماية. وتسمح بعض النظم الكهربائية العالمية في حالات المحولات الكهربائية التي لا تزيد استطاعتها النظامية عن 25 MVA استخدام حماية حوض المحولة عوضاً عن الحماية الكهربائية التفاضلية الطولانية.

5 – 3 حماية المحولات الكهربائية من زيادة التيار في حالة قصر الدارة أو زيادة الحمل الكهربائي

Ttransformers over current and short circuit protection

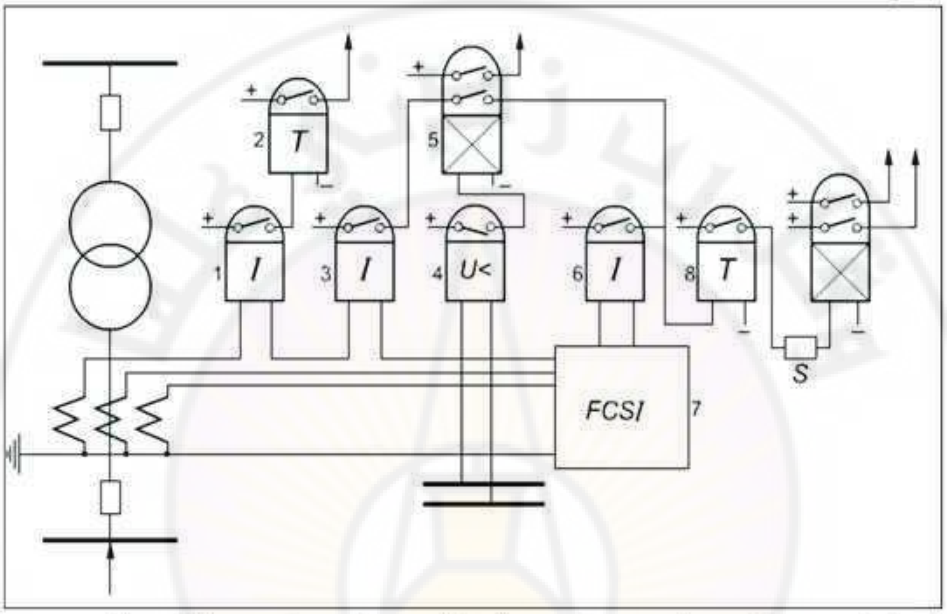
5 – 3 – 1 حماية المحولات الكهربائية ثنائية الملفات من زيادة التيار

في حالة المحولات الكهربائية ثنائية الملفات والمغذاة من جهة واحدة، تركب محولات التيار التي تغذي نظام حماية زيادة التيار في طرف التغذية الكهربائية وذلك للسماح لحماية زيادة التيار أن تعمل باعتبارها حمايةً احتياطية في حالة الأعطال التي يمكن أن تحدث داخل جسم المحولة. أما في حالة المحولات الكهربائية المغذاة كهربائياً من كلا طرفيها فتركب محولات التيار في طرف التغذية الأساسية التي تغذي أي عطل داخل جسم المحولة الكهربائية بتيار القصر الأكبر، حيث يتم تأمين حساسية أكبر في حالة الأعطال التي يمكن أن تحدث داخل جسم المحولة الكهربائية وبحيث تعمل هذه الحماية بشكل احتياطي.

ويبين الشكل (5 – 5) مخطط حماية زيادة التيار ضد أعطال دارة القصر التي تحدث خارج المحولة الكهربائية وحالات زيادة الحمولة الكهربائية مع استخدام مرشحة المركبة المتناظرة العكسية للتيار في حالة محولة كهربائية ثنائية الملفات وثلاثية الأطوار وذات تغذية كهربائية مزدوجة من جانبي المحولة.

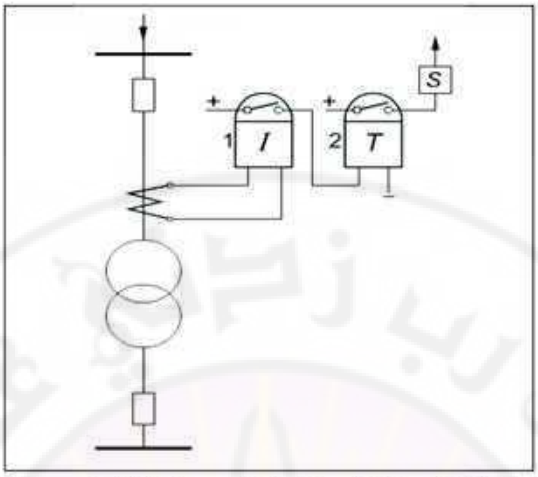
تمثل الحاكمات (1 و 2) الحماية من زيادة الحمل الكهربائي وتؤمن الحاكمات (3 و 4 و 5 و 8) الحماية من الأعطال الثلاثية المتناظرة التي تحدث خارج المحولة الكهربائية مع استخدام حاكمة هبوط توتر (4) للتأكد من أن الحالة هي حالة قصر دارة وليست حالة زيادة حمولة، كما تؤمن الحاكمات (6 و 7) والمرشح (8) الحماية ضد

الأعطال الخارجية غير المتناظرة باستخدام مرشحة المركبة المتناظرة العكسية للتيار **FCSI** وتستخدم الحاكمات المساعدة لتأمين إشارات فتح القواطع الآلية وفصل دارة التهييج.



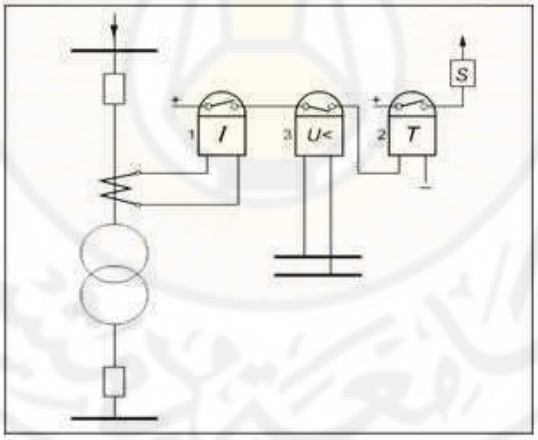
الشكل (5 – 5) حماية زيادة التيارمن أعطال دارة القصر الخارجية للمحولة وحالات زيادة الحمولة الكهربائية

ويوضح الشكل (5 – 6) مخطط الخط الواحد SLD للحماية من زيادة التيار بدون استخدام إقفال هبوط التوتر. يمكن أن نلاحظ في هذا الشكل أن حاكمة التيار (1) وحاكمة الزمن (3) تؤمن الحماية من تيارات قصر الدارة الثلاثية المتناظرة التي تحدث خارج جسم المحولة الكهربائية وتعطي الأمر لفصل القاطع الآلي للمحولة، وكذلك ترسل إشارة إلى عناصر التشغيل في صالة القيادة عن طريق حاكمة الإشارة S.



الشكل (5 – 6) مخطط الخط الواحد للحماية من زيادة التيار بدون إقفال هبوط التوتر

ويبين الشكل (5 – 7) حماية زيادة التيار من تيارات قصر الدارة الخارجية مع استخدام إقفال هبوط التوتر عن طريق الحاكمة (3)، وبذلك يتم التمييز بين حالات قصر الدارة وحالات زيادة الحمل على المحولة.



الشكل (5– 7) حماية زيادة التيار من تيارات قصر الدارة الخارجية مع إقفال هبوط توتر

يبين الشكل (5 – 8) المخطط وحيد الخط لدارة حماية زيادة التيار من تيارات قصر الدارة الخارجية الثلاثية المتناظرة مع إقفال هبوط توتر عن طريق حاكمة التوتر الأصغري (4) وكذلك حماية زيادة التيار من تيارات قصر الدارة الخارجية غير المتناظرة مع استخدام مرشحة المركبة المتناظرة العكسية للتيار **FCSI** مع إقفال هبوط

التوتر عن طريق حاكمة التوتر الأصغري (3). تكون تماسات الحاكمة 3 مغلقة في حالة التشغيل النظامية ويطبق في هذه الحالة التوتر النظامي بين الطورين S و R على ملف تشغيل الحاكمة 4 عبر تماس الحاكمة 3 فلا تعمل هذه الحاكمة. أما عندما يحصل عطل خارجي غير متناظر فإن الحاكمة 1 سوف تتهيج وتغلق تماسها وتوصل التوتر المستمر الموجب إلى تماس الحاكمة 4 المفتوح الذي يتغير ويغلق، لأن الحاكمة 3 سوف تتهيج بسبب ظهور المركبة المتناظرة العكسية للتيار في حالة الأعطال غير المتناظرة، وتتم تغذية ملف تشغيلها عن طريق المرشحة **FCSI** فتغلق بذلك تماسها وهذا يسبب تطبيق التوتر على ملف التشغيل للحاكمة 4 فتغير من تماسها وتغلقه فيطبق التوتر المستمر على الحاكمة الزمنية 2 فتغلق تماسها وتعطي الإشارة إلى صالة القيادة، وتعطي الأمر لفتح القاطع الآلي للمحولة لعزل العطل. يتم حساب تيار إقلاع أنظمة حماية زيادة التيار اعتماداً على قيمة تيار الحمل الأعظمي الذي يمر في المحولة الكهربائية وفقاً للعلاقة التالية:

$$I_{pp} = \frac{k_{sec}}{k_{rev}} I_{load\max} \qquad (5\text{-}1)$$

حيث:

I_{pp}: تيار الأولي لإقلاع نظام الحماية

$I_{Load\ max}$: تيار الحمل الأعظمي

K_{sec}: ثابت الوثوقية

K_{rev}: ثابت الرجوع

وتحسب قيمة تيار الحمل الأعظمي $I_{Load\ max}$ في فرضيتين للتشغيل وذلك وفقاً لشروط عمل المحولة الكهربائية. فيحدد تيار الحمل الأعظمي في الفرضية الأولى مساويا للتيار الذي يمر في المحولة الكهربائية عند إقلاع المحركات الكهربائية المغذاة من هذه المحولة الكهربائية، وتعطى قيمة تيار الحمل الأعظمي في هذه الفرضية بالعلاقات التالية:

$$I_{Load\ max} = K_{ap1} \cdot I_n \qquad (5\text{-}2)$$

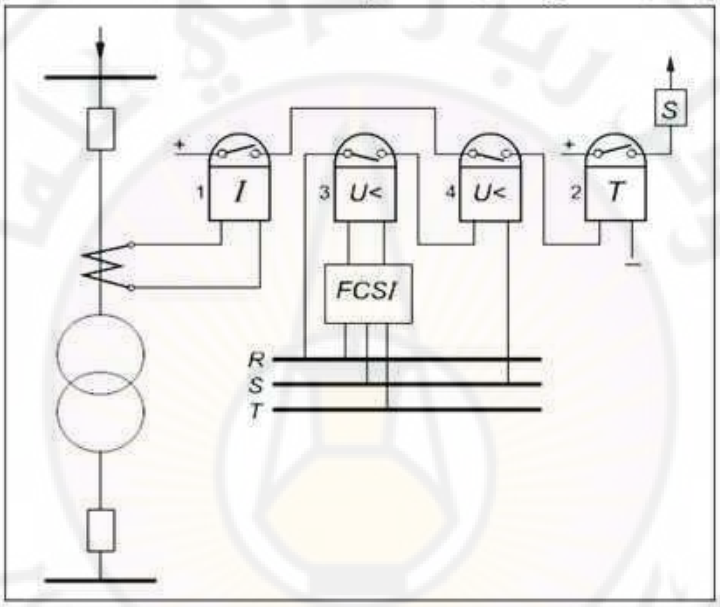
$$I_{Load\ max} = I_n + K_{ap2} \cdot I_{ns} \qquad (5\text{-}3)$$

حيث:

I_n:التيار النظامي للمحولة الكهربائية

Kap1 , Kap2: ثوابت تأخذ بعين الاعتبار طريقة إقلاع المحركات الكهربائية المغذاة من المحولة الكهربائية.

I_{ns}: التيار النظامي الإضافي الذي ينتج عن الحمل الكهربائي الذي تغذيه المحولة بالإضافة إلى تيارات اقلاع المحركات الكهربائية.

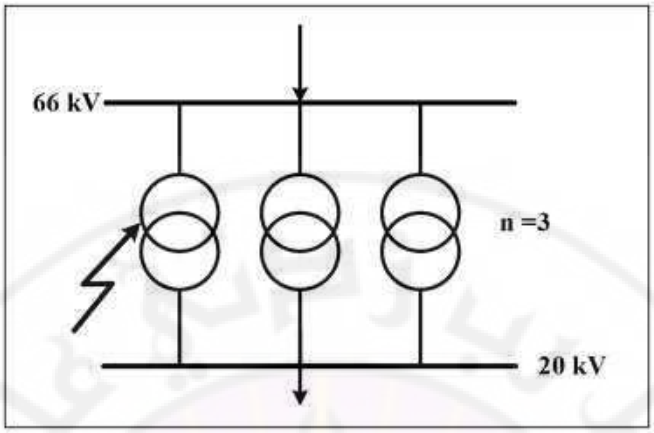


الشكل (5 – 8) مخطط الخط الواحد لدارة حماية زيادة التيار من تيارات قصر الدارة الخارجية الثلاثية المتناظرة مع إقفال هبوط توتر

ويحدد تيار الحمل الأعظمي في الفرضية الثانية استنادا إلى الذي يمر في المحولة الكهربائية إذا كانت تعمل على التوازي مع محولة أخرى، وحدث أن خرجت إحدى هذه المحولات الكهربائية من التشغيل وبذلك يمر تيار الحمل بالكامل عبر المحولة المطلوب حمايتها. وتعطى قيمة تيار الحمل الأعظمي بالعلاقة:

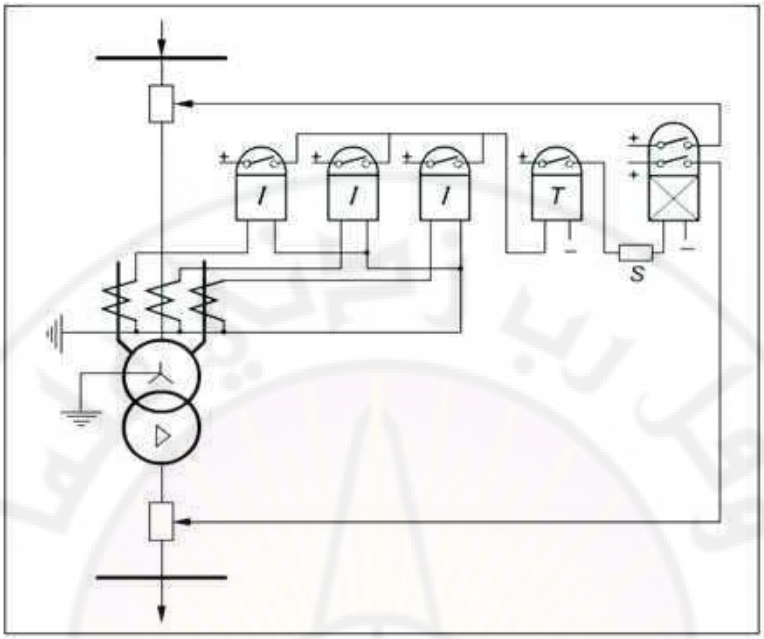
$$I_{load\max} = \frac{n}{n-1} I_n \qquad (5\text{-}4)$$

حيث : n عدد المحولات الكهربائية التي تعمل مع بعضها على التوازي كما هو مبين في الشكل (5 – 9).



الشكل (5 – 9) محولات كهربائية تعمل مع بعضها على التوازي

أما في الفرضية التي تغذي فيها المحولة الكهربائية محركات كهربائية، وتعمل أيضاً على التوازي مع محولات كهربائية أخرى، فإن قيمة تيار الحمل الأعظمي تؤخذ مساوية لقيمة التيار الأكبر الناتج عن الفرضيتين المذكورتين أعلاه وذلك لكي لا تعمل الحماية بشكل خاطئ عند إقلاع المحركات الكهربائية بشكل متلازم مع خروج إحدى المحولات الكهربائية المربوطة على التوازي من الخدمة. يبين الشكل (5 – 10) المخطط الكهربائي لنظام حماية التيار الأعظمي للمحولات الكهربائية باستخدام ثلاث محولات تيار يحقق حساسية مضاعفةً بالمقارنة مع الحالة التي تستخدم فيها محولتا تيار فقط. تستخدم في نظام الحماية هذا ثلاث محولات تيار تركب على الأطوار الثلاثة من جهة التغذية الكهربائية مع ثلاث حاكمات تيار وحاكمة زمنية لتأمين الانتقائية. ويؤمن هذا النظام حماية المحولة الكهربائية ثنائية الملفات وثلاثية الأطوار من الأعطال الخارجية المتناظرة، ويمكن أن تعد حماية مساعدةً في حالة الأعطال الثلاثية المتناظرة التي يمكن أن تحدث ضمن المحولة الكهربائية.[19]



الشكل(5 – 10) حماية التيار الأعظمي للمحولات الكهربائية باستخدام محولات تيار

كما يبين الشكل (5 – 11) المخطط الكهربائي لنظام حماية التيار الأعظمي للمحولات الكهربائية باستخدام ثلاث حاكمات تيار مع محولتي تيار فقط تركب على طورين من أطوار المحولة لغرض تخفيض التكلفة الاقتصادية مع المحافظة على الحساسية المطلوبة.

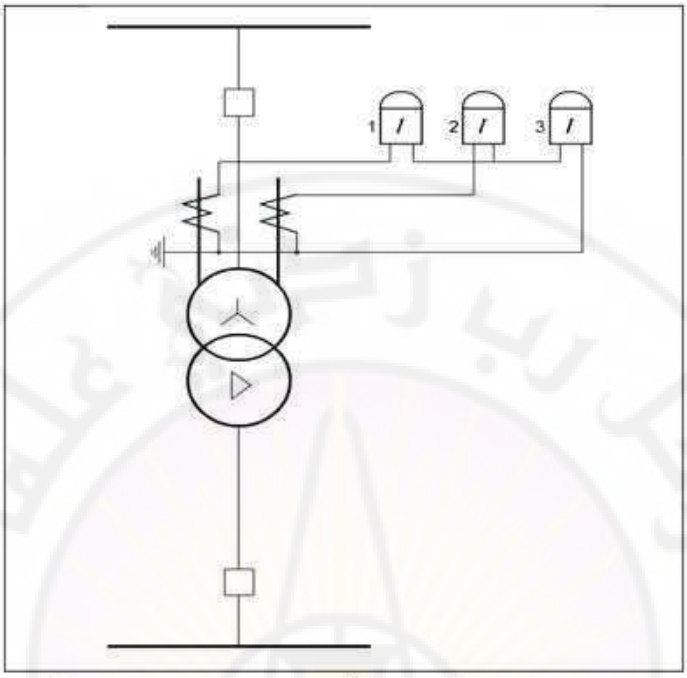
يلاحظ في هذا المخطط أن التيار الذي يمر في حاكمة التيار (3) سيساوي المجموع الشعاعي للتيارات التي تمر في الحاكمتين 1 و 2 وفق العلاقة التالية:

$$\underline{I}_{r3} = \underline{I}_{r1} + \underline{I}_{r2} = \underline{I}_{sR} + \underline{I}_{sT} \qquad (5\text{-}5)$$

حيث :

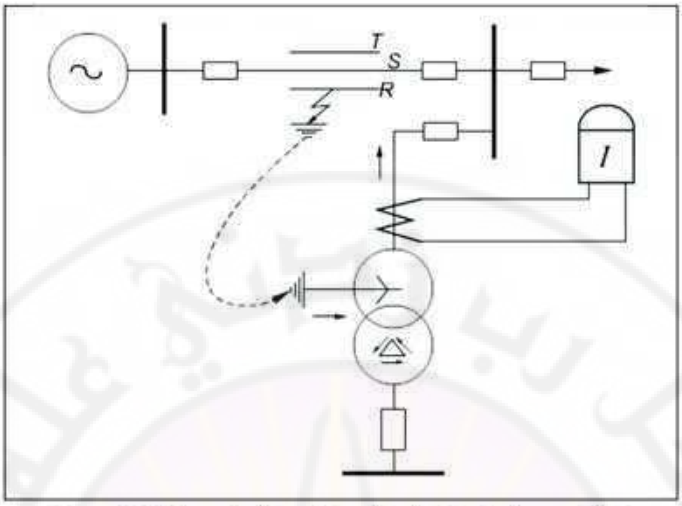
$\underline{I}_{sR}$: التيار في ثانوي محولة التيار المركبةعلى الطور R

$\underline{I}_{sT}$: التيار في ثانوي محولة التيار المركبةعلى الطور S



الشكل (5 – 11) نظام حماية التيار الأعظمي للمحولات الكهربائية باستخدام ثلاث حواكم تيار مع محولتي تيار فقط مركبتين على طورين

تؤخذ في حالة المحولات الخافضة للتوتر التي تكون نقطتها الحيادية مؤرضة بشكل مباشر إلى الأرض، إجراءات إضافية لمنع التشغيل الخاطئ للحماية في حالة ظهور قصر دارة أحادي الطور في النقطة K على شبكة تغذية المحولة الكهربائية كما هو مبين في الشكل (5 – 12) دون أن تقوم حماية الخط الكهربائي بعزل هذا القصر، حيث سيمر التيار الأرضي في محولات التيار التي تغذي نظام حماية محولة الاستطاعة الذي يكون زمن تشغيله أصغر من زمن تشغيل حماية الخط الكهربائي، لأنه وكما هو معلوم يتم تنسيق الحمايات في العناصر الكهربائية المتتالية بشكل متزايد من آخر عنصر وباتجاه مصدر التغذية الكهربائية.

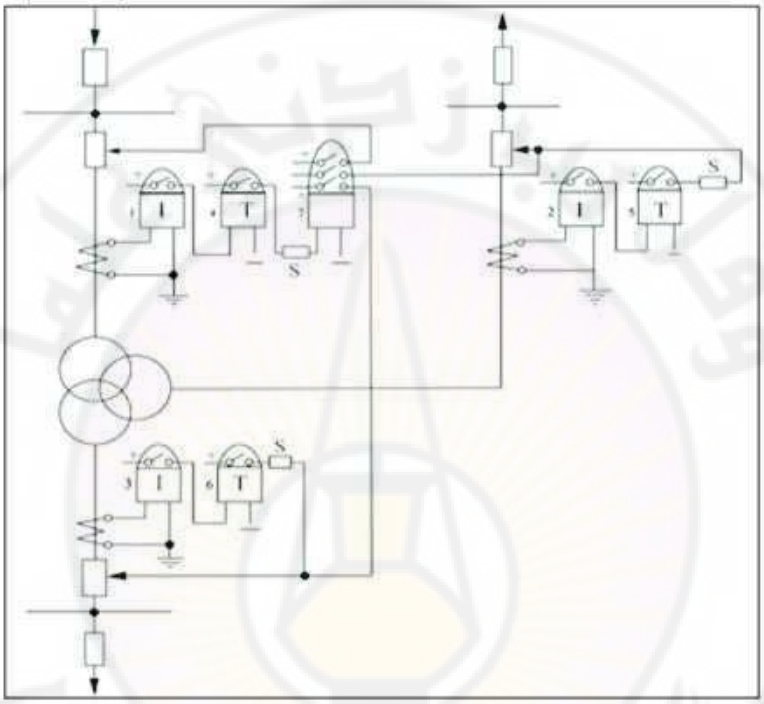


الشكل (5 – 12) منع التشغيل الخاطئ للحماية في حالة ظهور قصر دارة أحادي الطور في النقطة K

5 – 3 – 2 حماية المحولات ثلاثية الملفات من زيادة التيار

يتم تنفيذ أنظمة حماية المحولات ثلاثية الملفات من زيادة التيار بحيث إذا حدث قصر دارة خارجي من جهة أحد التوترات الثلاثة للمحولة الكهربائية فإن أمر الفصل سيعطى للقاطع الآلي في طرف التوتر الذي ظهر عليه قصر الدارة فقط دون غيره، وبذلك يتم تأمين الانتقائية اللازمة لنظام الحماية. ويبين الشكل (5 – 13) مخطط الخط الواحد لحماية زيادة التيار لمحولة كهربائية ثلاثية الملفات وثلاثية الأطوار تتغذى من جهة واحدة، وتعطي الاستطاعة إلى جهتي التوتر الأخريين، مع افتراض أن هذه المحولة الكهربائية هي خافضة للتوتر. يتم تحديد تيارات إقلاع الحاكمات (1 و 2 و 3) استنادا إلى العلاقات (1-5) و (4-5) واعتماداً على تيار الحمل الأعظمي الذي يمر في كل ملف من ملفات المحولة الكهربائية ويغذي محولات التيار التي تربط إليها الحاكمات. وإذا كان شرط الحساسية غير محقق فيتم عندها إضافة شرط إقفال هبوط التوتر، ويتم تحديد تيار إقلاع الحاكمات بالعلاقات (5 – 5) و (5 –4). يتم تعيير حاكمات الزمن (5 و 6) بإضافة عتبة زمنية t زيادةً على أزمنة تشغيل الحماية للعناصر الكهربائية اللاحقة، أما تعيير حاكمة الزمن (4) المربوطة إلى طرف توتر تغذية

المحولة الكهربائية المطلوب حمايتها التي تعطي أمر الفتح لجميع القواطع الآلية المربوطة على أطراف المحولة، فيتم اختيار زمن تشغيلها لتعمل الحاكمة عند زمن أكبر بعتبة زمنية واحدة على الأقل Δt من زمن تشغيل الحاكمات الزمنية (5 و 6).



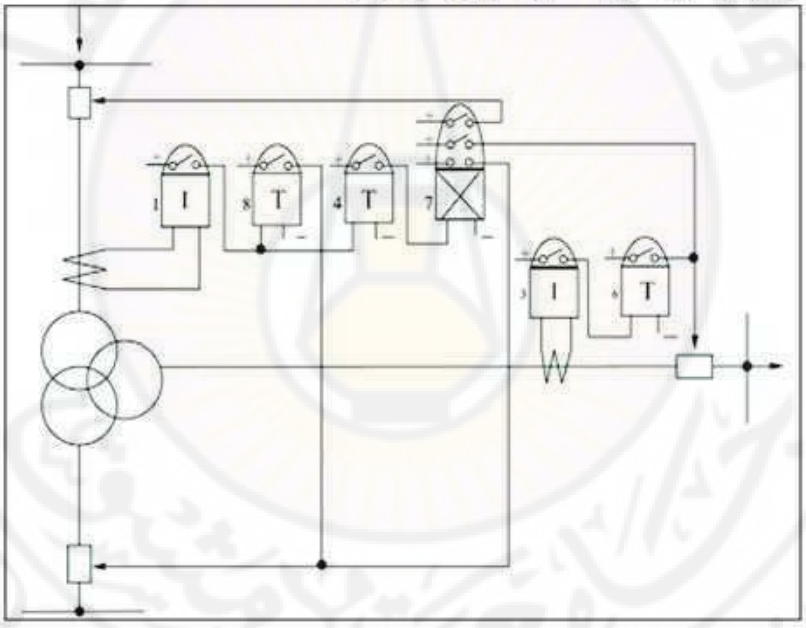
الشكل (5 – 13) زيادة التيار لمحولة كهربائية ثلاثية الملفات وثلاثية الأطوار

تعمل حماية زيادة التيار المركبة على جانب التغذية للمحولة والمنفذة بالحاكمات(1 و 4 و 7) حتى عندما تحدث أعطال داخل جسم المحولة الكهربائية، وهي بذلك تشكل حماية احتياطية للمحولة من الأعطال الداخلية، ويعطى في الشكل (5 – 14) مخطط الخط الواحد لحماية زيادة التيار لمحولة ثلاثية الملفات وثلاثية الأطوار تتم تغذيتها من جانب التوتر 230 kV فقط. ويلاحظ في هذا الشكل أنه لم يتم تركيب عناصر نظام الحماية من زيادة التيار على جانب التوتر 66 kV، وبذلك يتم الحصول على وفر اقتصادي مساوٍ تكلفة محولات القياس والحاكمات التي لا تركب. ويتم عوضاً عن ذلك إضافة حاكمة زمنية (8) على جانب توتر التغذية وتعير على زمن مساو زمن تعيير الحاكمة على

جانب التوتر 66 kV فيما لو تم تركيب هذه الحماية على هذا الطرف، ونحصل على أزمنة التعيير التالية:

$$t_{a6} < t_{a8} < t_{a4} \qquad (5\text{-}6)$$

عندما تحدث أعطال خارجية في شبكة التوتر 20 kV فإن الحاكمات (3 و 6) ستقوم وبشكل انتقائي إعطاء الأمر لفصل القاطع الآلي المناسب على قضبان التجميع 20 kV، أما الحاكمات الزمنية (4 و 8) فإنها سترجع إلى حالة تشغيلها النظامية، وتعود تماساتها إلى الوضعية الطبيعية المفتوحة بسبب زوال تيار تهييجها بعد فصل العطل، وذلك لأن زمن تعييرها يتم اختياره أكبر بعتبة زمنية t.

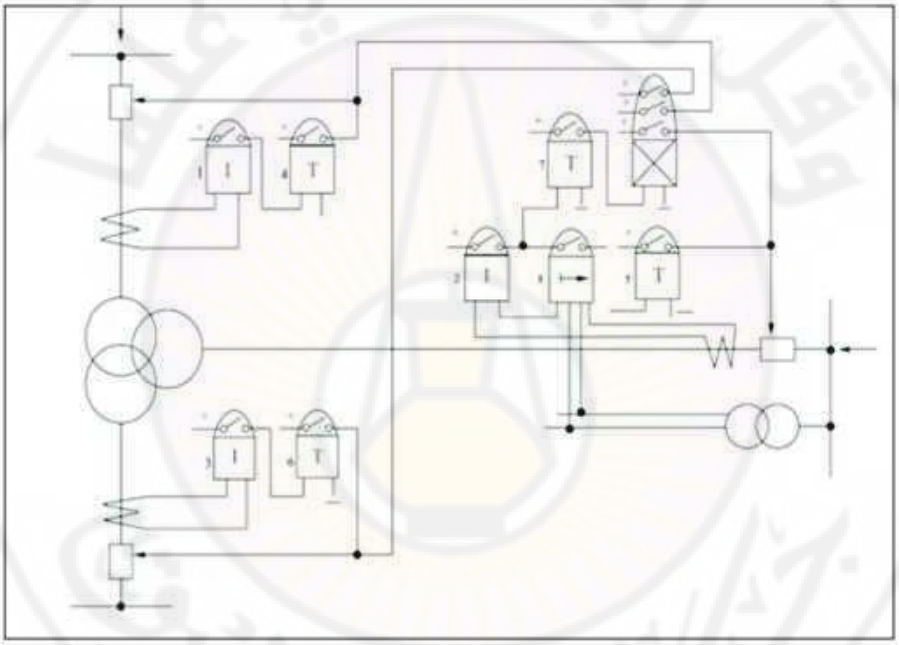


الشكل (5 – 14) الحماية من زيادة التيار لمحولة ثلاثية الطور ثلاثية الملفات

وعندما تحدث أعطال خارجية في شبكة التوتر 66 kV فإن الحاكمة الزمنية (3) لن تعمل ولن تتحرض لأن تيار العطل لا يمر عبر محولات التيار التي تغذي هذه الحاكمة، كما ستقوم الحاكمة الزمنية (8) بإعطاء الأمر لفتح القاطع الآلي على جانب التوتر 66 kV وتعود الحاكمة (4) بعد ذلك إلى حالة تشغيلها النظامية، وترجع تماساتها إلى الوضعية الطبيعية المفتوحة بسبب زوال تيار تهييجها بعد فصل العطل. وتبقى المحولة

الكهربائية بذلك في التشغيل على التوترات 230 kV و 20 kV. أما في حالة الأعطال التي يمكن أن تحدث داخل المحولة الكهربائية فإن الحاكمات (1 و 8 و 4 و 7) ستعمل على أنها حمايةٍ احتياطية للمحولة الكهربائية.

ويبن الشكل (5 – 15) مخطط الخط الواحد لحماية زيادة التيار لمحولة كهربائية ثلاثية الملفات وثلاثية الأطوار عندما يتم ربطها إلى مصدرين للتغذية الكهربائية على التوتر 230 kV و 66 kV مثلاً.



الشكل (5 – 15) الحماية من زيادة التيار لمحولة كهربائية ثلاثية الملفات وثلاثية الأطوار موصلة إلى مصدرين للتغذية الكهربائية

لا يمكن في هذه الحالة الحصول على الانتقائية في تشغيل هذه الحماية إلا بإستخدام الحاكمات الاتجاهية. ويلاحظ في نظام الحماية هذا أن كل مجموعة حاكمات تعطي أمر الفصل للقاطع الآلي الموجود في جهة التوتر الذي تراقبه هذه الحاكمات، وأن هناك حاكمة اتجاهية إضافية (8) مستخدمة في نظام الحماية هذا. يتم تعيير الحاكمات الزمنية في هذا النظام بحيث ينتج:

$$t_{a4} < t_{a5} < t_{a6} \qquad (5\text{-}7)$$

وبهذا التعيير وعند ظهور عطل خارجي في شبكة التوتر 20 kV ستعمل بانتقائية الحاكمات (3) و(6) بحيث تبقى المحولة الكهربائية تحت التوتر في الطرفين230 kV و66 kV وتتابع عملها. أما عندما يظهر عطل خارجي في شبكة التوتر 66 kV فإن الحاكمة (3) لن تعمل، وستعمل بدلاً عنها الحاكمات (1 و 2 و 5)، وتعمل الحاكمة (5) على إعطاء أمر الفصل إلى القاطع الآلي المناسب على جانب التوتر 66 kV بحيث تؤمن الانتقائية المطلوبة وذلك لأن التعيير المحقق هو $t_{a5} < t_{a4}$.

وإذا ظهر عطل خارج المحولة الكهربائية على شبكة التوتر 230 kV ، فإن شرط الانتقائية يتطلب أن تقوم الحاكمة (4) بفتح القاطع الآلي على جانب التوتر 230 kV بحيث تبقى المحولة تعمل وهي مربوطة إلى التوترات 66 kV و 20 kV وتتابع عملها.

5 – 4 حماية المحولات الكهربائية ثنائية الملفات من الأعطال داخل المحولة باستخدام الحماية التفاضلية

تستخدم الحماية التفاضلية في المحولات الكهربائية للحد من الأعطال الكهربائية التي يمكن أن تظهر ضمن المحولات. ويشابه مبدأ عمل الحماية التفاضلية في المحولات مبدأ عمل الحماية التفاضلية في المولدات مع وجود عدد من العوامل الخاصة في هذه الحالة، وأهمها: [19]

آ – مسألة عدم تساوي التيارات في الملف الأولي وفي الملف الثانوي للمحولة الكهربائية :

تكون التيارات في الملف الأولي والتيارات في الملف الثانوي في حالة المحولات الكهربائية غير متساوية بسبب اختلاف التوترات في هذه الملفات، ولكي لا تعمل الحماية التفاضلية بشكل خاطئ في المحولات الكهربائية فإن التيارات الثانوية التي تنتج في ملفات محولات القياس المركبة على جانبي المنطقة التي تؤمن حمايتها، يجب أن تكون متساوية كما هو مبين في الشكل (5– 16) ، وهذا يتطلب أن تحقق نسبة تحويل

محولات التيار n_{tc1} , n_{tc2} العلاقة التالية، وذلك بافتراض أن ملفات المحولة مربوطة بشكل نجمي:

$$I_{s1} = \frac{I_{p1}}{n_{cT1}} = \frac{I_{p2}}{n_{cT2}} = I_{s2} \qquad (5\text{-}8)$$

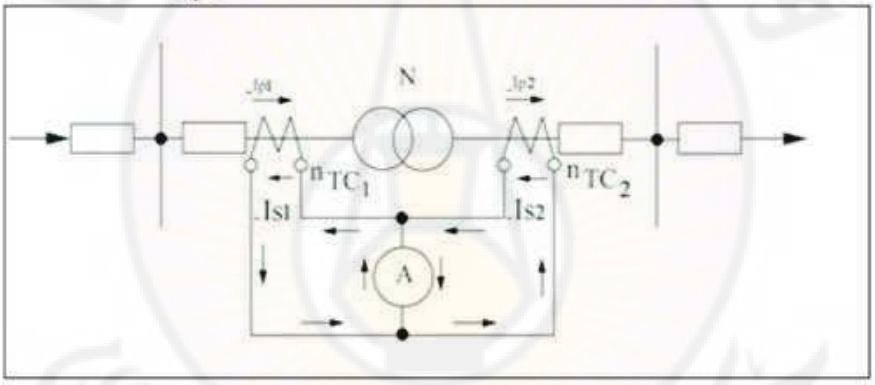
حيث:

I_{p1} , I_{p2} : التيارات الأولية في محولات التيار

I_{s1} , I_{s2} : التيارات الثانوية في محولات التيار

وبذلك ينتج:

$$\frac{I_{p2}}{I_{p1}} = \frac{n_{cT2}}{n_{cT1}} \qquad (5\text{-}9)$$



الشكل (5 – 16) التيارات الثانوية لمحولات القياس على جانبي المنطقة المحمية

باعتبار أن:

$N = \frac{I_{p2}}{I_{p1}}$: نسبة التحويل للمحولة المطلوب حمايتها فإنه يمكن الكتابة:

$$N = \frac{n_{cT2}}{n_{cT1}} \qquad (5\text{-}10)$$

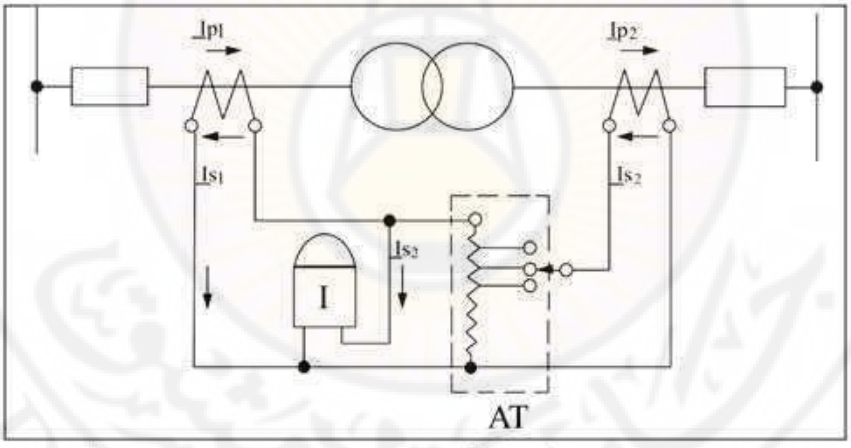
وهذا الشرط المبين في العلاقة (5 – 10) لا يمكن تحقيقه دائماً لأن نسبة التحويل لمحولة الاستطاعة N ونسبة التحويل لمحولات التيار n_{tc1} , n_{tc2} يتم إختيارها بشكل محدد مسبقاً من معطيات الشركات المصنعة وفق النظم القياسية التي تحددها الهيئة العالمية للكهرباء IEC. وإذا نتج في حالة التشغيل النظامي اختلاف بين التيارات الثانوية

في محولات التيار يتجاوز 5% فإنه يتم استخدام محولة ذاتية خاصة لتأمين التوازن بين هذه التيارات، أو يتم استعمال ملف للتوازن في محولة سريعة الإشباع، أو يتم إستخدام حاكمات ذات ملفات كبح كما سيتم شرحه فيما يلي:

يبين الشكل (5– 17) طريقة ربط المحولة الذاتية لتحقيق توازن التيارات لطور واحد من الأطوار في الحماية التفاضلية. تزود المحولة الذاتية AT بعدد من الأقطاب لتحقيق شرط التوازن بحيث يكون التيار I_{s2} أقرب ما يمكن لقيمة التيار I_{s1} ويكون التيار الذي يمر في الحاكمة أقرب ما يمكن للصفر. يستخدم عادة القطب الذي يعطي نسبة تحويل:

$$N_{AT} = I_{s1} / I_{s2} \qquad (5\text{-}11)$$

ويوضح الشكل (5 – 18) مخطط الحماية التفاضلية الطولانية للمحولة الكهربائية لطور واحد باستخدام طريقة ربط محولة إشباع مغناطيسي سريع TSR مزودة بملف توازن،



الشكل (5 – 17) ربط المحولة الذاتية لتحقيق توازن التيارات في الحماية التفاضلية

ويوضح الشكل (5 – 18) مخطط الحماية التفاضلية الطولانية للمحولة الكهربائية لطور واحد بإستخدام طريقة ربط محولة إشباع مغناطيسي سريع TSR مزودة بملف توازن، يؤمن تعويض القيمة الناتجة عن عدم التوازن $I_{s1} - I_{s2}$ في ملف التشغيل للمحولة W_1. وإذا تم تحقيق الشرط التالي:

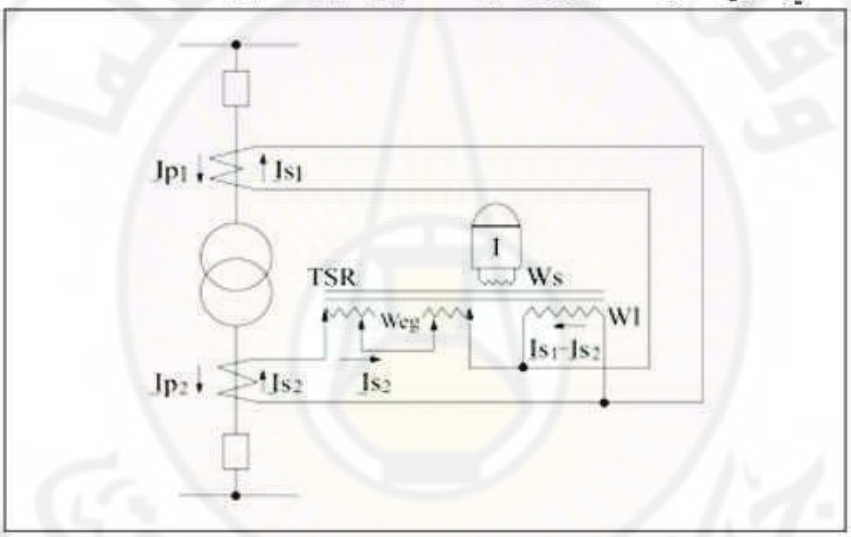
$$W_{eq} * I_{s2} = W_1 * (I_{s1} - I_{s2}) \qquad (5\text{-}12)$$

حيث لدينا:

W_{eq} : عدد لفات وشيعة التوازن.

W_1 : عدد لفات وشيعة التشغيل لمحولة الاشباع المغناطيسي السريع **TSR**.

فإن قيمة الفيض المغناطيسي الذي سيلف القلب المغناطيسي لمحولة الإشباع الغناطيسي السريع **TSR** الناتج عن ملف العمل وعن ملف التوازن سيكون مساويا الصفر، وذلك لأن الفيض الأول والفيض الثاني سيكونان متساويين ومتعاكسين في المحولة **TSR**، وبالتالي فإن التيار الذي سيمر في الحاكمة سيكون مساويا للصفر وذلك بالرغم من أن التيارات في ثانوي محولات القياس Is_1 , Is_2 ستكون غير متساوية.



الشكل (5 – 18) الحماية التفاضلية الطولانية للمحولة الكهربائية لطور واحد باستخدام طريقة ربط محولة إشباع مغناطيسي سريع TSR

ومن العلاقة السابقة يمكن استنتاج عدد اللفات اللازم لملف التوازن كما يلي:

$$W_{eq} = (\frac{I_{s1} - I_{s2}}{I_{s2}}) * W_1 \qquad (5\text{-}13)$$

توجد في التطبيقات العملية حالياً محولات إشباع مغناطيسي مزودة بملفين للتوازن لتأمين توازن التيارات الثانوية في الحماية التفاضلية الطولانية للمحولات ثلاثية الملفات وثلاثية الأطوار.

ب – مسألة فرق الصفحة بين التيارات الثانوية

بالإضافة إلى عدم التوازن في قيم التيارات الثانوية في محولات التيار تعترض الحماية التفاضلية مسألة أخرى مختلفة، وهي أنه بين التيارات الأولية وبين التيارات الثانوية في ملفات محولات التيار هناك فرق في الصفحة، وذلك عندما تكون طريقة ربط ملفات المحولة المطلوب حمايتها غير متطابقة Δ / Y أو Y / Δ ، وينتج بين التيارات في هذه الحالة فرق في الصفحة

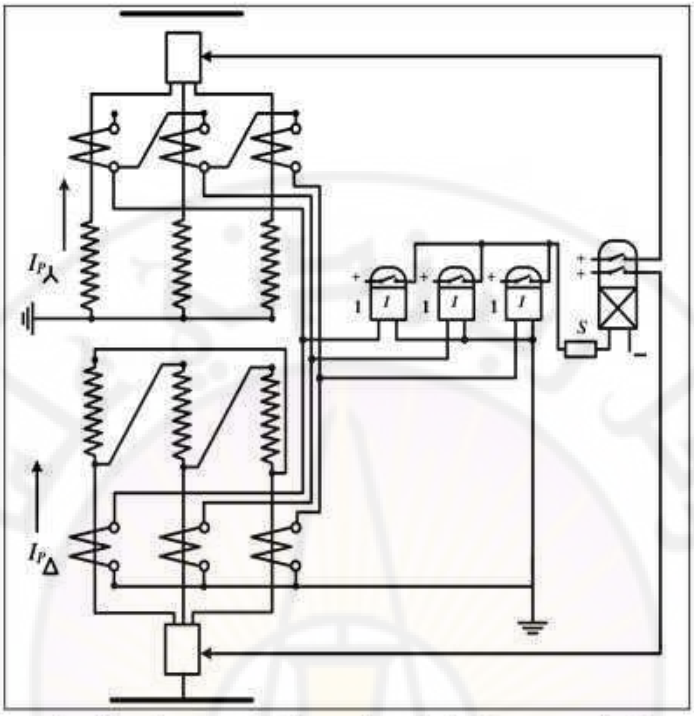
تساوي 30° أو أضعافها، وبسبب هذا الفرق في الصفحة فإنه سيمر في حاكمات التيار المستعملة في الحماية التفاضلية في الأطوار الثلاثة تيارات تساوي إلى:

$$I_{sr1} - I_{sr2} \qquad (5\text{-}14)$$
$$I_{ss1} - I_{ss2}$$
$$I_{sT1} - I_{sT2}$$

ونسبة لقيمة فرق الصفحة بين التيارات الأولية والثانوية فإن التيارات أعلاه تأخذ قيماً هامة يمكن أن تؤدي إلى إقلاع الحماية التفاضلية في حالة التشغيل النظامية. لذلك فإنه يجب في هذه الحالة تعويض قيمة فرق الصفحة وجعلها مساوية للصفر لمنع إقلاع الحماية في حالة التشغيل النظامي . أما في الحالة التي تكون فيها طريقة ربط ملفات المحولة المحمية متطابقة Y / Y فإن هذه المسألة تكون غير موجودة يتم تعويض قيمة فرق الصفحة هذا بإستخدام طريقة ربط محولات التيار على جانبي محولة الاستطاعة المطلوب حمايتها بشكل معاكس لطريقة ربط ملفات محولة الاستطاعة المحمية، أي أنه بجهة الملفات المربوطة بشكل مثلثي يتم ربط محولات التيار بشكل نجمي وبجهة الملفات المربوطة بشكل نجمي يتم ربط محولات التيار بشكل مثلثي كما هو مبين في الشكل (5 – 19). عند ربط محولات التيار بالشكل المثلثي فإن التيار الذي سيمر في نواقل الحماية التفاضلية سيكون أكبر بـ $\sqrt{3}$.

لذلك فإن نسبة تحويل محولات التيار المربوطة بشكل نجمي تحسب بالعلاقة:

$$n_{TC} = \frac{I_{p\lambda}}{I_s}\sqrt{3} \qquad (5\text{-}15)$$



الشكل (5 – 19) تعويض قيمة فرق الصفحة باستخدام طريقة ربط محولات التيار

حيث:

$I_{P\lambda}$: التيار الأولي في ملفات المحولة المحمية المربوطة بشكل نجمي .

I_{λ}: التيار الثانوي في ملفات محولة التيار.

ج – مسألة تيار الصدمة الناتج عن تيار المغنطة

عند تطبيق التوتر على المحولة المحمية فإن تيار المغنطة في المحولة المحمية يأخذ قيمة كبيرة جدا يمكن أن تصل من 6 إلى 8 مرات من قيمة التيار النظامي في لحظة الصدمة. بينما تكون قيمة تيار المغنطة في الحالة النظامية محصورة بين %(5-3) من قيمة التيار النظامي ويتميز تيار المغنطة للحمولة بأن له مركبة مستمرة تصل إلى (40- 60)% من مطال التوافقية الأولى وقد تصل توافقيته الثانية إلى %(70-30) والتوافقية الثالثة تصل إلى حوالي % 27 والرابعة 5% ، وتصل الخامسة إلى 4% ، و تصل السادسة إلى 3.7%، وتصل السابعة إلى 2.4%. تتم إزالة تأثير التوافقية الثالثة

ومضاعفاتها عن طريق الربط المثلثي لملف المحولة المحمية والربط المثلثي لمحولات التيار المستخدمة في الحماية التفاضلية. ويبقى الأثر الأكبر لتيار المغنطة المرتبط بالتوافقية الثانية في أثناء عمل حاكمات الحماية التفاضلية، وتتميز التوافقية الثانية لصدمة تيار المغنطة أن لها تخامدا سريعاً في مرحلة المغنطة الأساسية، ثم يصبح لها بعد ذلك تخامد بطيء ويمكن أن تصل فترة الصدمة إلى عدة ثون بالمقارنة مع تيارات القصر التي تكون مركبتها التوافقية الثانية صغيرة جداً، وتتخامد المركبة المستمرة بسرعة كبيرة وخلال فترة لا تتجاوز (3-2) دورة.

يمر تيار المغنطة لمحولة ما في الملف الأولي (ملف التغذية) فقط وعليه فإن تيار الصدمة المغناطيسية يسبب مرور تيارات في محولات التيار المربوطة إلى جهة التغذية فقط ، وهذا سيؤدي إلى التشغيل الخاطئ للحماية التفاضلية إذا لم تتخذ الإجراءات المناسبة لمنع مثل هذا التشغيل وتحسس الحماية لتيار الصدمة المغنطيسية التي من أهمها:

1- اختيار تيار إقلاع للحماية التفاضلية بتأخير زمني Sec(0.06÷ 0.04). وهذا التأخير كاف لكي يتخامد تيار الصدمة المغناطيسية إلى قيمة اصغر من قيمة تيار إقلاع الحماية .

2-استعمال محولات إشباع مغناطيسي سريع تشكل ما يشبه مرشحة للمركبة المستمرة لتيار المغنطة.

3-استعمال مرشح للتوافقية الثانية من تيار الصدمة المغنطيسية.

د – مسألة تيارات عدم التوازن في ملفات محولات القياس

الحماية التفاضلية للمحولات اكثر تعقيداً منها في حالة الحماية التفاضلية للمولدات نسبة لتيارات عدم التوازن المختلفة التي يمكن أن تظهر، لأسباب عدة حيث لدينا تيار عدم توازن I_{desCT} الذي يظهر بسبب عدم تطابق وتماثل المواصفات المغناطيسية لمحولات التيار المستخدمة.

ثم تظهر لدينا المركبة I_{deseq} ، والتي تمثل تيار عدم التوازن الناتج عن عدم تساوي التيار في ثانوي محولات التيار المستخدمة على جانبي المحولة المحمية، وكذلك تظهر

المركبة $I_{des\ mag}$ ، والتي تمثل تيار المغنطة للمحولة المحمية والذي يمر في الملف الأولي لمحولة القدرة، لكن قيمة هذه المركبة تكون صغيرة في حالة التشغيل النظامية وتقع في المجال %(3-5) من قيمة التيار الاسمي ولذلك يمكن إهمالها. وتظهر أخيرا المركبة $I_{des\ avr}$ التي تمثل تيار عدم التوازن الناتج عن تغيير نسبة التحويل للمحولة المحمية عند تنظيم التوتر تحت الحمل. و بذلك فإن تيار عدم التوازن الكلي يمكن أن يعطى بالعلاقة:

$$I_{des} = I_{des\ cT} + I_{des\ eq} + I_{des\ mag} + I_{des\ avr}$$

$$\rightarrow I_{des} = I_{des\ cT} + I_{des\ eq} + I_{des\ v\ reg} \qquad (5\text{-}16)$$

ولم يؤخذ بعين الاعتبار في العلاقة الأخيرة تيار المغنطة $I_{des\ mag}$ لأننا اعتبرنا أننا سنتخذ إحدى الإجراءات الثلاثة الواردة أعلاه ، للحد من تأثير تيار الصدمة المغناطيسية على حساسية الحماية التفاضلية. وتجدر الإشارة إلى أن قيمة تيار عدم التوازن الكلي تكون أعظمية في حالة حدوث قصر دارة خارجي. تحسب مركبات تيار عدم التوازن بالعلاقات التالية:

$$I_{des\ cp} = K_{id} * K_{aper} * fi * Isc_{\ max\ ext} \qquad (5\text{-}17)$$

حيث:

fi: الخطأ النسبي في محولات القياس المستخدمة في الحماية التفاضلية ويساوي $f_i = f_1 - f_2$ حيث:

f_1 , f_2: نسبة الخطأ في محولة القياس الأولى وفي محولة القياس الثانية

K_{id}: ثابت نوعية تأخذ بالاعتبار تقريب قيمة الخطأ النسبي من 10% من قيمة التيار الثانوي لمحولات القياس.

K_{aper}: ثابت يأخذ بعين الاعتبار زيادة خطأ القياس في الحالة العابرة المرافقة لحالات قصر الدارة.

$I_{des\ cp}$: تيار عدم التوازن الكلي الحسابي اللازم لمعايرة الحماية. يحسب تيار عدم التوازن الناتج عن عدم تساوي التيار في ثانوي محولات التيار المستخدمة على جانبي المحولة المحمية بالعلاقة التالية:

$$I_{des\ eq\ p} = (\Delta feq / 100) * Isc_{\ max\ ext} \qquad (5\text{-}18)$$

حيث:

Δfeq %: الفرق في قيمة التيارات الثانوية لمحولات التيار وإذا كانت هذه القيمة:

$$\Delta feq\ \% > 5\%$$

فإنه يتم استعمال طرائق التحويل المعروضة سابقاً بحيث يبقى لدينا دائماً $\Delta feq\ \% \neq 0$

ويحسب تيار عدم التوازن الناتج عن تغيير نسبة التحويل للمحولة المحمية عند تنظيم التوتر تحت الحمل بالعلاقة:

$$I_{des\ avr} = (\Delta u\ \% / 100) * Isc_{max\ xt} \qquad (5\text{-}19)$$

حيث:

Δu %: نسبة تنظيم التوتر الأعظمية للمحولة المحمية و بذلك يمكن أن نكتب:

$$I_{des\ cl} = Isc_{max\ ext} [K_{id} * K_{aper} * fi + (\Delta feq\ \%/100)+(\Delta u\%/100)] \qquad (5\text{-}20)$$

يجب أن يكون تيار الحماية حساساً تجاه هذا التيار الحسابي، أي يجب أن يكون أكبر منه، لكي لا تعمل الحماية بشكل خاطئ، لذلك يؤخذ تيار إقلاع الحماية كما يلي:

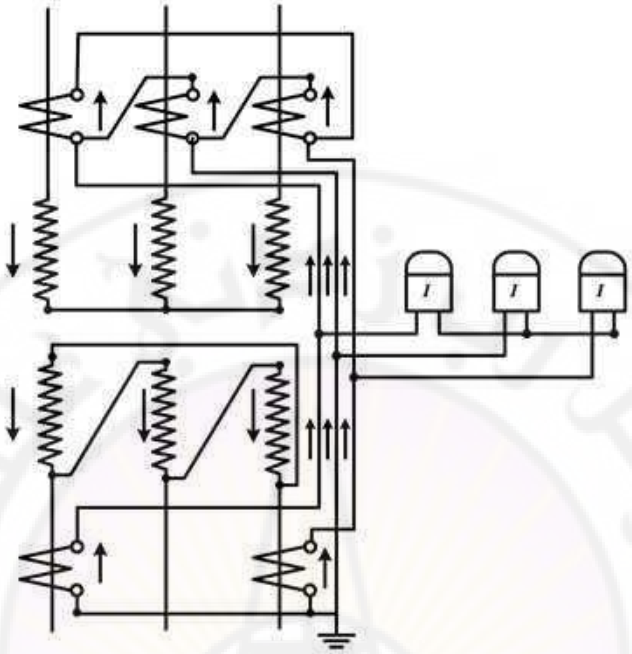
$$I_{pr} = K_{sec} * I_{des\ cl} \qquad (5\text{-}21)$$

نختار K_{sec} في المجال: $K_{sec} = 1.2 - 1.5$

و تستخدم في التطبيقات العملية حاليا ثلاث طرائق لتحقيق الحماية التفاضلية لمحولات الاستطاعة ذات الملفين وهي مبينة فيما يلي:

5- 4 -1 الحماية التفاضلية باستخدام حاكمات التيار بشكل مباشر

و يتم تنفيذ هذه الحماية كما هو مبين بالشكل (5 – 20) إذ لا تؤخذ في هذه الدارة أية إجراءات للحد من تأثير تيار الصدمة المغناطيسية أو للحد من تأثير تيارات عدم التوازن. إنما تربط على مخارج حاكمات التيار، حاكمة مساعدة لها تأخير زمني يساوي 0.04 ÷ 0.06 ثانية الأمر الذي يساعد على إخماد تيار الصدمة المغناطيسية خلال فترة التأخير هذه في المجال I_n (6 – 8) وحتى I_n (2.5 – 3)، ويتم اختيار تيار إقلاع نظام الحماية بحيث يكون أكبر من القيمة المتخامدة لتيار الصدمة المغناطيسية، و يتم التحقق من هذا الأمر عن طريق تجربة ربط المحولة إلى الشبكة بدون حمل.



الشكل (5 – 20) الحماية التفاضلية باستخدام حاكمات التيار بشكل مباشر

وتكون قيمة تيار الإقلاع عادة :

$$I_{pp} = (3 \div 5)\ In \qquad (5\text{-}22)$$

و بهذا الاختيار يتم اختبار حساسية الحماية تجاه تيار عدم التوازن أيضا"والذي ينتج في حالة القصر الخارجي. ويجب أن تحقق هذه الحماية ثابت حساسية كما في العلاقة التالية:

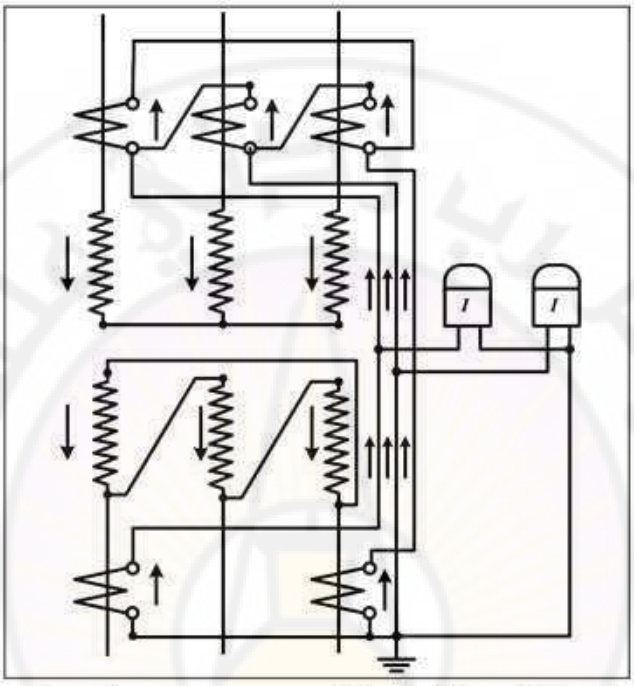
$$K_{sec} = \frac{Isc_{min}}{I_{pp}} = \frac{Isc_{min}}{(3 \div 5) I_n} \geq 1.5 \qquad (5\text{-}23)$$

وإذا لم يتحقق شرط الحساسية هذا، وذلك بسبب قيمة تيار إقلاع نظام الحماية I_{pp} الكبيرة، فإنه يتم التخلي عن هذه الطريقة واختيار طريقة غيرها.

ويبين الشكل (5 – 21) نظام حماية تفاضلية تستخدم فيه خمس محولات تيار وحاكمتان.

وهذه الدارة تحقق إمكانية اقتصاد محولة تيار وحاكمة تيار، أنما هناك سيئة في مثل هذه االدارات هي أنها لا تتحسس تجاه القصر للمرة الثانية مع الأرض على الجهة التي

تستخدم بها محولتا تيار فقط، عند حدوث العطل على الطور الذي لا يربط إليه محولة تيار، وهذا العطل يجب أن تتحسس به أنظمة الحماية الأخرى المستخدمة للمحولة.



الشكل (5 – 21) حماية تفاضلية تتضمن خمس محولات تيار وحاكمتين

5– 4 –2 الحماية التفاضلية بإستخدام محولة الإشباع المغناطيسي السريع

إن إستخدام محولة الإشباع المغناطيسي السريع **TSR** يفرضه عدم تحقق شرط الحساسية المذكور أعلاه. إن ميزة محولة الإشباع المغناطيسي السريع **TSR** في عدم تحويل المركبة المستمرة لتيار الصدمة المغنطيسية ، تجعل هذا الأمر ناجعا" لرفع حساسية الحماية التفاضلية.

تزود محولة الإشباع المغناطيسي السريع **TSR** بملف توازن يساعد على تحقيق توازن التيارات الثانوية في محولات التيار. ويتم حساب تيار الإقلاع الأولي للحماية لتحقيق عدم التحسس تجاه تيار الصدمة المغنطيسية وتحقيق عدم التحسس تجاه تيار عدم التوازن الحسابي.

إن تحقيق الشرط الأول يعطينا عادة :

$$I_{pp} = 1.5 * I_n \qquad (5\text{-}24)$$

ويتم التحقق من هذا الأمر عند ربط المحولة إلى قضبان التجميع بدون حمل.

أما تحقيق الشرط الثاني فإنه يتم عادة بفرض أن $\Delta u = 0$ أي بافتراض أن المحولة غير مزودة بمنظم توتر آلي تحت الحمل, فينتج:

$$I_{pp} = K_{sec} * I_{des\ cl} = K_{sec} * Isc_{min\ ext} * [\ K_{id} * K_{ap} * fi + (\ \Delta feq\% / 100)\ ] \qquad (5\text{-}25)$$

يتم اختيار القيمة الأكبر التي تنتج من العلاقتين.

5 – 4 – 3 الحماية التفاضلية بإستخدام حاكمات تيار ذوات ملف فرملة

يتم إستخدام حاكمات تيار ذوات ملف فرملة يمكن أن تحتوي أيضا في بنيتها الداخلية على TSR لما لهذه الحاكمات من فوائد في رفع حساسية الحماية التفاضلية تجاه تيار عدم التوازن وخاصة الناتج عن تنظيم التوتر تحت الحمل في المحولات، وكذلك في حالة المحولات ثلاثية الملفات، والتي تعمل على ثلاثة توترات.

إن مبدأ عمل الحاكمة المزودة بملف فرملة مبين في الشكل (5–22) ولطور واحد من الأطوار الثلاثة للمحولة. يعطي ملف العمل للحاكمة $\mathbf{W_1}$ عزماً كهرطيسياً $\mathbf{M_1}$ عند مرور تيار في الدارة التفاضلية. أما ملف الفرملة والمؤلف من قسمين عدد لفاتهما متساويين $\mathbf{W_{f1} = W_{f2}}$ فإنه يعطي عزماً كهرطيسياً $\mathbf{M_f}$. ويعطي النابض المقاوم عزماً ميكانيكياً $\mathbf{M_A}$.

ولكي تغلق تماسات الحاكمة فإنه يجب أن يتحقق الشرط:

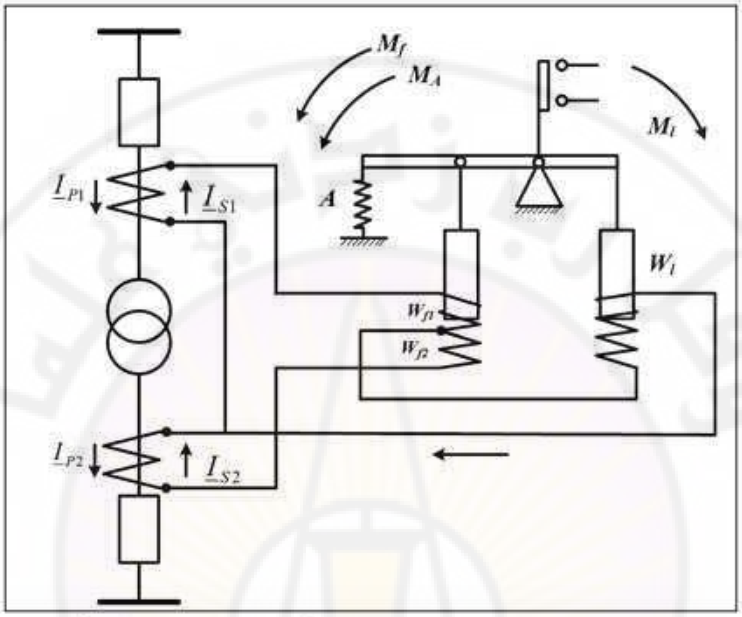
$$M_1 \geq M_A + M_f \qquad (5\text{-}26)$$

عند حدوث عطل خارجي، سيساوي التيار الذي سيمر في ملفات الفرملة للتيار الثانوي الناتج في محولات التيار:

$$I_f \approx I_{S1} \approx I_{S2} \qquad (5\text{-}27)$$

أما التيار الذي سيمر في ملف التشغيل فيساوي لتيار عدم التوازن، وفي هذه الحالة سيعمل العزم الكهرطيسي، إضافة إلى عزم النابض الميكانيكي، على منع الحاكمة من العمل والتحسس لتيار القصر الداخلي. أما عند حدوث عطل داخل المنطقة المحمية فإن اتجاهات التيارات المفترض I_{S2} ، I_{P2} سوف يتغير وسوف ينتج في جزأي ملف الفرملة تيارات متعاكسة وبالتالي فإن العزم الكهرطيسي المرتبط بهما سوف يتعاكس، وينتج عن

هذا الأمر أثر صغير ومهمل للفرملة، وبالتالي فإن الحاكمة سوف تتحسس لتيار العطل داخل المنطقة المحمية.



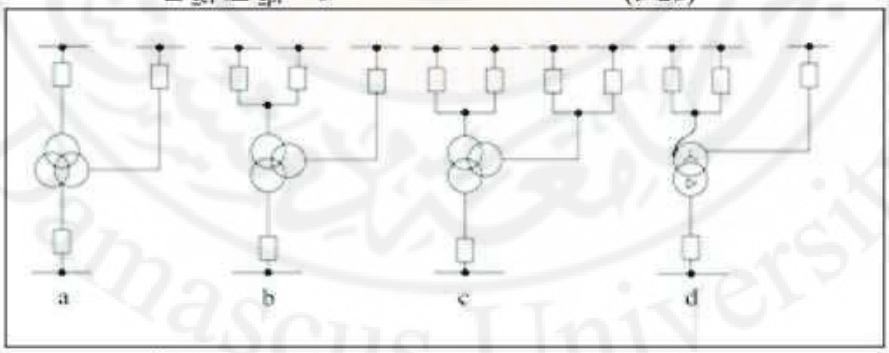
الشكل (5 – 22) عمل الحاكمة المزودة بملف فرملة

5 – 5 حماية المحولات الكهربائية ثلاثية الملفات وثلاثية الأطوار من الأعطال باستخدام الحماية التفاضلية :

تتمتع أنظمة الحماية التفاضلية الطولانية المستخدمة في المحولات أو في المحولات الذاتية ثلاثية الملفات بخصوصيات أهمها أن هذه المحولات تربط إلى الشبكة الكهربائية عن طريق ثلاثة أو أربعة قواطع آلية كما هو مبين في الشكل (5 – 23) إذ لدينا محولة ثلاثية الملفات تربط إلى الشبكة الكهربائية عن طريق ثلاثة قواطع آلية (**b**)، وحيث هناك محولة كهربائية ثلاثية الملفات تربط إلى شبكة توتر عالٍ ضخمة عن طريق قاطعين آليين (**a**)، وحيث هناك محولة كهربائية ثلاثية الملفات يربط ملفان مختلفان من ملفاتها إلى قضيبي تجميع مختلفين عبر قاطعين آليين على كل قضيب تجميع ويربط الملف الثالث إلى قضبان[16]

تجميع أخرى عبر قاطع واحد (c)، وحيث لدينا أخيراً محولة كهربائية ذاتية ثلاثية الملفات تربط إلى الشبكة الكهربائية عبر أربعة قواطع آلية (d)، ويتم في هذه الحالات تركيب أنظمة الحماية التفاضلية باستخدام محولات قياس كهربائية على كافة التوترات والأطوار، وتستخدم الحماية التفاضلية الطولانية لتأمين حماية المحولات الكهربائية من مختلف الأعطال الكهربائية التي يمكن أن تظهر ضمن المحولة. يبين الشكل(5- 24) المخطط الكهربائي وحيد الخط للحماية التفاضلية لمحولة كهربائية ثلاثية الملفات وثلاثية الأطوار تربط مع الشبكة الكهربائية، عبر ثلاثة قواطع آلية. حيث تركب في هذه الحالة ثلاث مجموعات من محولات قياس التيار وتشكل الدارة التفاضلية عن طريق ربط أقطاب ثانوي محولات القياس القريبة من ملفات محولة الاستطاعة مع بعضها وربط أقطاب ثانوي محولات القياس الأخرى مع بعضها ويربط على التفرع مع هذه الدارة التفاضلية حاكمة التيار. في حالة التشغيل النظامية أو في حالة قصر الدارة التي تحدث خارج المحولة المطلوب حمايتها يكون مجموع التيارات الأولية التي تدخل إلى المنطقة المحمية، منسوبة إلى توتر واحد من توترات الشبكة التي تعمل فيها المحولة الكهربائية، I_{pi} مساويا مجموع التيارات الثانوية I_{ei} التي تخرج من المنطقة المحمية ومنسوبة طبعاً إلى ذات التوتر، حيث تمكن الكتابة:

$$\Sigma \underline{I}_{ei} \cdot \Sigma \underline{I}_{pi} = 0 \qquad (5\text{-}28)$$

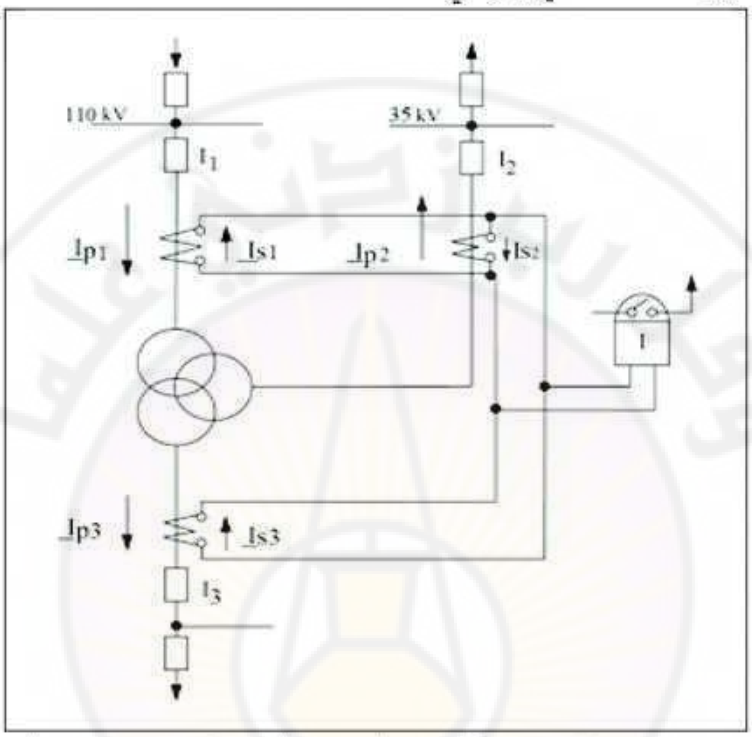


الشكل (5 – 23) ربط المحولات إلى الشبكة الكهربائية عن طريق أربعة قواطع آلية

وإذا أهمل تيار المغنطة في محولة الاستطاعة، وكذلك تيارات المغنطة في محولات قياس التيار يمكن أن تكتب علاقة مشابهة بين التيارات الثانوية وكما يلي:

$$\Sigma \underline{I}_{ei} - \Sigma \underline{I}_{si} = 0 = \underline{I}_r \qquad (5\text{-}29)$$

حيث: $\mathbf{I}_r$ تيار المحصلة الذي يمر في الحاكمة.



الشكل(5 – 24) الحماية التفاضلية لمحولة كهربائية ثلاثية الملفات وثلاثية الأطوار

أما في حالة ظهور قصر دارة ضمن المنطقة المحمية فإنه ستمر في نقطة العطل كافة التيارات بحيث يمكن أن تكتب العلاقة التالية:

$$\Sigma \underline{I}_{pi}' + \Sigma \underline{I}_{pe}' = \underline{I}_{sc\ in} \qquad (5\text{-}30)$$

وحيث يمثل $\underline{I}_{sc\ in}$ تيار القصر الكلي في نقطة العطل. يمكن الملاحظة أن التيار الذي سيمر في الحاكمة يتناسب تقريباً مع تيار العطل الكلي الذي يظهر داخل المنطقة المحمية. وتظهر في حالة المحولات الكهربائية ثلاثية الملفات وثلاثية الأطوار المسائل الخاصة التي تظهر في حالة المحولات الكهربائية ثنائية الملفات مثل مسألة عدم تساوي التيارات في الملف الأولي وفي الملف الثانوي للمحولة الكهربائية ومسألة فرق الصفحة بين التيارات الثانوية ومسألة صدمة تيار المغنطة ومسألة تيارات عدم التوازن في ملفات

محولات القياس وتعالج هذه المسائل باستخدام ذات الطرائق التي تم عرضها ضمن خصوصيات الحماية التفاضلية للمحولات ثنائية الملفات وثلاثية الأطوار.

تتم معايرة الحماية التفاضلية في حالة المحولات والمحولات الذاتية وتحديد تيار إقلاع الحاكمة التفاضلية مع تحقيق شروط الحساسية لصدمة تيار المغنطة ولمسألة تيارات التوازن، ويحدد الشرط الأول بالعلاقة التالية:

$$I_{pp} = (1.2 - 1.5)I_n \qquad (5\text{-}31)$$

ويحدد الشرط الثاني بالعلاقة التالية:

$$I_{pp} = K_{sec} * I_{des\ cl}$$

$$Ipp = K_{sec} * Isc_{min\ ext}*[K_{id} * K_{aper}* fi + (\Delta U_a\%/100).\ K_a + (\Delta U_b\%/100).\ K_b + f_{eq\ a}.\ K_a + f_{eq\ b}.\ K_b] \qquad (5\text{-}32)$$

حيث:

fi: الخطأ النسبي في محولات القياس المستخدمة في الحماية التفاضلية وتساوي

$$f_i = f_1 - f_2 \qquad (5\text{-}33)$$

f_1 , f_2: نسبة الخطأ في محولة القياس الأولى وفي محولة القياس الثانية.

K_{id}: ثابتة نوعية تأخذ بعين الاعتبار تقريب قيمة الخطأ النسبي إلى 10% من قيمة التيار الثانوي لمحولات القياس.

K_{aper}: ثابتة تأخذ بعين الاعتبار زيادة خطأ القياس في الحالة العابرة المرافقة لحالات قصر الدارة.

$I_{des\ cl}$: تيار عدم التوازن الكلي الحسابي اللازم لمعايرة الحماية.

$\Delta U_a\%$: تمثل نسبة تنظيم التوتر الأعظمية للملفات a للمحولة المحمية عند استعمال منظم التوتر الآلي تحت الحمل.

$\Delta U_b\%$: تمثل نسبة تنظيم التوتر الأعظمية للملفات b

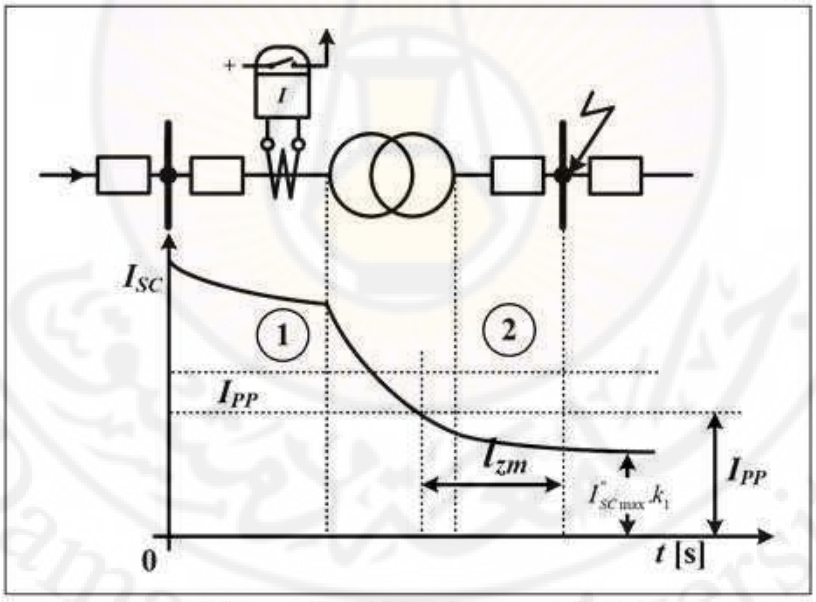
f_{eqa} , f_{eqb}: ثابت يأخذ بالاعتبار الفرق بين تيار التوازن الحسابي وتيار التوازن المتاح عن طريق محولة التيار للملفات a و b للمحولة المحولة المحمية.

K_a و K_b: ثابتة تأخذ بعين الاعتبار نسبة توزع التيارات في ملفات محولة الاستطاعة.

وتختار القيمة الأكبر التي تنتج من هذين الشرطين لتعيير تيار إقلاع الحماية التفاضلية في هذه الحالة.

5 – 6 الحماية بتجزئة التيار Current Sectionalizing

تعد الحماية بتقطيع التيار من أحد أنظمة حماية زيادة التيار ولكن بدون تأخير زمني. ويحسب تيار إقلاع هذه الحماية نسبةً لتيار القصر الأعظمي عندما يظهر العطل خارج المنطقة المطلوب حمايتها. ويبين الشكل (5 – 25) دارة الحماية بتقطيع التيار، وكذلك تغيرات تيار القصر نسبة إلى مكان نقطة العطل. ولكي تعمل حماية تقطيع التيار، بشكل انتقائي، عند حدوث عطل خارج المنطقة المحمية، يتم اختيار تيار إقلاع الحماية بقيمة أكبر من قيمة تيار العطل الناتج في نقطة تقع أقرب ما يمكن للمنطقة المحمية. النقطة K



الشكل (5 – 25) دارة الحماية بتجزئة التيار

$$I_{pp} = K_{sec} \cdot I''_{SC\ max\ k} \qquad (5\text{-}34)$$

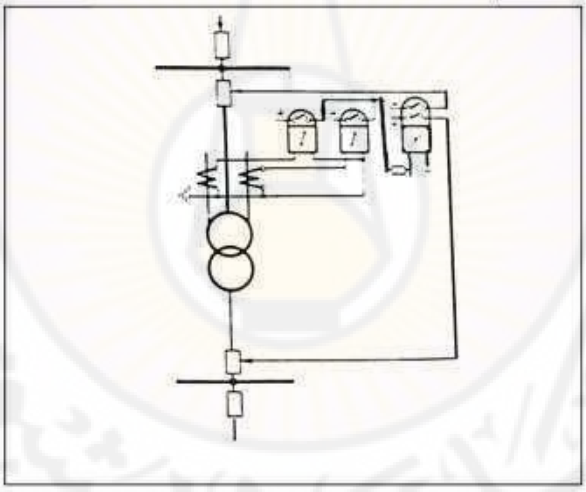
حيث تكون قيمة عامل الأمان: $K_{sec} = 1.2 – 1.6$

لذلك يجب التحقق من تيار الإقلاع بحيث لا تعمل الحماية عند ظهور تيار الصدمة المغناطيسية ولهذا يؤخذ $I_{pp} = (3 - 5) I_n$ والذي يتم التحقق منه بوضع المحولة في الخدمة بدون حمل. ويتم اختيار قيمة تيار الإقلاع الأكبر التي تنتج من هاتين الحالتين.

ويبين الشكل (5 – 25) أن هناك منطقةً ميتةً لا تغطيها الحماية بتقطيع التيار وعند حدوث أعطال في هذه المنطقة فإن الحماية الغازية وحماية زيادة التيار سوف تؤمن الحماية المطلوبة. ويتم التحقق من ثابتة الحساسية لهذه الحماية باستخدام تيار القصر الثنائي الأصغري في علاقة الحساسية:

$$K_{sens} = \frac{I^{(2)}_{SC\min}}{I_{pp}} \geq 2 \qquad (5\text{-}34)$$

ويبين الشكل (5 – 26) مخطط الدارة الفعلية لهذه الحماية.



الشكل (5 – 26) مخطط الدارة الفعلية

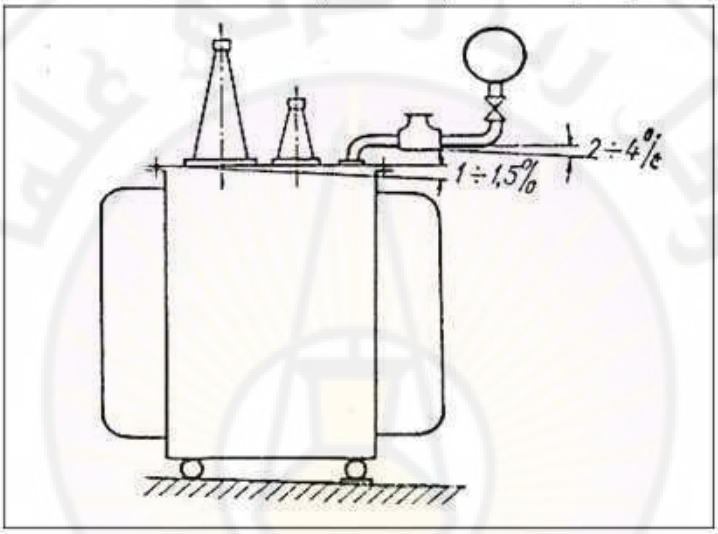
5-7الحماية باستعمال الحاكمات الغازية- بوخلز

Gas Protection – Bucholz

تستخدم هذه الحماية في حالة المحولات الكهربائية المزودة بخزان زيت. وتعمل هذه الحماية ضد جميع الأعطال التي تنتج داخل جسم المحولة لأن أي عطل فيها سينتج

عنه انطلاق الغازات، نتيجة لتحلل وتفكك المواد العازلة ضمن المحولة تحت تأثير القوس الكهربائي، وتحت تأثير مرور تيارات القصر الكبيرة التي تنشر الحرارة في الزيت.

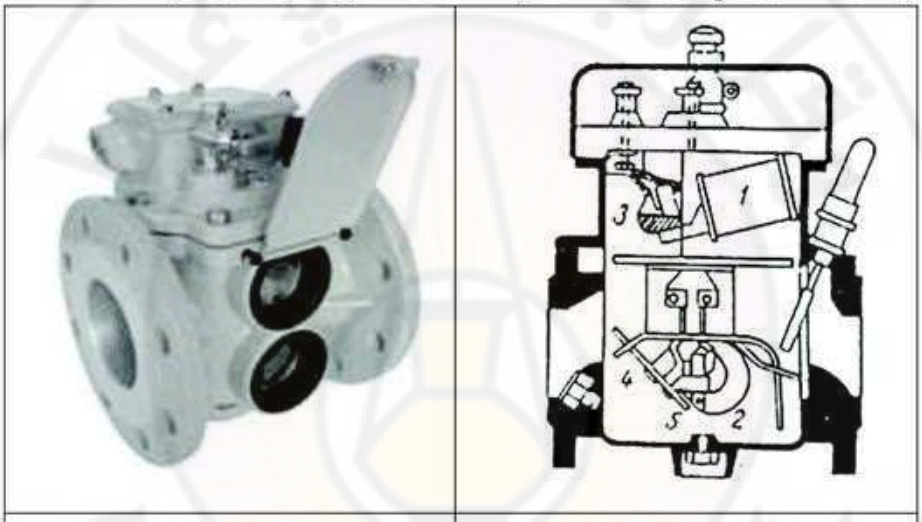
تركب حاكمة بوخولز على الأنبوب الذي يربط جسم المحولة مع خزان الزيت العلوي، ويكون لهذا الأنبوب عادة ميلان نحو الأعلى ليسهل مرور الغازات إلى الخزان العلوي عبر الحاكمة الغازية. ويبين الشكل (5 – 27) مكان تركيب الحاكمة. [17]



الشكل (5 – 27) مكان تركيب الحاكمة

ويبين الشكل (5 – 28) الأجزاء الرئيسية للحاكمة الغازية وصورة لشكل هذه الحاكمة. تكون الحاكمة مملوءة بالزيت في حالة التشغيل النظامي، وتكون الفواشات في الوضعية العلوية والتماسات بالزئبق مفتوحة، وعندما يظهر عطل أولي في المحولة فإن بعض الغازات تنطلق بشكل بطيء وتخرج من حوض المحولة نحو خزان الزيت وتمر عبر الحاكمة، وتتجمع الغازات في الجزء العلوي من الحاكمة فتهبط الفواشة العلوية وهذا يغير من وضعية الأنبوب الزجاجي، فيقوم الزئبق بإغلاق التماسات وتعطي الحاكمة إشارة إلى غرفة المراقبة والقيادة، أما عندما تظهر أعطال قوية في المحولة فإن انطلاق الغازات يكون أعنف، فيمر مزيج من الغاز والزيت بشكل سريع في الحاكمة وتصطدم بالصفيحة العتلة، وتؤدي إلى دورانها حول محورها ومعها الفواشة الثانية السفلية والأنبوب الزجاجي

السفلي، وعند تغيير وضعية الأنبوب تغلق التماسات بالزئبق ويمر التيار في وشيعة تشغيل الحاكمة المساعدة التي تقوم بدورها بإعطاء أمر الفتح لقاطع المحولة. هذا ويمكن التحكم بالسطح الفعال للصفيحة العتلة بحيث يمكن أن تدور حول محورها لأجل سرعة خليط الغاز والزيت المار في الحاكمة تتراوح بين (0.5-1.5)msec، وتعمل الفواشة السفلية على إغلاق تماسات الزئبق بالأنبوب الزجاجي السفلي عندما ينخفض مستوى الزيت بشكل كبير في حوض المحولة (مثلاً: تسرب الزيت من الحوض).

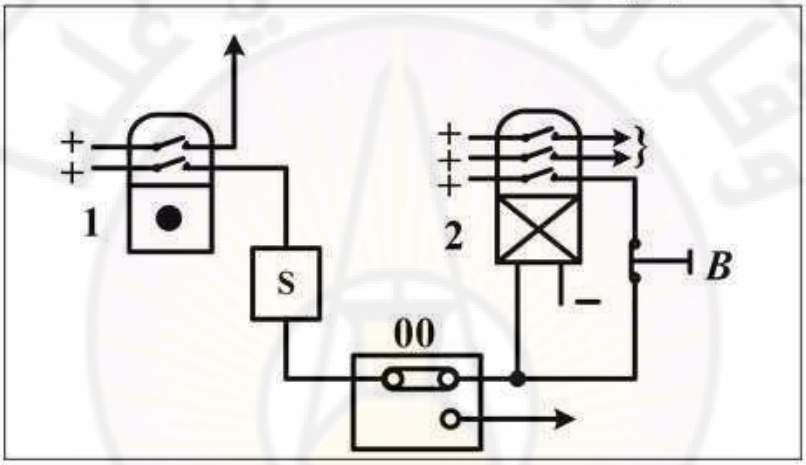


1 . الفواشة العلوية. 2 . الفواشة السفلية. 3 . أنبوب زجاجي يحتوي على تماسين بالزئبق.	4 . قضيب (عتلة) متحركة مع صفيحة مستوية. 5 . أنبوب يحتوي تماس بالزئبق. يمكن لكل فواشة أن تدور حول محورها.

الشكل(5 – 28) الأجزاء الرئيسية للحاكمة الغازية

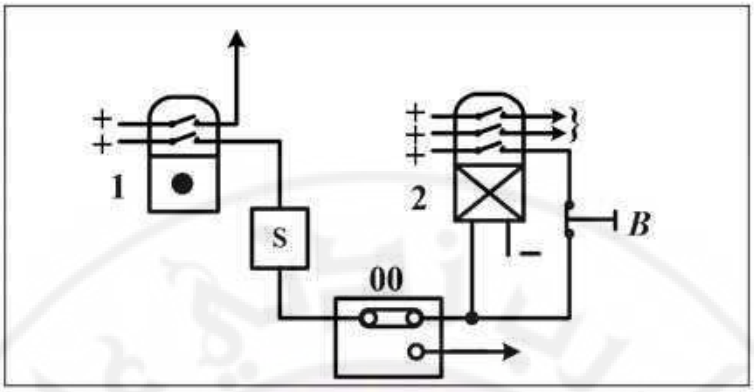
يبين الشكل (5 – 29) المخطط الكهربائي لدارة الحماية بالحاكمة الغازية للمحولات. عندما تتحرض الحاكمة الغازية (1) فإنها تغلق تماساتها المفتوحة العليا إذا كانت كمية الغاز المنطلقة عبرها قليلة وذات سرعة صغيرة، وتعطي بذلك الإشارة إلى صالة القيادة، أما إذا كانت كمية الغازات المنطلقة في المحولة الكهربائية كبيرة وسرعة انطلاقها عالية فإن الحاكمة الغازية تغلق تماسها السفلي وتعطي الأمر عبر حاكمة الإشارة S والمبدلة

OO إلى الحاكمة المساعدة (2) التي تغلق تماساتها، فتؤمن عن طريق التماس السفلي التهييج الذاتي للحاكمة بحيث تبقى مهيجة حتى عند انقطاع إشارة التهييج الواردة من الحاكمة الغازية (1)، كما، تعطي أوامر الفتح إلى القواطع الآلية على جانبي المحولة المحمية. يستخدم المفتاح **B** لإزالة التهييج الذاتي للحاكمة المساعدة يدوياً بعد معالجة العطل، وتستخدم المبدلة **OO** للانتقال إلى وضعية الإشارة بدلاً من وضعية التهييج للحاكمة المساعدة (2).



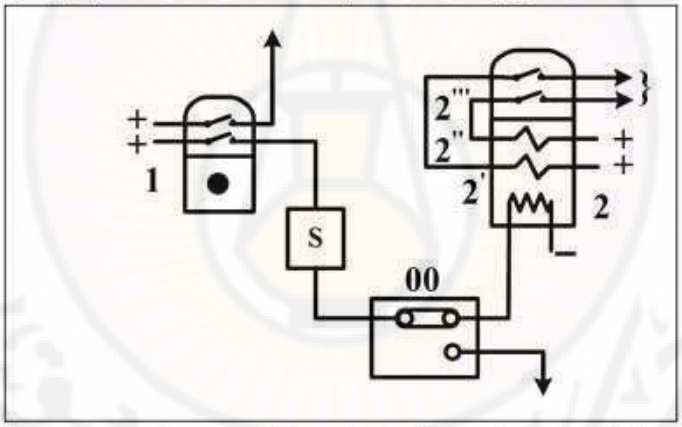
الشكل(5 – 29) دارة الحماية بالحاكمة الغازية للمحولات

أما الشكل (5 – 30) فيبين مخطط دارة مطورة للحماية الغازية، حيث تم إضافة حاكمة مساعدة (3) تتميز أن تماساتها المفتوحة في حالة التشغيل النظامية تكون مزودة بتأخير زمني عند الفتح، وذلك للمحافظة على أمر التشغيل المرسل إلى الحاكمة المساعدة (2) حتى في حالة انقطاع أمر التهييج الوارد من حاكمة الغاز (1).



الشكل(5 – 30) دارة مطورة للحماية الغازية

يبين الشكل (5 – 31) حماية غازية معدلة بهدف التطوير حيث يتم إستخدام حاكمة مساعدة مزودة بثلاث وشائع (2 و'2 و"2)، حيث تكون الوشيعة (2) على التفرع مع



الشكل(5 – 31) حماية غازية معدلة حيث يتم إستخدام حاكمة مساعدة مزودة بثلاث وشائع

الوشيعتين ("2 و'2) المربوطتين على التسلسل. لكي تتهيج الحاكمة المساعدة (2) فإنه يجب أن يصل الأمر إلى الوشيعة (2) عن طريق التماس الأسفل للحاكمة الغازية (1)، وتستخدم الوشائع ("2 و'2) لتأمين المحافظة على التهييج الذاتي آلياً وكذلك لإزالة التهييج الذاتي آلياً، حيث تتم إزالة التهييج الذاتي للحاكمة المساعدة (2) عن طريق إزالة التغذية الكهربائية عن الوشائع ("2 و'2) عند فتح القواطع الآلية للمحولة بعد إزالة العطل.

5– 8 الحماية من تيارات القصر الأحادية

تزود المحولات الكهربائية التي تعمل في الشبكات ذات تيارات القصر الأحادية الكبيرة التي تكون نقطة الحيادي فيها مربوطة للأرض، بحماية من زيادة المركبة الصفرية للتوتر. ويبين الشكل(5 – 32) دارة الحماية من تيارات القصر الأحادية لمحمولة كهربائية باستخدام مرشح المركبة المتناظرة الصفرية. وتركب دارة الحماية عادة باتجاه طرف التغذية ذي تيارات القصر الأحادية الأكبر. وتعير هذه الحماية على تيار إقلاع يحدد بالعلاقة:

$$I_{pp} = (0.4 - 0.8)\, I_{no} \qquad (5\text{-}35)$$

ويكون تيار إقلاع الحاكمة:

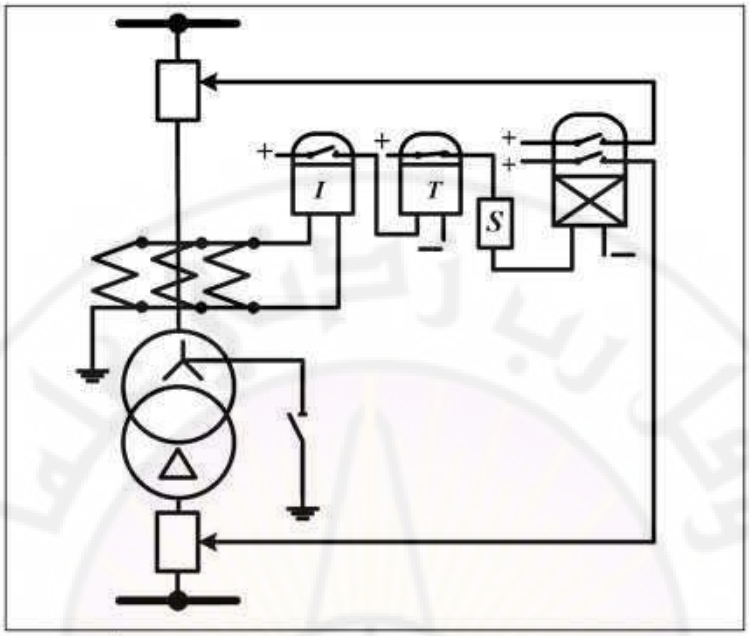
$$I_{pr} = \frac{I_n}{n_{TC}} (0.4\ \ 0.8)\, I_n \qquad (5\text{-}36)$$

ويعير زمن تشغيل هذه الحماية بحيث يكون أكبر من أي زمن تشغيل لأنظمة الحماية المستخدمة ضد الأعطال الأحادية للخطوط المربوطة إلى طرف التوتر العالي للمحولة.

تستخدم لتحديد قيمة عامل الأمان للحماية العلاقة:

$$K_{Sec} = \frac{I_{Scmin}}{I_{pr}} \geq 1.5 \qquad (5\text{-}37)$$

ويؤخذ في هذه العلاقة التيار الذي تعطيه مرشحة المركبات المتناظرة الصفرية عند حدوث عطل أحادي أصغري على الطرف الثاني لأطول خط من الخطوط المربوطة إلى قضبان التوتر العالي المغذاة من المحولة المحمية.

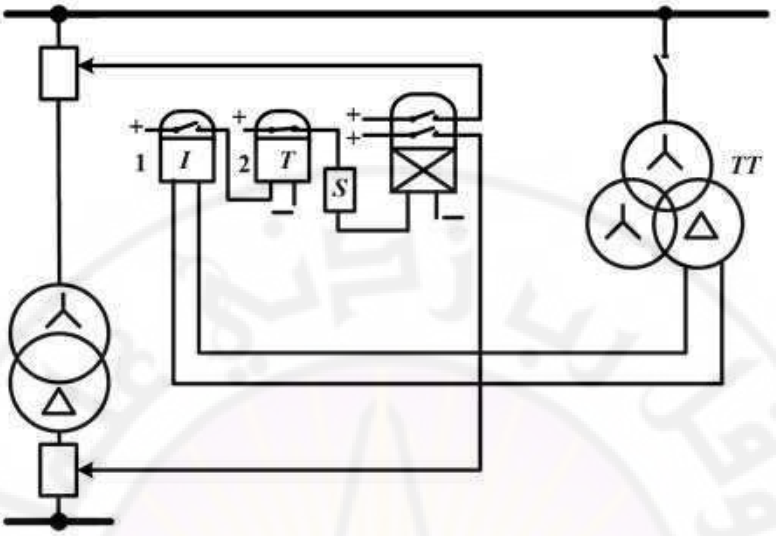


الشكل (5 – 32) دارة الحماية من تيارات القصر الأحادية

وتستخدم حماية المركبة الصفرية لتيار العطل الأحادي في حالة المحولات ذات الحيادي المؤرض فقط. أما في حالة المحولات ذات الحيادي المعزول فإن دارة الحماية تستخدم محولة توتر كما تستخدم حاكمة توتر أعظمي لقياس المركبة الصفرية للتوتر. ويبين الشكل (5– 33) دارة الحماية من تيارات القصر الأحادية باستخدام مرشحة المركبة الصفرية المتناظرة للتوتر.

يتم تعيير حاكمة التوتر الأعظمي على قيمة إقلاع تساوي Upr = 15 V وهذا يحقق حساسية الحماية تجاه توتر عدم التوازن.

أما زمن الحماية فيتم اختياره أكبر بعتبة زمن واحدة مقارنة مع أكبر زمن من أزمنة عمل الحماية الصفرية للخطوط الكهربائية المربوطة إلى قضبان التوتر العالي للمحولة، وكذلك أصغر من زمن الحماية الأعظمية للمركبة المتناظرة الصفرية ولتيار المحولات ذات الحيادي المؤرض بشكل مباشر، والموجودة في ذات المحطة مع المحولة المطلوب حمايتها، وذلك لكي تعمل أولاً حماية المحولات ذات الحيادي غير المؤرض للحد من ظهور توترات عابرة تؤثر في عازليتها.



الشكل (5 – 33) الحماية من تيارات القصر الأحادي باستخدام المرشح الصفري للتوتر

وتستخدم عند حدوث أعطال أحادية مع تماس إلى جسم المحولة المربوطة إلى شبكة ذات تيارات قصر أحادية كبيرة نسبيا، حماية تسمى حماية التماس إلى جسم المحولة وتركب هذه الحماية على دارة تأريض جسم المحولة، وذلك كما هو مبين في الشكل(5– 34)، وتستخدم حاكمة مساعدة مزودة بتماسات خاصة لتأمين التهييج الذاتي للحاكمة حتى يتم فتح قاطع المحولة. ويتم تعيير هذه الحماية على تيار إقلاع يساوي:

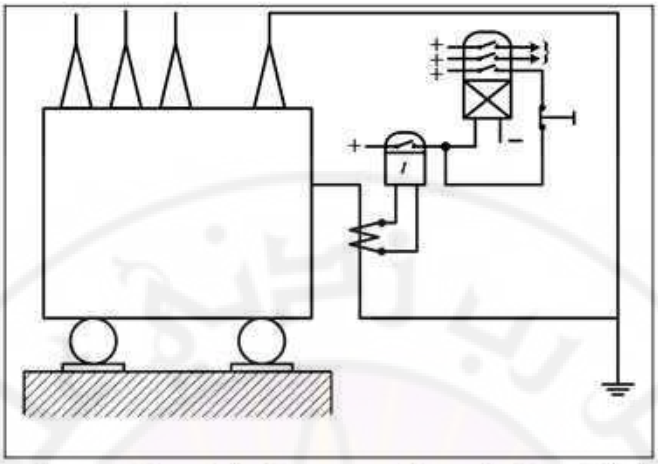
$$I_{pp} = 40 - 50 \text{ A}$$

وفي حال استعمال محولات تيار ذات نسبة تحويل:

$$n_{CT} = \frac{100}{5}$$

فإن تيار إقلاع الحاكمة يصبح مساويا:

$$I_{pr} = 2 - 2.5 \text{ A}$$



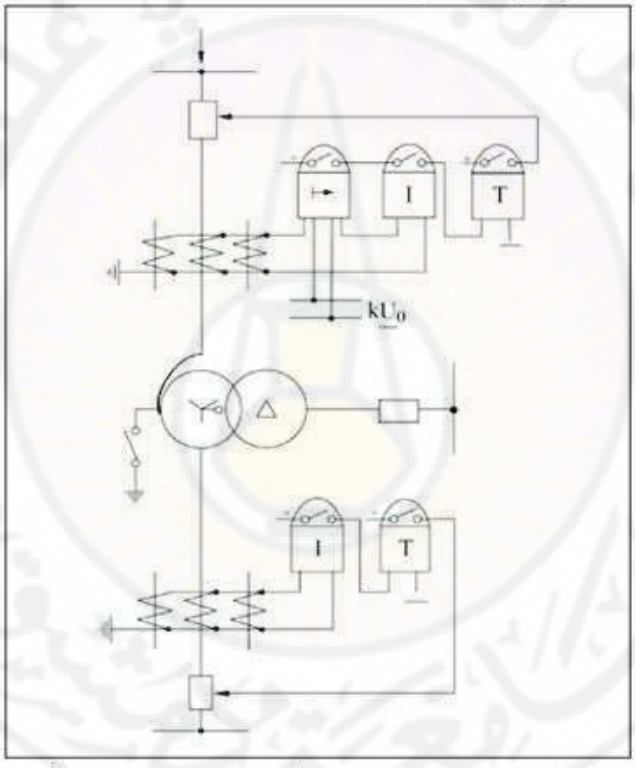
الشكل (5 – 34) حماية تسمى حماية التماس إلى جسم المحولة

5 – 9 مسائل خاصة في حماية المحولات الكهربائية الذاتية

يتم تحقيق أنظمة حماية المحولات الكهربائية الذاتية بشكل مشابه إلى حد كبير لأنظمة الحماية المستخدمة في المحولات الكهربائية مع ظهور بعض المسائل الخاصة المتعلقة بحماية المحولات الذاتية وكما يلي:

1 – بما أن حيادي المحولة الكهربائية الذاتية يكون مربوطاً كهربائياً إلى شبكة التوتر العالي وإلى شبكة التوتر المتوسط، فإن أنظمة الحماية من تيارات القصر الأحادية يتم تحقيقها بشكل منفصل، نظام حماية من تيارات القصر الأحادية على جانب ملف التوتر العالي ونظام حماية آخر على جانب ملف التوتر المتوسط، وذلك لتأمين الانتقائية بحيث يفصل القاطع الآلي الذي ظهر القصر الأحادي في جهته. ويبين الشكل (5 – 35) المخطط الكهربائي لنظام الحماية من تيارات القصر الأحادي المستخدم في المحولات الكهربائية الذاتية. ويلاحظ استخدام حاكمة اتجاهية في طرف توتر التغذية في هذه الحماية لتأمين التشغيل الانتقائي لها، وتتم تغذية الحاكمة الاتجاهية عن طريق محولة توتر يكون ملفها الثانوي على شكل مثلث مفتوح ويربط ملفها الأولي إلى قضبان التجميع في طرف التوتر العالي.

2 – تتم الحماية من زيادة الحمولة الكهربائية في حالة المحولات الذاتية الخافضة للتوتر التي تتغذى عن طريق شبكة التوتر العالي فقط، عن طريق حاكمة تيار تركب على جانب التوتر العالي وحاكمة تيار تركب على جانب التوتر المنخفض تعمل على إعطاء إشارة فقط لعناصر التشغيل عند ظهور حالة زيادة الحمولة الكهربائية. تستخدم حاكمة تيار واحدة لتأمين التأخير الزمني اللازم عند استلام الإشارة الكهربائية من حاكمتي التيار التي تراقب حالة ظهور زيادة الحمولة.



الشكل (5 – 35) نظام الحماية من تيارات القصر الأحادي المستخدم في المحولات الكهربائية الذاتية

3 – يتم تأمين عدم تحسس الحماية التفاضلية للمحولة الكهربائية الذاتية تجاه صدمة تيار المغنطة بشكل أسهل مقارنةً مع حالة الحماية التفاضلية للمحولات الكهربائية وذلك لأن تيار المغنطة في حالة المحولات الذاتية يكون أصغر بكثير.

4 – في الحالة التي يتم فيها استخدام الحماية المسافية لحماية المحولات الكهربائية الذاتية من تيارات القصر الخارجية (وهذه هي حالة المحولات الكهربائية والمحولات الذاتية التي تكون استطاعتها النظامية مساوية أو أكبر من 200 MVA) فإنه تلحظ حماية مسافية على كل طرف توتر يكون ملفه مربوطاً بشكل نجمي.

5 – 10 مسائل خاصة في حماية المحولات الكهربائية المساعدة المستخدمة لتنظيم التوتر

تستخدم لتنظيم التوتر في المحولات والمحولات الذاتية ذات الاستطاعات الكبيرة، محولات مساعدة مؤلفة من عنصرين أو من عنصر واحد، ويبين الشكل(5 – 36) مخطط الخط الواحد للدارة الكهربائية للحالة التي يستخدم فيها عنصران لتنظيم التوتر، أحدهما محولة ذاتية **ATR** والثاني محولة مساعدة **TS** ، وتكون مربوطة على التسلسل مع المحولة الأولى، فيربط الملف الأولي للمحولة المساعدة إلى ثانوي المحولة الذاتية **ATR** ويربط ملفها الثانوي إلى المحولة الرئيسية ذات الاستطاعة الكبيرة.[17]

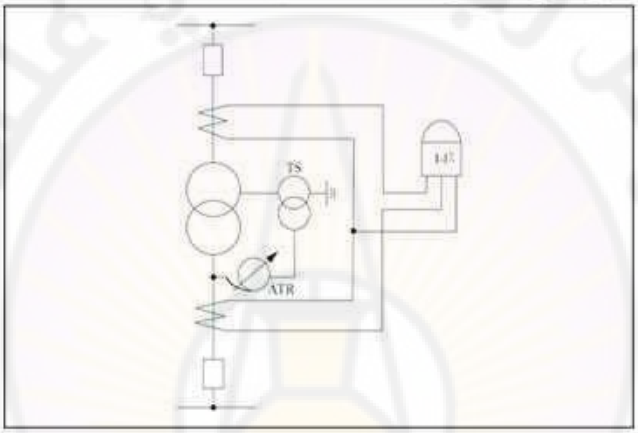
ويبين الشكل(5 – 37) مخطط الخط الواحد للدارة الكهربائية التي تستخدم فيها محولة تنظيم **RT**، ويربط الملف الأولي لهذه المحولة على التفرع مع أحد ملفات المحولة الرئيسية ذات الاستطاعة الكبيرة، بينما يربط الملف الثانوي والذي يمتاز بامكانية تغيير عدد لفات احدى وشائعه، على التسلسل مع الملف الآخر للمحولة الرئيسية.

تكون المحولة المساعدة من النوع المغمور في الزيت، ولها حماية غازية خاصة بها ونظام حماية كهربائية يؤمن العمل النظامي لجميع عناصر المحولة الكهربائية هذه. ويظهر من الدارات المبينة في الأشكال المذكورة أن استخدام نظام الحماية التفاضلية للمحولة الرئيسية يمكن أن يؤمن حماية المحولات المساعدة أيضاً. لكن التجارب العملية أثبتت أن هذه الحماية التفاضلية لا تصل إلى حدود الحساسية المطلوبة عند ظهور الأعطال في بعض أجزاء الدارة المحمية، مثلاً عندما يظهر قصر الدارة الكهربائي على أقطاب الملف الثانوي للمحولة المساعدة **TS** أو عندما يظهر قصر دارة على النواقل

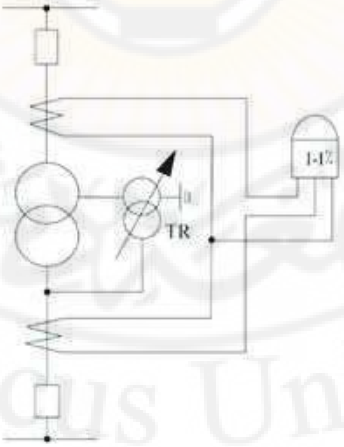
الكهربائية التي تصل ما بين المحولة المساعدة **TS** ومحولة التنظيم **ATR**. لذلك يستخدم حالياً صنفان من أنظمة الحماية كما يلي:

1 – في الصنف الأول: لا تتضمن الحماية التفاضلية للمحولة الرئيسية ذات الاستطاعة الكبيرة حماية المحولات المساعدة.

2 – في الصنف الثاني: تتضمن الحماية التفاضلية للمحولة الرئيسية ذات الاستطاعة الكبيرة حماية بعض أجزاء المحولات المساعدة أيضاً.

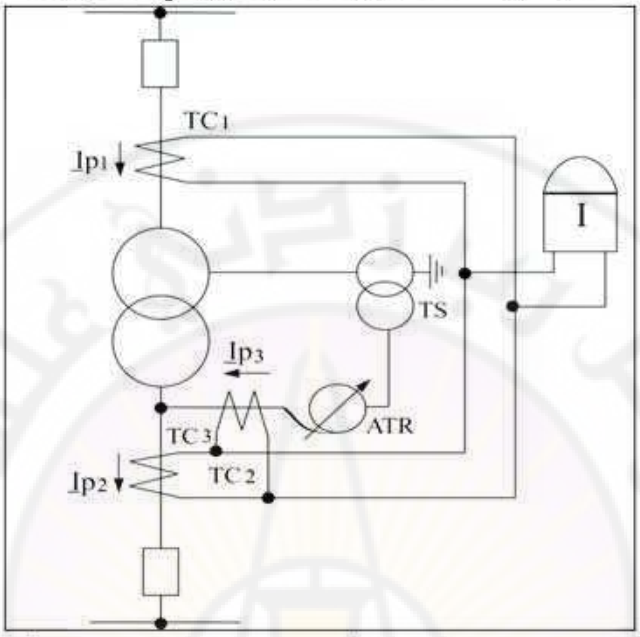


الشكل(5 – 36) عنصرا تنظيم توتر هما محولة ذاتية ATR ومحولة مساعدة TS



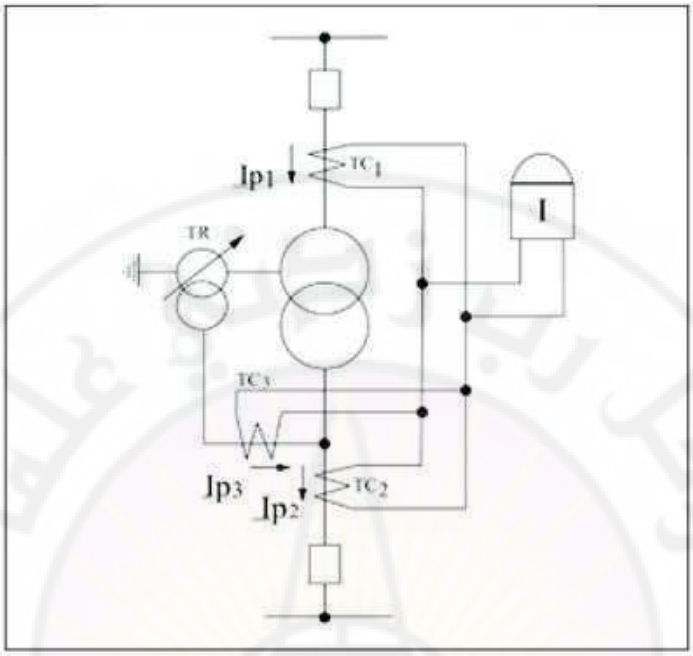
الشكل(5 – 37) محولة تنظيم RT ملفها الأولي موصل على التفرع مع أحد ملفات المحولة الرئيسية ذات الاستطاعة الكبيرة

يتم تنفيذ أنظمة الحماية من الصنف الأول كما هو مبين في الشكل (5 – 38)



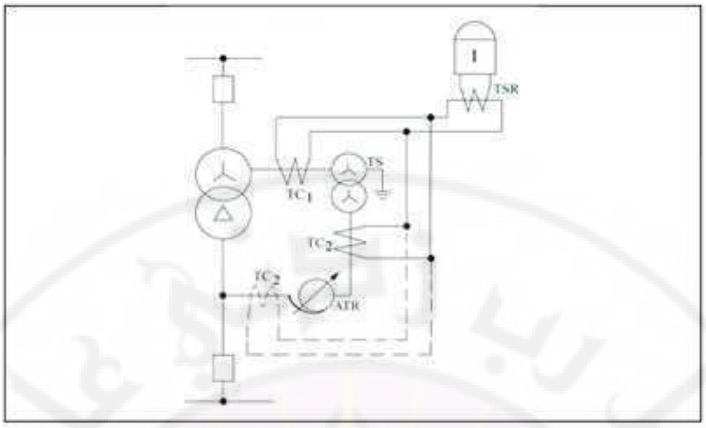
الشكل (5 – 38) تنفيذ أنظمة الحماية من الصنف الأول

كما يبين الشكل (5 – 39)، مخطط الخط الواحد للدارة، ويظهر فيها أنه قد تم تركيب محولة اضافية **TC3** تساعد على تحديد منطقة عمل الحماية التفاضلية حتى نقطة تركيب هذه المحولة. وبسبب هذه المحولة لن تتأثر قيمة التيار الذي سيمر في الحاكمة **I** بتنظيم التوتر، ولا تتغير قيمة التيارات Ip_1 , Ip_2 التي تنتج عن هذا التنظيم الذي تؤمنه المحولات **TR , ATR** لأن التيار Ip_3 سوف يعمل على إزالة تيار عدم التوازن الناتج عن عملية تنظيم التوتر $I_{dez.reg}$ وهذا يسمح بإستخدام محولة الاشباع المغناطيسي السريع **TSR** مع حاكمات التيار في نظام الحماية التفاضلية (وبذلك لا حاجة لاستعمال حاكمات تيار مع ملف الفرملة).



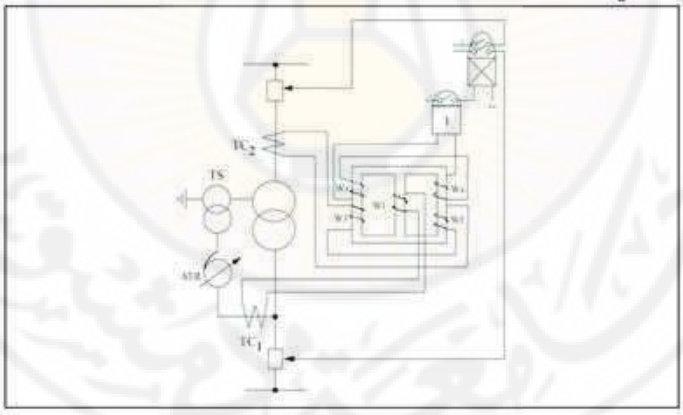
الشكل (5 – 39) تركيب محولة اضافية TC_3 لتحديد منطقة عمل الحماية التفاضلية

يمكن استعمال حماية تفاضلية خاصة بالمحولة المساعدة **TS** كما في الشكل (5 – 40) وكذلك حماية زيادة تيار خاصة بمحولة تنظيم التوتر **ATR** تعمل للحماية من تيارات القصر التي قد تحدث ضمن هذه المحولة، ويتم تعييرها بحيث لا تعمل عند ظهور أي قصر دارة خارج المحولة الرئيسية وذلك لتأمين الإنتقائية. ولا يمكن للحماية التفاضلية المبينة في أن تتضمن حماية محولة التنظيم المساعدة **ATR** لأن هذا الأمر سيتطلب تركيب محولة قياس إضافية TC_2 مبين مكان تركيبها وتوصيلاتها باستعمال الخط المنقط. ويؤدي استعمال هذه المحولة إلى تشغيل غير انتقائي للحماية بسبب تيار الحمل الكبير الذي سيمر في المحولة TC_1 في حالة التشغيل النظامية.



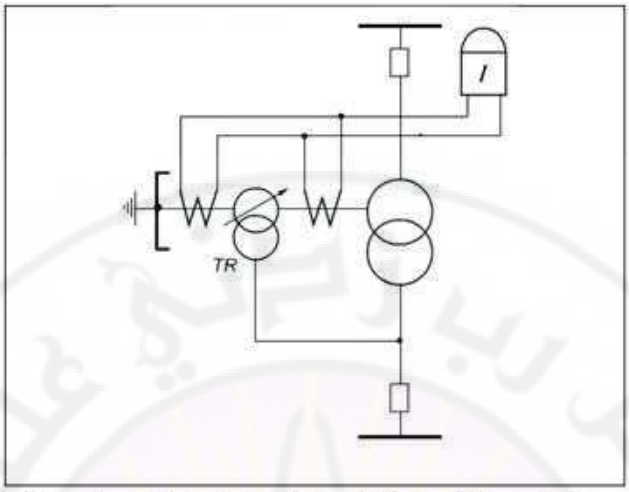
الشكل (5 – 40) حماية محولة التنظيم المساعدة ATR

ويمكن تحقيق حماية زيادة التيار لمحولة التنظيم المساعدة **ATR** باستخدام حاكمة تيار مزودة بملف فرملة خاص كما هو مبين في الشكل (5 – 41) حيث تتم تغذية وشيعة تشغيل الحاكمة من محولة القياس TC_1 بينما تتم تغذية ملف الفرملة من محولة القياس TC_2 الموصولة في دارة المحولة الرئيسية.



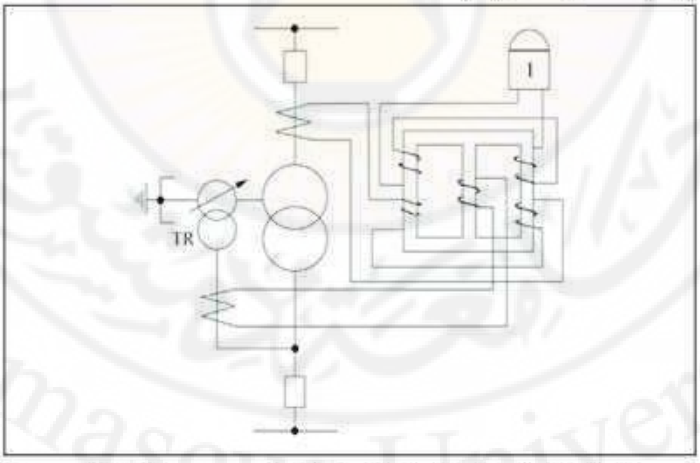
الشكل(5 – 41) تغذية وشيعة تشغيل الحاكمة من محولة القياس TC1 وملف الفرملة من محولة القياس TC2

وعندما تستخدم الدارة المبينة في الشكل (5 – 37) فإنه يتم استعمال دارة حماية تفاضلية خاصة بالملف الثانوي لمحولة التنظيم **TR** كما هو مبين في الشكل(5 – 42) إذ يبين هذا الشكل الدارة وحيدة الخط لنظام الحماية المستعملة في هذه الحالة.



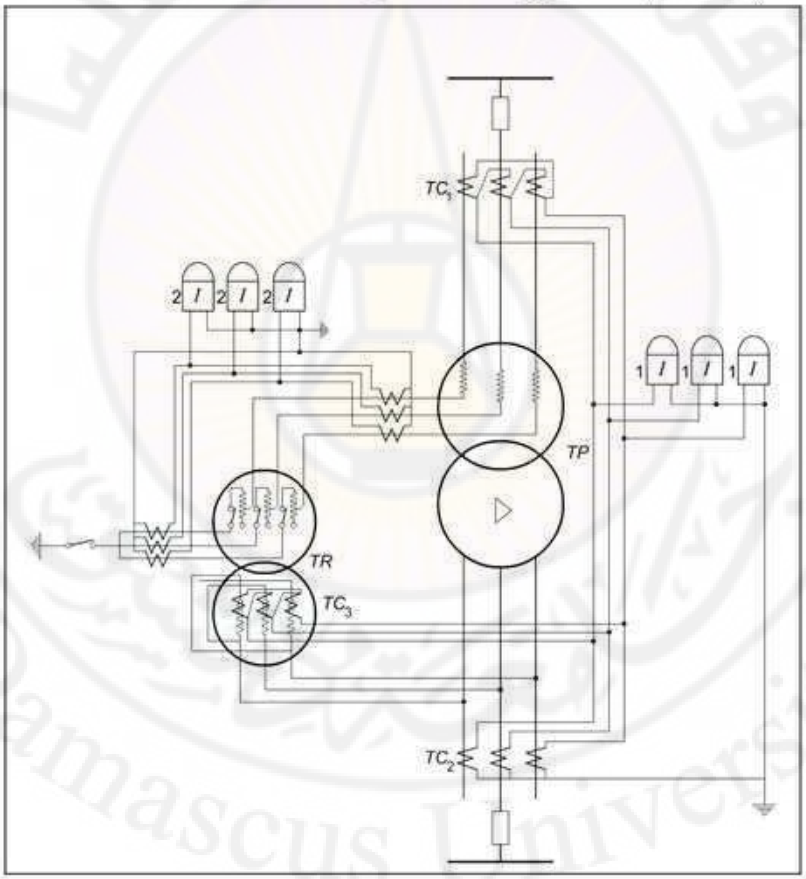
الشكل (5 – 42) حماية تفاضلية خاصة بالملف الثانوي لمحولة التنظيم TR

ويمكن تحقيق حماية زيادة التيار لمحولة التنظيم المساعدة **TR** باستخدام حاكمة تيار مزودة بملف فرملة خاص كما هو مبين في الشكل (5 – 43) إذ تتم تغذية وشيعة تشغيل الحاكمة من محولة القياس **TC** بينما تتم تغذية ملف الفرملة من محولة القياس الموصولة في دارة المحولة الرئيسية.



الشكل(5 – 43) تغذية وشيعة تشغيل الحاكمة من محولة القياس وتغذية ملف الفرملة من محولة القياس الموصولة في دارة المحولة الرئيسية

يتم تنفيذ أنظمة الحماية من الصنف الثاني كما هو مبين في الشكل (5 – 44) حيث تعطى الدارة الكهربائية ثلاثية الأطوار لنظام الحماية المستخدمة للمحولة الرئيسية **TP** ومعها المحولة المساعدة **TR** المستخدمة لتنظيم التوتر، حيث تظهر الحاجة إلى تركيب محولات قياس **TC3** لتأمين تركيب نظام حماية تفاضلية منفصلة وخاصة بمحولة التنظيم المساعدة **TR** عن طريق حاكمة التيار (2). يتم في بعض الحالات إضافة حماية زيادة التيار إلى محولة التنظيم الذاتية **ATR** من النوع المبين في الدارة المبينة في الشكل (5 – 41) باستخدام حاكمة تيار ذات ملف فرملة.



الشكل (5 – 44) نظام الحماية المستخدمة للمحولة الرئيسية TP والمحولة المساعدة TR المستخدمة لتنظيم التوتر

5-11 تعيير حمايات المحولات الكهربائية في محطات التحويل:

تجهز المحولات الكهربائية المركبة في محطات التحويل، الرافعة أو الخافضة للتوتر، حسب النظم العالمية، بأنظمة الحماية التالية:

أ – حماية زيادة التيار الزمنية Over Current

ب – الحماية التفاضلية الطولانية Differential Protection

ج – الحماية بتقطيع التيار Current Sectionalizing

د – الحماية الغازية Buchholz Relay

هـ – الحماية من تيار قصر طور – أرض Line To Ground Fault Protection

و – الحماية من زيادة الحملOverload Protection

لتغذية ملفات الحاكمات بالتوتر والتيار المنخفض يستخدم في حالة المحولات تيار الحمل الأعظمي وذلك عوضاً عن التيار النظامي، ويتم حساب قيمة تيار الحمل الأعظمي في فرضيتين كما تم ذكره في فقرة سابقة وكما يلي:

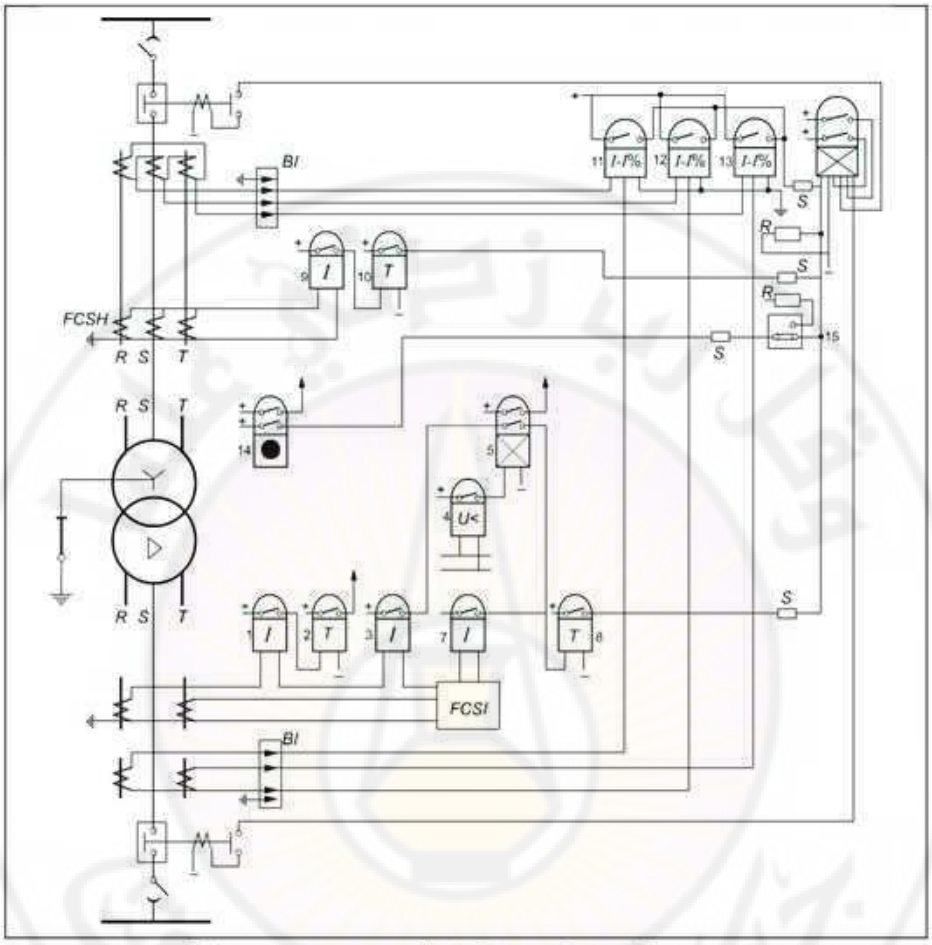
– يؤخذ تيار الحمل الأعظمي في الفرضية الأولى مساويا قيمة تيار إقلاع المحركات الكهربائية عند وجود محركات تغذى بشكل مباشر من المحولة.

– تؤخذ بعين الاعتبار في الفرضية الثانية حالة عمل المحولات على التفرع في محطة التحويل حين تخرج إحدى هذه المحولات من الخدمة بسبب عطل ما وتتحمل باقي المحولات مع حمايتها جزءاً من الحمل الكهربائي للمحولة المعطوبة. تتم معايرة مختلف أنظمة حماية المحولات الكهربائية والمحولات الكهربائية الذاتية، أي تحديد تيارات إقلاع مختلف الحاكمات، بشكل مشابه لمعايرة أنظمة حماية المولدات.

5 – 12 دارات الحماية الكاملة للمحولات والمحولات الذاتية

5 – 12 – 1 دارة الحماية الكاملة للمحولات الكهربائية ثنائية الملفات ثلاثية الأطوار

يبين الشكل (5 – 45) دارة الحماية الكاملة لمحولة كهربائية رافعة للتوتر ذات استطاعة أكبر من 4 MVA .



الشكل (5 – 45) الحماية الكاملة لمحولة رافعة للتوتر ذات استطاعة أكبر من 4 MVA

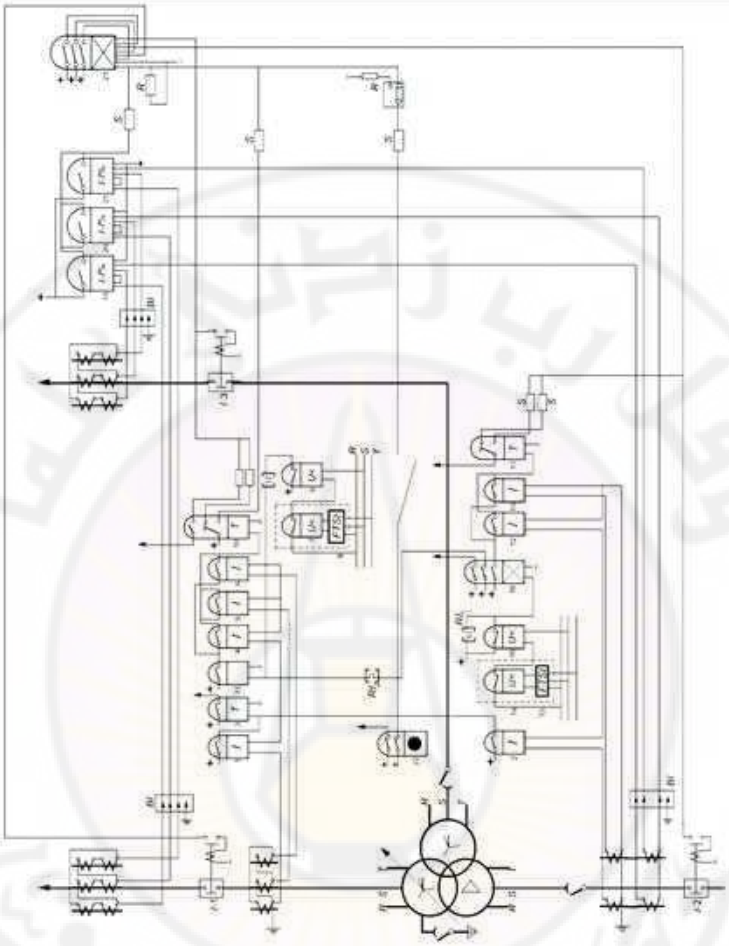
تتألف الحماية بالتيار الأعظمي من الحاكمات (1 ، 2) وذلك للوقاية من زيادة الحمولة ومن الحاكمات (6 ، 5 ، 4 ، 3) للوقاية من تيارات قصر الدارة الخارجية المتناظرة. وتشكل الحاكمات (10، 9) الحماية الأعظمية لمركبة التيارات الصفرية للوقاية من الأعطال الأحادية في طرف التوتر العالي، أما الحاكمات (11، 12، 13) فتؤمن الحماية التفاضلية الطولية.

تستعمل الحماية الغازية (14) والحاكمة المساعدة (14) للوقاية من ارتفاع الحرارة أو من تيارات القصر عندما تتولد غازات داخل المحولة بسبب ذلك. تحتوي الدارة على حاكمات إشارة S وجهاز تجريب الحماية (B1).

5 – 12– 2 دارة الحماية الكاملة للمحولات الكهربائية ثلاثية الطور ثلاثية الملفات

يبين الشكل (5– 46) الدارة الكهربائية الكاملة لأنظمة الحماية المستعملة لمحولة كهربائية خافضة للتوتر ثلاثية الطور ثلاثية الملفات، مزودة بمنظم توتر تحت الحمل وذات تغذية كهربائية من جهة التوتر العالي. تشكل الحاكمات (1، 2، 3) الحماية ضد زيادة تيار حمل الكهربائي، في حين أن حاكمات التيار (4، 5، 6)، وحاكمة التوتر الأصغري (7)، ومرشحة المركبة العكسية للتوتر (8) FCSI وحاكمة التوتر(9) وحاكمة الزمن (10) تؤمن الحماية من الأعطال المتناظرة الخارجية والأعطال غير المتناظرة الخارجية. [16]

يمكن أن تعير هذه الحماية على زمنين، حيث تفصل قاطع التوتر المتوسط بعد انقضاء الزمن الأول، وتربط حماية التيار الأعظمي مع حماية التوتر الأصغري من جهة قضبان التوتر المنخفض (17، 16، 15، 14، 13 ،1) وبعد انقضاء الزمن الثاني تعطي الحاكمة الأمر للفصل الكلي للمحول عن الشبكة، عن طريق الحاكمة المساعدة (23). تستعمل الحاكمة المساعدة (11) لكي لا يحصل خطأ ويعود القاطع الآلي للعمل بعد انقضاء التعيير الأول. تشكل الحاكمات(12 ، 13) والمرشحة (14) FTSI والحاكمات (17 ، 16 ، 15) الحماية من الأعطال الخارجية على قضبان التوتر المنخفض وعلى الشبكة التي تليها. أما الحاكمة المساعدة (18) فهي تسمح لحماية التوتر (14) بالعمل بشكل مشترك مع الحماية الأعظمية (13 ، 12) أو مع (6 ، 5 ، 4) تمثل الحاكمة (22) مع الحاكمة.



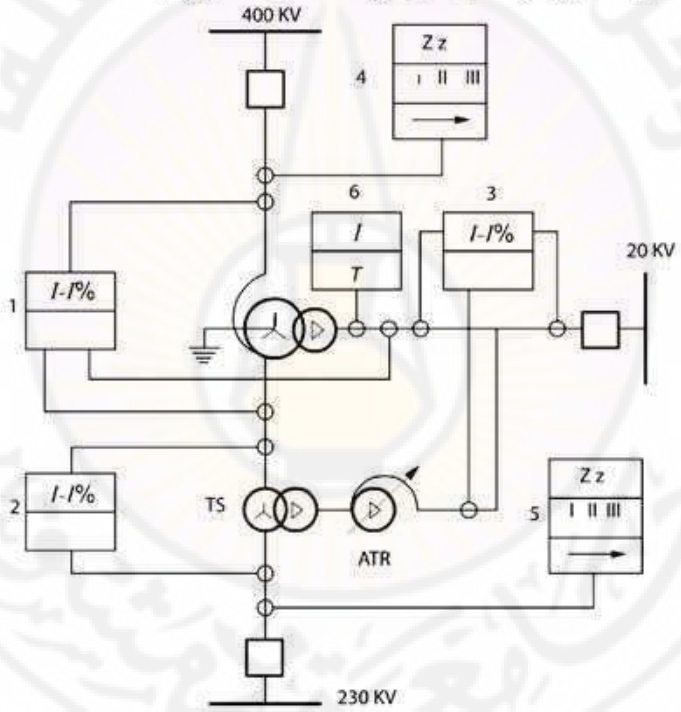
1– من حاكمة تسريع الحماية بعد اغلاق القاطع 3 I 2 – إلى قضبان التوتر 35 kV
3– إشارة 4– من حاكمة تسريع الحماية. 5– إشارة6 –من محولة التوتر kV (6-10).

الشكل (5 – 46) حماية محولة خافضة للتوتر ثلاثية الطور ثلاثية الملفات

المساعدة (23) ذات التهييج الذاتي الحماية الغازية. نلاحظ في هذه الدارة أيضاً وجود مجموعة من حاكمات الإشارة (S) وأجهزة تجريب الحماية (**BI**).

5 – 12 – 3 دارة الحماية الكاملة للمحولات الكهربائية الذاتية ثلاثية الطوار ثلاثية الملفات :

يبين الشكل (5 – 47) يبين الشكل الدارة الكهربائية الكاملة لأنظمة الحماية المستعملة لمحولة كهربائية ذاتية ثلاثية الملفات وثلاثية الأطوار، وتساوي توتراتها النظامية 400/230/20 kV ومزودة بمحولة تنظيم توتر تحت الحمل. وقد تم أخذ محولات التيار بالاعتبار فقط في هذه الدارة دون رسم محولات التوتر، كذلك لم تدرج في هذه الدارة الحماية الغازية والحماية من زيادة الحمولة الكهربائية.



الشكل (5 – 47) الدارة الكهربائية الكاملة لأنظمة الحماية المستخدمة لمحولة كهربائية ذاتية ثلاثية الملفات وثلاثية الأطوار

يتم تأمين الحماية الأساسية عن طريق الحمايات التفاضلية (1 و 2 و 3) ويتم تحقيق الحماية التفاضلية للمحولة الذاتية (1) بشكل مشابه لتحقيق الحماية للمحولة الذاتية المبينة في الشكل (5 – 5). وتؤمن الحماية التفاضلية (2) حماية ملف التوتر

230 kV للمحولة المساعدة TS بينما يؤمن نظام الحماية التفاضلية (3) حماية ملفات التوتر المنخفض 20 kV وتنتج بذلك زيادة بالحساسية لنظام الحماية التفاضلية (1) حيث لن تكون هناك حاجة لمعالجة مسألة تيارات عدم التوازن التي يمكن أن تنتج عملية تنظيم التوتر تحت الحمل عن طريق محولة التنظيم **ATR**. تمثل أنظمة الحماية المسافية (4 و 5) مع حماية زيادة التيار (6) الحماية من تيارات القصر ثلاثية الأطوار وثنائية الأطوار الخارجية. وتؤمن الحمايات المسافية الحماية من تيارات القصر الخارجية متعددة الأطوار ومن تيارات القصر أحادية الطور التي تنتج في شبكات 400kV و 230kV.

الفصل السادس

6 – أنظمة حماية مجموعة المولدة – المحولة الكهربائية

Generator – Transformer Blocks Protections

Damascus University

وقل رب زدني علما
Damascus University

الفصل السادس

6 – أنظمة حماية مجموعات المولدة – المحولة الكهربائية

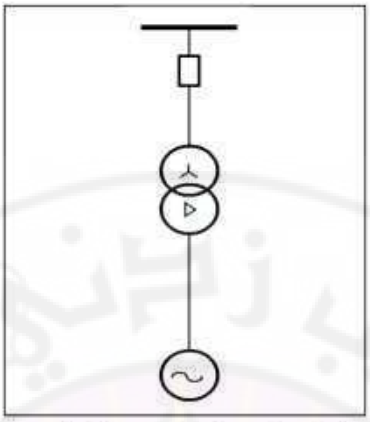
Generator – Transformer Blocks Protections

6 – 1 – خصوصيات حماية زيادة التيار في حالة المجموعات مولدة – محولة

تستخدم لحماية مجموعات مولدة – محولة بشكل عام أنظمة الحماية التي تستعمل عادة" لتأمين حماية المولدة الكهربائية، أو لتأمين حماية المحولة الكهربائية المربوطة مباشرة إلى قضبان التجميع في محطات التحويل الكهربائية مع وجود بعض الخصوصيات في هذه الحالة، وذلك بسبب وجود الترابط الكهرطيسي بين المولدة والشبكة الكهربائية عن طريق المحولة، إضافة إلى أن بعض أنظمة الحماية تنفذ بشكل مشترك للمولدة والمحولة الكهربائية معاً، لأن هذه المجموعة تشكل عملياً عنصراً واحداً في الدارة المكافئة للشبكة الكهربائية. [19]

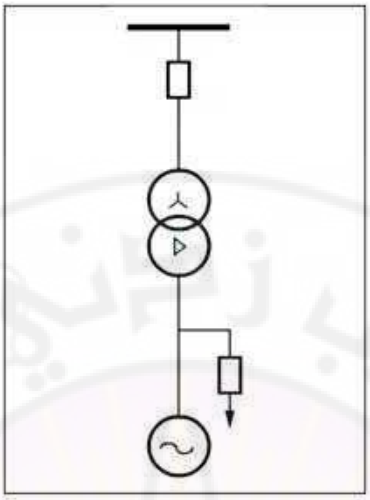
تجهز مجموعات مولدة – محولة بنظام حماية التيار الزائد للحد من تيارات القصر الخارجية ومن زيادة الحمولة، أو تزود بنظام الحماية المسافية للحد من تيارات القصر الخارجية، وتجهز كذلك بنظام الحماية التفاضلية الطولانية للحد من الأعطال بين أطوار المحولة، وتجهز أيضاً بنظام لحماية المولدة من تيارات قصر الدارة مع الأرض، والحماية الغازية للمحولة والحماية من الأعطال الأحادية الخارجية وحماية المولدة من الأعطال بين لفات الطور الواحد وحماية ملفات الجزء الدائر من المولدة، وحماية المولدة من زيادة التوتر.

تستخدم في حالة مجموعة مولدة – محولة المبينة في الشكل (6 – 1) حماية زيادة تيار واحدة لكامل المجموعة، وتتغذى هذه الحماية من محولات التيار التي تركب قبل النقطة الحيادية للمولدة، ويؤمن إقفال التوتر الأصغري لحماية زيادة التيار في حالة الأعطال الثلاثية المتناظرة والخارجية، عن طريق محولة التوتر الأصغري التي يتم تغذيتها من توتر المولدة. ويمكن زيادة حساسية حماية التوتر الأصغري عن طريق إضافة حاكمة توتر تتم تغذيتها من جانب التوتر العالي للمحولة.

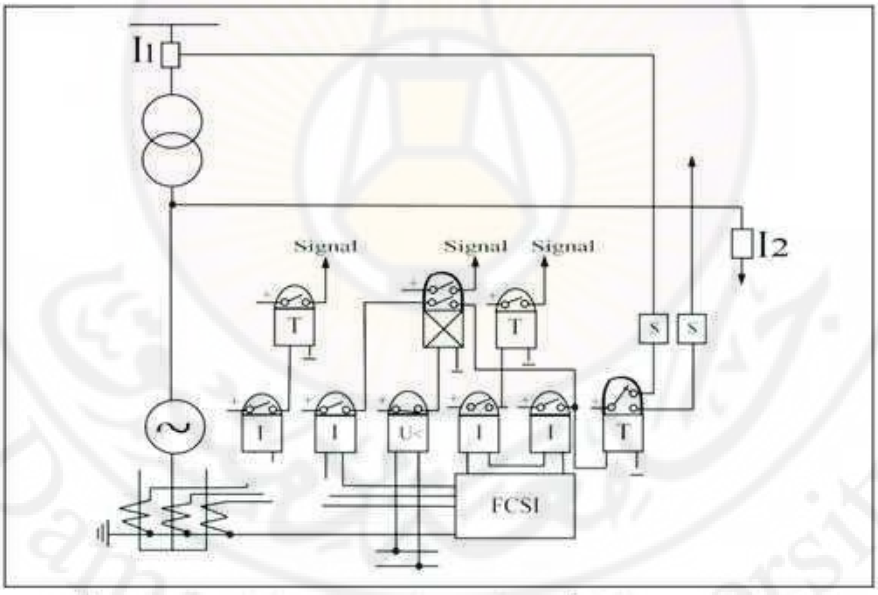


الشكل(6 – 1) حماية زيادة تيار واحدة لكامل مجموعة مولد– محول

أما في حالة مجموعة مولد – محول التي تؤمن التغذية الذاتية لمختلف تجهيزات محطة التوليد، كما هو مبين في الشكل(6– 2) فتستخدم حاكمة تيار لها تماس عبور زائد، تحقق التأخير الزمني على مرحلتين لعمل نظام الحماية كما هو مبين في الشكل (6 – 3) بحيث يعطي التأخير الزمني الأول الأمر لفتح القاطع الآلي I - 1 ما يبقي تغذية الخدمات الذاتية مستمرة دون انقطاع، وبحيث يعطي التأخير الزمني الثاني الأمر لفتح جميع القواطع الآلية لمجموعة مولدة – محولة، I – 1 و I – 2 وجهاز إزالة التهييج السريع للمولدة، وذلك في الحالة التي لا يؤدي فيها فتح القاطع I – 1 إلى إزالة تيار القصر الخارجي.



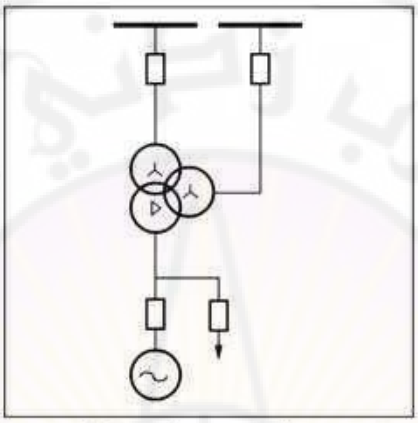
الشكل(6 – 2) مجموعة مولدة – محولة التي تؤمن التغذية الذاتية



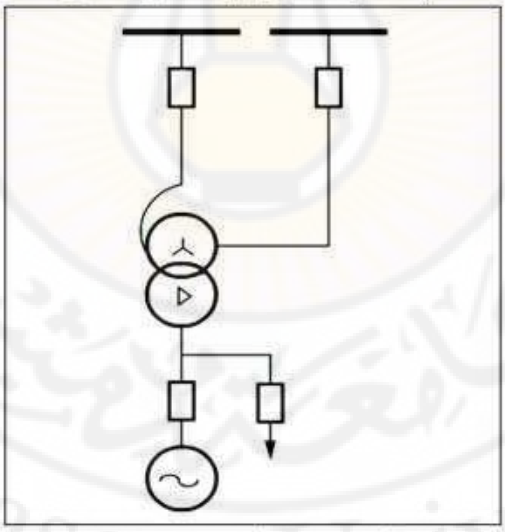
الشكل(6 – 3) التأخير الزمني على مرحلتين لعمل نظام الحماية

وتركب في حالة مجموعة مولدة – محولة المبينة في الشكل (6 – 4) حماية زيادة تيار أعظمي على أطراف التوتر العالي وعلى جانب النقطة الحيادية للمولدة، تمأما كما في حالة المحولة الكهربائية ثلاثية الطور ثلاثية الملفات. ويتم تركيب عنصر حماية اتجاهية

مع احدى حمايات زيادة التيار الأعظمية لتأمين الانتقائية في التشغيل. وكذلك يتم الأمر في حالة مجموعة مولدة- محولة المبينة في الشكل (6 – 5) حيث تركب حماية زيادة تيار أعظمي على أطراف التوتر العالي وعلى جانب النقطة الحيادية للمولدة.[15]

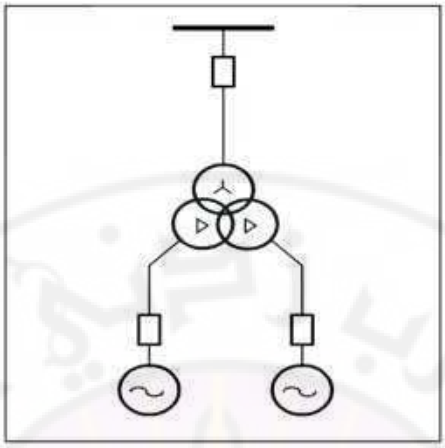


الشكل (6 – 4) المحولة الكهربائية ثلاثية الطور ثلاثية الملفات



الشكل(6 – 5) حماية تيار أعظمي على أطراف التوتر العالي والنقطة الحيادية للمولد

وتركب في حالة المجموعة المؤلفة من مولدتين تديرهما عنفات مائية مع محولة كهربائية واحدة والمبينة في الشكل(6 – 6) حماية زيادة تيار أعظمية في طرف النقطة الحيادية لكل مجموعة كهربائية.



الشكل (6 – 6) حالة مولدتين مع محولة كهربائية واحدة

يستعمل في كافة أشكال أنظمة الحماية الكهربائية المذكورة أعلاه، مرشح (فلتر) لمركبة التيار المتناظرة العكسية لتأمين الحماية من الأعطال الخارجية غير المتناظرة. وتتم معايرة جميع أنظمة الحماية المستخدمة في الحالات السابقة بشكل مطابق لمعايرة أنظمة حماية المولدات الكهربائية المذكورة في الفصل الثالث.

6–2 خصوصيات الحماية التفاضلية الطولانية لمجموعة مولد– محول

تنص غالبية النظم العالمية للحماية الكهربائية في حالة مجموعة مولد – محولة التي تلحظ بقاطع آلي مركب بين المولدة والمحولة الكهربائية، أن يتم تركيب نظام حماية تفاضلية طولانية للمحولة ونظام حماية تفاضلية طولانية خاص بالمولدة الكهربائية. أما في حالة مجموعة مولد – محولة غير ملحوظة بقاطع آلي بين المولد والمحولة الكهربائية فيتم تركيب نظام حماية تفاضلية واحد للمجموعة والمولدة معاً. ويضاف نظام حماية تفاضلية خاصة بالمولد الكهربائي لزيادة الحساسية، وذلك في الحالات التالية:

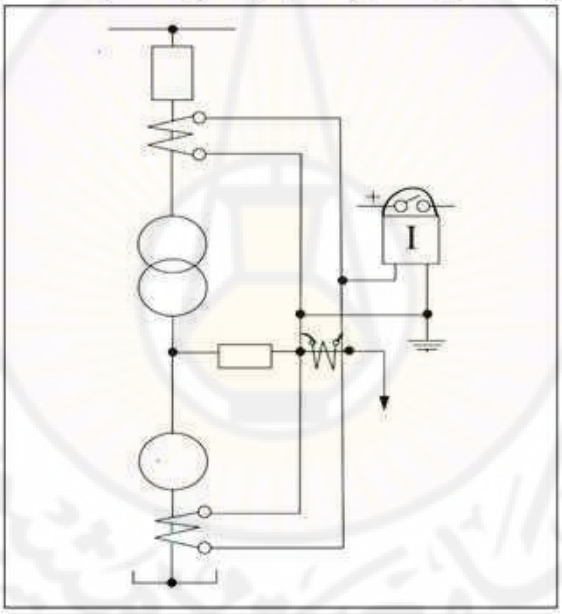
1 – في حالة المولد الكهربائي المربوط إلى عنفة حرارية والتي تزيد استطاعتها عن200MW.

2 – في حالة المولد الكهربائي المربوط إلى عنفة حرارية وتقل استطاعتها عن 200MW لكنها تنتج تيارات إقلاع للحماية التفاضلية لمجموعة مولد – محولة ذات قيمة كبيرة

تتجاوز 130% من قيمة التيار النظامي للمولدة الأمر الذي قد يؤدي إلى انخفاض حساسية الحماية التفاضلية المشتركة للمجموعة.

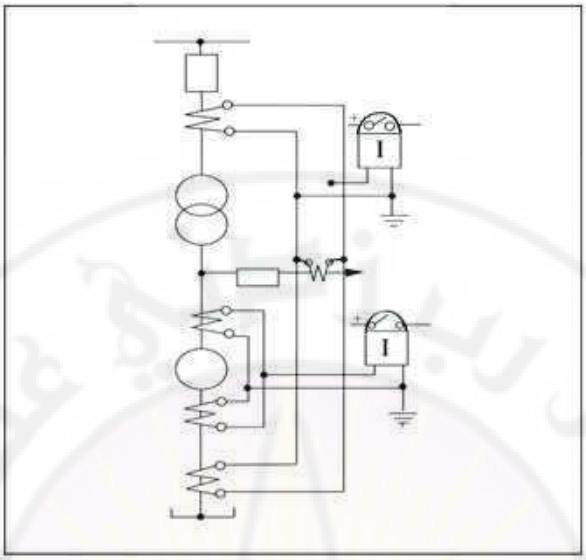
3- في حالة المولد الكهربائي المربوط إلى عنفة مائية التي يطلب أن لا يتجاوز فيها تيار إقلاع الحماية التفاضلية لمجموعة مولد – محولة قيمة التيار النظامي للمولد وذلك لزيادة الحساسية.

4- في حالة المولدة الكهربائية التي تعطي فيها الحماية التفاضلية الأمر إلى تجهيزات إطفاء الحريق الآلية التي قد تظهر في المولد الكهربائي. يبين الشكل (6- 7) مخطط الخط الواحد للحماية التفاضلية المشتركة لمجموعة مولد- محولة.



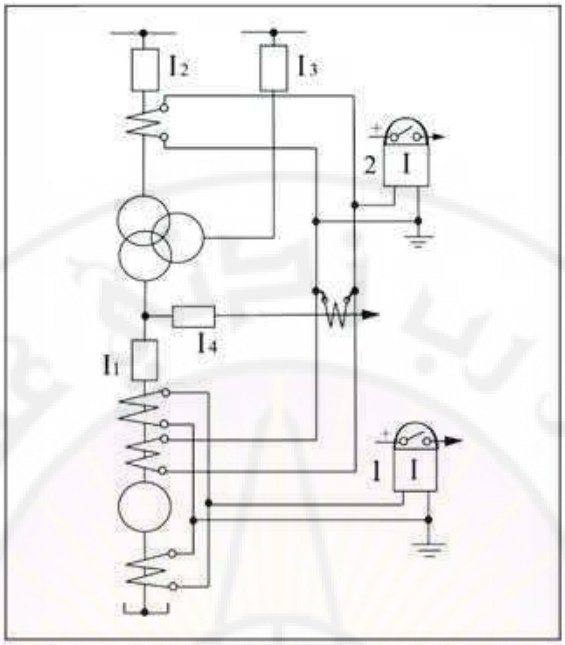
الشكل (6 – 7) مخطط الخط اللواحد للحماية التفاضلية لمجموعة مولد – محول

يبين الشكل(6 – 8) مخطط الخط الواحد للحماية التفاضلية المشتركة لمجموعة مولد – محولة وقد أضيفت إليها حماية تفاضلية خاصة بالمولد الكهربائي في حالة مجموعة مولد – محولة بدون وجود قاطع آلي بين المولدة والمحولة الكهربائية في المجموعة.



الشكل(6 – 8) مخطط الخط الواحد للحماية التفاضلية لمجموعة مولدة– محولة مع حماية تفاضلية خاصة بالمولد

ويبين الشكل(6 – 9) مخطط الخط الواحد الكهربائي لدارة الحماية التفاضلية لمجموعة مولدة – محولة ذات ثلاثة ملفات ويوجد فيها قاطع آلي مركب بين المولدة والمحولة الكهربائية في المجموعة. تعطي الحاكمة (1) في نظام الحماية التفاضلية للمولدة الكهربائية الأمر إلى جهاز إزالة التهييج السريع للمولدة **ADR** والأمر لفتح القاطع الآلي **1 – I** ، بحيث إذا ظهر عطل ما ضمن المولد الكهربائي تبقى المحولة في العمل على توترين بحيث تؤمن التغذية الذاتية لمجموعة مولد – محولة, وتعطي الحاكمة (2) في نظام الحماية التفاضلية للمحولة الكهربائية الأمر لفتح جميع القواطع الآلية. ويظهر من خلال نظام الحماية هذا أن الحمايات التفاضلية للمولد وللمحولة ولمجموعة مولد– محولة تتداخل مع بعضها بحيث لا يبقى أي جزء من الشبكة دون حماية.



الشكل(6 – 9) مخطط الخط الواحد للحماية التفاضلية لمجموعة مولدة – محولة ذات ثلاثة ملفات مع قاطع آلي مركب بين المولدة والمحولة

أما في حالة الشبكة الكهربائية المبينة في الشكل (6 – 5) فينفذ نظام الحماية التفاضلية بشكل مشابه لنظام الحماية المبين في الشكل (6 – 9) . ويتم في حالة الشبكة المبينة في الشكل (6 – 6) تركيب حماية تفاضلية خاصة لكل مولد كهربائي، وتؤمن هذه الحماية فصل التهييج السريع عن المولد الكهربائي وكذلك فصل القاطع الآلي للمولد. ويركب أيضاً نظام حماية تفاضلية للمحولة الكهربائية تعطي الأمر لفصل جميع قواطع المجموعة عندما تتحسس بوجود عطل.

6 – 3 خصوصيات الحماية من تيارات القصر الأحادي في ملفات المولدة في حالة مجموعة مولدة – محولة

من المعروف أنه كلما ازدادت استطاعة مجموعة مولدة – محولة تزداد قيمة التيارات السعوية التي تمر في نقطة العطل الأحادي في ملفات الجزء الثابت للمولدة الكهربائية، الأمر الذي يؤدي إلى زيادة الآثار الإتلافية لتيار العطل الأحادي في المولدة وهذا

يتطلب وضع شروط أكثر حدية لتحقيق الحماية من تيارات قصر الدارة في ملفات الجزء الثابت للمولدة الكهربائية.[19]

تسبب القوس الكهربائية في نقطة العطل احتراق الصفائح المغناطيسية وعازليتها، وتشكيل نقاط التحام مباشر بين الصفائح المغناطيسية وهذا يؤدي إلى توليد تيارات إعصارية بين الصفائح المغناطيسية التي ينتج عنها إجهادات حرارية إضافية تزيد من انصهار الصفائح واحتراق أكثر لعازليتها.

تكون عملية إصلاح المولدات الكهربائية معقدة جداً ومكلفة بعد ظهور آثار الاحتراق في دارتها المغناطيسية نتيجة لحدوث قصر الدارة الأحادي في ملفات الجزء الثابت للمولدة وخاصة في حالة المولدات الكهربائية ذات الاستطاعة الكبيرة التي تكون مزودة باقنية تبريد طولانية بالمقارنة مع المولدات الكهربائية ذات الاستطاعة الصغيرة والتي تكون مزودة بأقنية تبريد عرضانية. لذلك اعتمدت في الكثير من الشركات صاحبة الشبكات الكهربائية قيمة لتيار قصر الدارة الأحادي في ملفات الجزء الثابت للمولدة الكهربائية تساوي A(1.5-1) ، وهي أصغر بكثير من 5A القيمة الحدية المعتبرة في كثير من الشبكات الكهربائية في مختلف دول العالم واللازمة لانتقال الحماية من مرحلة إعطاء الإشارة عند حدوث العطل الأحادي في ملفات الجزء الثابت للمولدة، إلى مرحلة فصل العطل وفتح القاطع الآلي للمولدة الكهربائية.

تعتمد قيمة تيار العطل الأحادي في ملفات الجزء الثابت للمولدة الكهربائية بشكل عام على ما يلي:

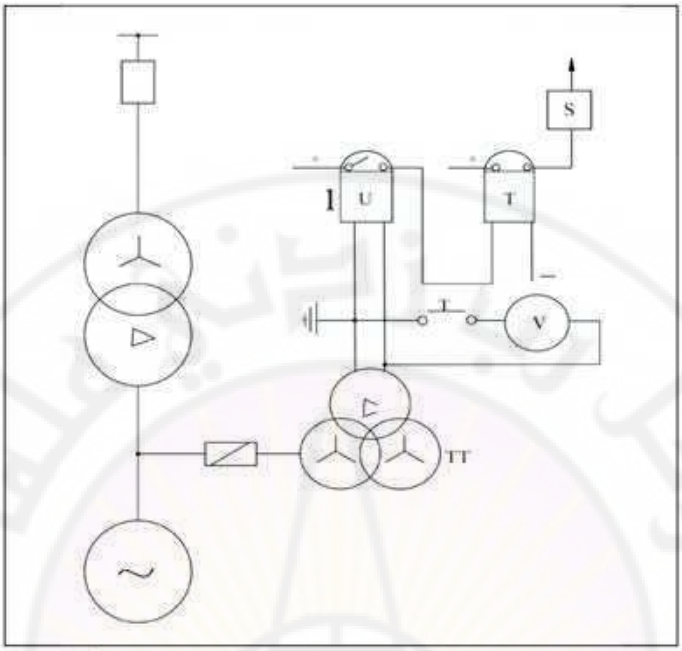
- مكان نقطة العطل الأحادي وموضعه على طول ملفات الجزء الثابت للمولدة.
- قيمة السعة الجزئية المكافئة نسبة للأرض لملفات الجزء الثابت للمولدة الكهربائية المصابة بالعطل.

- طريقة معالجة نقطة الحيادي للمولد الكهربائي.

فعندما تعمل المولدة الكهربائية مع بقاء النقطة الحيادية معزولة فإن قيمة تيار العطل الأحادي مع الأرض ستكون صغيرة جداً، وعادةً أصغر بكثير من 5A، وكذلك الأمر حين تكون النقطة الحيادية للمولدة مربوطة إلى الأرض عن طريق مقاومة تأريض كبيرة. وتكون الأضرار الناتجة عن تيار القصر الأحادي في هاتين الحالتين محدودة إنما تظهر الحاجة إلى رفع حساسية الحماية تجاه تيار القصر الأحادي في ملفات الجزء الثابت للمولدة الكهربائية ليتم فصل العطل بأسرع ما يمكن. ويمكن إنقاص قيمة تيار العطل عن طريق إستخدام وشيعة إخماد تربط بين نقطة حيادي المولدة والأرض وتسهم هذه الوشيعة في تعويض التيارات السعوية التي تنتج في هذه الحالة، وتستخدم في حالة المولدات التي تعمل بنقطة حيادي معزولة حماية زيادة التوتر الأعظمية الصفرية التي تقوم بمراقبة انزياح توتر النقطة الحيادية للمولدة عن وضعية التوازن كما هو مبين في الشكل (6 –10). تقوم حاكمة التوتر (1) بإعطاء إشارة بتأخير زمني عندما يحدث انزياح في وضعية النقطة الحيادية لتوتر أطوار المولدة، وتتم تغذية هذه الحاكمة عن طريق محولة توتر (TT) تكون ملفاتها مربوطة على شكل مثلث مفتوح لتشكل مرشحة توتر للمركبة الصفرية. وتستخدم الكباسة (B) ومقياس الفولت لقياس هذا الانزياح وبشكل دوري.

يتم تحديد قيمة توتر تشغيل حاكمة التوتر U_{pr1} مع الأخذ بالاعتبار تخفيض حساسيتها تجاه انزياح التوتر في النقطة الحيادية للمولدة في حالة التشغيل النظامية التي يمكن أن تنتج عن وجود التوافقية الثالثة في موجة توتر المولدة الكهربائية، التي تسببها القوى المحركة المغناطيسية التي تتولد في القلب النغناطيسي للمولدة التي لا تكون عادة جيبية تماما، أو يمكن أن تنتج أيضاً عند عطل أحادي في أحد أطوار العناصر الكهربائية المربوطة إلى طرف التوتر العالي للمحولة الكهربائية في مجموعة مولدة – محولة. ولتحقيق هذه الحساسية يتم اختيار توتر إقلاع هذه الحاكمة مساويا:

$$U_{pr1} = 15\ V \qquad (6\text{-}1)$$



الشكل(6 – 10) حماية من زيادة التوتر الصفري الأعظمية

وعندما يحدث قصر دارة أحادي الطور مع الأرض على أقطاب المولدة الكهربائية، تكون قيمة التوتر على قطبي الحاكمة (1) أعظمية وتساوي:

$$U_{r1\max} = \frac{100}{\sqrt{3}} V \qquad (6\text{-}2)$$

لأن قيمة المركبة الصفرية الأعظمية للتوتر $U_{o\,max}$ سوف تساوي في هذه الحالة التوتر النظامي للطور الواحد U_{phn} ، أي:

$$Uo\ max \approx U_{phn}$$

وإذا أخذ بعين بعين الاعتبار أن نسبة التحويل لمحولة التوتر **TT** تساوي:

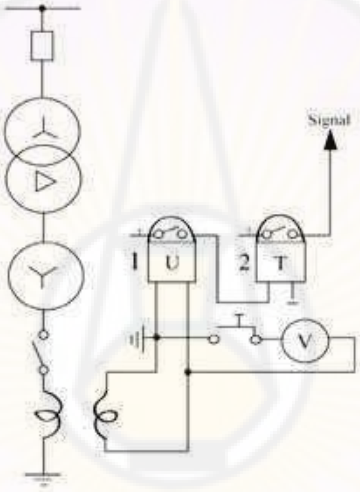
$$n_{TT} = \frac{U_{phn}}{\frac{100}{\sqrt{3}}} \qquad (6\text{-}3)$$

وبذلك يمكن الكتابة:

$$U_{r1\max} = \frac{[U_R + U_S + U_T]_{\max}}{n_{TT}} = \frac{3U_{o\max}}{n_{TT}} \quad (6\text{-}4)$$

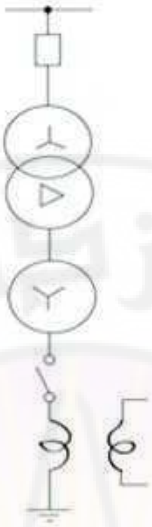
$$U_{r1\max} = \frac{3U_{phn}}{\frac{U_{phn}}{\frac{100}{\sqrt{3}}}} = \sqrt{3}.100Volt \quad (6\text{-}5)$$

ويمكن مراقبة انزياح النقطة الحيادية للمولدة أيضاً عن طريق محولة توتر خاصة TT كما



الشكل(6 – 11) مراقبة انزياح النقطة الحيادية للمولدة

هو مبين في الشكل (6 – 11)، إذ يتم ربط الملف الأولي لهذه المحولة بين النقطة الحيادية للمولدة والأرض ويغذي ملفه الثانوي الحاكمة (1). وتمثل هذه الحالة عملياً طريقة ربط حيادي المولدة إلى الأرض عن طريق مقاومة كبيرة هي مقاومة ملف المحولةTT، ويتم اختيار توتر إقلاع الحاكمة (1) مساويا أيضاً $U_{pr1} = 15\ V$. وعندما يتم ربط النقطة الحيادية للمولدة مع الأرض عن طريق وشيعة إخماد لتخفيف قيمة تيار العطل الأحادي كما في الشكل (6 – 12) ، فإن نظام الحماية يغذى عن طريق ملف إضافي لوشيعة الإخماد.



الشكل(6 – 12) ربط النقطة الحيادية عن طريق وشيعة إخماد

ينتج من مقارنة العلاقات (6-1) و (6- 5) أن لنظام الحماية هذا منطقة تشغيل ميتة تقع قرب مرابط المولدة تبلغ قيمتها حوالي 15% من لفات المولدة ويكون فيها:

$$U_{r1} < U_{pr1}$$

وبالتالي فإن الحماية لن تعمل في هذه الحالة، وستكون الحماية مؤمنة لجزء من ملفات الثابت للمولدة يساوي 85% من الملفات فقط.

وتستخدم لتحسين حساسية هذه الحماية من تيارات القصر الأحادي مع الأرض في ملفات الجزء الثابت للمولدة الكهربائية عدة طرائق ووسائل، ويسوّغ استخدام هذه الطرائق أن سعر المولد الكهربائي مرتفع جداً ويجب حمايتها بشكل كامل. ويمكن تصنيف الطرائق المستخدمة لتأمين الحماية الكاملة للمولدة المربوطة في مجموعة واحدة مع المحولة الكهربائية من الأعطال الأحادية مع الأرض التي يمكن أن تظهر في ملفات الجزء الثابت في مجموعتين رئيسيتين هما:

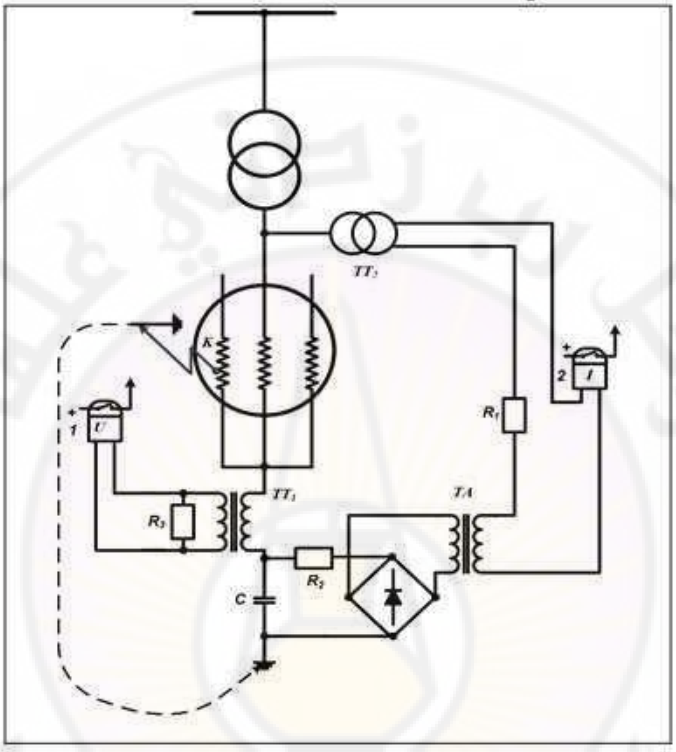
1 – المجموعة الأولى: وتشبه من حيث المبدأ الطريقة المستخدمة لحماية ملف الجزء الدوار من المولدة من تيار قصر الدارة الأول مع الأرض، إذ يتم تطبيق توتر مستمر أو

متناوب بين الأرض والنقطة الحيادية للمولدة الكهربائية، ويؤدي هذا التوتر إلى تحقيق إزاحة مصطنعة لكمون النقطة الحيادية.

2 – المجموعة الثانية: تعتمد على مراقبة التوافقية الثالثة في توترات أطوار العناصر الكهربائية المربوطة إلى مجموعة مولدة – محولة. ويبين الشكل(6 – 13) مخطط دارة الحماية من تيار القصر الأحادي مع الأرض في ملفات الجزء الثابت للمولدة الكهربائية باستخدام طريقة تطبيق توتر مستمر بين النقطة الحيادية للمولدة والأرض.

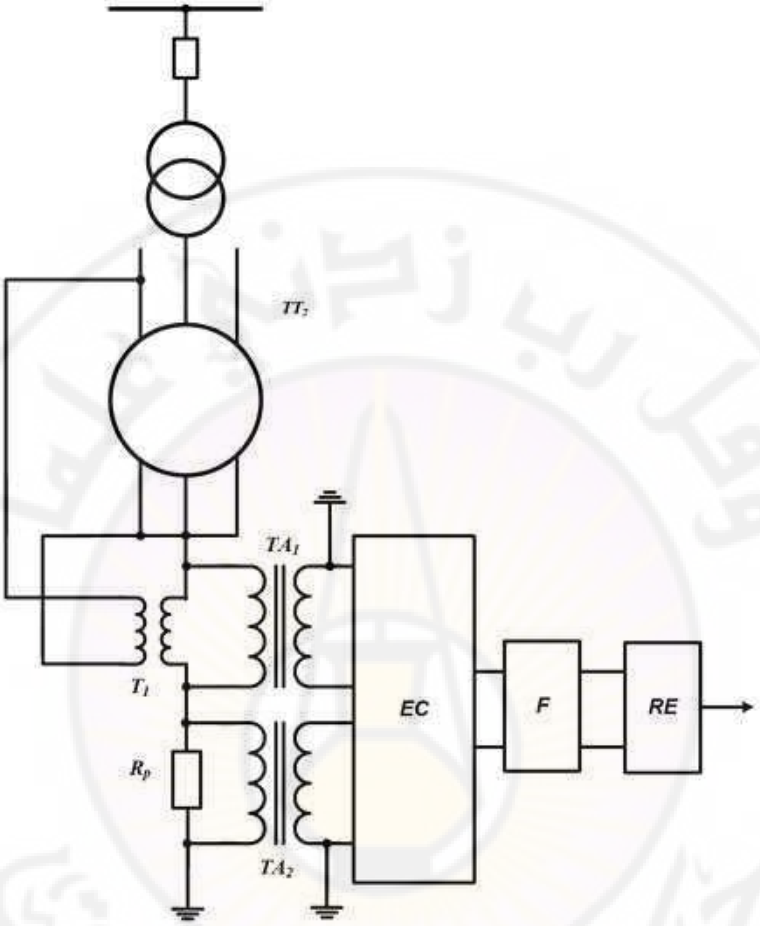
تستخدم في هذا المخطط محولة التوتر TT_1 والحاكمة (1) لتحقيق حماية 85% من ملفات الجزء الثابت للمولدة الكهربائية. يتم ربط المكثف **C** بين الأرض والملف الأولي لمحولة التوتر ويطبق على هذا المكثف التوتر الناتج من جسر التقويم P الذي تتم تغذيته عن طريق المحولة المساعدة **TA**. إذ تربط مع على التسلسل مع الملف الأولي للمحولة المساعدة **TA** حاكمة عالية الحساسية (2) التي تحقق توسيع المنطقة المحمية من لفات وشائع الجزء الثابت للمولدة إلى 100%، وتتم تغذية هذه الحاكمة عالية الحساسية (2) عن طريق محولة التوتر **TT2**، وتستخدم المقاومات **R1,R2,R3** في الدارة للحصول على قيمة التيارات المطلوبة. لا يؤدي تطبيق التوتر المستمر على المكثف **C** في حالة التشغيل النظامية، إلى ظهور أية تيارات حلقية لعدم وجود طريق مغلق للتيار، وبذلك تبقى الحاكمة (2) في حالة التأهب. وعندما يحصل عطل أحادي مع الأرض في النقطة **K** مثلاً، يتم إغلاق طريق لمرور التيار المستمر إلى الأرض ويزداد بذلك التيار في الملف الأولي للمحولة المساعدة **TA** ما يؤدي إلى عمل الحاكمة (2)، ولا يتأثر تشغيل هذه الحاكمة بنقطة العطل **K** وقربها أو بعدها عن حيادي عن النقطة الحيادية للمولد، وهذا يؤمن الحماية الكاملة للفات وشائع الجزء الثابت للمولدة. تعمل الحاكمة (1) في هذه الدارة عند ظهور العطل الأحادي، إلى فتح القاطع الآلي وفصل مجموعة مولدة – محولة، بينما تعمل الحاكمة (2) على إرسال إشارة إلى عناصر المراقبة في صالة قيادة محطة التحويل وذلك لأن المولدة الكهربائية تتحمل ولعدة دقائق دون أن تصيبها اضرار نتيجة تيارات قصر الدارة الأحادي الصغيرة حيث تتحسس بها الحاكمة (2) ولا تتحسس

بها الحاكمة(1)، وهي التيارات التي يمكن أن تحدث في المنطقة الميتة المحددة بالقرب من أقطاب المولد الكهربائي بنسبة 15% من اللفات تقريبا.



الشكل(6 – 13) الحماية من القصر الأحادي مع الأرض في ملفات الجزء الثابت

ويعطى في الشكل (6 – 14) مخطط دارة نظام حماية من الأعطال الأحادية مع الأرض في ملفات الجزء الثابت للمولدة الكهربائية عن طريق حقن تيار متناوب لتحقيق الإزاحة المصطنعة لكمون النقطة الحيادية للمولدة المطلوب حمايتها. ويطبق توتر متناوب يساوي 15% من التوتر النظامي للمولدة الكهربائية على النقطة الحيادية للمولدة عن طريق المحولة T_1 ما يؤدي إلى إزاحة كمون النقطة الحيادية نسبةً للأرض.



الشكل (6 – 14) حقن تيار متناوب لتحقيق الإزاحة لكمون النقطة الحيادية للمولدة

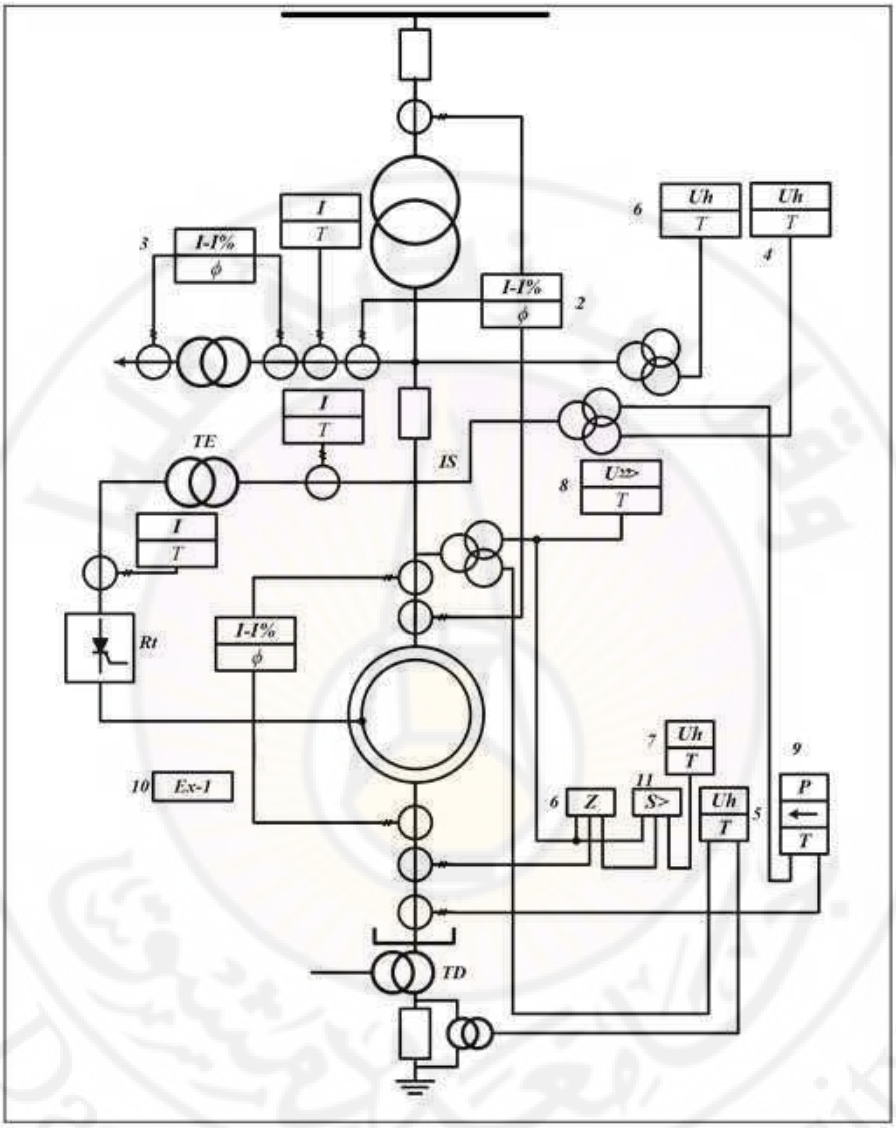
تحقن المحولة المساعدة **TA** عبر ملفها الثانوي توتراً متناوباً يساوي 100V لتغذية العناصر الكهربائية المربوطة إليها. ينتج عن إزاحة النقطة الحيادية للمولدة توليد تيارات سعوية في حالة التشغيل النظامي لمجموعة مولدة – محولة، تدور في الدارة عن طريق السعات الجزئية بين عناصر الدارة والأرض. ولكي لا تتحسس الحماية بمرور هذه التيارات السعوية الناتجة عن إزاحة النقطة الحيادية، يستخدم عنصر **(EC)** (**Compensation Element**) تتم تغذيته عن طريق المحولة المساعدة **TA2** التي يربط ملفها الأولي على التفرع مع المقاومة R التي تربط النقطة الحيادية للمولدة إلى الأرض.

ويقوم عنصر التعويض بتوليد تيار يساوي التيار السعوي ويعاكسه بالطور وهذا يؤدي إلى تعويض هذا التيار السعوي وبذلك تبقى الحماية في حالة تأهب، ويغذي عنصر التعويض هذا عن طريق مرشحة تمرير حزمة للأسفل **F** ، الحاكمة الالكترونية **RE** التي هي عبارة عن حاكمة توتر أعظمي، وعندما يحدث عطل أحادي مع الأرض في المولدة يتوقف تعويض التيارات السعوية بسبب القيمة الكبيرة لتيار العطل بالمقارنة مع التيارات السعوية، وذلك لأن السعات الجزئية مع الأرض يتم قصرها عند حدوث العطل.

6 – 4 نظام الحماية الكامل لمجموعة مولدة – محولة كهربائية

يبين الشكل (6 – 15) المخطط الكهربائي لنظام الحماية الكامل لمجموعة مولدة – محولة حيث يكون للمحولة ملفان يعمل أحدهما على جانب التوتر 400kV ويعمل الملف الثاني على جانب توتر المولدة، ويوجد بين المولدة والمحولة قاطع آلي **IS** باستطاعة قطع محدودة وهو يسمح بإقلاع مجموعة المولدة – المحولة عن طريق محولة التغذية الذاتية لمحطة التوليد الكهربائية **TSI** والتي تتم تغذيتها مباشرة من الشبكة العامة الكهربائية عند بقاء القاطع الآلي **IS** مفتوحاً.

يتم عزل مجموعة المولدة – المحولة عن الشبكة الكهربائية العامة عن طريق فتح القاطع الآلي 1 – I . وتقوم المحولة **TE** بتغذية المقوم المقاد **RT** الذي يؤمن تغذية ملف تهييج المولدة الكهربائية بالتيار المستمر. وتؤمن أنظمة الحماية(1) و(2) الحماية التفاضلية الأساسية المنفصلة لكل من المولدة والمحولة. وتستعمل الحماية التفاضلية (3) لتأمين حماية المحولة المساعدة للخدمات الذاتية لمحطة التوليد **TSI**.



الشكل (6 – 15) المخطط الكهربائي لنظام الحماية الكامل لمجموعة مولدة– محولة

يستعمل نظام الحماية (4) لتأمين الحماية من تيارات قصر الدارة التي قد تنتج بين لفات الطور الواحد من الجزء الثابت للمولدة الكهربائية التي تحتوي على ملف واحد لكل طور من أطوار المولد. ويعمل نظام الحماية (5) ضد تيارات القصر الأحادية مع الأرض في

ملفات الجزء الثابت للمولدة، وهو يؤمن الحماية الكاملة لملفات الجزء الثابت. ويمكن الملاحظة أن هذه الحماية لا تعمل على حماية ملفات المحولة عندما يكون القاطع الآلي IS مفتوحاً ومجموعة المولدة – المحولة في حالة الإقلاع، ولذلك وللتحسس بهذه الحالة يتم استخدام نظام الحماية (6) الذي يتحسس لظهور المركبة الصفرية في توترات أطوار المحولة الكهربائية عند انزياح النقطة الحيادية للمولد. ويمثل نظام الحماية المسافية (6) حماية احتياطية للمولد. وتستخدم أنظمة الحماية (7) لحماية مجموعة المولدة – المحولة من تيارات القصر الثلاثية المتناظرة وتيارات القصر غير المتناظرة الخارجية ومن زيادة الأحمال. ويقوم نظام الحماية (8) لتأمين الحماية من زيادة التوتر على أقطاب المولد الكهربائي. ويستخدم نظام الحماية (9) لتأمين الحماية ضد إنتقال المولد الكهربائي للعمل بوصفه محركاً كهربائياً. ويستخدم نظام الحماية (10) لحماية المولد ضد الأعطال التي يمكن أن تظهر في ملف الجزء الدوار من المولدة وضد نقصان تيار التهييج المفاجئة وانعكاس عمل المولد في حالة التشغيل غير المتزامنة. أما نظام الحماية (12) فيستخدم للحماية من زيادة الحمل في ملف التهييج في الجزء الدوار للمولد الكهربائي الذي تتم تغذيته من المقوم **RT**. وتشكل أنظمة الحماية (13) و(14) حماية التيار الأعظمية لمحولة التغذية الذاتية لمحطة التوليد **TS1** وحماية محولة تغذية مقوم التيار **TE**.

وقل رب زدني علما
Damascus University

الفصل السابع

7 – حماية قضبان التجميع في محطات التحويل الكهربائية

Protection of Bus–Bars in Power Substations

Damascus University

وقل رب زدني علما
Damascus University

الفصل السابع

7 – حماية قضبان التجميع في محطات التحويل الكهربائية

Protection of Bus – Bars in Power Substations

7 – 1 أنظمة حماية قضبان التجميع الكهربائية

تعد أعطال قصر الدارة الكهربائية على قضبان التجميع من أخطر أنواع قصر الدارة التي يمكن أن تظهر في الشبكات الكهربائية لأنها تسبب خروج جميع العناصر الكهربائية المربوطة إلى هذه القضبان من الخدمة وقد تؤدي إلى اختلال عمل المستهلكين المربوطين إلى القضبان المجاورة التي ترتبط مع القضبان المصابة بالعطل عن طريق الخطوط الكهربائية المشتركة. كما أنها قد تسبب أحياناً أعطالاً شاملةً وخروج الشبكة من حالة الاستقرار .[21]

ويمكن حماية قضبان التجميع الكهربائية من الأعطال التي يمكن أن تظهر عليها بطريقتين:

1 – عن طريق أنظمة حماية مختلف العناصر الكهربائية المربوطة إلى قضبان التجميع الكهربائية المطلوب حمايتها.

2 – عن طريق أنظمة حماية كهربائية خاصة بقضبان التجميع الكهربائية.

عند استخدام أنظمة حماية مختلف العناصر الكهربائية المربوطة إلى قضبان التجميع فإنها يجب أن تحقق شرط الانتقائية وشرط سرعة الاستجابة في إزالة الأعطال المختلفة على قضبان التجميع، ويمكن تحقيق هذين الشرطين عن طريق الحاكمات الزمنية وعن طريق اختيار أزمنة تشغيل وأزمنة تأخير لمختلف أنظمة حماية العناصر المربوطة إلى قضبان التجميع الكهربائية.

أما عند استخدام أنظمة الحماية الكهربائية الخاصة لقضبان التجميع الكهربائية فإنها تلحظ بنظام الحماية التفاضلية ونظام حماية زيادة التيار ونظام الحماية المسافية، ونظام الحماية بإستخدام مرشحات المركبة الصفرية المتناظرة.

7 – 2 إستخدام الحماية التفاضلية لقضبان التجميع الكهربائية

7 – 2 – 1 الحماية التفاضلية الكاملة لقضبان التجميع الكهربائية المفردة

Differential Protection for Single Bus – Bar

يتم تحقيق الحماية التفاضلية لقضبان التجميع الكهربائية بشكل مشابه لتحقيق الحماية التفاضلية للمولدات والمحولات الكهربائية. وتركب محولات التيار اللازمة لتشغيل الحمايات على الدارات المربوطة إلى قضبان التجميع الكهربائية المطلوب حمايتها، وتربط هذه المحولات بحيث تحدد تماما المنطقة المحمية وهي قضبان التجميع والقواطع الآلية للعناصر الكهربائية المربوطة اليها. وتنفذ الحماية التفاضلية في فرضيتين أساسيتين هما:

1 – الحماية التفاضلية الكاملة: ويقصد بها نظام الحماية الذي يتضمن جميع العناصر الكهربائية المربوطة إلى قضبان التجميع الكهربائية في محطة التحويل.

2 – الحماية التفاضلية غير الكاملة: ويقصد بها نظام الحماية الذي لا يتضمن الخطوط الكهربائية التي تنطلق من قضبان التجميع في محطة التحويل الكهربائية.

يبين الشكل (7 – 1) مبدأ تحقيق الحماية التفاضلية الكاملة لقضبان التجميع الكهربائية، وتعطى في هذا الشكل الدارة وحيدة الخط لهذه الحماية التي تتضمن خمسة عناصر كهربائية. وفي حالة التشغيل النظامية أو عندما يحدث قصر دارة كهربائي خارج المنطقة المحمية فإن محصلة التيارات الكهربائية التي تدخل إلى عقدة الشبكة الكهربائية التي تمثلها قضبان التجميع سوف تساوي محصلة التيارات التي تخرج من هذه العقدة أي:

$$I_{p1} + I_{p2} + I_{p3} = I_{p4} + I_{p5} \qquad (7\text{-}1)$$

أو يمكن الكتابة كما يلي:

$$\sum I_{p\,in} - \sum I_{p\,out} = 0 \qquad (7\text{-}2)$$

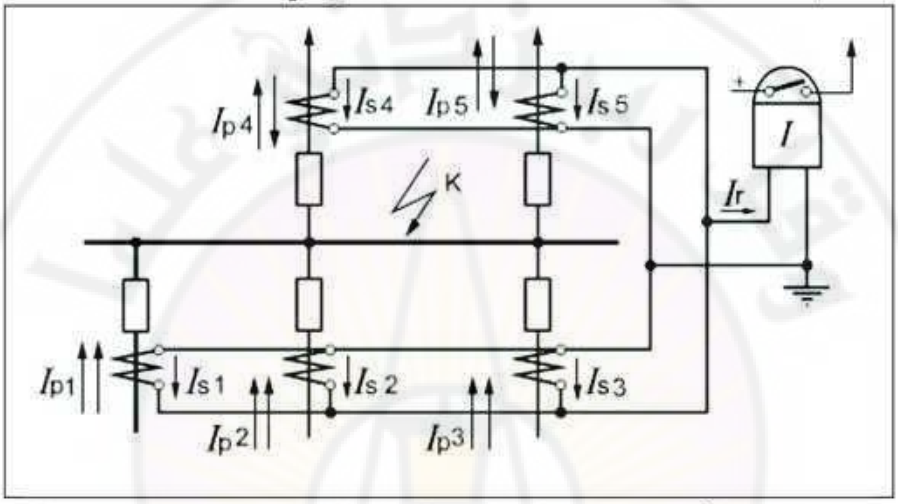
وعندما تكون محولات التيار المستخدمة في نظام الحماية التفاضلية لها نسبة تحويل متساوية وبإهمال تيارات المغنطة لهذه المحولات فإن قيمة التيار الكهربائي المحصلة الذي سوف يمر في حاكمة التيار سوف تساوي:

$$I_r = \sum I_{in} - \sum I_{out} \approx 0 \qquad (7\text{-}3)$$

يمر في الواقع في حاكمة التيار **I** تيار غير معدوم ويساوي لتيار عدم التوازن الكهربائي

$I_r = I_{dez}$ ، ويجب ضمان عدم تحسس الحماية التفاضلية بهذا التيار والعمل بصورة خاطئة.

ولكن عندما يحدث عطل أو قصر دارة في النقطة **K** على قضبان التجميع الكهربائية فسوف تتم تغذية هذا العطل من كافة الاتجاهات وسينتج في هذه الحالة:



الشكل(7– 1) مبدأ تحقيق الحماية التفاضلية الكاملة لقضبان التجميع الكهربائية

$$\sum I_{p\,in} + \sum I_{p\,out} = I_{sc} \qquad (7\text{-}4)$$

أو يمكن الكتابة:

$$I_r = \sum I_{s\,in} + \sum I_{s\,out} \qquad (7\text{-}5)$$

وهكذا يكون التيار الذي يمر في الحاكمة I متناسباً مع تيار العطل الأمر الذي يؤدي إلى تشغيل الحماية التفاضلية.

وتحقق الحماية التفاضلية في حالة قضبان التجميع الكهربائية التي ترتبط مع شبكات كهربائية تكون فيها قيمة تيارات القصر الأحادي مع الأرض كبيرة، باستخدام محولات تيار وحاكمات على الأطوار الثلاثة للشبكة الكهربائية وبذلك ستعمل الحماية حتى في حالة القصر أحادي الطور مع الأرض. أما في حالة الشبكات الكهربائية التي لا تكون فيها قيمة تيارات القصر الأحادي مع الأرض كبيرة، فيتم استخدام محولات التيار وحاكمات التيار على طورين فقط من أطوار الشبكة الكهربائية.

في الحالة التي تكون فيها نسبة تحويل محولات القياس غير متساوية فإنه يصبح من الضروري استخدام محولة الاشباع المغناطيسي السريع أو الحاكمة المزودة بملف إضافي للفرملة وذلك لرفع حساسية الحماية تجاه تيار عدم التوازن الكهربائي.

7 – 2 – 2 الحماية التفاضلية الكاملة لقضبان التجميع الكهربائية المزدوجة

Differential Protection for Double Bus – Bar

يبين الشكل (7–2) مخطط الخط الواحد لنظام الحماية التفاضلية لنظام قضبان تجميع مضاعف 220 kV إحدى مجموعات قضبان التجميع موجودة تحت التوتر، والمجموعة الأخرى احتياطية حيث يكون القاطع الآلي لخلية الربط العرضاني **ICT** مفتوحاً. تربط حاكمات التيار I في هذه الدارة عن طريق محولة إشباع مغناطسي سريع وعلى التفرع مع الدارات التفاضلية للأطوار الثلاثة والمشكلة من الملفات الثانوية لمحولات التيار. وتركب هذه المحولات قبل القواطع الآلية بحيث تكون هذه متضمنة في المنطقة المحمية بنظام الحماية التفاضلية لمختلف العناصر الكهربائية المربوطة إلى قضبان التجميع. [17]

ويتم تحديد تيار إقلاع الحاكمة I_{pr1} مع تحقيق شرطين أساسيين هما:

1 – عدم تحسس الحماية بتيار عدم التوازن الأمر الذي يحقق بالعلاقة التالية:

$$I_{pp1} \geq K_{sec} \cdot I_{dez\ calc\ p} = K = (K_{id} \cdot K_{aper} \cdot f_i + f_{eg})\ I''_{sc\ max\ ext} \quad (7\text{-}6)$$

حيث:

$$I_{pr1} = I_{pp1} / n_{TC} \quad (7\text{-}7)$$

وحيث يكون:

$$f_i = 0.05 \ldots 0.1 \quad , \quad K_{aper} = 1 \, , \quad K = 1.5$$

وتمثل f_{eg} نسبة الخطأ الناتج في ثانوي محولات التيار.

2 – عدم تحسس الحماية من تيار الأحمال الأعظمي $I_{load\ max}$ لأكثر العناصر الكهربائية تحميلاً والمربوطة إلى قضبان التجميع وفقاً للعلاقة:

$$I_{pp1} \geq K_{sec} \cdot I_{load\ max} \quad (7\text{-}8)$$

حيث تؤخذ قيمة ثابت الوثوقية مساوية $K_{sec} = 1.2$

وتؤخذ قيمة إقلاع نظام الحماية I_{pp1} مساوية للقيمة الأكبر التي تنتج من تحقيق العلاقة

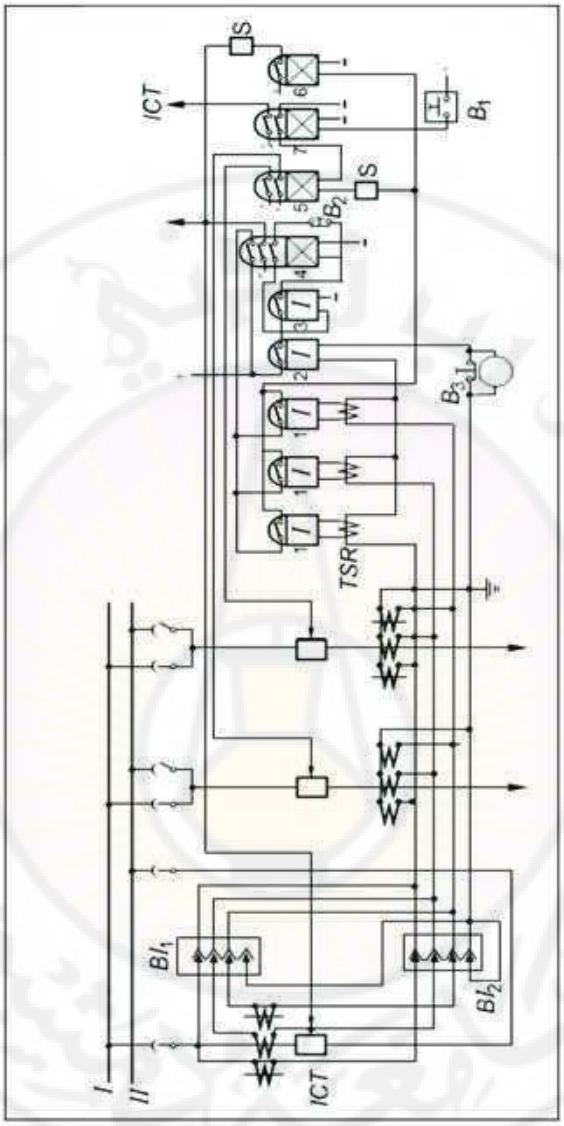
(7-6) والعلاقة (7-8) ويجب أن تحقق ثابتة الحساسية لنظام الحماية هذا قيمةً أكبر من 1.5. تستخدم الحاكمة (2) للتحقق من سلامة الدارات الثانوية في نظام الحماية التفاضلية وعدم وجود إنقطاع فيها، وتعطي هذه الحاكمة إشارة بتأخير زمني عن طريق الحاكمة الزمنية (3) وتمنع تشغيل الحماية التفاضلية عند انقطاع أحد الأسلاك عن طريق التماس المغلق للحاكمة المساعدة (4) التي تؤمن أيضاً التهييج الذاتي للحفاظ على وضعية تماساتها الأخرى.

يتم اختيار تيار إقلاع الحاكمة I_{pr2} بحيث لا تتحسس بتيار عدم التوازن في حالة التشغيل النظامية I_{dezn} ، وتؤخذ قيمة تيار الإقلاع عندما تكون قيمة التيار النظامي في ثانوي محولات القياس مساوية 5A كما يلي:

$$I_{pr2} = 0.2 \quad \ldots \quad 1$$

يتم منع عمل الحماية التفاضلية عن طريق الحاكمة (2) بتأخير زمني عن طريق الحاكمة الزمنية (3) وذلك لأن الحاكمة (2) يمكن أن تعمل في حالة قصر الدارة الخارجي حيث يمكن أن ينتقل هذا القصر إلى قضبان التجميع الكهربائية. كذلك فإن حاكمة الحماية التفاضلية (1) يجب أن لا يتم إيقافها عن التشغيل من قبل الحاكمة(2) إلا بعد مرور فترة زمنية ta_{res} لازمة لإزالة الأعطال الخارجية من قبل الحمايات الاحتياطية للعناصر الكهربائية المربوطة إلى قضبان التجميع الكهربائية، وبذلك ينتج زمن تشغيل الحاكمة الزمنية (3) كما يلي:

$$t_{a3} = t_{a\,res} + \Delta t \qquad (7\text{-}9)$$



الشكل (7 – 2) مخطط الخط الواحد لنظام الحماية التفاضلية لنظام قضبان تجميع مضاعف 220kV

تقوم الحاكمة المساعدة (5) وعن طريق الحاكمة (1) بإعطاء الأوامر اللازمة لفتح جميع القواطع الآلية ما عدا القاطع الآلي لخلية الربط العرضية **ICT** الذي يستقبل أمر الفتح عن طريق الحاكمة (6). وعند الرغبة في الإنتقال من حالة التشغيل على قضبات

التجميع الرئيسية إلى حالة التشغيل على قضبان التجميع الاحتياطية فإنه يتم تجريب هذه المجموعة أولاً عن طريق الضغط على كباسة التشغيل B1 الأمر الذي يؤدي إلى إقلاع الحاكمة (7) والتي تعطي عن طريق تماسها العلوي الأمر لاغلاق القاطع الآلي **ICT** لخلية الربط العرضي لمجموعتي قضبان التجميع وتقطع التغذية عن ملف تشغيل الحاكمة (5) عن طريق التماس السفلي للحاكمة (7). وإذا صدف وكان هناك عطل ما على قضبان التجميع الاحتياطية فإن الحاكمات (1) ستعطي الأمر للحاكمة (6) فقط لتفتح القاطع الآلي ICT وذلك لأن الحاكمة (5) تكون ممنوعة من التشغيل. ويتم بذلك عزل العطل عن المنطقة المحمية وتبقى جميع العناصر الكهربائية في حالة التشغيل. وتستخدم الكباسة **B2** لرفع حظر التشغيل عن الحاكمة

(4)، وتستعمل الكباسة B3 ولإدخال مقياس الميللي أمبير وقياس التيار في وشيعة تشغيل الحاكمة (2) ومراقبة حالة الدارات الثانوية للحماية التفاضلية. وتستخدم مبدلات الاختبار **BI1** و **BI2** لتحقيق امكانية تبديل القاطع الآلي لأحد العناصر الكهربائية المربوطة إلى قضبان التجميع بقاطع الربط العرضاني ICT.

7– 2–3 الحماية التفاضلية الكاملة لقضبان التجميع المضاعفة ذات التوزيع الثابت

تعد قضبان التجميع المضاعفة التي تعمل في محطات التوليد أو في محطات التحويل الكهربائية والتي تبقى العناصر الكهربائية من خطوط ومحولات والمربوطة معها ثابتة ولا تغير حالة تشغيلها، قضبان توزيع ذات توزيع ثابت. وتعمل القضبان المضاعفة تحت التوتر مع بقاء قاطع خلية الربط العرضاني بين مجموعتي القضبان مغلقاً، وتمتاز هذه الطريقة الفنية لتشغيل قضبان التجميع المزدوجة بأنه في حالة ظهور عطل ما على احدى مجموعات قضبان التوزيع، تخرج من الخدمة العناصر الكهربائية المربوطة إلى هذه القضبان.

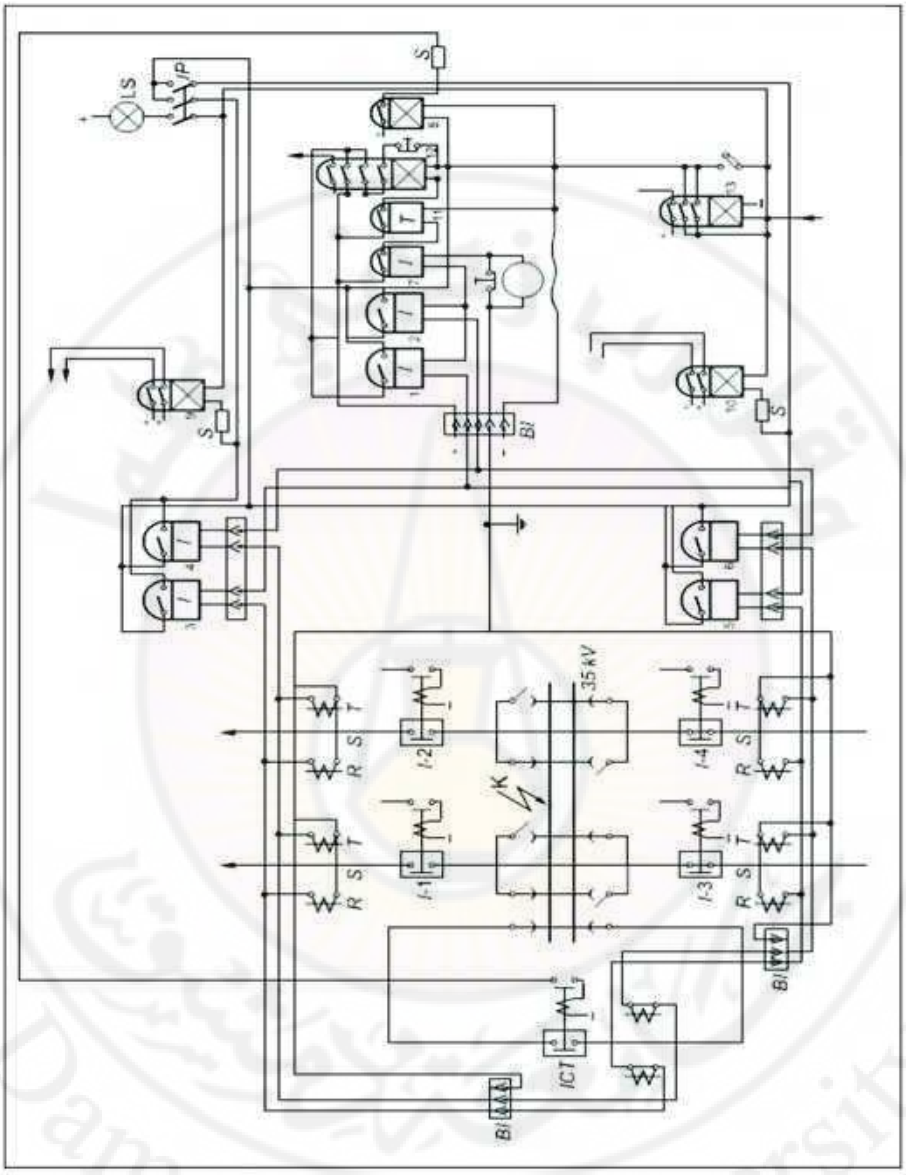
تتضمن الحماية التفاضلية في حالة قضبان التجميع المضاعفة ذات التوزيع الثابت ثلاث مجموعات من حاكمات التيار، وتحدد مجموعة الحاكمات الأولى ظهور العطل والمنطقة التي يظهر بها، أما مجموعتي الحاكمات الأخريتين فإنهما تؤمنان تحديد مجموعة قضبان التجميع التي أصيبت بالعطل، ويبن الشكل (7– 3) مخطط الخط الكهربائي الواحد

للحماية التفاضلية لقضبان التجميع المضاعفة ذات التوزيع الثابت والتي تنفذ على طورين فقط من أطوار الشبكة الكهربائية لتخفيف التكلفة الاقتصادية.

تشكل الحاكمات (1 و 2) المجموعة الأولى وتشكل الحاكمات (3 و 4) مجموعة الحاكمات الثانية وهي تعمل عند ظهور عطل على قضبان التجميع الأولى (I) بينما تشكل مجموعة الحاكمات(5 و 6) مجموعة الحاكمات الثالثة وهي تعمل عند ظهور عطل على قضبان التجميع الثانية (II). تؤمن محولات التيار المركبة على الطور الأول R للعناصر الكهربائية المربوطة إلى نظام قضبان التجميع الأول (I) تغذية الحاكمات (1 و 3 و 7) وتؤمن محولات التيار المركبة على الطور الثانيT للعناصر الكهربائية المربوطة إلى نظام قضبان التجميع الأول (I) تغذية الحاكمات (2 و 4 و 7). وتقوم الحاكمة (7) بمراقبة حالة الدارات الثانوية للحماية.

التفاضلية في حالة حدوث أي إنقطاع في أسلاكها. وتؤمن محولات التيار المركبة على أطوار قضبان التجميع الثانية (II) تغذية الحاكمات (5 و 1 و 7) والحاكمات (6 و 2 و 7) بشكل مشابه للمذكور أعلاه. ويتم بذلك تحقيق مجموعتين من أنظمة الحماية التفاضلية، نظام مؤلف من الحاكمات (3 و 4 و 1 و 2 و 7)، والآخر مؤلف من الحاكمات (5 و 6 و 1 و 2 و 7)، ويعمل النظامان من خلال الحاكمتين (1 و 2).

تمثل خلية الربط العرضي عنصراً من العناصر الكهربائية الواقعة ضمن المنطقة المحمية بالحماية التفاضلية، وهي تعد خلية وصول لإحدى مجموعات قضبان التجميع وتعتبر خلية خروج لمجموعة قضبان التجميع الأخرى. لذلك تؤمن محولات التيار المركبة على أطوار خلية الربط العرضاني تغذية الحاكمتين (3 و 5) على التسلسل وكذلك تؤمن تغذية الحاكمتين (4 و 6) على التسلسل دون أن تغذي الحاكمتين (1 و 2).



الشكل (7 – 3) مخطط الخط الواحد للحماية التفاضلية لقضبان التجميع المضاعفة

عندما يحدث عطل كهربائي خارج المنطقة المحمية فإن الحاكمتين (1 و 2) لا تعملان، وتبقى بذلك كافة أنظمة الحماية مقفلة، لأن الحاكمات (6 و 5 و 4 و 3) تبقى يدون تغذية. وعندما يحدث عطل على إحدى مجموعات قضبان التجميع، في

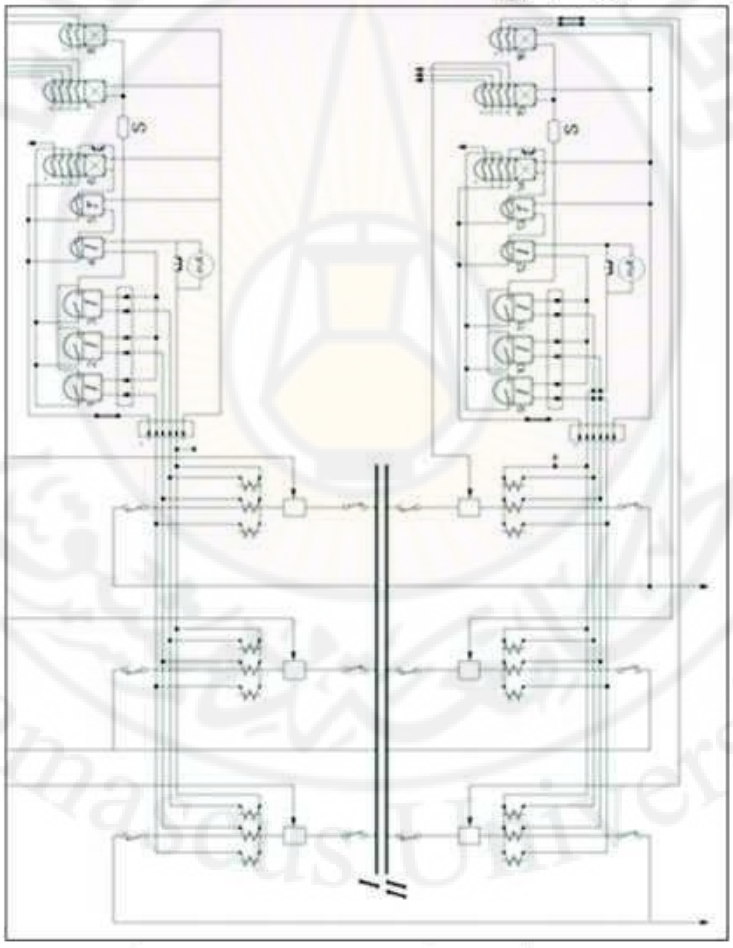
النقطة K مثلاً على مجموعة قضبان التجميع الأولى (I) ، فإن الحاكمتان (1 و 2) سوف تعمل لأن العطل يقع في المنطقة المحمية، وسوف تغذي تماسات الحاكمات (3 و 4 و5و6) وتغذي أيضاً الحاكمة المساعدة (8) التي تعطي الأمر لفصل القاطع الآلي في خلية الربط العرضي ICT. وعندما يكون العطل على مجموعة قضبان التجميع الأولى فإن الحاكمتين (3 و 4) هما اللتان ستعملان فقط، بينما لن تعمل الحاكمتين (5 و 6) لأن العطل في هذه الحالة بالنسبة إلى هذه الحاكمات يكافئ عطلاً خارج المنطقة المحمية. وعندما تعمل الحاكمتان (3 و 4) فإنها ستشغل الحاكمة (9) التي ستعطي الأمر اللازم لفصل كافة القواطع الآلية للعناصر الكهربائية المربوطة إلى قضبان التجميع الأولى (I)، ويتم بذلك عزل العطل بشكل انتقائي مع بقاء مجموعة قضبان التجميع الثانية (II) في حالة التشغيل. وتقوم الحاكمتان (11 و 12) بعد إقلاعها عن طريق الحاكمة (7) بنفس الدور الذي تقوم به الحاكمتان (3 و 4) في دارة الحماية التفاضلية المبينة في الشكل (7 –2). وتقوم الحاكمة (13) بإيقاف عمل الحمايات، تماما كما تفعل الحاكمة (7) في دارة الحماية التفاضلية المبينة في الشكل المذكور. ويؤدي عمل الحاكمة (13) إلى منع تشغيل الحاكمتان (9 و 10). عندما يحدث قصر دارة على مجموعة قضبان التجميع الثانية (II) فإن الفصل الانتقائي وعزل العطل تتم عن طريق الحاكمات (1 و 2 و 5 و 6).

7 – 2–4 الحماية التفاضلية لقضبان التجميع المضاعفة والمزودة بقاطعين آليين

تستخدم في حالة محطات التوليد ومحطات التحويل ذات الأهمية البالغة قضبان تجميع يركب فيها قاطعان آليان في كل خلية وصول أو خلية خروج. ويلحظ في هذه الحالة استخدام نظامين للحماية التفاضلية الكاملة، نظام لكل مجموعة من قضبان التجميع المضاعفة كما هو مبين في الشكل (7 – 4).

تؤمن الحاكمات (1 و 2 و 3) الحماية لمجموعة قضبان التجميع الأولى (I) وتعمل هذه الحاكمات على إعطاء الأمر بفتح كافة القواطع الآلية المربوطة مع مجموعة القضبان هذه عندما يحدث عطل ما عليها عن طريق الحاكمتين (7 و 8). وتؤمن الحاكمات (4 و 5 و 6) مراقبة الدارات الثانوية للحماية التفاضلية وكذلك تمنع التشغيل

الخاطئ للحماية التفاضلية. وفي حالة ظهور عطل ما على مجموعة قضبان التجميع الثانية (II) تؤمن الحاكمات (9 و 10 و 11 12 و 13 و 14 و 15 و 16) عزل العطل وفتح القواطع الآلية لكافة العناصر الكهربائية المربوطة مع مجموعة قضبان التجميع الثانية. وبذلك يتم عزل أي عطل كهربائي يحدث على إحدى مجموعات قضبان التجميع بشكل انتقائي مع بقاء كافة العناصر الكهربائية المربوطة إلى قضبان التجميع السليمة في حالة تشغيل نظامية. وهذا يمثل في الواقع الهدف من استخدام أنظمة الحماية هذه لمجموعات قضبان التجميع.



الشكل(7 – 4) نظام حماية تفاضلية بمعدل واحدة لكل مجموعة من قضبان التجميع

7 -2 – 5 الحماية التفاضلية غير الكاملة لقضبان التجميع المضاعفة

تمتاز الحماية التفاضلية الكاملة بأنها حماية انتقائية وسريعة وحساسة جداً، لكن هذه الحماية التفاضلية الكاملة تحتاج إلى عدد كبير من محولات التيار يتم تركيبها على كافة خلايا الوصول وخلايا الخروج المربوطة إلى قضبان التجميع في محطات التوليد الكهربائية، الأمر الذي يقود إلى تكلفة مالية كبيرة جداً وخاصة في الحالة التي يربط إلى قضبان التجميع عدد كبير من خلايا الوصول وخلايا الخروج. لذلك فإن الحماية التفاضلية الكاملة تستعمل في حالة قضبان التجميع التي تعمل على توتر مساو أو أكبر من 66 kV، أما في حالة قضبان التجميع التي تعمل على توتر المولدات فإنه يتم استعمال أنظمة الحماية التفاضلية غير الكاملة التي يستند مبدأ تشغيلها إلى فكرة وجود وشائع على غالبية مخارج المحطة.[21]

ويتم تنفيذ الحماية التفاضلية غير الكاملة في حالة العناصر الكهربائية المربوطة إلى قضبان التجميع التي يمكن أن تتم عبرها التغذية الكهربائية من المولدات فقط، أما مخارج الخطوط الكهربائية الشعاعية فلا تركب عليها أنظمة الحماية التفاضلية وبذلك يتم تخفيف عدد محولات التيار المطلوبة والمكلفة بسب مواصفاتها ودقتها العالية.

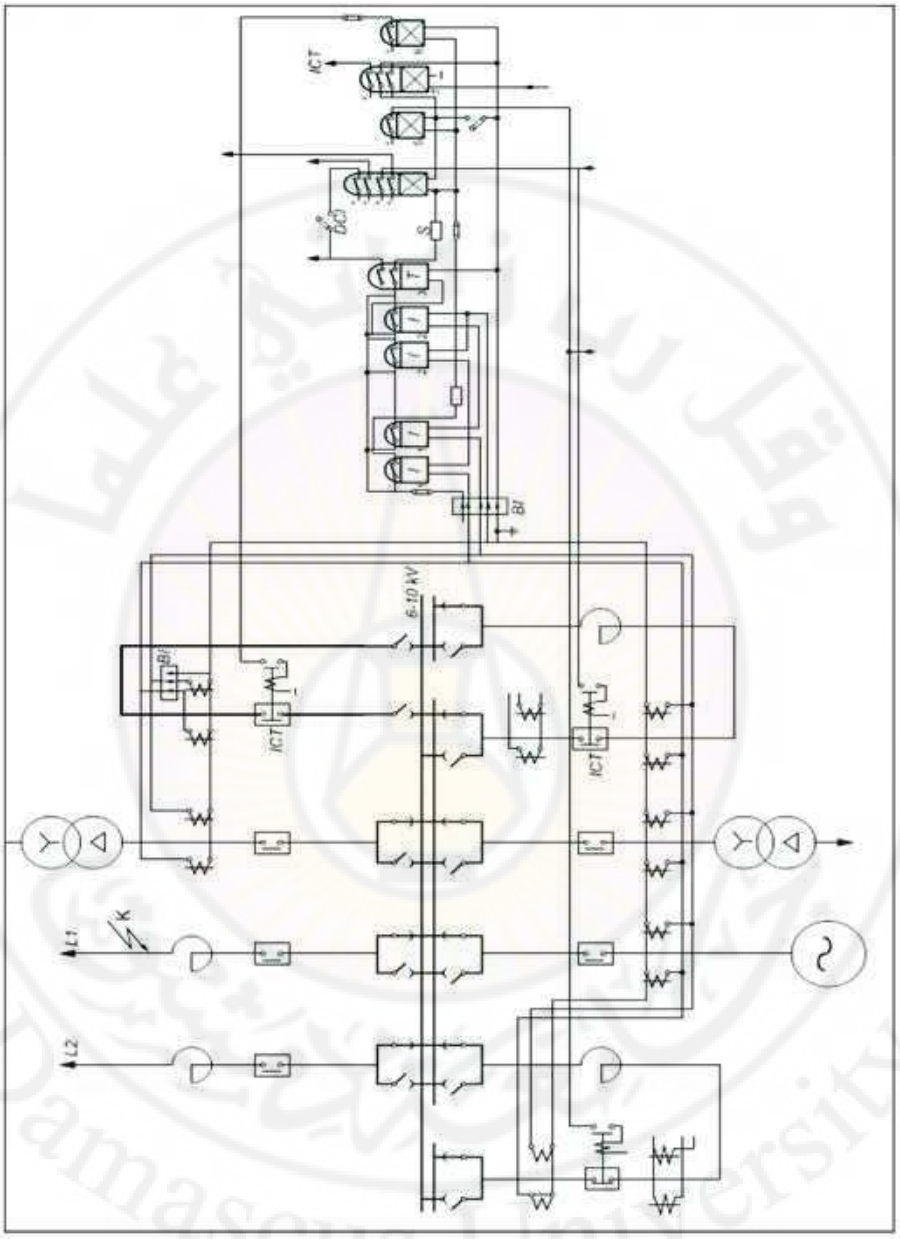
وتنفذ الحماية التفاضلية في حالة قضبان التجميع في محطات التوليد التي تعمل مولداتها على توتر اسمي يقع في المجالkV (15-6) بتركيبها على طورين فقط لأن تيارات القصر مع الأرض تكون صغيرة عند هذه التوترات وتقوم الحماية التفاضلية بمراقبة الأعطال الثنائية التي تنتج بين الأطوار فقط وعزلها.

ويبين الشكل (7 – 5) المخطط الكهربائي لنظام الحماية التفاضلية غير الكاملة في لمجموعة قضبان التجميع الثانية (II) مع الأخذ بالاعتبار أن الخطوط الكهربائية الشعاعية لا تكون متضمنة في الحماية التفاضلية. وتصمم الحماية التفاضلية في حالة هذه الخطوط الكهربائية الشعاعية لكي تؤمن حماية المنطقة الواقعة بين القاطع الآلي ووشيعة التعويض الطولائي التي تعطي الأمر لفصل جميع القواطع الآلية عن حدوث عطل كهربائي في هذه المنطقة. وتتضمن حماية قضبان التجميع نظامين منفصلين للحماية، يتألف النظام الأول من الحاكمات (1) التي تؤمن عزل الأعطال التي تحدث

على مجموعة قضبان التجميع أو بين القاطع الآلي للخط الكهربائي الشعاعي وملف التعويض الطولاني، ويتألف النظام الثاني من الحاكمة (2) والحاكمة الزمنية (3) الذي يشكل نظام حماية احتياطية لعزل الأعطال التي يمكن أن تظهر على الخط الكهربائي الشعاعي بعد ملف التعويض العرضي خارج منطقة حماية مجموعة قضبان التجميع. يسمى النظام الأول الحماية التفاضلية المجزأة ويسمى النظام الثاني حماية زيادة التيار الأعظمي الحساسة.

تقوم الحاكمات (1) وعن طريق الحاكمات المساعدة (4 و 5 و 6) بفتح جميع القواطع الآلية مع بقاء جهاز التبديل **DC1** مغلقاً، وتقوم الحاكمة (2) بفتح جميع القواطع الآلية ولكن بتأخير زمني عن طريق الحاكمة الزمنية (3).

تستخدم الحاكمة (7) لاختبار قضبان التجميع الاحتياطية قبل نقل الخدمة إليها، ويستخدم جهاز التجريب **BI** لربط محولات القياس إلى دارة نظام الحماية التفاضلية عندما يتم تبديل تغذية الخطوط الكهربائية لتصبح عن طريق قضبان التجميع الاحتياطية باستخدام القاطع الآلي لخلية الربط العرضي عوضاً عن القاطع الآلي للخط الكهربائي.



الشكل(7 – 5) المخطط الكهربائي لنظام الحماية التفاضلية غير الكاملة لمجموعة قضبان التجميع الثانية(II)

7 – 3 إستخدام حاكمات الممانعة لحماية قضبان التجميع الكهربائية

تستخدم حاكمات الممانعة لحماية قضبان التجميع الكهربائية بشكل عام، وهي حاكمات من النوع الأصغري وتغلق تماساتها دائماً عندما تتحقق العلاقة:

$$Z_r = \frac{U_r}{I_r} \le Z_{pr} \qquad (7\text{-}10)$$

حيث:

$\mathbf{Z_r}$: الممانعة التي تقيسها حاكمة الممانعة

$\mathbf{U_r}$: التوتر على مرابط ملف حاكمة الممانعة

$\mathbf{Z_{pr}}$: قيمة ممانعة إقلاع حاكمة الممانعة

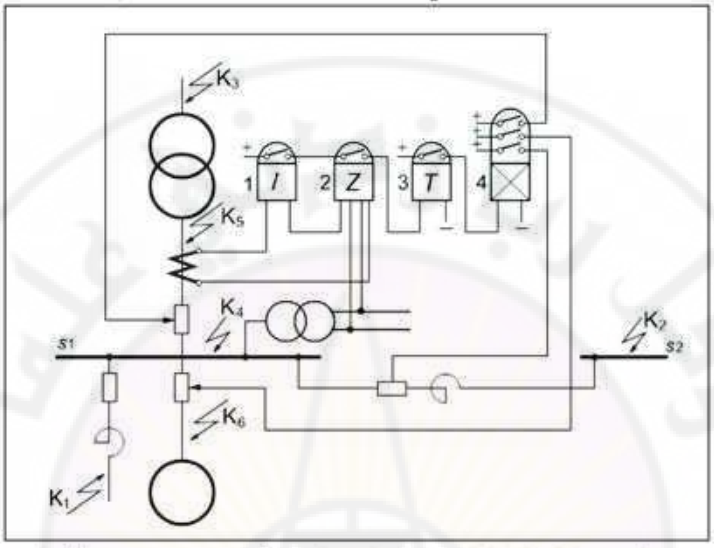
واستنادا إلى هذه العلاقة فإنه يمكن استخدام حاكمات الممانعة لحماية قضبان التجميع المربوطة إلى أقطاب المولدات الكهربائية التي تنطلق منها خطوط كهربائية شعاعية مركب عليها ملفات تعويض طولية أو تكون مرتبطة مع مجموعة قضبان تجميع ثانية عن طريق خلية ربط طولية ملحوظ فيها أيضاً ملف تعويض طولي، حيث تكون قيمة الممانعة Z_r في هذه الحالات أصغر بكثير عند ظهور الأعطال على قضبان التجميع مقارنة مع ظهور الأعطال خلف ملفات التعويض الطولي، وبالتالي فإن الحماية ستعمل فقط في حالة الأعطال على قضبان التجميع وهذا يؤمن انتقائية هذه الحماية.

ويبين الشكل (7 – 6) مخطط الخط الواحد لنظام الحماية باستخدام حاكمة الممانعة ولطور واحد من أطوار الشبكة الكهربائية ولمجموعة قضبان التجميع الأولى S.I.

تستخدم حاكمة التيار كعنصر إقلاع لنظام الحماية هذا، وتستخدم حاكمة الممانعة لتحقيق الانتقائية المطلوبة، فهي لا تعمل عند ظهور أعطال في النقاط K_1 , K_2 , K_3 وإنما تعمل عند ظهور أي عطل على قضبان التجميع الكهربائية في النقطة K_4 .

يتم تعيير الحاكمة الزمنية (3) لتعمل بتأخير زمني يساوي t_3= 0.6 s ثانية الأمر الذي يسمح بعزل الأعطال التي يمكن أن تظهر خارج منطقة حماية قضبان التجميع مثلاً في

النقاط K_5 , K_6 بشكل انتقائي عن طريق الحماية السريعة لمحولات الاستطاعة أو للمولدات الكهربائية دون أن تتدخل في الأمر حماية قضبان التجميع **S1**.



الشكل (7 – 6) مخطط الخط الواحد لنظام الحماية بإستخدام حاكمة الممانعة ولطور واحد من أطوار الشبكة الكهربائية

يمتاز هذا النظام من الحماية بأنه يؤمن الانتقائية بغض النظر عن عدد مجموعات قضبان التجميع الكهربائية المطلوب حمايتها، لكنه مكلف جداً ، ويحتاج إلى عدد كبير من حاكمات الممانعة غالية الثمن.

الفصل الثامن

8 – حماية المحركات الكهربائية

Electric Motors Protection

Damascus University

وقل رب زدني علما
Damascus University

الفصل الثامن

8 – حماية المحركات الكهربائية

Electric Motors Protection

8 –1 أنظمة الحماية المستخدمة للمحركات الكهربائية

تتم حماية المحركات الكهربائية من الأعطال الداخلية ومن حالات التشغيل غير النظامية. ويمكن أن تكون الأعطال الداخلية عبارة عن قصر دارة بين الأطوار أو قصر دارة أحادي مع الأرض أو قصر دارة بين لفات الطور الواحد.أما حالات التشغيل غير النظامية الأكثر شيوعاً فيمكن أن تكون زيادة التيار الذي يستجره المحرك الكهربائي. وتنشأ حالات التشغيل غير النظامية في المحركات التحريضية عن زيادة الأحمال أو عن إنقطاع أحد الأطوار في شبكة التغذية الكهربائية أو عن إنخفاض سرعة الدوران بسبب إنخفاض التوتر في شبكة التغذية الكهربائية. وتنتج زيادة الأحمال في المحركات التزامنية عندما يزداد العزم الميكانيكي المطبق على المحرك الكهربائي.[22]

يعتمد اختيار أنظمة الحماية للمحركات الكهربائية على العوامل التالية:

- توتر المحرك الكهربائي واستطاعته ونوعه.
- أهمية التجهيزات التي تديرها المحركات.
- شروط الإقلاع الذاتي للمحركات (أي عودة سرعة الدوران إلى القيمة النظامية بعد انخفاضها بسبب شروط التشغيل أو بسبب ظهور عطل ما).

تستخدم أنظمة الحماية التي تحتوي على حاكمات كهربائية في حالة المحركات الكهربائية التي يزيد توتر تشغيلها النظامي عن 1kV . وتحدد أنظمة الحماية المستخدمة في المحركات التي يزيد توترها عن 1kV كما يلي:

- الحماية التفاضلية الطولية أو حماية زيادة التيار الأعظمي للحد من تأثير القصر ضمن المحرك.
- الحماية من الأعطال الأحادية مع الأرض.
- الحماية من انخفاض التوتر الكهربائي لتأمين إعادة الإقلاع الذاتي للمحرك.

- حماية زيادة التيار الأعظمي ذات التأخير الزمني للحد من آثار زيادة الأحمال الكهربائية.
- حماية المحركات التزامنية لمنع الخروج من التزامن.

8 – 2 حماية المحركات الكهربائية التحريضية

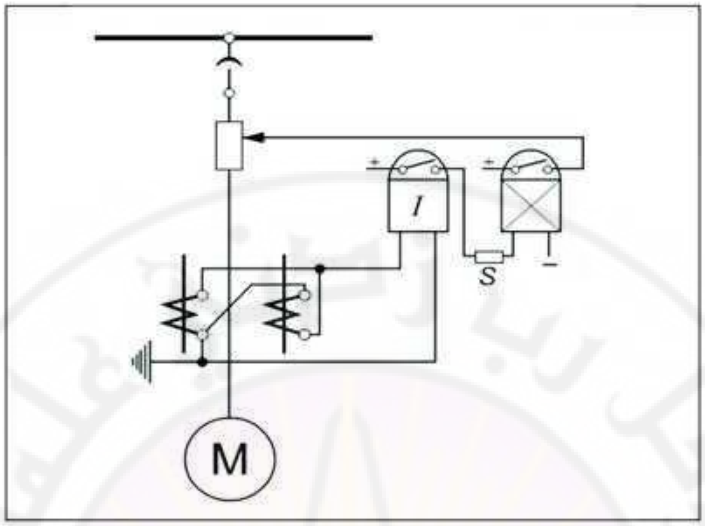
8 – 2 – 1 حماية المحرك من الأعطال التي تحدث ضمن المحرك

تحدد غالبية النظم العالمية للحمايات الكهربائية استخدام الحماية التفاضلية الطولية أو استخدام حماية زيادة التيار مع التأخير الزمني للحد من الأعطال التي يمكن أن تظهر في أطوار المحرك الكهربائي التحريضي، وذلك بحسب استطاعة المحرك الكهربائي.

تتم حماية المحركات التحريضية التي لا تزيد استطاعتها عن 5000 kW بإستخدام نظام حماية التيار الأعظمي بدون تأخير زمني وبإستخدام محولتي تيار وحاكمتي تيار، أما في حالة المحركات التحريضية التي تقل استطاعتها عن 2000 kW فيمكن إستخدام نظام الحماية هذا والمزود بحاكمة واحدة.

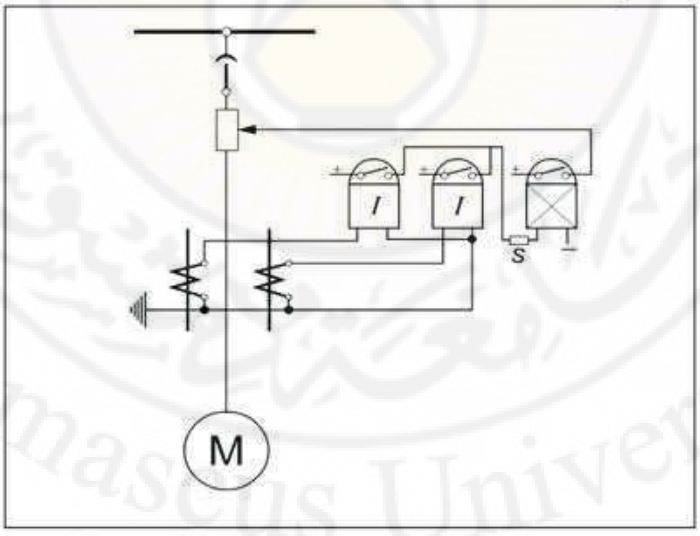
وتستخدم الحماية التفاضلية الطولانية في حالة المحركات التي تزيد استطاعتها عن 5000 kW والتي يمكن أن تركب على طورين فقط أو على الأطوار الثلاثة. وتستعمل الحماية التفاضلية في حالة المحركات التحريضية التي تقل استطاعته عن 5000 kW إذا لم تحقق حماية زيادة التيار الأعظمي بدون تأخير زمني المستخدمة شروط الحساسية المطلوبة.

يبين الشكل(1–8) مخطط الخط الواحد لنظام الحماية التفاضلية للمحرك التحريضي بإستخدام محولتي تيار وحاكمة واحدة مربوطة في دارة تفاضل التيارات التي تمر في ثانوي محولات التيار.



الشكل(8 – 1) مخطط الخط الواحد لنظام الحماية التفاضلية للمحرك التحريضي

يبين الشكل (8 – 2) مخطط الخط الواحد لنظام الحماية التفاضلية للمحرك التحريضي باستخدام محولتي وحاكمتي تيار. ويجب أن تؤمن هذه الحمايات ثابتة حساسية أكبر من 2 أي ($K_{sen} \geq 2$).

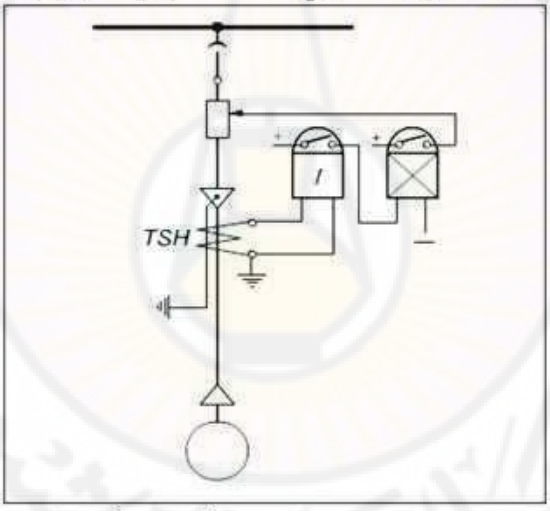


الشكل (8 – 2) مخطط الخط الواحد لنظام الحماية التفاضلية باستخدام محولتي تيار وحاكمتي تيار

8 – 2 – 2 حماية المحرك التحريضي من الأعطال الأحادية مع الأرض

يستخدم في حالة المحركات التحريضية التي تكون استطاعتها أقل من 2000 kW نظام الحماية من التيارات التي تنتج عن الأعطال الأحادية مع الأرض وذلك عندما تتم تغذية المحرك التحريضي من الشبكة الكهربائية ذات النقطة الحيادية المعزولة إذا كانت قيمة تيار العطل الأرضي في هذه الشبكة تتجاوز 10A. أما في حالة شبكات التغذية الكهربائية التي تتم فيها معالجة النقطة الحيادية التي تنتج فيها قيمة التيار الأرضي أكبر من 10A فتستخدم لها أيضاً الحماية من تيارات الأعطال الحادية مع الأرض.

يبين الشكل (8 – 3) نظام الحماية من الأعطال الأحادية مع الأرض لمحرك تحريضي باستطاعة تزيد عن 2000 kW يستخدم في محطات التوليد الكهربائية.



الشكل(8 – 3) نظام الحماية من الأعطال الأحادية مع الأرض

يلاحظ في هذا الشكل أن نظام الحماية يستخدم مرشحة المركبة المتناظرة الصفرية أو محولة المركبة الصفرية **TSH** ، وتعطي هذه الحماية أمر الفصل للقاطع الآلي دون تأخير زمني.

8 – 2 – 3 حماية المحرك التحريضي من انخفاض التوتر

تستخدم الحماية من انخفاض التوتر لتحقيق الأمور التالية:

- لتنفيذ عملية إعادة الإقلاع الآلي الذاتي للمحركات التي تسمح شروط تشغيلها بهذه العملية. أما المحركات التي لا يمكن إعادة إقلاعها الآلي بسب ظهور

شروط تسخين خطرة لأجزاء المحرك الكهربائي فإنها تستثنى من هذه العملية.

- لتأمين السلامة والوقاية لعناصر الاستثمار والتشغيل في مختلف أجزاء الخطوط التكنولوجية التي تعمل فيها المحركات والتي قد تسبب عملية إعادة الإقلاع الآلي فيها خطراً على العناصر أو على أجزاء النظام الكهربائي.

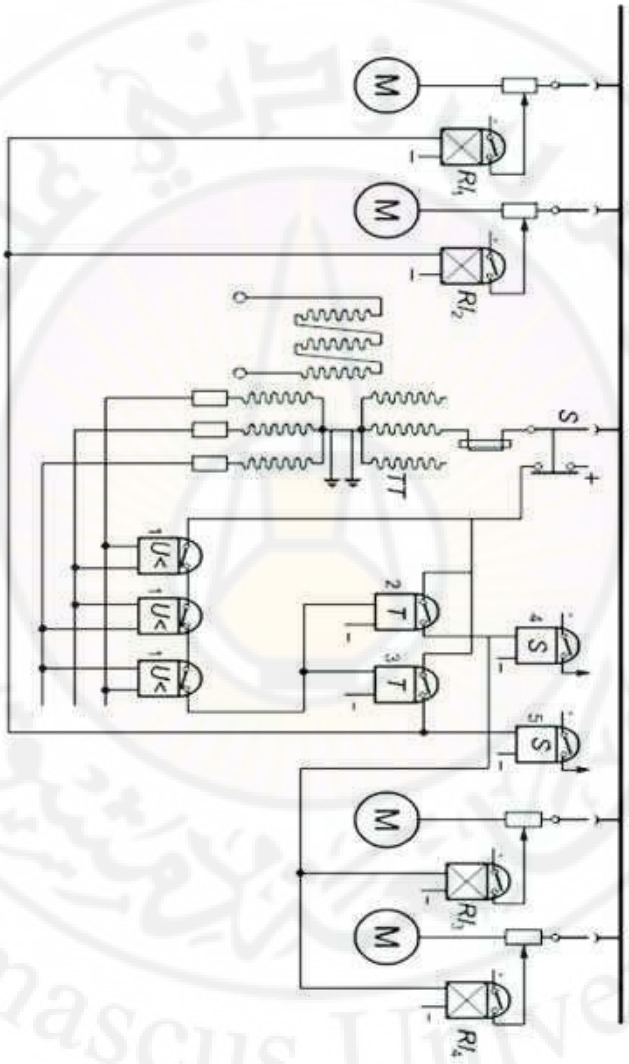
تتم عملية فصل المحركات الكهربائية ذات الاستطاعة الصغيرة والمحركات التي لا يسمح بإعادة إقلاعها آلياً على مرحلتين زمنيتين وبتأخير زمني خاص لكل منهما. فتفصل المحركات ذات الاستطاعة الصغيرة في المرحلة الأولى وبتأخير زمني قدره 0.5 Sec عندما ينخفض التوتر إلى 70% من التوتر النظامي للمحرك، وتفصل المحركات التي لا يسمح بإعادة إقلاعها آلياً بتأخير زمني في المجال sec (5-10) عندما ينخفض التوتر إلى 50% من التوتر النظامي. وتستعمل أنظمة الحماية من إنخفاض التوتر مع كل محرك أو مع كل مجموعة من المحركات التي تكون مربوطة إلى قضبان تجميع واحدة وهذه الطريقة هي الأقل تكلفةً وأكثر استعمالاً. يبين الشكل (8 – 4) نظام الحماية من انخفاض التوتر لمجموعة مؤلفة من 4 محركات كهربائية تحريضية. ويمكن الملاحظة أن التماسات المغلقة لحاكمات التوتر الأصغري تكون مربوطة على التسلسل لمنع التشغيل الخاطئ للحماية في حالة انهيار إحدى المنصهرات المستخدمة في طرف التوتر المنخفض لمحولة التوتر **TT**.

وتتم تغذية تماسات الحاكمات (1 و 2 و 3) عن طريق تماسات الإقفال لقاطع السكينS وذلك لكي لا تعمل هذه الحماية بشكل خاطئ عند فتح هذا القاطع. وتؤمن الحاكمتان الزمنيتان (2 و 3) التأخير الزمني لفتح القاطع الآلي. وتعطي الحاكمتان (4 و 5) إشارة عن تشغيل المرحلتين المذكورتين للتأخير الزمني لعمل الحماية.

8 – 2 – 4 حماية المحركات التحريضية من زيادة الحمولة الكهربائية

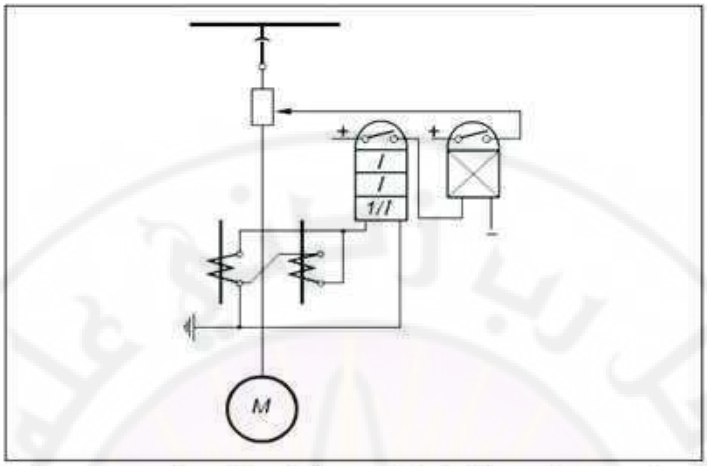
تستخدم هذه الحماية في حالة المحركات الكهربائية التي تدير عناصر ميكانيكية يمكن أن تظهر فيها زيادة الحمولة الكهربائية في العملية التكنولوجية التي تسهم بها أو في حالة

المحركات التي لها شروط إقلاع قاسية أو التي لها شروط إعادة إقلاع آلي قاسية. وتستعمل حماية زيادة التيار الأعظمي للحد من زيادة الحمولة الكهربائية وبالمشاركة مع الحماية من قصر الدارة ضمن المحرك.



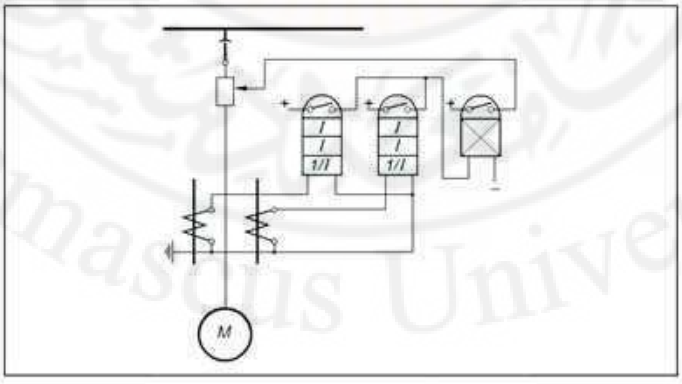
الشكل(4-8) الحماية من انخفاض التوتر لمجموعة مؤلفة من أربعة محركات تحريضية

ويبين الشكل (8 – 5) مخطط الخط الواحد لنظام الحماية من زيادة الحمولة باستعمال محولة تيار واحدة وحاكمة تيار واحدة .



الشكل (8 – 5) مخطط الخط الواحد لنظام الحماية من زيادة الحمولة

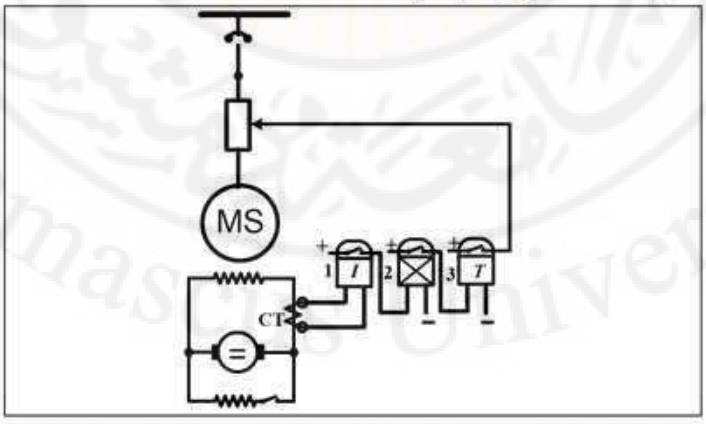
أما الشكل (8 – 6) فيبين مخطط الخط الواحد لنظام الحماية من زيادة الحمولة بإستعمال محولتي وحاكمتي تيار ويتم اختيار نظام الحماية الملائمة استنادا إلى تحقيق شرط الحساسية اللازمة لتأمين الحماية من الأعطال وقصر الدارة التي يمكن أن تظهر ضمن المحرك الكهربائي. ويتم تحديد أزمنة تشغيل هذه الحمايات بحيث لا تعمل بشكل خاطئ عند إقلاع المحركات أو إعادة إقلاع المحركات آلياً عندما يرتفع التيار المار في المحرك الكهربائي بشكل كبير وبحيث لا ترتفع حرارة ملفات المحرك بسبب زيادة الحمولة الكهربائية أيضاً.



الشكل (8 – 6) مخطط الخط الواحد لنظام الحماية من زيادة الحمولة باستعمال محولتي تيار وحاكمتي تيار

8 – 3 حماية المحركات الكهربائية التزامنية

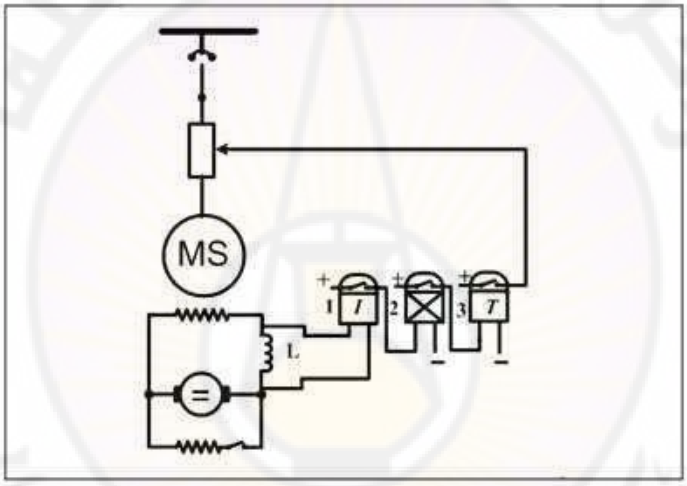
تجهز المحركات الكهربائية التزامنية بأنظمة حماية بشكل مشابه لأنظمة الحماية المستخدمة في حالة المحركات التحريضية، وبشكل خاص نظام الحماية من تيارات قصر الدارة التي تحدث ضمن المحرك، ونظام الحماية من تيارات قصر الدارة الأحادي مع الأرض والحماية من انخفاض التوتر والحماية من زيادة الحمولة ويضاف إليها نظام حماية خاصة لمنع خروج المحرك من التزامن والدوران بسرعة مختلفة عن سرعة الدوران التزامنية. وتنفذ الحماية من خروج المحرك من التزامن بشكل متكامل مع الحماية من زيادة الحمولة الكهربائية، وذلك لأن قيمة التيار الكهربائي الذي يمر في ملفات الجزء الثابت عند حدوث التأرجح تتجاوز قيمة تيار إقلاع أنظمة الحماية من زيادة الحمولة. ويبين الشكل (8 – 7) مخطط الخط الواحد لنظام حماية المحرك التزامني من الخروج عن التزامن ومن زيادة الحمولة. تقوم حاكمة زيادة التيار الأعظمي (1) التي تتم تغذيتها عبر محولة التيار TC، بتحويل مركبة تيار التهييج المتناوبة فقط وبذلك فإن هذه الحاكمة لا تعمل إلا عند ظهور التأرجح. وتستخدم الحاكمة المساعدة (2) لمنع فتح القاطع الآلي عند حدوث التأرجح، وذلك لأن التيار قد يصل في هذه الحالة إلى قيمة أصغر من قيمة تيار الرجوع للحاكمة (1) ما يؤدي إلى تشغيل خاطئ لنظام الحماية ويتم ايقاف تشغيل حاكمة الزمن (3).



الشكل (8 – 7) مخطط الخط الواحد لنظام حماية المحرك التزامني

ويبين الشكل (8 – 8) مخطط الخط الواحد لنظام حماية المحرك التزامني من الخروج عن التزامن وحماية المحرك من زيادة الحمولة الذي تستخدم فيه الوشيعة L بدلاً من محولة التيار TC حيث تكون قيمة مفاعلة هذه الوشيعة مساوية الصفر في حالة مرور تيار التهييج المستمر فيها فقط، أما عند ظهور التأرجح فإن مفاعلة الملف تأخذ قيمة لا تساوي الصفر $X_L = L$.

ويظهر على جانبيها فرق في التوتر يطبق على ملف الحاكمة الزمنية ويؤدي إلى تشغيلها.



الشكل(8 – 8) نظام حماية المحرك التزامني من الخروج عن التزامن

Damascus University

وقل رب زدني علما
Damascus University

الفصل التاسع

9- نظم حماية الخطوط الكهربائية الشعاعية

Radial Line Protection Systems

Damascus University

وقل رب زدني علما
Damascus University

الفصل التاسع

9- نظم حماية الخطوط الكهربائية الشعاعية

Radial Line Protection Systems

مقدمة:

تتعرض خطوط نقل القدرة إلى الأعطال بدرجة كبيرة مقارنة مع التجهيزات الأخرى . إن تحقيق الفصل السريع للخطوط عند تعرضها للأعطال يتم بتزويد هذه الخطوط بالحمايات المناسبة .

تعد مسألة تأمين حماية الخطوط الكهربائية أكثر تعقيداً من مسألة تأمين حماية التجهيزات والمولدات الكهربائية في محطات التوليد والمحولات في محطات التحويل، وذلك لأن نوع الحماية المستخدمة وشكلها يعتمدان على عدد كبير من العناصرمن أهمها:[21]

- شكل الشبكة الكهربائية فيما إذا كانت حلقية أوشعاعية أومركبة أو ذات خطوط مضاعفة.
- أهمية الخط الكهربائي المطلوب حمايته ضمن الشبكة من حيث تغذية المستهلكين.
- نوع الخط الكهربائي فيما إذا كان هوائيا أو كابلاً أرضياً.
- توتر الخط.
- إمكانية عمل الخط عند انقطاع أحد الأطوار لفترة محددة.
- وجود أجهزة إعادة الوصل السريع.
- وجود التعويض الطولي للاستطاعة الردية على الخط.
- نسبة تيار العطل الأصغري إلى تيار الحمل الأعظمي.

إن أهم ما يجب أن تحققه حماية الخطوط الكهربائية هو أن تخفف تأثير الأعطال على بقية أجزاء الشبكة إلى أقل قدر ممكن، وهذا يتطلب سرعة فائقة في عمل هذه الحماية مع المحافظة على تغذية المستهلكين المهمين في الشبكة الأمر الذي يعني أن مسألة الانتقائية يجب أن تكون مؤمنة أيضاً.

لا تسبب الأعطال المحتملة على خطوط النقل أضراراً ذات أهمية للخطوط الكهربائية كما هي الحال مع الأضرار المحتملة في حالة المولدات أو المحولات الكهربائية، لذلك فإن مسألة حماية الخطوط الكهربائية لها أهمية كبيرة من وجهة نظر الاستثمار الكلي للشبكة واستقرار هذه الشبكة.

تتميز حمايات خطوط نقل القدرة بتنوعها، ويتم اختيارها استنادا إلى دارة عمل الخط و توتر الشبكة، وأهمية الحمل عليها. لحماية الخطوط المغذاة من جهة واحدة (الشبكات الشعاعية) يمكن استخدام الحماية بالتيار الزائد, وحماية القطع بالتيار الزائد، والحماية التفاضلية بالتيار العرضية والاتجاهية للخطوط التفرعية. ولحماية الخطوط المغذاة من جهتين (الشبكات الحلقية) فإننا نستخدم بالإضافة إلى الحمايات السابقة الحماية بالتيار الزائد الإتجاهية وحماية القطع الاتجاهية والحماية التفاضلية الطولية والحماية المسافية والحماية بالترددات العالية.

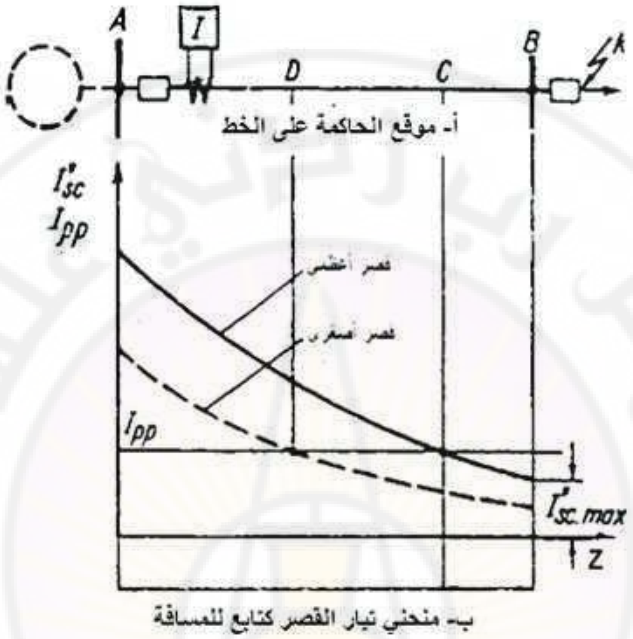
9-1 حماية الخطوط الكهربائية الشعاعية

9-1-1 الحماية من القصر على الخطوط الشعاعية

تتم حماية الخطوط من القصر بين الأطوار أوبين طورين والأرض باستخدام طريقة تقسيم التيار وذلك باستعمال حواكم حماية بالتيار الزائد آنية ويتم تحديد تيار إقلاع هذه الحماية استنادا إلى قيمة تيار القصر الأعظمي الذي يظهر خارج الخط الكهربائي المطلوب حمايته.

يبين الشكل (1-9) موضع حاكمة الحماية بالتيار الزائد I على خط النقل كما هو مبين في المنحني (أ)، وكذلك تغيرات تيار القصر بوصفه تابعا لمسافة نقطة حدوث القصر على خط النقل / كما هو في المنحني (ب) من الشكل نفسه. لتحقيق شرط الانتقائية يجب أن لا تعمل هذه الحاكمة عند حدوث عطل في المنطقة الخارجية من خط النقل، ولذلك فإن تيار الإقلاع يجب أن يكون أكبر من تيار القصر الأعظمي عند أقرب نقطة إلى المنطقة المحمية كقضبان التجميع مثلا. كذلك يجب تعيير تيار إقلاع الحاكمة لحالة

تيار أعظمي للعطل من جهة المستهلك، وكذلك من أجل حالة تيار الصدمة للمحولات عندما يغذي الخط محطة تحويل.



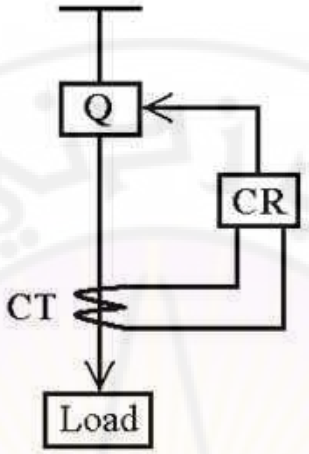
الشكل (1-9) الحماية بالتيار الزائد على الخطوط الشعاعية

نلاحظ من المنحني (ب) من الشكل (1-9) أن هناك منطقة لا تعمل فيها الحاكمة تسمى منطقة ميتة ، ويتم تحديد طولها استنادا إلى نقطة تقاطع تيار الإقلاع مع منحني تغييرات تيار القصر، حيث تعمل الحاكمة الاحتياطية من أجل الأعطال التي تحدث في المنطقة الميتة.

9-1-2 حاكمة الحماية بالتيار الزائد الأعظمي الزمنية

تعد الحماية بالتيار الزائد الأعظمي أكثر أنواع الحمايات بساطة ورخصا، ولذلك فهي تحظى باستخدام واسع في حماية المولدات والمحولات والمحركات وخطوط النقل، ويمكن أن تكون هذه الحماية أساسية أو احتياطية بالنسبة للخطوط الشعاعية، وتوصي النظم

العالمية بأن تكون هذه الحماية ذات تأخير زمني بعتبة واحدة. يبين الشكل (2-9) طريقة تغذية الحماية بالتيار الزائد الأعظمي



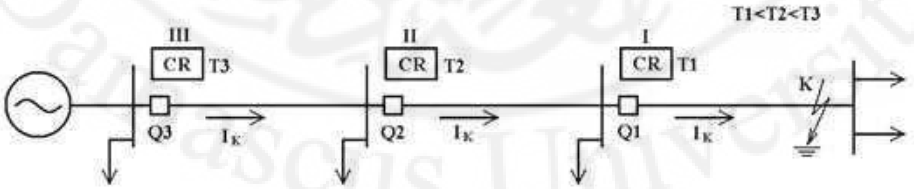
الشكل (2-9) طريقة تغذية الحماية بالتيار الزائد الأعظمي

يجب أن تحقق حاكمة التيار الأعظمي عند حماية الشبكة الشعاعية مطلبين هما:

1- الإظهار الصحيح للحظة نشوء العطل على الشبكة وهذا ما يمكن تحقيقه من خلال قيمة محددة لتيار التشغيل

2-الانتقائية

ولتحقيقهما يتم تعيير الحاكمة على أزمنة تأخير متزايدة بإتجاه منبع التغذية T3 > T1<T2 وذلك لضمان التنسيق والعمل الصحيح لحواكم الحماية بغية تحقيق الانتقائية ، وذلك كما هو مبين في الشكل (3-9)



الشكل (3-9) أزمنة تشغيل متزايدة بإتجاه منبع التغذية لشبكة شعاعية

عند حدوث عطل على النقطة K من الخط تستجيب حاكمة الحماية بالتيار الزائد CRI، وتقوم بإعطاء أمر الفصل للقاطع الآلي Q1 ويعود الوضع بعدها سليماً.

9-1-3 التأخير الزمني لحاكمة الحماية بالتيار الزائد الأعظمي

تعطى التأخيرات الزمنية لحواكم الحماية بالتيار الزائد من المستهلك إلى المنبع كما يلي:

$$T1$$
$$T2=t_1+\Delta t$$
$$T3=t_2+\Delta t \qquad (9\text{-}1)$$

حيث :

Δt : درجة الانتقائية ويجب أن تكون كافية لتشغيل الحماية وفصل قاطع الجزء المعطل قبل انقضاء التأخير الزمني لحماية الجزء السليم التالي. ولذلك تمثل Δt الفاصل الزمني بين زمني حاكمتين متتاليتين وهو عبارة عن مجموعة الأزمنة التالية :

$$\Delta t=t_B+\Delta t_{TR1}+\Delta t_{TR2}+t_s \qquad (9\text{-}2)$$

وتكون عادة في المجال sec (0.6÷0.4) وذلك حسب نوع القاطع المركب ونوع الحاكمة الزمنية.

t_B: زمن القاطع من لحظة وصول النبضة إلى وشيعة الفصل وحتى لحظة إطفاء القوس ويقع في المجال sec(0.1÷0.08) للقواطع الهوائية وفي المجال sec(0.25÷0.08) للقواطع الزيتية.

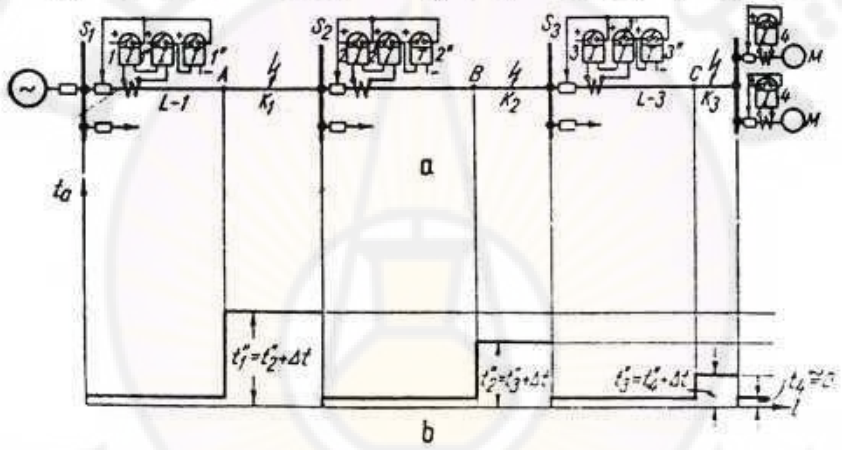
Δt_{TR1}: خطأ الحاكمة الزمنية للقسم المعطل الذي يمكن أن يتم فصله بتأخير زمني أكبر من المحسوب.

Δt_{TR2}: خطأ الحاكمة الزمنية للقسم التالي باتجاه منبع التغذية الذي يمكن أن يعمل بتأخير زمني أقل من القيمة المحسوبة.

t_s: زمن الإقلاع الذي يأخذ بالاعتبار عدم دقة تعيير الحاكمة الزمنية وخطأ المؤقت الزمني ويؤخذ في المجال sec (0.15-0.1).

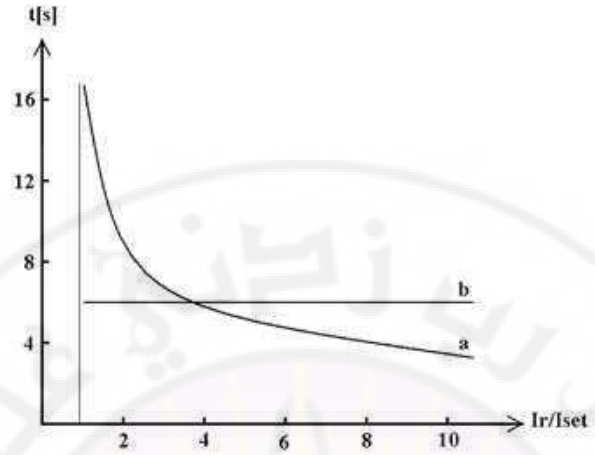
يبين الشكل (9-4) دارة الحماية بالتيار الزائد الأعظمي الزمنية أحادية الطور متعددة الأقسام وموقعها على خط نقل قدرة كهربائية شعاعي مغذى من جهة واحدة ومكوناتها وهي عبارة عن حواكم تيار وتمثل عنصر إقلاع يتحسس لحظة حدوث القصر على

النظام و يقوم بتشغيل الحماية وحواكم زمنية تمثل عنصر التأخير الزمني لتأخير عمل حاكمة الحماية وذلك لتحقيق الانتقائية. كما تظهر على الشكل الخواص التدرجية الزمنية لهذه الحاكمة لهذا الخط، بحيث يزداد زمن عمل الحاكمة من المستهلك باتجاه المولد لتأمين الانتقائية في عمل الحماية.عند حدوث عطل في النقطة (K) من الخط مثلاً فإن حاكمة حماية القسم المعطل من الخط (L-3) سوف تستجيب لهذا العطل بينما تبقى الحمايات الأخرى في وضع احتياطي كما تزود هذه الحاكمة عادةً بحماية لتقسيم التيارات لكي تعمل بصورة أنية أي بدون تأخير زمني عندما يكون العطل قريبا من منبع التغذية.



الشكل(4-9) دارة الحماية بالتيار الزائد الأعظمي الزمنية أحادية الطور

لهذه الحوا كم خواص تيار تابعة للزمن كما هو مبين في المنحني (a) من الشكل (5-9) وتسمى عندها حاكمة التيار بتأخير زمني عكسي أو خواص مستقلة كما هو مبين في (b) من الشكل نفسه.



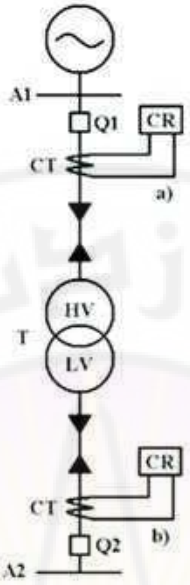
الشكل(5-9) خواص حاكمة الحماية بالتيار الزائد التابعة للزمن(a) والمستقلة (b)

9-2 خيارات موقع حاكمة الحماية بالتيار الزائدعلى نظام القدرة

كلما كانت الحماية أقرب إلى منبع التغذية كانت المنطقة التي تغطيها في أثناء حدوث الأعطال أكبر، فمن أجل حماية المحول الخافض للتوتر المبين بالشكل (6-9) هناك وضعيتان محتملتان لموقع الحاكمة سوف نناقشهما فيما يلي: [21]

الوضع (a): إذا تم وضع محول التيار CT والحاكمة CR من جهة التوتر العالي أي من جهة منبع التغذية، فإن منطقة الحماية سوف تشمل كل من الكابل وأقطاب وملفات المحول إضافة إلى القاطع Q2، وقضبان تجميع التوتر المنخفض A2.

الوضع(b): إذا تم وضع محول التيار CT والحاكمة CR من جهة ملف التوتر المنخفض فإن منطقة الحماية لا تشمل إلا القاطع الآلي Q2 وقضبان التجميع A2 ، لذلك يفضل تركيب الحماية بالتيار الزائد الأعظمي من جهة منبع التغذية وأقرب ما تكون إليه.



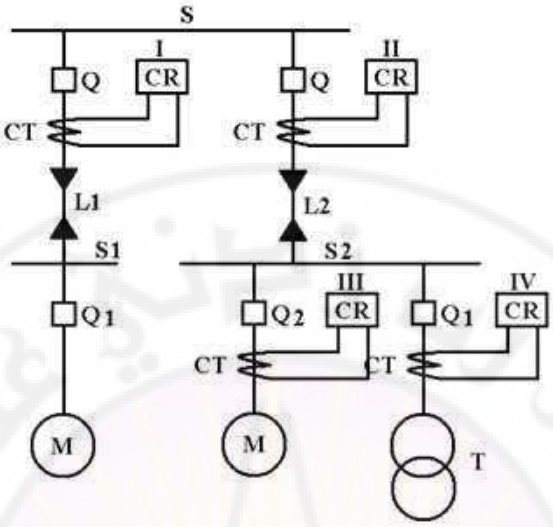
الشكل(6-9) خيارات موضع حاكمة الحماية بالتيار الزائد

9-3 تنسيق حواكم الحماية بالتيار الزائد على نظام تغذية متعدد المخارج

9-3-1 نظام قدرة مكون من قضيب تجميع رئيسي S يغذي مخرجي كابلات

يبين الشكل (7-9) قضيب تجميع رئيسي S يخرج منه خطا تغذية بالكابلات **الأول** يغذي قضيب تجميع S1 محمل عليها محرك M و**الثاني** يغذي قضيب تجميع S2 محمل عليه مخرجان الأول محول T والآخر محرك M.

لحماية نظام القدرة وتأمين التنسيق الصحيح بين حواكم الحماية نستطيع أن نستخدم حاكمتي حماية بالتيار الزائد الأعظمي من جهة قضيب التجميع الرئيسي S ولا داعي لاستخدام حاكمة حماية مستقلة للمحرك M المغذى من قضيب التجميع S1 لأنه يدخل في منطقة الحماية للحاكمة I.

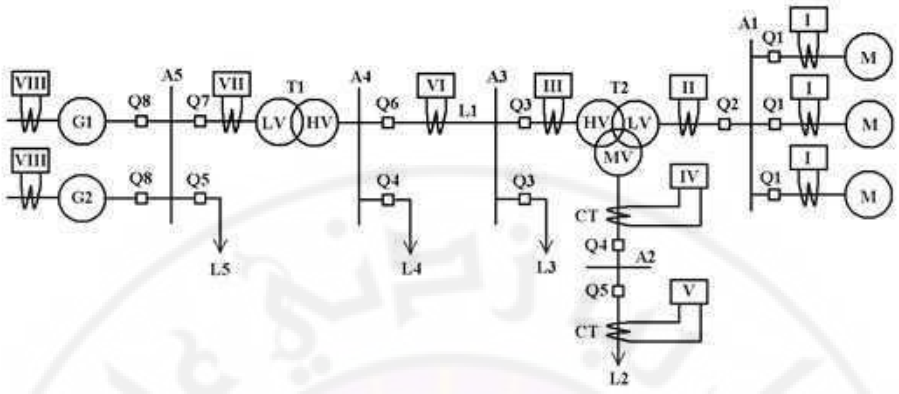


الشكل(7-9) تنسيق حواكم التيار الزائد على شبكة تغذية كهربائية

أما من وجهة نظر صحة فصل الأعطال فإن ذلك غير مهم إذ إن المحرك سوف يفصل عند تعرضه للعطل سواء استجاب القاطع Q أم Q1. نظرا إلى كون قضيب التجميع S2 يغذي عنصرين أو أكثر فإن الحماية يجب أن تراقب ليس فقط جهة منبع التغذية، وإنما كافة العناصر والتجهيزات الكهربائية الموصولة إلى قضبان تجميع المحطة المغذية.

9-3-2 شبكة شعاعية تتضمن مولدات ومحولات ثنائية وثلاثية الملفات

يبين الشكل (8-9) شبكة شعاعية مكونة من محطة توليد تتضمن مولدين G1,G2 موصلين إلى قضيب تجميع A5 يغذي مجموعة من المحركات على قضيب التجميع A1 إضافة إلى حمل L2 من خلال محولي استطاعة أحدهما ثنائي الملفات T1 ، والآخر ثلاثي الملفات T2 وحمل L5 ، كما يغذي مجموعة من الأحمال L3، L4 ، على قضبان التجميع A3 و A4 .



الشكل(8-9) حماية نظام قدرة كهربائية بإستخدام حواكم الحماية بالتيار الزائد

لحماية المحركات M يركب على كل محرك حاكمة حماية بالتيار الزائد الأعظمي تقوم بإعطاء أمر الفصل للقاطع الآلي Q1 عند حدوث العطل. لحماية المحول ثلاثي الطور ثلاثي الملفات T2 يتم تركيب حماية بالتيار الزائد الأعظمي على كل ملف من ملفاته حيث تقوم حاكمة الحماية II المتوضعة على جانب التوتر المنخفض LV بحماية قضيب التجميع A1 بصورة أساسية بالإضافة إلى إمكانية عملها بوصفها حماية احتياطية للمحركات عند حدوث عطل على المحرك وعدم عمل حواكم الحماية الخاصة بها أو فشل القاطع الآلي Q1 بالعمل.فهي إذن حماية أساسية لقضيب االتجميع A1 وحماية احتياطية للمحرك.

تستخدم الحاكمة III لحماية المحول ثلاثي الطور ثلاثي الملفات T2 وهي حماية أساسية له وحماية احتياطية لقضبان التجميع A1,A2عند عدم عمل حواكم الحماية IIو IV . عند حدوث عطل على قضيب التجميع A1 ولم تستجب الحاكمة II يتم فصل المحول من قبل الحاكمة III وهذا يسبب فصل التغذية عن قضبان التجميع A2 وعن المخرج L2 وهذا غير جيد . عند حدوث عطل على قضيب التجميع A2 تعمل حاكمة الحماية IV وتعطي أمرا للقاطع الآلي Q4 بالفصل، وتقوم بفصل التغذية عن قضيب التجميع A2 والخط L2.

عند حدوث عطل على قضيب التجميع A3 تعمل حاكمة الحماية VI وتعطي أمرا للقاطع الآلي Q6 بالفصل وحماية الخط L1. الحماية VI أساسية لحماية الخط L1 ولقضبان التجميع A3، واحتياطية للمحول T2 والخط L3 .

إن توضع الحماية على إحدى نهايتي الخط فقط له بعض المساوئ في الاستثمار تتمثل في أنه بعد عمل الحماية VI وفصل الخط L1 بواسطة القاطع Q6 علينا معرفة موقع العطل فيما إذا كان على الخط L1 أم على قضيب التجميعA3.

تركب الحماية VII على جانب التوتر المنخفض LV للمحول T1 ، وتعطي أمرًا للقاطع الآلي Q7 بالفصل وبذلك فإن الحماية VII أساسية للمحول T1 وقضيب التجميع A4 واحتياطية للخطين L1, L4.

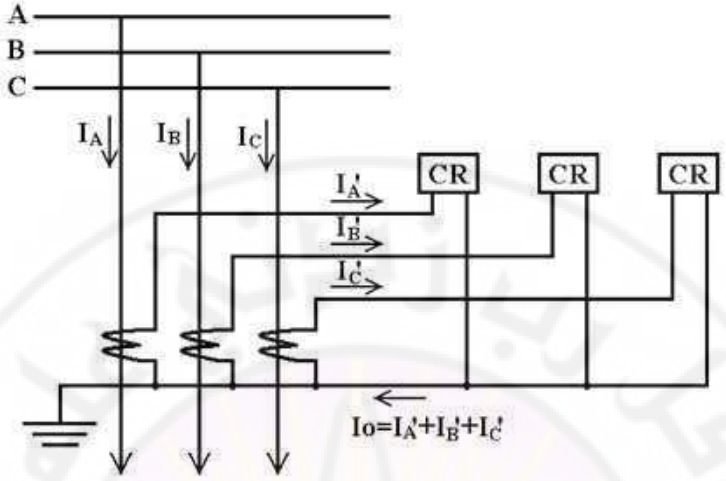
تستخدم حاكمة الحماية VIII لحماية المولدات G1,G2 وتعمل بوصفها حماية أساسية للمولدات وقضيب التجميعA5 وحماية احتياطية للمحول T1 والخط L5.

9-4 دارات توصيل عناصر تشغيل الحماية الأعظمية بالتيار الزائد

تتم تغذية حواكم الحماية بالتيار الزائد عن طريق محولات تيار يتم اختيار نسب تحويلها لتكون مناسبة لتيارات العنصر المراد حمايته، و لحماية نظم القدرة الكهربائية ثلاثية الطور هناك استراتيجيتان تتمثل الأولى بدارة حماية ثلاثية الطور والثانية بدارة حماية ثنائية الطور حيث تغذى كل حاكمة في كلتا الحالتين من محول تيار خاص بها .

9-4-1 دارة الحماية بالتيار الزائد ثلاثية الطور

تحتوي هذه الدارة على ثلاث حواكم تيار زائد و ثلاث محولات تيار كما هو مبين في الشكل (9-9) حيث توصل الملفات الأولية لمحولات التيار إلى أطوار العنصر المراد حمايته، وتوصل ملفاته الثانوية بشكل نجمي وتوصل مع نقطة النجمة لنهايات ملفات حواكم الحماية كما هو مبين في الشكل. [21]



الشكل (9-9) دارة الحماية بالتيار الزائد ثلاثية الطور

التيار المار في حواكم الدارة ثلاثية الطور هو نفس تيار الملفات الثانوية لمحولات التيار :

$$Ir=I2 \qquad (9\text{-}3)$$

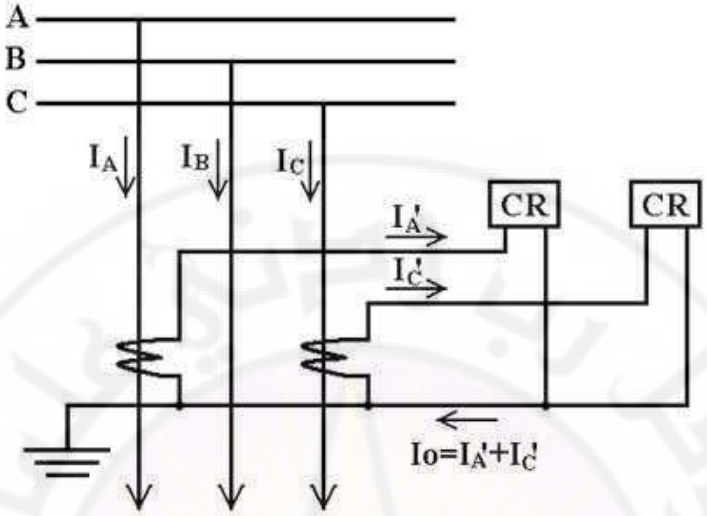
ولهذا السبب فإن عامل الشكل الذي يمثل العلاقة ما بين تيار الحاكمة وتيار الملف الثانوي يساوي الواحد

$$K_{sh}=\frac{I_r}{I_2}=1 \qquad (9\text{-}4)$$

تستجيب هذه الدارة لكافة أنواع الأعطال بين الأطوار والقصر أحادي الطور بنفس درجة الحساسية ومن مساوئ هذه الدارة أنها تحتاج إلى عدد كبير من التجهيزات ولذلك فهي مكلفة.

9-4-2 دارة الحماية بالتيار الزائد ثنائية الطور

تحتوي هذه الدارة على حاكمتي حماية بالتيار الزائد ومحولي تيار موصلين على شكل نجمة غير كاملة كما هو مبين في الشكل(9-10) الذي يبين دارة التوصيل لحواكم الحماية بالتيار الزائد ثنائية الطور مع محولات التيار إلى نظام القدرة الكهربائية ثلاثي الطور .



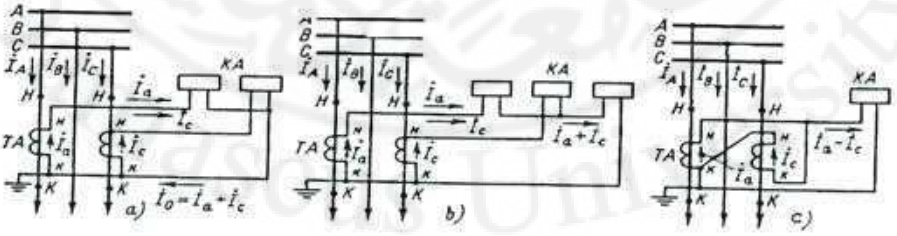
الشكل(10-9) دارة الحماية بالتيار الزائد ثنائية الطور

تستجيب هذه الدارة لكافة أنواع الأعطال بين الأطوار و بسبب كون محولات التيار غير موجودة على كافة الأطوار, فإنه لا يمكن استخدام هذه الدارة للحماية من العطل الأحادي الطور.

عامل الشكل لهذه الدارة له نفس القيمة في الدارة ثلاثية الطور :

$K_{Sh}=1$ (9-5)

يبين الشكل (11-9) التشكيلات المحتملة لحاكمة الحماية بالتيار الزائد على طورين من الأطوار لنظام ثلاثي الطور مع توزع التيار ضمن كافة أجزاء الدارة وتعد الدارة ثنائية الطور ثنائية الحواكم المبينة في (a) من الشكل أكثر الدارات انتشاراً .



a-نظام حاكمتين ، b- نظام ثلاثة الحواكم ، c- نظام حاكمة واحدة

الشكل (11-9) الدارات ثنائية الأطوار لتغذية حواكم الحماية بالتيار الزائد الأعظمي

9-5 تيار التشغيل لحواكم الحماية بالتيار الزائد الأعظمي

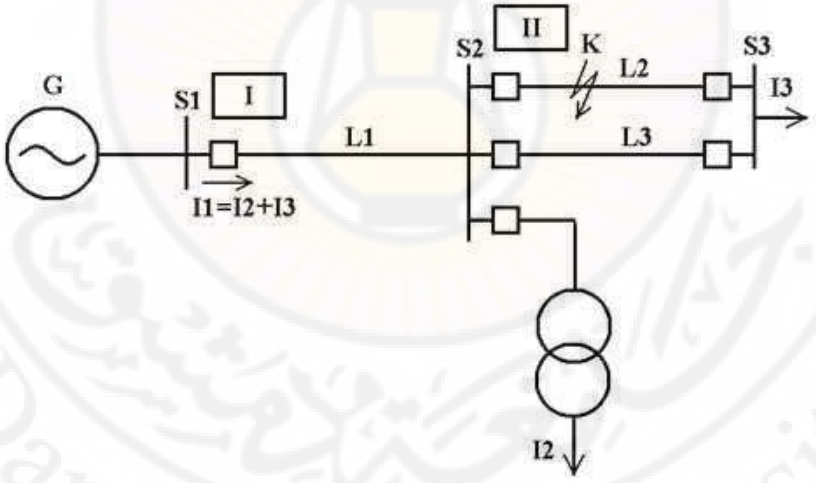
يتم اختيار تيار تشغيل حواكم الحماية بالتيار بحيث تضمن تحقيق الشروط التالية :

1- عدم تشغيل الحماية عند مرور تيار الحمولة الأعظمي في العنصر المحمي.

2- أن تعمل الحماية بوثوقية عالية عند حدوث القصر في القطاع المحمي بحيث لا يقل عامل الحساسية عن 1.5.

3- يجب أن تعمل الحماية حتى في حالة القصر في المنطقة المجاورة (عمل احتياطي) بحيث لا يقل عامل الحساسية في نهاية المنطقة عن 1.2 .

لتحقيق هذه الشروط سوف نقوم بتحليل نظام الحماية لنظام القدرة المبين في الشكل (9-12) وندرس سلوك الحماية I المتوضعة عند قضيب التجميع S1 عند بداية الخط L_1 من الشكل، وذلك عندما يكون لتيار الحمولة المار في الخط L_1 والمساوي لمجموع تيارات أحمال قضبان التجميع S_2 و S_3 قيمة أعظمية.



الشكل(9-12) تحليل نظام الحماية لنظام القدرة

عند حدوث قصر في النقطة K من الخط L_2 يتجه تيار القصر من منبع التغذية G حتى K أي سيمر في الخط الذي تعرض للقصر وفي الخط السليم L_1 ، وفي هذه الحالة سوف تعمل حاكمة الحماية II المتوضعة على الخط المعطل L_2 والحماية I المتوضعة على الخط السليم L_1.

بعد فصل الخط المعطل L_2 فإن القيمة الأعظمية الجديدة لتيار المحولة قد تكون أكبر بكثير من قيمة التيار قبل العطل بسبب الإقلاع الذاتي للمحركات الكهربائية، ويعطى تيار عمل الحاكمة بالعلاقة (2-9):

$$I_{op} = \frac{4 \cdot I_n \cdot K_{sh} \cdot K_2}{K_1} \qquad (9\text{-}6)$$

حيث:

K_{sh}: عامل الشكل ويساوي الواحد عند وصل محولات التيار بشكل نجمة كاملة أو غير كاملة. ويساوي القيمة $\sqrt{3}$ عند وصل محولات التيار بشكل مثلثي أو الوصل إلى فرق تيارات طورين.

I_n: التيار الاسمي للمعدات المراد حمايتها.

k_1: نسبة تحويل محولات التيار.

K_2: عامل الإقلاع الذاتي والمعبر عن تيار إقلاع المحولة

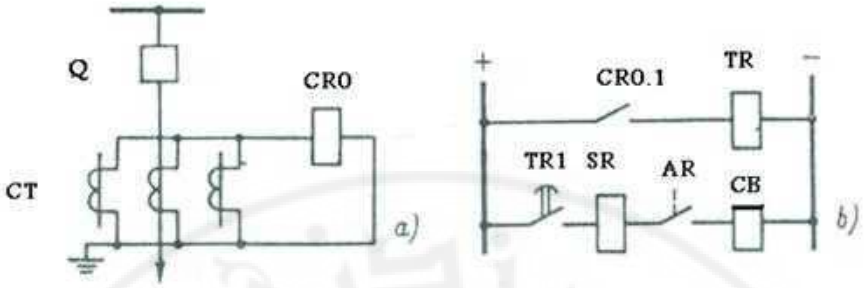
تعد حساسية الحاكمة للعطل من المؤشرات المهمة عن أداء حاكمة الحماية وتتمثل بعامل الحساسية Ks والذي يعرف على أنه نسبة القيمة الأصغرية لتيار القصر إلى تيار التشغيل

$$K_s = \frac{I_{sc\min}}{I_{op}} \qquad (9\text{-}7)$$

9-6 الحماية من القصر الأحادي في الشبكات ذات النقطة النجمية المؤرضة :

يترافق تيار القصر الأحادي الطور في الشبكات ذات النقطة النجمية المؤرضة بمرور تيارات كبيرة وتقوم حاكمة الحماية في مثل هذه الشبكات بإعطاء أمر الفصل وليس إعطاء إشارة.

يبين الشكل (13-9) دارة الحماية بالتيار الزائد من القصر الأحادي الطور على شبكة شعاعية ثلاثية الطور ذات نقطة نجمية مؤرضة.



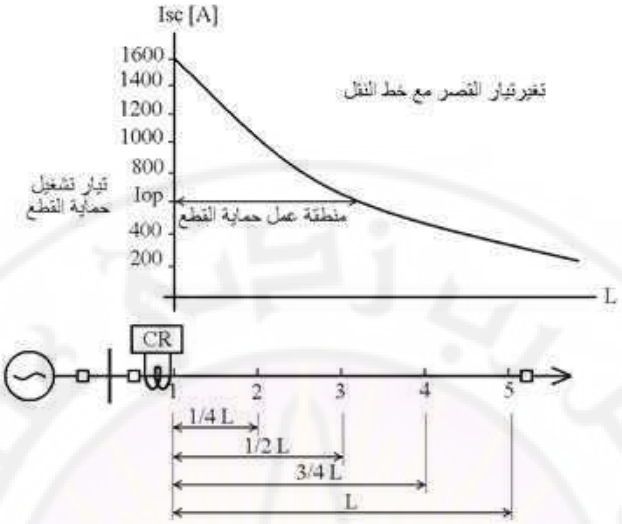
a – دارة التيار b– دارة التحكم

الشكل (13–9) دارة الحماية بالتيار الزائد من القصر الأحادي الطور لشبكة نجمية مؤرضة

تتضمن دارة الحماية هذه حاكمة إقلاع بالتيار الزائد بالتيار الصفري CRO وحاكمة تأخير زمني TR وريليه إشارة SR وريليه مساعدة AR. تغذى حاكمة التيار من ثانويات محولات التيار CTs على الأطوار الثلاثة والموصلة مع بعضها لتشكل دارة مرشح صفري Zero Sequence Filter ، وعند حدوث القصر الأحادي فإن التيار المار يساوي إلى مجموع التيارات الثانوية وهو التيار الذي يمر عبر ملف حاكمة التيار الزائد مما يؤدي إلى تشغيلها واغلاق تلامسها المفتوح CR0.1 فتعمل حاكمة التأخير الزمني TR والتي تغلق بدورها تلامسها بعد إنقضاء فترة التأخير الزمني معطية الأمر للقاطع الآلي بالفصل عبر الحاكمة المساعدة AR.

9–7 حماية القطع بالتيار الزائد على الخطوط الشعاعية

حماية القطع بالتيار هي حماية بالتيار الزائد ذات عمل محدود تعمل في معظم الحالات بشكل لحظي مباشر ولا تعتمد انتقائية عملها على التأخير الزمني كما هو الحال في الحماية بالتيار الزائد وأنما تأخذ بالاعتبار عدم تشغيل الحماية نتيجة مرور تيار الحمولة وإنما نتيجة لمرور تيار القصر في نهاية الخط المحمي أو في نقاط محددة. يبين الشكل (14–9) علاقة تيار القصر مع المسافة إلى نقطة القصر ومنطقة عمل حماية القطع بالتيار الزائد.



الشكل (14-9) علاقة تيار القصر مع المسافة

تحدد نقطة تقاطع مستقيم تيار التشغيل مع منحني تيار القصر منطقة عمل الحماية حيث يتضح أن حماية القطع بالتيار تعمل في المنطقة التي يكون فيها تيار القصر أكبر من تيار التشغيل، ويحسب عامل حساسية حماية القطع بالتيار الزائد من العلاقة:

$$K_S = \frac{I_{SC1}}{I_{OP}} \qquad (9\text{-}8)$$

حيث :

I_{sc1}: تيار القصر في النقطة1.

I_{op}: تيار التشغيل.

يتم إختيار تشغيل حماية القطع بالتيار الزائد اللحظية بحيث لا تعمل عند حدوث أعطال على الخطوط المجاورة أو على المحول المغذى من محطة التحويل, ويجب أن يكون تيار التشغيل أكبر من القيمة الأعظمية لتيار القصر على قضبان تجميع النهاية المقابلة أي في النقطة (5) وذلك إستنادا إلى العلاقة :

$$I_{OP,P} = K_t \cdot I_{SC\max} \qquad (9\text{-}9)$$

حيث:

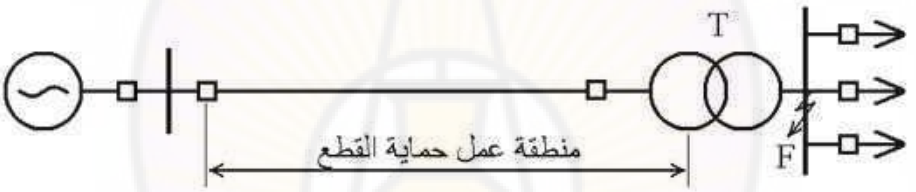
I_{scmax}: تيار القصر الأعظمي على قضبان تجميع الجهة المقابلة

$I_{op,p}$: تيار التشغيل على الجانب الابتدائي

بإدخال نسبة تحويل محول التيار وعامل الشكل تصبح قيمة تيار التشغيل على الجانب الثانوي

$$I_{OP,S} = I_{set} = \frac{K_t \cdot K_{sh} \cdot I_{SC\max}}{n_C} \qquad (9\text{-}10)$$

يمكن لحماية القطع في حالات معينة أن تحمي كامل الخط كما في الشكل (15-9) الذي يبين استخدام حماية القطع بالتيار الزائد على الخطوط الشعاعية التي تتضمن محولات



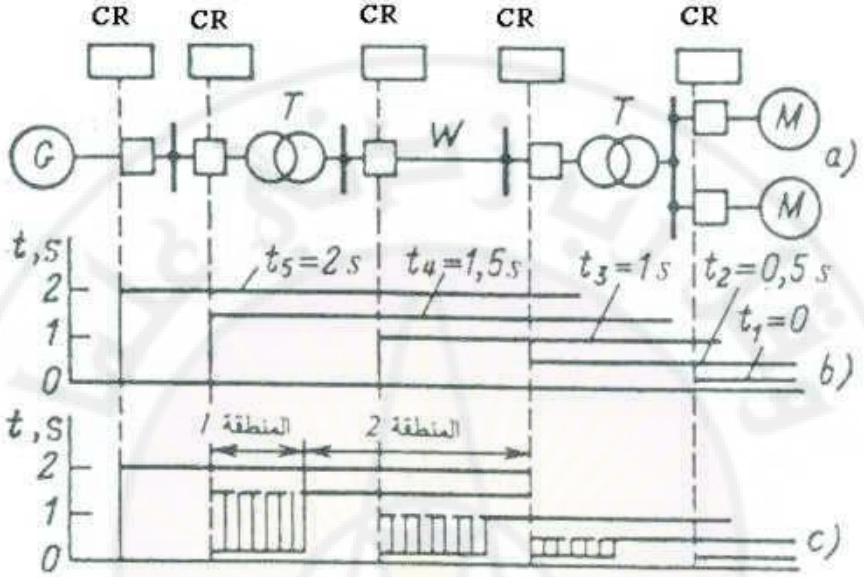
الشكل (15-9) منطقة عمل حماية القطع بالتيار الزائد

حيث يتم إختيار تيار تشغيل حماية القطع بحيث لا تعمل عند حدوث العطل على خطوط التوتر المنخفض، لذلك فإنه من الضروري أن تستخدم القيمة الأعظمية لتيار القصر على قضبان تجمع التوتر المنخفض عند النقطة F في العلاقة السابقة . عند اختيار تيار التشغيل بهذه الطريقة فإن حماية القطع اللحظية ستحمي الخط L_1 بكامله وبوثوقية عالية إضافة إلى قضبان تجميع جانب التوتر العالي وجزء من ملفات المحول T .

9-7-1 عمل حاكمة التيار الزائد وحاكمة القطع معا

يعطي استخدام حماية القطع بالتيار الزائد إمكانية الإسراع في فصل الأعطال ذات تيارات القصر الكبيرة التي تسبب إنخفاضاً كبيراً في التوتر على قضبان التجميع ما يسبب إنخفاض التأخير الزمني لحماية التيار الزائد. يبين الشكل (16-9) نظام قدرة كهربائية

شعاعي (الشكل a منه) تتم حمايته بإستخدام خواص حواكم الحماية بالتيار الزائد (الشكل b منه) ثم باستخدام خواص الحماية بالتيار الزائد والقطع معا (الشكل c منه).



a – نظام القدرة المعني

b– خواص حاكمة الحماية بالتيار الزائد

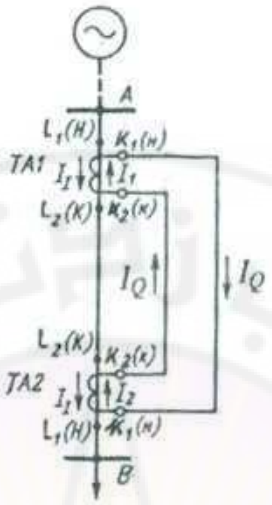
c – خواص الحماية بالتيار الزائد والقطع معا

الشكل (16–9) عمل حاكمة الحماية بالتيار الزائد مع حماية القطع

بمزج حماية القطع مع الحماية بالتيار الزائد نحصل على حماية بالتيار الزائد المتدرج كما هو مبين في الشكل (16–9) وهي تتضمن القطع بالتيار بوصفها منطقة أولى حيث تعمل الحماية بالتيار الزائد بوصفها منطقة ثانية بتأخير زمني، ويتضح من الأجزاء المهشرة من الخواص إنخفاض أزمنة عمل الحماية .

9–8 الحماية التفاضلية الطولانية للخطوط الشعاعية

تنفذ الحماية التفاضلية الطولانية بوضع محولات تيار ذات نسب تحويل متماثلة على جانبي العنصر المراد حمايته كما في الشكل (17–9). [21]



الشكل (17–9) توضع محولي تيار التغذية للحماية التفاضلية الطولانية للخطوط الشعاعية

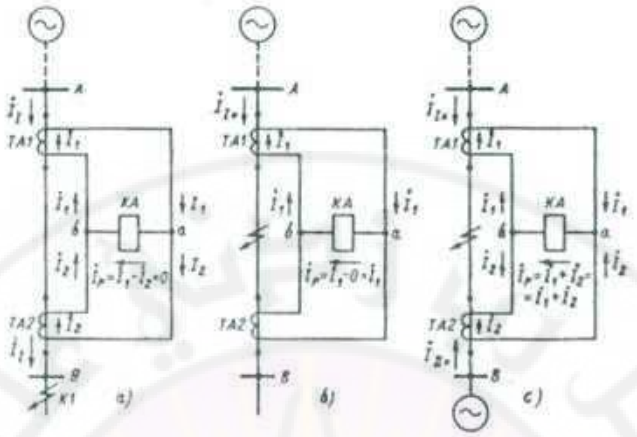
تختلف اتجاهات التيار I_1 في حالتي القصر الخارجي وحالة العمل الطبيعية حيث يكون للتيار إتجاهات مختلفة بالنسبة لقضبان التجميع. فهو يتجه من قضيب التجميع B الى الخط في حالة العطل على الخط داخل منطقة الحماية المحددة بمحولي التيار.

توصل الملفات الثانوية لمحولات التيار TA2,TA1 فيما بينها بواسطة نواقل وفق دارة تفاضلية كما هو مبين في الشكل (17–9) وعند مرور تيار عابر مثل تيار الحمولة أو تيار القصر سيمر في هذه النواقل تيار مساوٍ بالقيمة لتيار الثانوي لمحولات التيار والذي يساوي :

$$I_Q = \frac{I_1}{n_C} \qquad (9\text{-}11)$$

لذلك تسمى هذه الدارة بدارة التيار الدائر.

يتم وصل ملف حاكمة التيار CR على التفرع مع الملفات الثانوية لمحولات التيار لتشكل دارة الحماية التفاضلية كما هو مبين في الشكل (18–9).



a–أداء حاكمة الحماية التفاضلية عند حدوث عطل خارجي b– أداء حاكمة الحماية التفاضلية عند حدوث عطل داخلي c – أداء حاكمة الحماية التفاضلية عند حدوث عطل داخلي مع تغذية من الجانبين

الشكل(18–9) عناصر حاكمة الحماية التفاضلية ا عند حالات عمل مختلفة وأداؤها

بما أن الحاكمة لا تتأثر عندما يمر تيار القصر الخارجي أو الحمولة فإن التيار المار في الملف التفاضلي للحاكمة التفاضلية معدوم ولا تتأثر الحماية في مثل هذه الحالات.

نستنتج من ذلك أن هذه الحماية وكونها لا تتأثر بالقصر على العناصر المجاورة للمنطقة المحمية فإنها لا تحتاج إلى تأخير زمني أي أنها تعير استنادا إلى مبدأ عملها كحماية انتقائية وبأخذ تأثير تيارات المغنطة لمحولات التيار بالاعتبار تصبح قيم تيارات الدارتين كما يلي:

$$I_1 = \frac{I_I}{n_C} - I_{1mag} \qquad (9\text{-}12)$$

$$I_2 = \frac{I_I}{n_C} - I_{2mag}$$

حيث:

I_{2mag}, I_{1mag} : تيار التمغنط لمحولات التيار T_{A2}, T_{A1}

بالتعويض في العلاقات السابقة نحصل على تيار عمل حاكمة الحماية التفاضلية:

$$I_P = \left(\frac{I_1}{n_C} - I_{1mag}\right) - \left(\frac{I_1}{n_C} - I_{2mag}\right) = I_{2mag} - I_{1mag} \quad (9\text{-}13)$$

وبالتالي عند مرور تيار قصر خارجي فإن التيار المار في الملف التفاضلي يكون مساويا للفرق بين تيارات المغنطة لمحولات التيار وبالتالي سيمر في الحاكمة التفاضلية تيار عدم التوازن الذي ينشا بسبب أخطاء محولات التيار من حيث نسبة التحويل أو الزاوية وحتى لا تعمل الحماية التفاضلية بشكل غير صحيح نتيجة لتيارات عدم التوازن. فإن تيار تشغيل الحماية يجب أن يكون أكبر من القيمة الأعظمية لتيار عدم التوازن، وذلك عند حدوث قصر خارجي.

$$I_{op} = K_t \cdot I_{unbmax} \quad (9\text{-}14)$$

حيث I_{unbmax} هي القيمة الأعظمية لتيار عدم التوازن عند حدوث قصر خارجي.

يلاحظ من الحالتين السابقتين (b) و(c) أن الحاكمة التفاضلية تعمل بكامل تيار القصر وهذا يجعلها تمتلك حساسية عالية. يسمى الجزء المحدد بمحولات التيار بمنطقة العمل للحماية التفاضلية. إحدى أهم خصائص الحماية التفاضلية للخطوط هي أن فصل الخط من جهتين يتطلب وجود ملفين تفاضليين في الدارة التفاضلية، وليس واحدا فقط أحدهما على قضيب التجميع A والثاني على قضيب التجميع B، إلا أن وصل هذين الملفين يؤدي إلى خفض حساسية الحماية لأنه يمر في كل ملف جزء من تيار القصر الكلي فقط.

9-9 تنسيق حواكم الحماية بالتيار الزائد على الخطوط

تتم حماية العديد من أنظمة التوتر المتوسط باستخدام حواكم الحماية بالتيار الزائد وهذا الاختيار عملي في الحالات التي تكون فيها تيارات الأعطال أكبر بكثير من تيارات الحمولة، وتستخدم حواكم الحماية بالتيار الزائد بتأخير زمني بحيث أنه يمكن التنسيق بين حواكم الحماية بشكل مناسب ما يعني أن الحواكم تعمل بتتابع بحيث يكون قطع الخدمة عن المشتركين عند حدوث الأعطال أقل ما يمكن. [4]

9-9-1 طريقة التنسيق Co-Ordination procedure

يتطلب التطبيق الصحيح لحاكمة التيار قيمة تيار العطل الذي يمكن أن يسري في كل جزء من الشبكة. لأن إختيارات كبيرة عادة غير ممكنة عملياً، فإنه يتمّ اللجوء إلى تحليل النظام. يكفي عملياً استخدام المفاعلة العابرة للآلة (Xd) وأن تعمل على التيارات اللحظية المتناظرة . المعطيات اللازمة لدراسة تعيير الحاكمة هي:

a) . مخطط الخط الواحد لنظام القدرة ويبين النوع والقيم الاسمية لعناصر الحماية المستخدمة ومحولات التيار المرافقة لها.

b) . الممانعات بالأوم وبالقيم الواحدية، لكافة محولات القدرة، والآلات الدوارة ودارات المغذيات.

c) . القيم العليا والدنيا لتيارات القصر المتوقع سريانها عبر كل عنصر حماية.

d) . متطلبات تيار الإقلاع للمحركات وأزمنة الإقلاع والاستقرار للمحركات التحريضية.

e) . تيار الحمل الأعظمي عبر عناصر الحماية.

f) . المنحنيات التي تبين معدّل تلاشي تيار العطل المغذي من قبل المولدات.

g) . منحنيات الأداء لمحولات التيار.

تتحدد تعييرات الحاكمة أولاً بحيث تعطي أزمنة الفتح الأقصر على مستويات عطل أعظمية وتختبر عندئذ لنرى فيما إذا كان العمل سيكون مقبولاً عند تيار عطل أدنى متوقع. فيصبح دائماً رسم منحنيات الحواكم وعناصر الحماية الأخرى مثل الفيوزات التي تعمل على التسلسل على أساس مقياس عام. من المناسب عادة استخدام مقياس موافق للتيار المتوقع على أساس التوتر الأخفض أو استخدام أساس توتر مسبقاً. الشائع أساس (MVA) أو مقياس تيار منفصل لكل نظام توتر.

9-9-2 القواعد الأساسية للتنسيق الصحيح للحاكمة

يمكن إجمال القواعد الأساسية للتنسيق بشكل عام كما يلي:

1. استخدم حواكم بنفس خواص العمل على التسلسل مع بعضها كلما كان ممكناً.

2. تأكد أن الحاكمة الأبعد عن المنبع لها تعييرات تيار مساوية تيارات الحواكم التي خلفها أو أقل منها وهذا يعني أن التيار الابتدائي اللازم لتشغيل الحاكمة التي أمامها دائماً مساوي أو أقل من تيار الابتدائي اللازم لتشغيل الحاكمة خلفها.

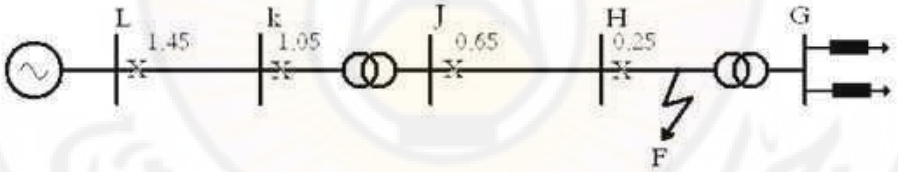
9-9-2-1 مبادئ تدرج تيار/ زمن

Principles of Current / Time Grading

من بين الطرق المختلفة الممكنة المستخدمة لتحقيق تنسيق حاكمة صحيح تلك التي تستخدم أما الزمن أو زيادة التيار أو كليهما. الهدف العام من الطرائق الثلاث إعطاء تنسيق صحيح باختيار الجزء المعطل من نظام القدرة وفصله تاركاً بقية النظام في حالة سليمة.

9-9-2-1-1 التنسيق بالزمن Discrimination by time

تعطى في هذه الطريقة فواصل زمنية مناسبة من قبل كل من الحواكم التي تتحكم بالقواطع الآلية في نظام القدرة لضمان أن القاطع الأقرب للعطل يفتح أولاً نظام قدرة بسيط شعاعي مبين في الشكل(19-9) لشرح المبدأ.



الشكل(19-9) مبدأ تنسيق حواكم الحماية بالتيار الزائد بالزمن

القواطع الآلية المزودة عند h, j, k, L والموجودة عند جهة التغذية لكل جزء من نظام القدرة. تتضمن كل حماية حاكمة زيادة تيار بتأخير زمني محدد يحرض فيها عمل العنصر الحساس للتيار عنصر التأخير الزمني. إضافة إلى أن تعيين عنصر التيار يكون أدنى من قيمة تيار العطل لهذا العنصر، فإن هذا العنصر لا يدخل في تحقيق التنسيق، لهذا السبب، فإن الحاكمة توصف في بعض الأحيان على أنها حاكمة بتأخير زمني محدد مستقل لأن زمن عملها لأغراض عملية مستقل عن مستوى زيادة التيار. يؤمن عنصر التأخير الزمني التنسيق المطلوب، إذ تعيّر الحاكمة H على أصغر تأخير

زمني مسموح لتسمح للفيوز بالفصل عند حدوث عطل على الجانب الثانوي للمحولG وبشكل نموذجي، فإن تأخير زمني مقداره 0.25s يعد مناسباً.

إذا حدث عطل عند F فإن الحاكمة عند H سوف تعمل بزمن (0.25S) والعمل المتتابع للقاطع الآلي عند H سوف يفصل العطل قبل أن يكون لدى الحواكم (0.25S) زمن لتعمل.

السيئة الرئيسية لهذه الطريقة في التنسيق في أن أطول زمن فصل يحدث من أجل الأعطال في القسم الأقرب لمنبع القدرة حيث يكون مستوى العطل (MVA) الأعلى.

9-9-2-1-2 التنسيق بالتيار Discrimination By Current

يعتمد التنسيق بالتيار على حقيقة أن تيار العطل يتنوع حسب موقع العطل بسبب الاختلاف في الممانعة بين المنبع والعطل. لذلك نموذجياً فإن الحواكم التي تتحكم بالقواطع المختلفة تعير لتعمل عند قيم مناسبة، بحيث إن الحاكمة الأقرب إلى العطل فقط تفصل قاطعها الآلي، والشكل (9-20) يشرح الطريقة من أجل عطل عند (f1) فإن تيار الدارة القصيرة يعطى بالعلاقة:

$$Zs = \frac{(11)^2}{250} = 0.485\Omega$$

$$I = \frac{6350}{Zs + Zl1} \qquad (9\text{-}14)$$

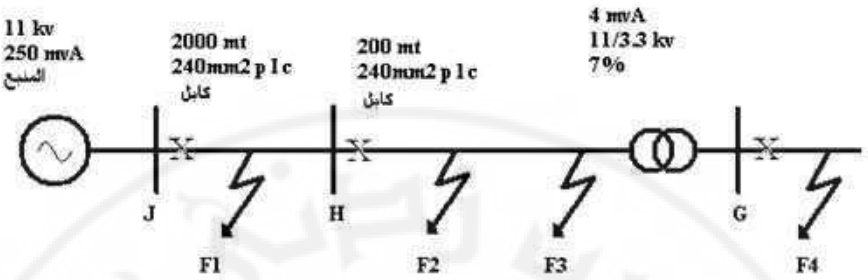
$$Zl1 = 0.24\Omega$$

$$I = \frac{6350}{0.725} = 8800A$$

حيث:

Zs: ممانعة المنبع

Z_{L1}: ممانعة الكابل بين h, j



الشكل (20–9) نظام شعاعي بتنسيق بالتيار

لذلك فإن الحاكمة التي تتحكم بالقاطع الآلي عند (j) ومعيّرة لتعمل عند تيار عطل 8800A سوف تقوم بنظرية بسيطة بحماية كامل مقطع الكابل بين (J و H) ولكن هناك نقطتين مهمتين تؤثران على هذه الطريقة في التنسيق.

1–من الصعب عملياً التمييز بين عطل في (F_1) وعطل في (F_2) لأن المسافة بين هذه النقاط يمكن أن تكون فقط عدة أمتار وهذا يوافق لتغير بتيار العطل تقريباً %(2-1)

2–في الواقع العملي فإن تغيرات استطاعة القصر للمنبع تكون عمليا في المجال (130- 250) MVA.

عند المستوى الأخفض فإن تيار العطل لن يتجاوز (6800A) حتى من أجل عطل على الكابل قريب من (J) لذلك فإن الحاكمة التي تعيّر عند (8800A) لن تحمي أي جزء من الكابل المدروس.

لذلك فإن التنسيق بالتيار غير عملي من أجل التدرج الصحيح بين القواطع الآلية عند (H, j) ولكن المشكلة تظهر بشكل ملحوظ عند وجود ممانعة كبيرة بين هذين القاطعين، وهذا يمكن ملاحظته بالأخذ بالاعتبار التدرج اللازم بين القواطع الآلية عند (H,G) في الشكل (21–9) وعلى فرض حدوث عطل عند النقطة (F4) فإن تيار الدارة القصيرة يعطى بالعلاقة:

$$I = \frac{6350}{Zs + Zl1 + Zl2 + ZT} \qquad (9\text{-}15)$$

ممانعة المنبع:

$$Zs = \frac{11^2}{250} = 0.485\Omega$$

ممانعة الكابل بين(J,H):

$$Zl1 = 0.24\Omega$$

ممانعة الكابل بين H ومحول 4 MVA:

$$Zl2 = 0.04\Omega$$

ممانعة المحول:

$$Zt = 0.07\ \frac{11^2}{4} = 2.12\Omega$$

$$I3 = \frac{6350}{0.485 + 0.24 + 0.06 + 2.12} = 2200A$$

لهذا السبب، فإن الحاكمة التي تتحكم بالقاطع الآلي عندH وتعيّر لتعمل عند تيار قصر مقداره 2200A إضافة إلى هامش أمان لن تستجيب من أجل عطل عند النقطة f_4 وسوف تنسق مع الحاكمة عند قضيب التجميع G بافتراض هامش أمان 20%للسماح لأخطاء الحاكمة و 10%أخرى للتغيرات بقيم ممانعات نظام القدرة وسنختار تعييرات حاكمة عند H:

1.3*2200=2860A

الأن بافتراض عطل عند النقطة F3 أي عند نهاية كابل 11kV المغذي لمحول 4MVA يعطى تيار القصر:

$$I = \frac{6350}{Zs + Zl1 + Zl2}$$

بهذا، وبافتراض استطاعة القصر للمنبع 250MVA تصبح قيمة التيار :

$$I = \frac{6350}{0.485 + 0.24 + 0.04} = 8300A$$

بشكل شائع، وبإفتراض مستوى عطل المنبع 130MVA تصبح قيمة التيار:

$$I = \frac{6350}{0.93 + 0.24 + 0.04} = 5250A$$

بكلمات أخرى فإنه عند أية قيمة لاستطاعة القصر للمنبع تعمل الحاكمة عند (H) بشكل صحيح من أجل الأعطال في أي مكان على كابل (11kV) المغذي للمحول.

9-9-2-1-3 التنسيق بالزمن والتيار

Discrimination by both time and current

لكل من الطريقتين الموصوفتين مساوئ أساسية. في حالة التنسيق بالزمن لوحده تنتج السيئة عن حقيقة أن الأعطال الأشد التي تحدث بالقرب من مصادر التوليد يتم فصلها بزمن عمل أطول. التنسيق بالتيار صعب ويمكن أن يطبق فقط عند وجود ممانعة عالية بين القاطعين الآليين المعنيين، وبسبب القيود المذكورة حول التنسيق المستقل للزمن أو التيار فإنه يمكن استخدام التنسيق بينهما والذي تحققه خواص حاكمة التيار الزائد العكسية الزمنية والتي يمكن أن تكون بصيغ مختلفة تبعا لميل المنحني الممثل لها والذي يمكن أن يكون:

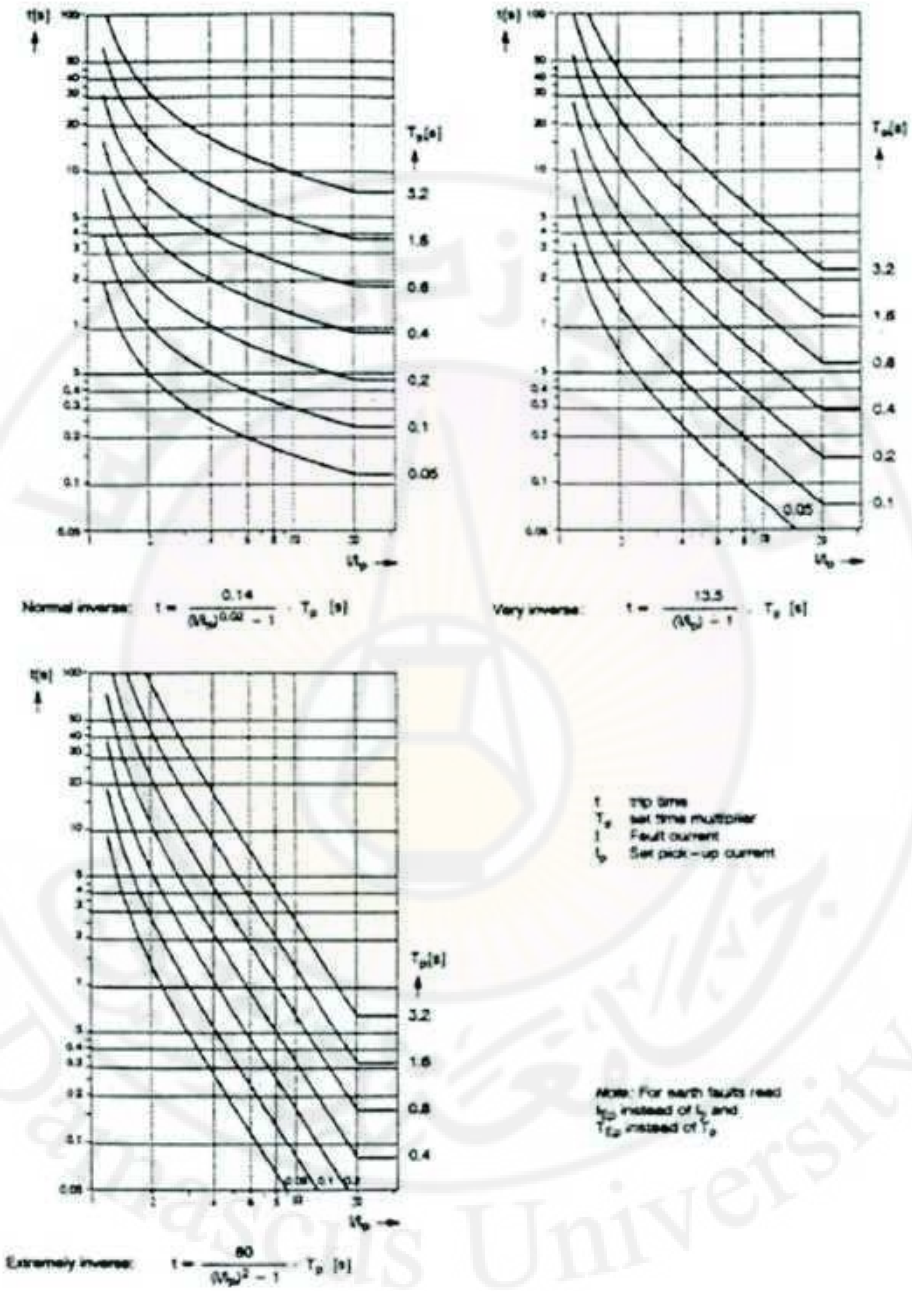
1-عكسي عادي "Normal Inverse"normal

2-عكسي جدا "Very Inverse"inverse

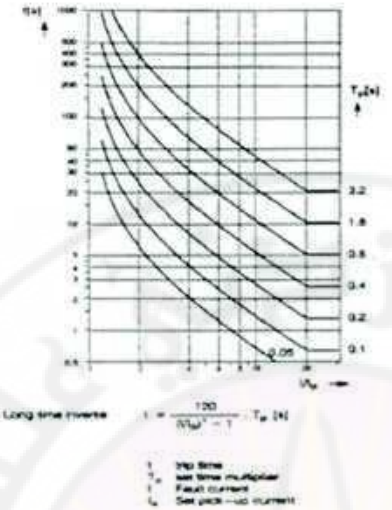
3-عكسي حاد "Extremely Inverse"extr.inv

4-عكسي بزمن طويل "Long Time Inverse"long inverse

الخواص الثلاث الأولى مبينة في الشكل(21-9) أما الخاصة الرابعة فهي مبينة في الشكل (9- 22) وبهذه الخواص فإن زمن العمل يتناسب بشكل عكسي مع مستوى تيار العطل والخواص العكسية تابعة لتغييرات كلا الزمن والتيار. [4]

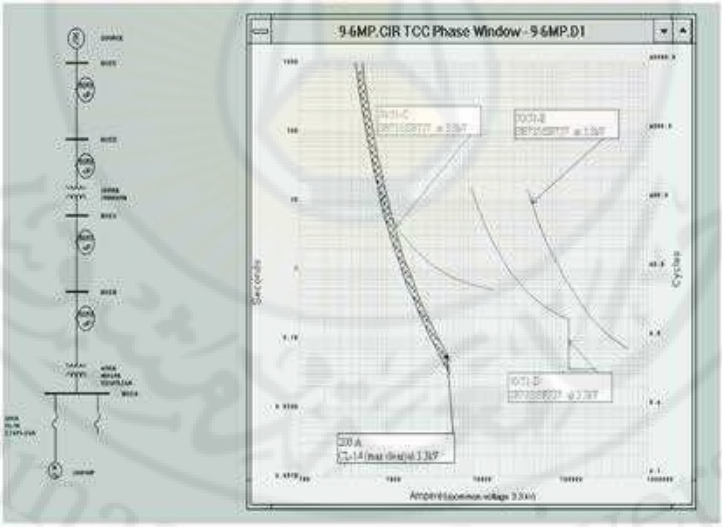


الشكل(21-9) خواص حاكمة التيار الزائد العكسية العادية والحادة والعكسية جدا



الشكل(22-9) خواص حاكمة الحماية بالتيار الزائد العكسية بزمن طويل

يمكن استخدام بعض هذه الخواص أو جميعها من أجل كافة الحواكم المتتابعة على نظام القدرة الشعاعي، والتنسيق بينها كما هو مبين في الشكل(23-9)



الشكل (23-9) تنسيق الخواص العكسية لحواكم الحماية بالتيار الزائد لنظام القدرة

يمكن أن تشرح ميزة هذه الطريقة في تنسيق الحواكم من خلال إجراء تحليل لنظام القدرة المبين في الشكل(20-9) وقبل دراسة تنسيق حواكم الحماية لنظام القدرة فإنه من الضروري أن ننسب كافة ممانعات النظام إلى أساس عام واحد.

باعتبار (10MVA) استطاعة الأساس يكون لدينا:

المحول 4 MVA:

$$7*10/4 = 17.5\%$$

الكابل H,J:

$$\frac{0.04*100*10}{(11)^2} = 0.33\%$$

الكابل G,H قبل المحول:

$$\frac{0.24*100*10}{(11)^2} = 0.33\%$$

المحول 30 MVA:

$$22.5*10/30 = 7.5\%$$

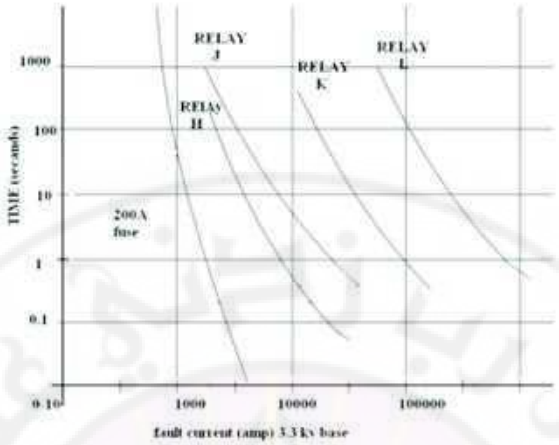
الخط الهوائي:

$$\frac{6.2*100*10}{(132)^2} = 0.36\%$$

المنبع:

$$\frac{100*10}{3500} = 0.29\%$$

يوضح الشكل (9- 24) استخدام منحنيات التنسيق والتي تعد وسيلة مهمة لتحقيق تنسيق الحمايات. تمَّ في هذا المثال اختيار توتر أساس3.3 kV وأول منحني رسم لفيوز 200A الذي يفترض أن يقوم بحماية المخرج الأكبر في دارة 3.3 kV.



الشكل (24-9) تنسيق خواص حوا كم تيار- زمن عند قضبان تجميع النظام

عند رسم خواص العمل للفيوزات ذات القيمة الاسمية الأكبر لـ3.3kV ، فإن تحقيق تدرج لحواكم الحماية بالتيار الزائد عند قضبان التجميع المختلفة للنظام الشعاعي يتم كما يلي:

عند قضيب التجميع H حيث نسبة تحويل محول التيار 250/5A

يفترض أن خواص حاكمة التيار الزائد عكسية من نوع (extremely inverse) هذه الحاكمة يجب أن تميز الفيوز 200A عند مستويات العطل حتى:

$$\frac{10*100}{17.5+0.33+1.98+7.5+0.36+0.29}=35.7MVA$$

الذي هو6260A عند توتر 3.3kV أو 1880A عند 11kV خواص العمل للحاكمة المستخدمة تبين أنه عند تعيير 100% والذي هو 250A و4.76MVA عند11kV وعند عامل تعيير زمني 0.2 فإنه يتحقق تنسيق مناسب مع فيوز 200A.

عند قضيب التجميع J حيث نسبة تحويل محول التيار 500/5A

نختار خواص (extremely inverse) لحاكمة الحماية بالتيار الزائد بتنسيق هذه الحاكمة مع الحاكمة عند قضيب التجميع (H) على مستويات العطل حتى:

$$\frac{10*100}{1.98+7.5+0.36+0.29}=98.7MVA$$

الذي هو (17.280A) عند (3.3kV) أو (5180A at 11kV) . خواص العمل للحاكمة 7SJ600 تبين أنه عند تعيير (100%) والذي يقابل (500A and 9.52MVA عند11kV)

وعند عامل تعيير زمني Time multiplier setting 0.7 فإنه يتحقق تنسيق مناسب مع الحاكمة H.

عند قضيب التجميع K حيث نسبة تحويل محول التيار 150/1A

خواص الحاكمة بالتيار الزائد هو (extremely inverse) فإن هذه الحاكمة يجب أن تنسق مع حاكمة الحماية عند قضيب التجميع z عند مستويات توتر حتى:

$$\frac{10*100}{7.5+0.36+0.29}=123MVA$$

والذي هو21,500A عند توتر 3.3kV أو 538Aعند توتر 132kV. خواص العمل لـ7SJ600 تبين أنه عند تعيير 100% فإن قيمة التيار تساوي 34.2A وتساوي 150Aعند توتر 132kV وعند عامل تعيير زمني 0.25S فإنه يتحقق تنسيق مناسب مع الحاكمة عند قضيب التجميع J.

عند قضيب التجميع L حيث نسبة تحويل محول التيار 500/1A

نفس خواص الحاكمة 7SJ600 فإن هذه الحاكمة يجب أن تميز مع حاكمة الحماية عند قضيب التجميع K عند مستويات توتر حتى:

$$\frac{10*100}{0.36+0.29}=1540MVA$$

الذي يساوي 270000A عند توتر 3.3kV أو 6750A عند توتر 132kV . خواص العمل للحاكمة 7SJ600 ذات نفس الخواص السابقة تبين أن التعيير 100% الذي يقابل (500A و 114MVA عند 132kV).

وعند عامل تعيير زمني (0.9) فإنه يتحقق تنسيق مناسب مع الحاكمة عند K. يبين الجدول (1-9) مقارنة بين أزمنة عمل الحاكمة إستنادا إلى الشكل (20-9) والأزمنة التي تمَّ الحصول عليها من منحنيات التنسيق إستنادا إلى الشكل (24-9) عند مستوى العطل الأعظمي

جدول (1-9) مقارنة أزمنة عمل حواكم الحماية بالتيار الزائد بالخواص المستقلة

الحاكمة	استطاعة القصر (kA)	الزمن من الشكل(20-9) بالثانية	الزمن من الشكل(24-9) بالثانية
H	98.7	0.25	0.07
J	123	0.65	0.33
K	1540	1.05	0.07
L	3500	1.45	0.25

تبين هذه الأشكال أنه من أجل أعطال قرب نقاط الحواكم فإن خواص الزمن العكسية يمكن أن تحقق تخفيضات معتبرة في أزمنة فصل الأعطال. حتى من أجل الأعطال على النهاية البعيدة للأقسام المحمية، فإن التخفيضات في أزمنة فصل الأعطال يبقى ممكناً الحصول عليها، كما هو مبيّن في الجدول (2-9):

جدول(2-9) أزمنة عمل حواكم الحماية بالتيار الزائد بالخواص العكسية

الحاكمة	مستوى العطل (MVA)	الزمن من الشكل (3) ثواني
H	35.7	0.17
J	98.7	0.42
K	123	0.86
L	1540	0.39

لإنهاء دراسة التنسيق فإنه من التوجيهي أن زمن التشغيل الوسطي لكل حاكمة زيادة تيار (extremely inverse) عند مستويات أعطالها الدنيا والعظمى، ومقارنتها مع أزمنة التنسيق بالزمن لحاكمة التيار الزائد بزمن محدد مبينة في الجدول (3-9).

جدول(3-9): مقارنة أزمنة عمل حواكم الحماية بالتيار الزائد مع أزمنة الخواص العكسية

الحاكمة	استطاعة القصر MVA (max/min)	الأزمنة من الشكل (max/min)بالثواني	الزمن الوسطي بالثواني
H	98.7/36.7	0.07/0.17	0.12
J	123/98.7	0.33/0.42	0.375
K	1540/123	0.07/0.86	0.465
L	3500/1540	0.25/0.39	0.32

تبين المقارنة بوضوح أنه عندما يكون هناك تغيّر كبير في مستوى العطل على طول شبكة النظام فإن الأداء الإجمالي لحاكمة التيار الزائد العكسية بعيد بالنسبة إلى حاكمة التيار بزمن محدد.

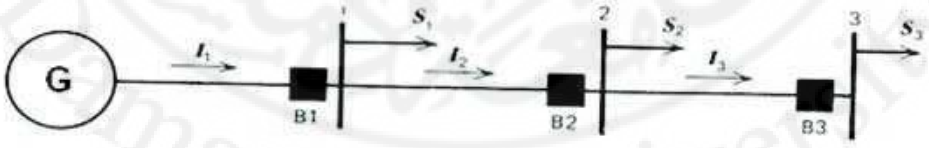
مسألة (1-9)

يبين الشكل (25-9) نظام قدرة كهربائية يعمل تحت توتر 13.8kV، تمت حماية عناصره باستخدام حواكم حماية بالتيار الزائد من نوع CO-7 خواصها مبينة في الشكل (27-9) ومعطيات عناصر النظام مبينة في الجداول 1,2,3. [29]

والمطلوب إختيار تعييرات حواكم الحماية التالية:

1-تيار التعيير CTS (Current Tap Setting)

2-التأخير الزمني TDS (Time Dial Setting) وذلك لحماية النظام من الأعطال بافتراض ثلاث حواكم لكل قاطع كما هو مبين في الشكل (26-9) وبمعدل واحدة على كل طور.



الشكل (25-9) نظام قدرة محمي باستخدام حواكم حماية بالتيار الزائد نوع Co-7

جدول(1) أحمال النظام الأعظمية

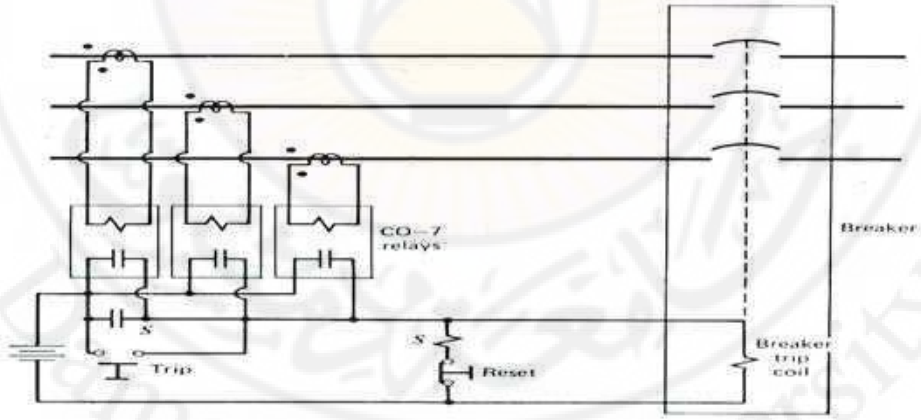
Bus	S (min)MVA	PF (lag)
1	8.5	0.99
2	3	0.9
3	5	0.9

جدول(2) تيار العطل الأعظمي بالأمبير

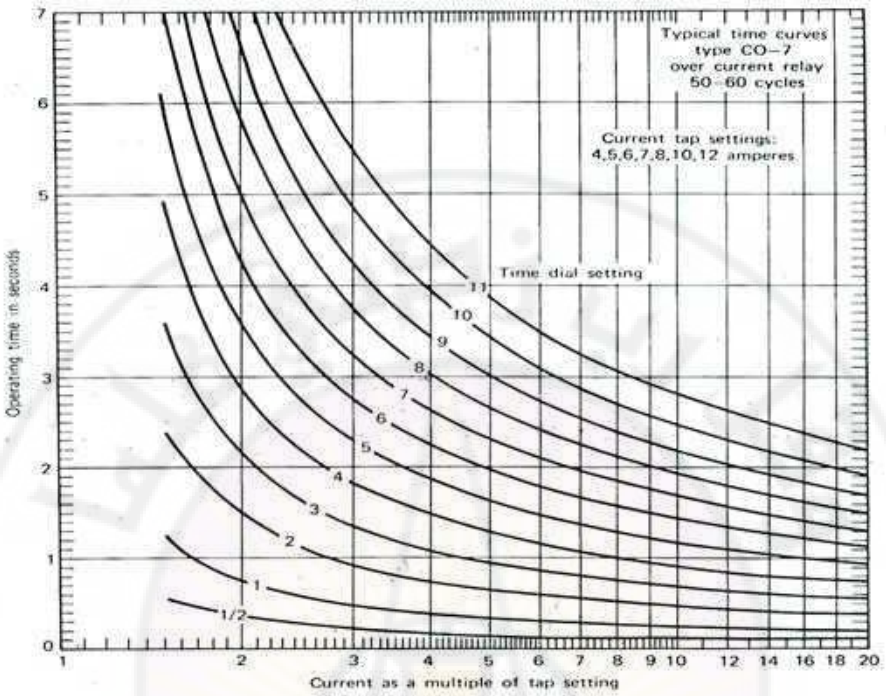
Fault	Bus1	Bus2	Bus3
3ph	3120	2808	2496
SLG	2880	2592	2304
LL	2960	2664	2368
DLG	3040	2736	2432

جدول(3) معطيات ريليه / قاطع

قاطع	Relay	C.T.R	
B1	Co-7	800:5	6 cycle
B2	Co-7	400:5	6 cycle
B3	Co-7	400:5	6 cycle



الشكل(26-9) دارة الحماية بالتيار الزائد ثلاثية الطور مع القاطع الآلي



الشكل(27-9) منحنيات الخواص العكسية لحاكمة الحماية بالتيار الزائد نوع Co-7

الحل:

أولا: تعييرات التيار :Current Dial Settings CTs

يجب أن لاتتحرض الحاكمة من أجل تيار الحمل، ونأخذ بالاعتبار عند التقييم أيضا ما يلي:

1- تيارات إقلاع المحركات.

2- تيار الاندفاع للمحول

3- خطأ محول التيار

4- الانزياح الناتج عن المركبة المستمرة ومعدل التخامد.

تيار الحاكمة R3:

$$I3 = \frac{5}{0.0138\sqrt{3}} = 209A$$

$$I3relay = \frac{209}{400/5} = 2.61A$$

وأقل قيمة لتيار تعيير الحاكمة CO-7 استنادا الى معطياتها تساوي 4A ، لذلك فإننا سنختار من أجل Relay3 $CTS_3 = 4A$

تيار الحاكمة R2:

تمر من خلال الحاكمة **R2** الأحمال S2 و S3 ولأن لهما نفس عامل الاستطاعة نستطيع أن نكتب:

S2+S3=3+5=8 MVA

$$I2 = \frac{8}{0.0138\sqrt{3}} = 335A$$

$$I2relay = \frac{335}{400/5} = 4.18A$$

لذلك فإننا نختار من أجل Relay2

$$CTS = 5A$$

تيار الحاكمة R1:

أحمال الحاكمة هي S1 و S2 و S3.

S1+S2+S3=5+3+8.5=16.5MVA

$$I1 = \frac{16.5}{0.0138\sqrt{3}} = 609A$$

$$I1relay = \frac{690}{800/5} = 4.31A$$

لذلك فإننا نختار من أجل Relay1 تعيير التيار **CTS=5A**

ثانيا: تعييرات الزمن: Time dial setting TDS

سوف نقوم بالتنسيق مستخدمين تيار العطل الأكبر الذي هو في مثالنا تيار العطل ثلاثي الطور 3ϕ ولأننا نرغب بفصل الأعطال بأسرع ما يمكن فإننا نختار:

$\frac{1}{2}$ **TDS1=**

من أجل الحاكمة R3:

يتحدد زمن عمل الحاكمة R3 لعطل ثلاثي الطور متوازن على قضيب التجميع 3 من خواص CO-7 حيث أن:

$$\frac{I3relay}{CTS} = \frac{2496/(400/5)}{4} = 7.$$

زمن عمل الحاكمة R3

عند حدوث عطل عند قضيب التجميع3 من المنحنيات يتبين أن **T3** يساوي :

T3=0.15S

من أجل الحاكمة R2:

لتعيير زمن عمل الحاكمة R2 والتنسيق مع الحاكمة R3 نأخذ بالاعتبار:

أن زمن عمل القاطع الآليCycle 6 الذي يكافئ بالثانية إلى :

$$6Cycles / 60\ Hz = 0.1Sec$$

يضاف إليه هامش زمني مقداره 0.3S لتغطية زمن عمل الحاكمة وأخطاء الحسابات التقريبية فيصبح **زمن العمل الكلي للحاكمة R2:**

$$T2 = 0.15 + 0.1 + 0.3 = 0.55Sec$$

إذن يجب أن لايقل زمن الحاكمة R2 عن 0.55 Sec من أجل عطل ثلاثي عند قضيب التجميع3 وبأخذ بالاعتبار نسبة التيار المار في الحاكمة أثناء القصر إلى تيار التعيير :

$$\frac{I2relay}{CTS2} = \frac{2496/(400/5)}{5} = 6.24$$

وهذا يقابل اختيارنا للمنحني :

TDS2=2

زمن عمل الحاكمة R2:

عند حدوث قصر ثلاثي على قضيب التجميع 2 يمر تيار قدره 2808 A تتحقق النسبة التالية من أجل الحاكمة**R2** :

$$\frac{I2relay}{CTS} = \frac{2808(400/5)}{5} = 7.02$$

من منحني **TDS2=2** فإن زمن عملها من أجل عطل على قضيب التجميع 2 هو :

T2=0.53S

من أجل الحاكمة R1:

يجب أن لايقل زمن عمل الحاكمة R1 عن :

T1=0.53+0.1+0.3=0.93S

عند حدوث عطل ثلاثي في نهاية المقطع 1 أي عند قضيب التجميع 2 فإن الحاكمة R1 ترى النسبة :

$$\frac{I1relay}{CTS1} = \frac{2808/(800/5)}{5} = 3.51$$

من هذه النسبة والزمن T1= 0.93S فإن المنحني الموافق هو : **TDS2= 2**

عند حدوث عطل عند قضيب التجميع 1 فإن تيار العطل الثلاثي المار يساوي 3120 A وتتحقق عندها النسبة:

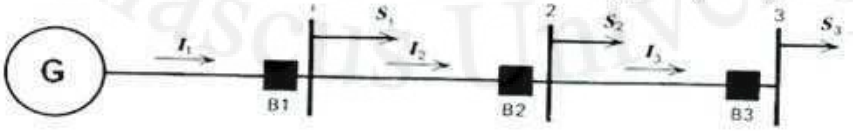
$$\frac{I1relay}{CTS1} = \frac{3120/(800/5)}{5} = 3.9$$

من هذه النسبة و منحني **TDS2= 2** فإن زمن عمل الحاكمة R1 عند حدوث عطل ثلاثي على قضيب التجميع1 يساوي إلى **T1= 0.7 Sec**

مسألة (2-9)

يبين الشكل (28-9) مخطط الخط الواحد لنظام شعاعي 13.2 kV محمل على قضبان التجميع 1 و 2 و 3 بالأحمال 7.5MVAو 2.5 MVA و 4.5 MVA ولها نفس عامل الاستطاعة. وأن نسب تحويل محولات التيار هي:600:5 ,300:5, 400:5 وتيارات الأعطال ثلاثية الطور الأعظمية 2400A , 2700A, 3000A على التوالي، وأن زمن عمل الحاكمة خمس دورات عند تردد 50Hz. إستخدمت ثلاث حواكم تيار زائد من نوع CO-7 لكل قاطع والمطلوب:

اختيار تعييرات حواكم الحماية من حيث تيار التعيير CTS (Current Tap setting) ومن حيث التأخير الزمني TDS (Time dial Setting) لحماية النظام من الأعطال، علماً أن مجالات تعيير التيار CTS للحاكمة المستخدمة مبينة على مخطط الخواص من الشكل (27-9) السابق.



الشكل (28-9) مخطط الخط الواحد لنظام قدرة شعاعي

الحل:

$$I_{L3} = 4.5.10^6 / \sqrt{3}(13.2.10^3) = 196.82A$$
$$I_{L2} = 7.10^6 / \sqrt{3}(13.2.10^3) = 306.17A$$
$$I_{L1} = 14.5.10^6 / \sqrt{3}(13.2.10^3) = 634.21A$$

بإستخدام نسب تحويل محولات التيار تصبح تيارات الجانب الثانوي لمحولات التيار المغذية لحواكم الحماية كما يلي:

$$I_{LR3} = 196.82/(300/5) = 3.28A$$
$$I_{LR2} = 306.17/(400/5) = 3.83A$$
$$I_{LR1} = 634.21/(600/5) = 5.29A$$

أولا: اختيار تعييرات التيار CTS على الحاكمة:

استنادا إلى التيارات أعلاه سنختار تعييرات التيار CTS الممكنة للحاكمة المستخدمة:

$CTS3 = 4A$
$CTS2 = 4A$
$CTS1 = 6A$

ثانيا: اختيار تعييرات الزمن TDS على الحاكمة:

سيتم إختيار أزمنة التعيير على الحاكمة TDS استنادا إلى تيار العطل الأعظمي.

من أجل الحاكمة R3:

بما أن الحاكمة R3 موجودة في نهاية النظام الشعاعي فإنه لا توجد ضرورة للتنسيق مع أي حاكمة.

تيار العطل كما تراه الحاكمة R3 يمكن أن يتحدد كما يلي:

$$I_{FR3} = \frac{2400}{300/5} = 40A$$

نسبة أمثال تيار التعيير CTS :

$$\frac{I_{FR3}}{CTS3} = \frac{40}{4} = 10$$

بما أن العمل الأسرع الممكن مرغوب، فإن أدنى منحني TDS يتم اختياره للحاكمة R3:

$$\mathbf{TDS1} = 1/2$$

من تقاطع نسبة أمثال تيار التعيير والمساوية 10 مع المنحني $TDS1 = \frac{1}{2}$ نجد أن الزمن الذي تستغرقه الحاكمة R3 للفصل يساوي 0.15 S =**T3**

من أجل الحاكمة R2:

لكي تكون الحاكمة R2 حاكمة احتياطية من أجل الأعطال ثلاثية الطور على قضيب التجميع3 يجب تنسيق زمنها مع الحاكمة R3، ويجب أن لا يقل زمن عملها عن:

$T2 = 0.15 + 0.1 + 0.3 = 0.55$ Sec

تيار العطل على الباس 3 كما تراه الحاكمة R2:

$$I_{FR2} = \frac{2400}{400/5} = 30A$$

$$\frac{I_{FR2}}{CTS_2} = \frac{30}{4} = 7.5$$

ومن تقاطع النسبة 7.5 والزمن T2=0.55 S فإننا نختار من مخطط الخواص المنحني **TDS2≅1.5** للحاكمة R2 .

عند حدوث عطل على قضيب التجميع2 فإن الزمن اللازم لفصل العطل يحسب كما يلي:

تيار العطل على قضيب التجميع2 كما تراه الحاكمة R2 ونسبته إلى تيار تعيير الحاكمة R2 :

$$\frac{I_{FR2}}{CTS_2} = \frac{2700/(400/5)}{4} = 8.4375$$

الزمن الذي ستفصل عنده الحاكمةR2 العطل على قضيب التجميع 2 يساوي إلى

T2= 0.75 S

من أجل الحاكمة R1:

تيار العطل الثلاثي على قضيب التجميع2 2700A كما تراه الحاكمة R1

$$I_{FIR1} = \frac{2700}{600/5} = 22.5A$$

ونسبته إلى تيار التعيير تعطينا أمثال تيار التعيير:

$$\frac{I_{FR1}}{CTS1} = \frac{22.5}{6} = 3.75$$

زمن عمل الحاكمة R1 يجب أن لايقل عن :

T1=0 .75 + 0.1 + 0.3 =1.15

من النسبة 3.75 والزمن 1.15 Sec ومن منحنيات الخواص فإن المنحني الموافق TDS1 تقابل هذه النسبة على المنحنيات منحني الزمن: **TDS1≅3**

تيار العطل على قضيب التجميع1 كما تراه الحاكمة R1 هو :

أمثال تيار العمل لها:

$$\frac{I_{F1R1}}{CT1} = \frac{3000}{(600/5)} = 25$$

نسبة أمثال التعيير لهذا التيار بالنسبة إلى الحاكمة R1 هي:

$$\frac{I_{F1R1}}{CTS1} = \frac{25}{6} = 4.16$$

من النسبة 4.16 ومنحني عمل الحاكمة TDS3=3 فإن زمن عمل الحاكمة R1: **T1= 1 Sec**

9-10 حاكمة التيار الزائد الرقمية 7SJ600 SIEMENS

تستخدم الحاكمة 7SJ600 والمبينة في الشكل (29-9) بوصفها حماية بالتيار الزائد بزمن محدد أو باعتبارها حماية زمنية عكسية بالتيار الزائد لأجل الخطوط المحملة بشكل زائد أو الكابلات أو المحولات والمحركات في أنظمة توزيع التوتر العالي المغذاة من جانب واحد، أو الشعاعية أو المغذيات الحلقية.

وتستخدم أيضاً كحماية احتياطية مقارنة بحماية الخطوط أو المحولات والمولدات والمحركات وحماية قضبان التجميع ومعالجة النقطة النجمية للأنظمة.

فضلا عن ذلك تتضمن الحماية الزمنية بالتيار الزائد الحماية الحرارية من التحميل الزائد والحماية من عدم توازن الحمولة بالإضافة إلى مراقبة إقلاع المحركات وكمثال: الكابلات يمكن أن تحمى ضد التحميل الزائد والمحركات يمكن أن تحمى ضد التحميل الزائد. بالإضافة إلى مراقبة زمن الإقلاع الزائد والمركبات التتابعية السالبة للتيار.

جهزت الحاكمة أيضا بمعيد إغلاق آلي متكامل كوظيفة لكي يسمح بتسع محاولات إعادة إغلاق آلية من أجل الاستخدام في حماية الخطوط المرهقة.

خلال حدوث عطل في الشبكة تخزن القيم اللحظية العظمى فترة 5 ثوان وذلك لتحليل الأخطاء لاحقا ولإنجاز هذه المهمة تزود الحاكمة بوصلة تسلسلية RS485 بالإضافة إلى مسجل الأعطال الذي يعتبر ميزة في الحاكمة تمكن المستخدم من استخدام حاسب شخصي وبرنامج مناسب للاتصال عبر موديم من أجل المراقبة المستمرة لمكونات وبرامج الحاكمة وهذا يسمح بإظهار رسائل خطأ سريعة حول الأخطاء الداخلية وهذا يؤكد الوثوقية والأمان لهذه الحاكمة.



الشكل(29-9) حاكمة الحماية بالتيار الزائد الحاكمة 7SJ600

9-10-1 مواصفات الحاكمة

تتضمن الحاكمة **7SJ600** نظام معالجة مزود بمايكروبروسسر 16-bit.وبقيم مقاسة رقمية تعالج ويتحكم بها من خلال قاعدة بيانات رقمية بما في ذلك قيم الإغلاق والفتح المسجلة لأجل القاطع، وتتصف الحاكمة بشكل عام بما يلي:

1- عزل تام وفصل موثوق لدارات المعالجة عن دارات القياسات والتحكم وتزويد الدارات بالقدرة الكهربائية عن طريق محولات دخل تماثلية، نماذج دخل وخرج رقمية وتتضمن تحويل dc-dc.

2- اكتشاف التيار الزائد لطور منفصل: يحسب التيار الراجع IE من خلال التيارات الثلاثة وبشكل آخر فإن التيار الراجع يمكن أن يغذي مباشرة إلى نهايات الحاكمة عوضاً عن تيار الطور الثاني وفي هذه الحالة تحسب الحاكمة تيار الطور الثاني، وهكذا تحدد الحاكمة التيارات الأربعة وهي الأطوار الثلاثة والحيادي.

3- حساسة ضد مركبات التيار المستمر نتيجة تيارات الشحن والتفريغ والحالات العابرة والترددات العالية في قياس التيارات.

4- خواص الفصل الزمنية متعددة: بتأخير زمني محدد أوبوصفها خواص عكسية بعدد كبير من الخواص وفقاً للأنظمة العالمية ANS/IEEE-IEC.

5- كل مميزة محددة بخواص مستقلة لحظية أو بتأخير زمني محدد مرحلة I>> بالإضافة إلى مرحلة التيار العالي جداً I>> للأجل تيارات الأطوار.

6- فصل ديناميكي في حالة تجاوز العتبات خلال العطل بإدخال رقمي.

7- الحماية الحرارية بالتحميل الزائد، متوفرة بدون ذاكرة إجمالية أو معها.

8- مراقبة زمن إقلاع المحركات (مراقبة دائر المحركات).

9- الحماية من الأحمال غير المتوازنة لاكتشاف الأطور المحملة بشكل زائد ونسبة التحميل والتحميل غير المتناظرة .

10- مزايا إعادة الإغلاق الآلي مع مؤقت زمني لكل عملية إغلاق.

11- فحص عمليات القاطع بواسطة اختبار وصل لنموذج مع معيد إغلاق آلي أو اختبار فتح القاطع.

12- مراقبة أداء القاطع عن طريق وشيعة الإطلاق.

13- إعدادات بسيطة وعمليات تستخدم عمليات متكاملة من لوحة المفاتيح أو عن طريق حاسب شخصي أو بواسطة قائمة ترشد إلى البرنامج.

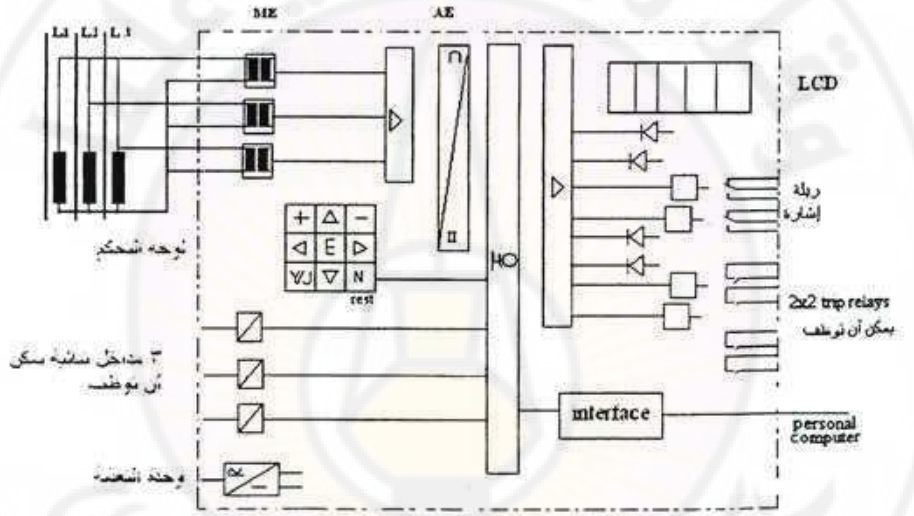
14- تخزين معطيات العطل: تخزن القيم اللحظية خلال العطل في سجل الأعطال.

15- مراقبة مستمرة لعمل الحاكمة Software أو Hardware.

9-10-1-1 بنية الحاكمة الرقمية 7SJ600 كوحدة متكاملة:

تزود حماية التيار الزائد الزمنية الرقمية بمعالج 16-bit وهذا يزود الحماية بمعالجة رقمية كاملة لكل المعطيات البيانية الناتجة عن القيم المقاسة لإشارات الإغلاق والفصل لقاطع التيار.

يبين الشكل (30-9) البنية الأساسية للوحدة.



الشكل (30-9) بنية الحاكمة الرقمية 7SJ600

تحول المحولات القيمة المقاسة للتيارات الداخلة للمقطع ME من محولات القياس لأجهزة القطع لتجعله مطابق لمستوى المعالج الداخلي للوحدة ويشكل عزلاً غلفانيا عن دارات القدرة المتصلة إلى المحولات الداخلة، وتزود بفلاتر لتخمد التداخلات والتي صممت لتكون مناسبة حسب عرض المجال وسرعة المعالج وبالتالي تكون مناسبة لمعالجة القيمة المقاسة. وعنها تمر القيم التماثلية المطابقة إلى وحدة الدخل التماثلية القسم AE. يحتوي قسم الدخل التماثلي AE على مضخمات لكل مدخل، ومحولات A/D و دارات ذاكرة لنقل البيانات للمعالج.

1- بعيداً عن التحكم ومراقبة القيم المقاسة يعالج المعالج وظائف الحماية الفعلية:

2-فلترة وتشكيل الكميات المقاسة.

3-مسح القيم المحددة والتسلسلات الزمنية.

4-حساب وقت الفصل بالاعتماد على الخواص المختارة.

5-حساب المركبات المتناظرة للتيارات الموجبة والسالبة لتحديد الحمولة غير المتوازنة.

6-حساب القيم الفعالة لتحديد الحمولة الزائدة.

7-تقرير التعليمات الخاصة بالفصل وإعادة الإغلاق.

8-تخزين الكميات المقاسة خلال الأعطال لتحليلها.

توصل المخارج والمداخل الثنائية من المعالج وإليه عن طريق عناصر خرج ودخل وهكذا يتلقى المعالج المعلومات من أجهزة القطع أو من أدوات أخرى (مثل إشارات الإيقاف). المخارج تتضمن بشكل خاص تعليمات الفصل وإعادة الإغلاق للقواطع، الإشارات من أجل أجهزة التحكم للأحداث المهمة تظهر إشارات بصرية (LEDs) وعلى شاشة العرض. شاشة العرض متصلة مع لوحة تحكم في مقدمة الحاكمة، بيانات العمليات مثل قيم التشغيل بيانات التخطيط...الخ. تدخل إلى الحماية من خلال هذه اللوحة باستخدام هذه اللوحة يمكن استرجاع القيم والبيانات المتعلقة بها لتقييم الخطأ وليصبح بالإمكان قراءته بعد أن يحدث الخطأ. يمكن أن يتم التحكم بالحاكمة بالتناوب عن طريق مدخل تسلسلي بواسطة الكمبيوتر الشخصي. تؤمن التغذية المساعدة للوحدات الموصوفة من خلال وحدة التغذية.

2-1-10-9 الوظائف التي تقوم بها الحاكمة الرقمية 7SJ600

1-الحماية بالتيار الزائد والتي تعمل بتأخير زمني Overcurrent Protection.

أ-لحظي Instantaneous

ب-محدد Definite Time

ت-عكسي Inverse Time

2-الحماية من عدم التوازن Unbalanced load Protection

3-الحماية من التحميل الحراري الزائد Thermal Overload Protection

4-الحماية من التحميل الحراري الزائد بالحمل الكلي Thermal Overload Protection استنادا الى (IEC 255-8).

5-الحماية من التحميل الحراري الزائد Thermal Overload Protection بدون تحميل.

6-مراقبة زمن الإقلاع Start-up TimeMonitoring

7-معيد الإغلاق الآلي Auto-Reclosure (إختياري).

8-مراقبة فصل القاطع Trip Circuit Supervision

9-دخل ثنائي واحد.

10- مدخلان ثنائيان.

9-10-1-3 وظائف إضافية Ancillary Functions

1.معالجة الإعلانات والرسائل وتشمل:

أ-المؤشرات الضوئية والمخارج الثنائية.

ب-المعلومات على شاشة العرض أو شاشة الحاسب.

ت-تخزين المعطيات ضمن سجل الأعطال.

ث-عمليات القياس والتحويل.

2.اختبار الملحقات الإضافية وتشمل:

أ-اختبار فتح وإغلاق قاطع الدارة.

ب-كشف حالة المداخل الثنائية.

3.مراقبة الوظائف وتشمل:

أ-مراقبة داخلية لمكونات الحاكمة Hardware Monitoring.

ب-مراقبة برمجية Software Monitoring.

9-10-1-4 المعطيات التقنية للحاكمة الرقمية 7SJ600:

1) المعطيات العامة الدخل/الخرج

دارات القياس:

التيار الاسمي: I_N 5A أو 1A

التردد الاسمي: 50Hz أو 60 Hz

استهلاك القدرة عند تيار I_N=1A <0.1VA

عند تيار I_N=5A <0.2VA

زمن التحميل الحراري:

100 xI_N for < 1S
30 xI_N for < 10S
4 xI_N for continuous

250 xI_N one half cycle ديناميكيا (تيار نبضي)

2) التوتر المساعد:

القدرة الكهربائية مزودة الى الحاكمة باستخدام dc/dc

التوتر المستمر المساعد U_H	24/48 Vdc	60/110/125 Vdc	220/250 Vdc
التغيرات المسموح بها	19 to 58 dc	48 to 150 Vdc	176 to 300 Vdc
التوتر المتناوب المساعد U_{Hac}	115 Vac 50/60 Hz		230 Vac 50/60Hz
التغيرات المسموحة	88 to 133 Vac		176 to 265 Vac

3) مواصفات التلامسات:

1-التلامسات الرئيسية:

ريليه فصل عدد 2

التلامسات لكل ريليه 2 مفتوحة بالحالة الطبيعية.

سعة القطع وصل 1000W/VA

فصل 30W/VA

توتر الفتح والإغلاق 250V

التيار المسموح 5A بشكل مستمر و 30A لأجل 0.5s

2-تلامسات الإشارة:

ريلية فصل عدد 2.

التلامسات لكل ريليه 1 ثنائي الأوضاع مغلق – مفتوح

سعة القطع وصل 1000W/VA فصل 30W/VA

توتر الفتح والإغلاق 250V

التيار المسموح 5A بشكل مستمر.

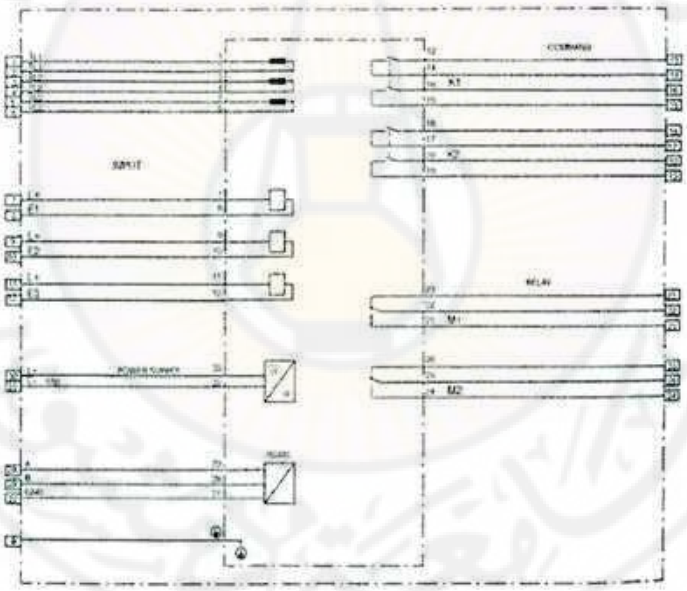
3- المداخل الثنائية:

عددها : 3

التوتر الاسمي المسموح به: 24 to 250 Vdc.

التيار المستجر: تقريباً 2.5mA حسب التوتر المطبق.

يبين الشكل (31-9) مكونات ومداخل ومخارج الحاكمة.



الشكل (31-9) المداخل والمخارج للحاكمة الرقمية 7SJ600

9-10-1-5 توصيف مهام الحماية

التخاطب مع الحاكمة:

يمكن التحكم بإعداد الحماية الرقمية وتشغيلها وأنظمة الأتمتة بواسطة لوحة المفاتيح الحساسة في الواجهة الأمامية للجهاز. حيث بالإمكان إدخال بارامترات التشغيل

واستعراض البيانات بواسطتها، كما يمكن التحكم بالجهاز من خلال التوصيل مع حاسب شخصي أو ماشابه.

لوحة المفاتيح وشاشة العرض

يتم استعراض البيانات بواسطة شاشة كريستال سائل تحوي سطرين (بثمانية محارف لكل واحد منهما). يتشكل كل محرف من مصفوفة نقطية قياس 8*65 وتمكن الشاشة من استعراض الأرقام، الحروف ومجموعات من الرموز الخاصة.

خلال التخاطب مع الجهاز، يظهر السطر العلوي رقماً (مكوناً مع خانتين) يمثل كتلة عنوان الإعداد، في حين تتألف لوحة المفاتيح من (9) أزرار للتصفح، نعم/لا ، وأزرار التحكم.

فيما يلي تفصيل عمل الأزرار:

-مفاتيح تغيير القيم الرقمية أو تبديل النصوص.

(+) زيادة القيمة أو عنصر النص.

(-) أنقاص القيمة أو عنصر النص.

-مفاتيح نعم/لا:(Y/N)

مفتاح "نعم" : لتأكيد السؤال المعروض بواسطة المشغل وتنفيذه.

(N) مفتاح "لا" : تجاهل المشغل السؤال المعروض، ويعمل المفتاح أما كمفتاح إعادة ضبط للحاكمة. أو لرسائل الخطأ.

(↓) التصفح للأمام: لاستعراض السطر التالي أو عنصر القائمة التالي.

(↑) التصفح للخلف: لاستعراض السطر السابق أو عنصر القائمة السابق.

(→) الانتقال إلى مستوى التشغيل اللاحق: لاستعراض مستوى التشغيل اللاحق.

(←)الانتقال إلى مستوى التشغيل السابق:لاستعراض مستوى التشغيل السابق.

(E) كبسة الإدخال (التأكيد).

لتأكيد التغييرات المدخلة بواسطة مفاتيح (نعم/لا) أو (+/-) وذلك حتى يتقبل الجهاز تلك التعديلات. إضافة إلى إستخدامه للاستجابة وإزالة رسائل الخطأ في الشاشة حيث يصبح من الضروري إدخال قيمة جديدة ومن ثم إستخدام زر (E). يمكن إزالة أضواء

LED الإيضاحية (على الواجهة الأمامية) وتنبيهات الخطأ في الذاكرة الوسيطة بإستخدام كباسة (No).

9-10-1-6 تطبيق عملي حول الحاكمة الرقمية 7SJ600

يمثل الشكل (9-32) استخدام الحاكمة الرقمية 7SJ600 لحماية نظام قدرة مكون من محول موصل بشكل Δ / Y مرتبط بقاطعين آليين، ويغذي باسبار حمولة مربوط عليه محرك كهربائي وحمولة أخرى مختلفة , يتم استخدام أربع حواكم لحماية هذا النظام ترتبط كل حماية بالقاطع الآلي للجزء الذي تحميه هذه الحماية ويظهر الشكل توضع هذه الحمايات حيث لدينا:

- الحاكمة 1 : مهمتها العمل على حماية المحولة و مغذي الحماية .
- الحاكمة 2 : مهمتها حماية قضيب التجميع .
- الحاكمة 3 : مهمتها حماية خط الحمولة العادية المختلفة .
- الحاكمة 4 : مهمتها حماية المحرك الكهربائي .

وقد تم وضع رموز على كلٍ من هذه الحواكم تبين الوظائف و الحمايات التي تقوم بها الحاكمة ويبين الجدول (4-9) دلالات هذه الرموز

جدول (4-9) دلالات الرموز المستخدمة في الحماية الرقمية 7SJ600

ANSI	IEC	Protection functions
(50, 50N)	$I>$, $I>>$, $I>>>$ $I_E>$, $I_E>>$	Definite time-overcurrent protection (phase/neutral)
(51, 51N)	I_p, I_{Ep}	Inverse time-overcurrent protection (phase/neutral)
(79)		Auto-reclosure
(46)	$I_2>$	Phase-balance current protection (negative-sequence protection)
(49)	$\vartheta>$	Thermal overload protection
(48)		Starting time supervision
(74TC)		Trip circuit supervision breaker control

شرح رموز الحماية على الشكل:

50: حماية بالتيار الزائد بتأخير زمني مستقل للأعطال الطورية .

50 N: حماية بالتيار الزائد بتأخير زمني مستقل للأعطال الأرضية .

51: حماية بالتيار الزائد بخواص عكسية للأعطال الطورية

51N: حماية بالتيار الزائد بخواص عكسية للأعطال الأرضية.

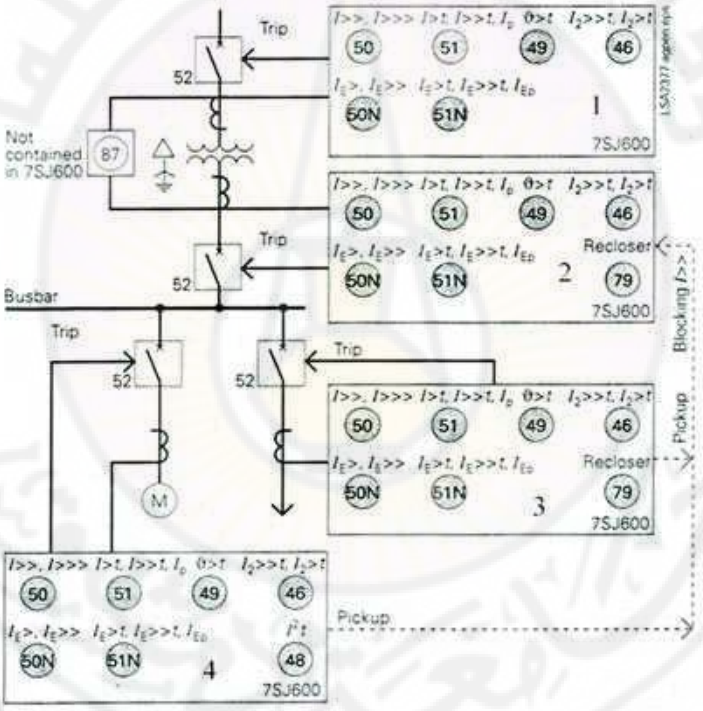
79: معيد الإغلاق الآلي .

46: حماية من التحميل غير المتوازن.

49: حماية من زيادة التحميل الحراري .

48: مراقبة زمن الإقلاع للمحركات .

74TC: مراقبة قاطع الدارة.



الشكل(32-9) إستخدام الحاكمة الرقمية 7SJ600

9-11 حاكمة الحماية بالتيار الزائد Micom P122

حاكمة الحماية بالتيار الزائد Micom p122 هي حماية مخصصة للحماية من زيادة التيار والعطل الأرضي, وهي ثلاثية الطور، ويمكن الاستفادة منها في حماية المنشآت الصناعية و محطات التحويل والشبكات عند مختلف مستويات التوتر . تحتوي الحاكمة

على ثلاث عتبات للحماية من زيادة التيار , تحوي كل عتبة 12 منحني للوصول إلى حالة الحماية الأفضل , بالإضافة إلى الحماية من انخفاض التيار والحماية بالمركبة التناظرية السالبة , والتحكم بالقاطع من عملية فتح وإغلاق من خلال الحاسب وإمكانية ربط الحماية مع حمايات أخرى والتحكم بها عن طريق حاسب مركزي موجود ضمن المحطة موجود عليه نظام التشغيل S10 , حيث يمكن نقل كل البارامترات والقراءات والأعطال والإضطرابات المسجلة إلى مكان المعالجة وامكانية وضع بارامترات التعيير في مجموعتين مستقلتين حيث يتم الإختيار بين المجموعتين من خلال مدخل أو من خلال شاشة الحماية أو من خلال الشبكة. وهي مزودة أيضا بواجهة مجهزة بليدات Leds قابلة للبرمجة وشاشة إظهار LCD .

تمكننا الحماية من إظهار قراءات التيار على الأطوار الثلاثة على شاشتها أو عن طريق الشبكة. الحماية مجهزة بثلاثة مداخل, وتسعة مخارج قابلة للبرمجة وقابلة للمعايرة عن طريق الحاسب, من خلال مدخل أمامي RS232 , ومدخل خلفي RS485 للربط مع الشبكة. يمكن تغذية الحاكمة من ثانوي محولة تيار 1 or 5 A

يبين الجدول (5-9) الحمايات والقياسات التي تحققها الحماية:

الجدول (5-9) الحمايات والقياسات التي تحققها الحماية

الوصف	الرمز	الإمكانية
الحماية من زيادة التيار والعطل الأرضي	50/51and 50N/51N	محققة
الحماية الحرارية	49	
نقصان التيار	37	
الحماية من التتابع السالب	46	
الحماية من إنقطاع أحد الأطوار (I2/I1)		
الحماية من عكس أحد الأطوار		
الحماية من تيارات الإقلاع Cold load pick up		

منع أو حجز أي مرحلة من مراحل الحماية Block logic		
إمكانية وضع تأخير زمني لكل وظيفة وذلك للحصول على الانتقائية اللازمة ($t_I>>, t_I>>>, te_I>>, te_I>>>$)		
إمكانية قياس القيم الفعالة والأعظمية لتيارات الأطوار Ia,Ib,Ic,In على شاشة الحماية		
امكانية تسجيل آخر خمسة أخطاء بالإضافة إلى تسجيل حالة الشبكة لزمن معين		

9-11-1 الحماية من زيادة التيار وتيار القصر بتأخير زمني

رقمها في الكود 51 ويوجد في هذه الحماية ثلاث عتبات مستقلة لتعيير التيار , فمن أجل العتبة الأولى $t_I>$ فان الحاكمة مزودة ب 12 منحنياً يمكن أن تعمل عليها الحماية ولكل منحني يمكن اختيار 60 قيمة للثابت TMS, الذي يغير بدوره خواص المحني وذلك للوصول إلى أقل زمن للفصل, وكذلك الأمر بالنسبة الى العتبة الثانية $t_I>>$, وهذا مايسمى بالتأخير الزمني العكسي (IDMT) أما العتبة الأخيرة فهي لاتضبط إلا بدون تأخير زمني عكسي (DMT) حيث أن التيار يقع في المجال In (40 -0.5) , بينما يقع مجال التأخير الزمني (DMT) في المجال Sec (0-150).

9-11-2 الحماية المباشرة من زيادة التيار

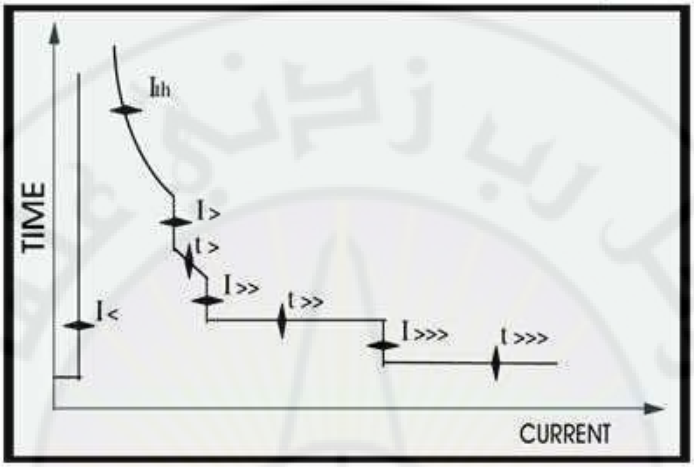
رقمها في الكود 50 ومن الممكن تعيير العتبتين الأولى والثانية لتعملا بزمن لحظي ثابت يمكن برمجته مهما كانت قيمة التيار المار والتي يجب أن تكون ضمن المجال المعير مسبقاً.

9-11-3 الحماية المباشرة من زيادة التيار الأرضي 50N

يمكن تعيير كل من العتبتين الأولى والثانية لتعملان بزمن لحظي ثابت ويمكن برمجتهما مهما كانت قيمة التيار المار والتي يجب أن تكون ضمن المجال المعير مسبقاً، ومن

الممكن برمجة المخارج الموجودة ضمن الحماية أو الإضاءات الموجودة في الوجه الأمامي للحماية لتتفعل عند عمل إحدى العتبات التي تم شرحها مسبقاً.

يبين الشكل (33-9) المراحل المختلفة لخواص التيار للحاكمة 7SJ600



الشكل(33-9) المراحل المختلفة للخواص العكسية بالتيار

9-11-4 الحماية من التتابع السالب

رقم هذه الحماية في الكود 46 ويمكن من خلالها التخلص من حالات عدم التوازن ,حيث يمكن أن تكون هذه الحماية رديفة للحماية الأرضية 50N,51N وتتم الحماية من خلال زمن لحظي ثابت DT أو من خلال التأخير الزمني العكسي (IDMT) كالذي تم شرحه سابقاً

9-11-5 الحماية من انقطاع أحد الأطوار

يتم ذلك من خلال حساب نسبة تيار الدارة السالبة إلى تيار الدارة الموجبة ومقارنتها بالنسبة المعيرة حيث إذا استمرت هذه القيمة أكثر من الزمن المعير فإنه يمكن تفعيل مخرج معين.

إن حالة انقطاع أحد الأطوار هي مشابهة تقريباً لحالة عطل طورين, حيث إنها تؤدي إلى ظهور تيار الدارة السالبة, بينما تيار الدارة الموجبة يزداد بشكل طفيف وهذا يؤدي إلى زيادة النسبة، التي يمكن حسابها النسبة كما يلي:

$$I1 = Eg(Zo + Z1)/(Z1Z2 + Z1Zo + Z2Zo)$$
$$I2 = -Eg(Zo)/(Z1Z2 + Z1Zo + Z2Zo)$$
$$I2/I1 = Zo/(Zo + Z2)$$

حيث:

I_1: تيار الدارة الموجبة

I_2: تيار الدارة السالبة

Eg: توتر النظام

Z_1: ممانعة الدارة الموجبة

Z_2: ممانعة الدارة السالبة

Zo: ممانعة الدارة الصفرية

9-11-6 الحماية الحرارية

رقم هذه الحماية في الكود 49 وحيث أنه من المعلوم عند زيادة قيمة التيار فإن ذلك سوف يؤدي إلى زيادة الحرارة وإذا استمرت لفترة طويلة من الزمن فإن ذلك يمكن أن يؤدي إلى فشل العازلية, وهذه الحماية مجهزة بحيث أنه عند إزدياد قيمة التيار الحراري عن حد معين فإن ذلك يؤدي إلى إعطاء إنذار أو فصل القاطع الآلي.

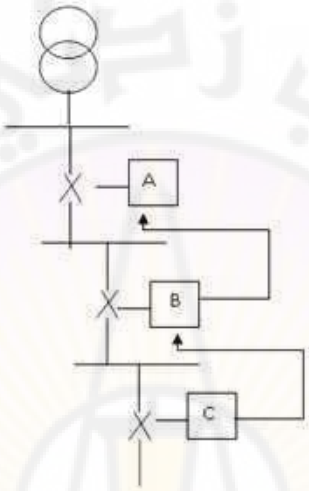
9-11-7 إنخفاض قيمة التيار

رقم هذه الحماية في الكود 37 حيث تقوم هذه الحماية بفصل القاطع الآلي عند إنخفاض قيمة التيار عن قيمة معيرة مسبقا وإستمرار الإنخفاض ضمن الزمن المعير.

9-11-8 تجميد مرحلة من مراحل الحماية

الحاكمة مجهزة بمدخلين يتم من خلالهما منع أية حماية تم أنتقاؤها من قبل المستخدم (مثلاً I>,t_I>> , الحماية الحرارية) فعند عمل الحماية ضمن مجموعة من الحمايات الأخرى وضرورة تحقيق الانتقائية في العمل تستخدم هذه الحماية وبعد تحرير العطل تعود الحماية التي تم منعها للعمل. على سبيل المثال_من أجل نظام القدرة الكهربائية الشعاعي المبين في الشكل (34-9)، فإنه عند زيادة قيمة التيار عن القيمة المعيرة عليها الحماية C فإنها ستتحسس هذه الحالة، وبالتالي ستعطي أمر للحماية B بالإقفال، بينما

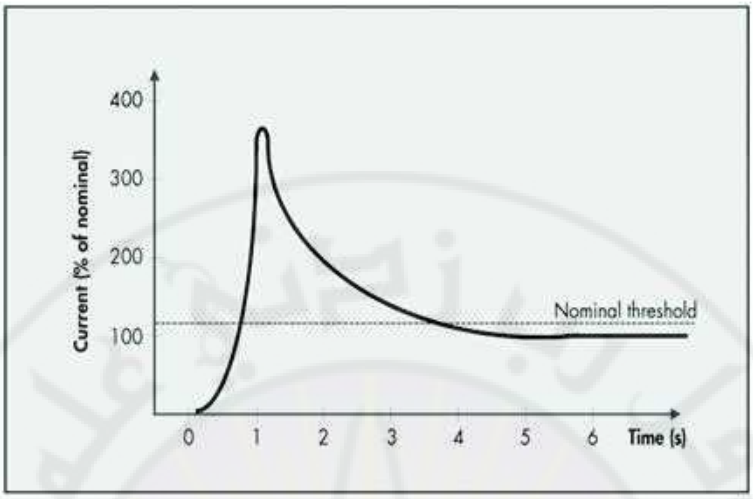
ستعطي الحماية B بدورها أمر إقفال للحماية A , عند فتح القاطع الآلي المتعلق بالحماية C فإن إعطاء أمر Reset لها سيحررالإقفال لكل من الحاكمتينB&A، ولكن عند حدوث حالة فشل معينة تؤدي إلى عدم فتح القاطع فإن ذلك سيحرر الإقفالات لتعمل الحماية B.



الشكل(34-9) نظام قدرة كهربائية شعاعي مزود بحواكم الحماية A، B، C

9-11-9 الحماية من تيارات الإقلاع Cold load pick up

عند إقلاع المحولات والأحمال الأخرى التي تكون لفترة من الزمن خارج الخدمة , سوف يتم استجرار تيارات كبيرة لفترة زمنية صغيرة وللتخلص من حالات الفصل للقواطع في مثل هذه الحالات فإنه من الضروري إيقاف عمل الحماية، وذلك لفترة زمنية يتم تعييرها استنادا إلى منحني تيار الإقلاع لهذا الحمل كما هو مبين في الشكل (35-9)



الشكل (35-9) منحني تيار الإقلاع مع الزمن

إختيار مجموعة الحماية:

يمكن وضع بارامترات الحماية في مجموعتين مستقلتين ويتم الاختيار بينهما:

- عن طريق الواجهة الأمامية للحماية
- أو عن طريق مدخل من مداخل الحماية
- أو عن طريق شبكة ربط الحمايات بواسطة نظام S10

ويتم الإختيار بينها فقط إذا كانت الحماية لا تقوم بعملية تحكم معينة , لتجنب حالات الفصل

المداخل والمخارج:

الحماية مجهزة 3 مداخل , 9 مخارج وهذه المداخل والمخارج قابلة للبرمجة

امكانية التحكم بالمخارج:

جميع المخارج ماعدا مخرج فصل القاطع الآلي (No+Nc) يمكن برمجتها والتحكم بها , ولإعادتها إلى وضعية الراحة يمكن أن يتم ذلك:

- عن طريق الواجهة الأمامية للحماية
- أو عن طريق الحاسب بواسطة S1
- أو عن طريق شبكة ربط الحمايات بواسطة نظام S10

الانتقائية:

يمكن إستخدام مدخلين من مداخل الحماية لتحقيق الانتقائية, وبالتالي يمكن وضع تأخير زمني قابل للتعيير لكل وظيفة تم إختيارها .

9-11-10 مراقبة فشل القاطع الآلي

يتم ذلك من خلال مقارنة الزمن اللازم لفتح القاطع ابتداءً من إعطاء أمر الفتح ,مع الزمن المعير ضمن الحماية وبالتالي عند إعطاء أمر الفتح (Trip) , فإن المؤقت الزمني ضمن الحماية يبدأ بالعد ,وعند الوصول إلى نهاية الزمن المعير فإن الحمابة يجب أن تتأكد أن التيار المار مساويا الصفر أو قيمة قليلة نسبياً , وفي حال كون التيار غير ذلك فإن هذه الحماية سوف تتفعل ,حيث يمكن إيصال هذا الأمر (عن طريق مخرج تمت برمجته) إلى الحماية الرديفة، أو ذات المستوى الأعلى ليتم من خلالها فصل العطل

القياسات:

يمكن أن تقوم الحماية بالقياسات التالية:

- التردد
- القية الفعالة للتيارات المارة I_A, I_B, I_C, I_N
- التيارات المتناظرة الموجبة والسالبة I_1, I_2
- القيم الأعظمية والوسطية للتيارات I_A, I_B, I_C

المسجلات:

1-تستطيع الحماية تسجيل 75 حدث ,حيث في كل مرة يتم تسجيل اسم الحدث وتاريخه والزمن الذي حدث فيه العطل.

2-تسجيل الإضرابات إذ تستطيع الحماية تسجيل حالة الشبكة لمدة ثلاث ثون, ومن ثم يتم حفظه في ذاكرة الحماية ومن ثم يتم نقله عن طريق برنامج التحكم S1.

3-تسجيل آخر خمسة أعطال لإظهار اسم العطل والوقت الذي حدث فيه العطل وتاريخه والطور الذي حدث عليه العطل والحماية التي عملت على فصل العطل, وقيم التيارات لحظة فصل العطل I_A, I_B, I_C, I_N.

الواجهة الأمامية للحماية:

أ-كل الإمكانيات التي تم ذكرها سابقاً يتم برمجتها من خلال شاشة الحماية, أو بإستخدام برنامج التحكم S1, أو من خلال الشبكة.

ب-يوجد عليها أربع Leds تعطي فكرة عن حالة عمل الحماية , trip, alarm, warning , healthy , وأربع Leds يتم برمجتها حسب الحاجة .

مسألة(3-9)

تغذى منشأة من مركز تحويل 20/0.4 kV مؤلف من :

1- خلية وصول عدد 2.

2- خلية محول عدد 4 .

3- خلية كوبلاج عدد1 .

4- محولات استطاعة عدد4 باستطاعات :

- محولة kVA 1600 عدد 2.
- محولة kVA 1000 عدد 2 .

والمغذى بدوره من محطة تحويل66/20 kV عبر كابل مقطعه$\left[mm^2\right]$ 3×185 وبطول 700 mt تحت توتر 20 kV، علما أن خصائص الكابلات النحاسية المستخدمة لتغذية المنشاة مبينة في الجدول (1):

جدول (1) محددات الكابلات النحاسية المغذية للمنشأة

$Z\left[\Omega/\ Km\right]$	$X\left[\Omega/\ Km\right]$	$R\left[\Omega/\ Km\right]$	$S\ \left[mm^2\right]$
0.282	0.082	0.27	$4\times70+35$
0.152	0.079	0.13	$3\times240+120$
0.0868	0.084	0.069	1×300
0.13	0.085	0.1	3×185

والمطلوب تعيير وتنسيق حواكم الحماية لنظام قدرة شعاعي يغذي منشأة تحت توتر منخفض وتنسيقها.

الحل:

أ-حسابات تيارات القصر وأزمنة الفصل والقيم الاسمية للقواطع الآلية:

حسابات ممانعات عناصر مسار العطل:

$$Z_n[\Omega]=\frac{C\cdot U_n^2}{S} \qquad U_n=20[kV]$$

$$I_{SC}[A]=\frac{C\cdot U_n}{\sqrt{3}\,Z_S}$$

ممانعة الشبكة: $C=1.1$

$$S=500[MVA]$$

حيث: I_{SC} تيار القصر الأولي.

ممانعة المولد: $X_d=31\%$

$$X_d=\frac{X_d[Pu]\cdot U_n^2[V]}{S_n[kVA]}$$

X_d المفاعلة العابرة للمولد بالنسبة لطور واحد

مقاومة ومفاعلة المحول:

$$Z_{tr}[\Omega]=\frac{U_S[PU]}{100}\cdot\frac{U_n^2}{S_n}$$

$$R_{tr}[\Omega]=\frac{P_{CU}[PU]}{100}\cdot\frac{U_n^2}{S_n}$$

ممانعة المحول 1600kVA:

$$U_{Sc}=6.8\%$$
$$S_n=1600[kVA]$$

حيث:

R_{tr} : مقاومة المحولة

P_{CU} : الضياعات النحاسية للمحولة.

باستخدام معطيات عناصر نظام القدرة وتبديلها في العلاقات أعلاه نحصل على قيم ممانعات عناصر الشبكة كما يلي :

ممانعة الكابل 700 mt الواصل بين محطة 66/20 kV والمبنى بمقطع $3x185\ mm^2$:

$$Z_1 = 0.7 \times 0.13 = 0.091\,[\Omega]$$

ممانعة الشبكة:

$$Zn = \frac{1.1 \cdot 20000^2}{500 \cdot 10^6} = 0.88\,[\Omega]$$

الممانعة الكلية حتى قضيب تجميع 20kV:

$$Z_{SC} = 0.88 + 0.091 = 0.971[\Omega]$$

تيار القصر على قضيب التجميع 20kV قبل المحول:

$$I_{SC} = C\frac{U_n}{\sqrt{3}*Zsc}$$

$$I_{SC} = 1.1\frac{20000}{\sqrt{3}*0.971}$$

ممانعة الكبل بين قضيب تجميع 20kV وجانب20kV لمحول 1600kVA وبطول 30 mt:

$$0.03 \times 0.13 = 0.0039[\Omega]$$

وتكون الممانعة الكلية قبل المحولة:

$$0.971 + 0.0039 = 0.9749[\Omega]$$

الممانعة على جانب المحولة ذي التوتر المنخفض 0.4kV:

$$Z = 0.9749 \times [\ \frac{400}{20000}\ ]^2 = 0.39[m\Omega]$$

توتر القصر للمحولة 1600kVA يساوي إلى:

$$U_{SC} = 6.8\%$$

وبالتالي تصبح الممانعة الكلية لمسار العطل:

$$Z_{mx} = 6.8 \cdot 10^{-3} + 0.39 \cdot 10^{-3} = 7.19[m\Omega]$$

اذن تيار القصر على الثانوي:

$$I_{SC} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 7.19 \cdot 10^{-3}} = 32.12 [kA]$$

تيار القصر لأحد المولدات الاحتياطية:

$$X_d = X_d [PU] \cdot U_n^2 / P_{n[KVA]} \cdot 10^3$$

$$X_d = \frac{0.31 \cdot 400^2}{836 \cdot 10^3} = 59.33 [m\Omega]$$

$$I_{SC} = 1.05 \cdot \frac{U_n}{\sqrt{3} \cdot X_d} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 59.33 \cdot 10^{-3}} \cdot 1.05 = 4.087 [KA]$$

حيث I_{SC} تيار القصر على مخارج المولد.

تيار القصر الأعظمي للمولدات الاحتياطية الثلاثة 12kA:

$$4.087 \times 3 = 12 [kA]$$

الأن باجراء المقارنة بين تيار القصر عندما تكون التغذية من المولدات الاحتياطية وبين تيار القصر عندما تكون التغذية من الشبكة نجد أن تيار القصر للشبكة يساوي إلى 2.66 مرة من تيار المولدة.

ممانعة الكبل الرئيسي الواصل بين جانب 0.4 kV للمحول إلى نقطة النهاية المتمثلة باللوحة الرئيسية والذي مقطعه mm^2 (4x70+35) وطوله 164 mt :

$$Z_{Line} = 0.282 \times 0.164 = 46.3 [m\Omega]$$

ممانعة مسار العطل الكلية:

$$Z_n = Z_{mx} + Z_{Line}$$

$$Z_n = 7.19 \cdot 10^{-3} + 46.2 \cdot 10^{-3} = 53.389 [m\Omega]$$

تيار القصر الكلي عند اللوحة الرئيسية في حال التغذية من المحول:

$$I_{SC} = \frac{4}{\sqrt{3} \cdot Z_n} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 53.389 \cdot 10^{-3}} = 4.33 [kA]$$

عند التغذية من المولدات الاحتياطية:

يغذى المبنى من ثلاث مجموعات توليد احتياطية اثنتان منها توصل مع بعضها على التفرع والثالثة احتياطية للمجموعات نفسها:

الممانعة الكلية لمجموعتي توليد تعملان على التوازي :

$$Z_n = \frac{X_d}{2} + Z_{Line} = 59.33 + 46.3 = 75.87\,[m\Omega]$$

$$I_{SC} = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot Z_n} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 75.87} = 3.044\,[kA]$$

ب-تعييرات وتنسيق حواكم الحماية للخط المغذي للمنشأة

1-زمن الفصل و القيمة الإسمية للقواطع الآلية :

2-عندما نأخذ الشبكة 20kV ويفتح القاطع فإن التيار المحسوب 130,86 A وزمن الفصل للقاطع $J01$ هو 0.5 s و نحن في وضع زمن فصل مختلف لأن زمن الفصل في الشبكة السورية هو 0.63 s أو 0.9 s.

3-زمن الفصل للقواطع $J07, J03$ من أجل القدوم من محطة القدرة هي 2.6 ms وهو أقل من 0.3s بالنسبة إلى القواطع $J01, J08$ عند حدوث القصر الكامل.

4-في جهة التوتر المنخفض للمحولة باستطاعة 1600 kVA فإن تيار القصر 32.12 kA أما في جهة التوتر العالي فإن تيار القصر 642A و هذا يمر بقاطع المحولة وذلك لأن زمن الفصل 0.4 S وفي نفس الوقت فإن التوتر المنخفض للقاطع بجانب المحولة يكون عند زمن فصل 0.3 S وعلى القاطع الرئيسي 0.5 S لذلك فإن الأجهزة تحقق الانتقائية بين التوتر المنخفض والتوتر العالي .

5-تيار القصر أكبر من التيار الحراري I_r وأصغر من التيار المغناطيسي I_m لمولدة الديزل و لذلك يجب عزل المولدة عن الحمل.

ج- القيم الإسمية للقواطع:

في قسم التوتر العالي :

$J01, J08$:

$$I_{ph} > 2.4 \times I_n (200\ A) \geq 480\ A$$

$$I >> 3 \times I_{ph} \geq 1440\ A$$

حيث:

$$t >> 0.025\,[\text{sec}] \qquad t_{ph} = 0.5\,[\text{sec}]$$

$J02, J06$:

$I_{ph} > 3 \times I_n (100\,A) \geq 300\,A$

$I >> 3 \times I_{ph} \geq 900\,A$

حيث:

$t >> 0.025\,[\text{sec}] \qquad t_{ph} = 0.4[\text{sec}]$

$J03, J07$

$I_{ph} > 3 \times I_n (60\,A) \geq 180\,A$

$I >> 3 \times I_{ph} \geq 540\,A$

حيث:

$t >> 0.025\,[\text{sec}] \qquad t_{ph} = 0.4[\text{sec}]$

في قسم التوتر المنخفض:

$MDB\,1,2$:

$I_r = 0.9 \times I_n (2500\,A) = 2250\,A$

$I_d = 5 \times I_r = 11250\,A$

$I_i = \infty \times I_n = \infty\,A$

حيث:

$T_C (by\ I = 6 \times I_r) = 10[\text{sec}] \qquad T_d = 0.3[\text{sec}]$

$MDB\,3,4$:

$I_r = 0.9 \times I_n (1600\,A) = 1440\,A$

$I_d = 5 \times I_r = 7200\,A$

$I_i = \infty \times I_n = \infty\,A$

حيث:

$T_C (by\ I = 6 \times I_r) = 10[\text{sec}] \qquad T_d = 0.3\,[\text{sec}]$

قواطع المولدة:

$I_n = 1600\,A \qquad I_o = 0.63 \times I_n = 1008\,A$

$I_r = I_o = 1008\,A$

$I_m = 6 \times I_r = 6048\,A$

الفصل العاشر

حماية الخطوط المغذاة من الطرفين

Two Ends Supplied Lines Protection

Damascus University

وقل رب زدني علما
Damascus University

الفصل العاشر

10-حماية الخطوط المغذاة من الطرفين

Two Ends Supplied lines Protection

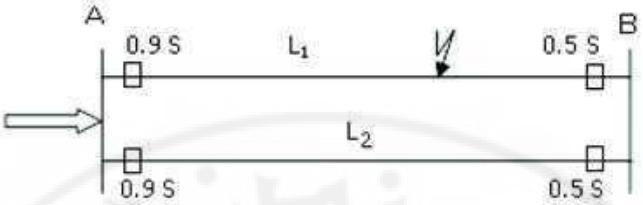
مقدمة:

تتكون معظم أنظمة القدرة الكهربائية من شبكات ذات سويات توتر متعددة ولضمان وثوقية تغذية جيدة يتم اعتماد الشبكات الحلقية، مما يتطلب تنسيقاً جيداً لعمل تجهيزات الحماية لأن نقطة العطل يمكن أن تتغذى من جانبي الخط المعطل، ولذلك فإن حماية خطوط نقل القدرة بإستخدام حاكمة زيادة التيار التي تبدو فعالة في الشبكات الشعاعية لا تكون فعالة في الشبكات الحلقية كما يصعب تنسيق عملها، ولهذا تم البحث عن حواكم أخرى تكون أكثر فاعلية في حماية الشبكات الحلقية وتحقق انتقائية أكبر في عزل المنطقة المعطلة فاستخدمت حماية زيادة االتيار الإتجاهية الزمنية، كما تم من أجل ذلك أيضا استخدام حواكم الحماية المسافية وهذه الحواكم أما أن تكون حواكم رئيسية في حماية خطوط النقل أو تكون ضمن نظام اتصال بين نهايتي الخط، أو ما يسمى بالحواكم الدليلية Pilot relays . [4]

الحواكم المسافية شائعة الاستخدام في الحماية من الأعطال الطورية والأعطال الأرضية على خطوط النقل وبما أنها تعتمد في مبدأ عملها على الممانعة التي تقيسها الحاكمة إلى نقطة العطل فهي لا تتأثر بعدد المولدات المربوطة على الشبكة. تعد الحماية باستخدام الاتصال بين نهايتي الخط أكثر أنظمة الحماية انتقائية ودقة في فصل الأجزاء المعطلة، إلا أن كلفتها عالية لذلك يقتصر استخدامها على الخطوط وأجزاء الشبكة التي تعد فيها الأعطال والاضرار الناتجة عنها باهظة الكلفة.

10-1إستخدام حاكمة التيار الزائد الاتجاهية الزمنية في حماية الخطوط الحلقية

لتوضيح قصور أداء حاكمة الحماية بالتيار الزائد في حماية الشبكات الحلقية نأخذ الشبكة الحلقية البسيطة المبينة بالشكل (1-10) :



الشكل(1-10) تعييرات حواكم التيار الزائد على الشبكات الحلقية

التي تم فيها استخدام حواكم الحماية بالتيار الزائد الزمنية وتم تعييرها كما يلي:

$$t_{BL1} = t_{BL2} = 0.5 \text{ Sec}$$

حيث:

t_{BL1} : زمن تعيير حاكمة الخط الأول عند قضيب التجميع B .

t_{BL2} : زمن تعيير حاكمة الخط الثاني عند قضيب التجميع B .

وبفرض أن الفاصل الزمني بين حاكمتين متتاليتين Δt يساوي إلى 0.4 Sec ، فإن زمن تعيير الحواكم عند قضيب التجميع A يكون كالتالي :

$$t_{AL1} = t_{AL2} = t_{BL1} + \Delta t = 0.5 + 0.4 = 0.9 \text{ Sec}$$

عند حدوث عطل كهربائي على أحد الخطين وليكن الخط الأول L_1 يجب أن تعمل الحاكمة B_{L1} وتعطي أمراً للقاطع الآلي الخاص بها بالفصل، وبعد فترة زمنية (t_{AL1}) تعمل الحاكمة A_{L1} عند قضيب التجميع A على فصل القاطع الآلي الخاص بها بالتالي يعزل الخط الذي حدث عليه العطل من الطرفين، الا أن الحاكمة B_{L2} عند نهاية الخط الثاني والتي زمن تعييرها 0.5 Sec أيضاً تتأثر بالعطل وتعطي إشارة إلى القاطع الآلي الخاص بها بالفصل قبل أن تعمل الحاكمة A_{L1} ،وبالتالي تنقطع التغذية عن قضيب التجميع B نهائياً بهذه الحالة وهذا مالا نرغب به، لذلك لابد من وجود عنصر حماية أخر نستطيع من خلاله التخلص من هذه السلبية. من هنا نلاحظ عدم إمكانية استخدام حواكم التيار الزائد الزمنية في الشبكات الحلقية واقترح لمثل هذه الحالات إستخدام حاكمة التيار الزائد الزمنية العكسية الإتجاهية.

10-2 حاكمة الحماية بالتيار الزائد الزمنية العكسية الإتجاهية

Inverse Time –Lag Over-Current Directional Relay

تتناسب الاستطاعة الحقيقية طردا مع قيم التياروالتوتر والزاوية المحصورة بينهما ويتناسب العنصر الإتجاهي للحاكمة مع إتجاه هذه الاستطاعة اعتماداً على فرق الصفحة بين التيار والتوتر وقيمتهما كما هو مبين في الشكل(2-10) :

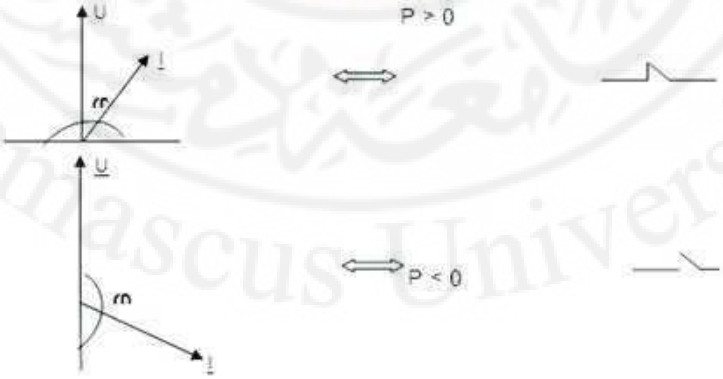


الشكل (2-10) مبدأ عمل العنصر الإتجاهي

حيث يغذى العنصر الإتجاهي بالتوتر والتيار واعتمادا على فرق الصفحة φ بينهما فإنه يعطي الإشارة المناسبة وفق إحدى الحالات التالية:

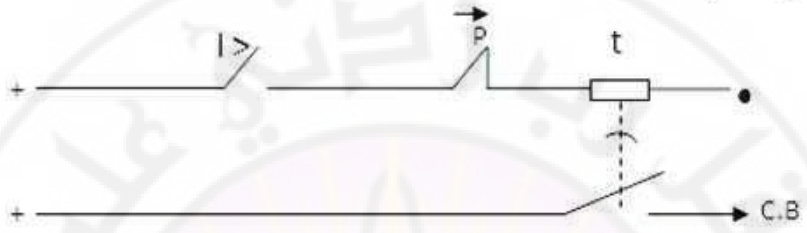
1- إذا كانت الاستطاعة موجبة فإن العنصر الإتجاهي يعطي إشارة لأن التماس مغلق طبيعيا دون أن تعطى إشارة للقاطع الآلي بالفصل في حالة العمل العادية .

2- إذا كانت الاستطاعة سالبة وذلك بالاعتماد على فرق الصفحة مابين التوتر والتيار فإن تماس عنصر الإتجاه لا يعطي إشارة لأن التماس مفتوح، وذلك كما هو موضح في الشكل (10- 3)



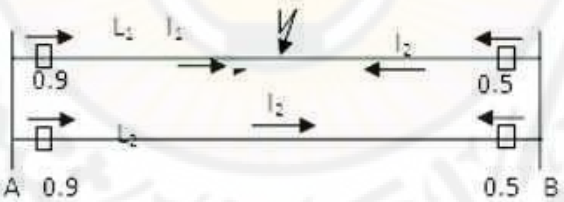
الشكل (3-10) حالتا الاستطاعة الموجبة والسالبة إعتمادا على فرق الصفحة φ

عند حدوث عطل كهربائي فإن تماس عنصر زيادة التيار سوف يغلق ويبقى تماس عنصر الاتجاه مغلقا لكون إتجاه الاستطاعة صحيحا، وبالتالي تعطى إشارة للقاطع بالفصل، وذلك بعد انقضاء الفترة الزمنية المعير عليها العنصر الزمني كما هو مبين في الشكل (4-10)



الشكل (4-10) مبدأ عمل الحاكمة

وعندما تقع الزاوية بين التوتر والتيار ضمن المجال $90 < \varphi < 270$ يفتح عنصر الاتجاه تماسه رغم عمل عنصر زيادة الشدة بسبب حدوث العطل، وبالتالي لا يعمل عنصر الفصل ولايعطي أمراً للقاطع الآلي بالفصل، وبالعودة مرة أخرى إلى الشبكة الحلقية البسيطة السابقة واستخدام حاكمة الحماية بالتيار الزائد الاتجاهية الزمنية كما في الشكل (5-10) :



الشكل (5-10) شبكة حلقية بسيطة

وعلى فرض أن زمن عمل حاكمات خطي النقل L_1 , L_2 عند قضيب التجميع B هو :

$$t_{BL1} = t_{BL2} = 0.5 \text{ Sec}$$

وأن الفاصل الزمني $\Delta t = 0.4$ ، وبالتالي فإن زمن عمل الحواكم عند قضيب التجميع A يساوي:

$$t_{AL1} = t_{AL2} = 0.9 \text{ Sec}$$

عند حدوث عطل كهربائي على الخط الأول فإن العطل سيغذى بتيارين هما I_1 , I_2 كما يبينهما الشكل (5-10)، وبالتالي فإن الحاكمة BL_1 التي تقع على جانب خط النقل الذي

حدث عليه العطل تعمل لكون التيار المار موافقاً للاتجاه المعير عليه عنصر الاتجاه وبالتالي ستعطي أمراً للقاطع الآلي الخاص بها بالفصل بعد فترة زمنية قدرها t_{BL1} ، وكذلك الحماية t_{AL1} في بداية الخط الذي حدث عليه العطل من جهة قضيب التجميع A ستعمل لكون التيار المار بها كبيراً وبنفس الاتجاه المعير عليه عنصر الإتجاه معطية إشارة للقاطع الآلي بالفصل بعد فترة زمنية t_{AL1} .

في حين أن الحاكمة عند طرف الخط الثاني BL_2 والموجودة على قضيب التجميع B التي زمن عملها أصغر من زمن الحاكمة المركبة عند بداية الخط الذي حدث عليه العطل t_{AL1} لا تعمل رغم أن التيار المار فيها I_2 كبير لأن اتجاهه مخالف للاتجاه المعير عليه عنصر الاتجاه وبالتالي لا تسمح بمرور الإشارة إلى الملف المتعلق بإعطاء إشارة الفصل للقاطع الآلي كما هو موضح في الشكل(6-10).



الشكل (6-10) تأثير تماس عنصر الإتجاه على أمر الفصل للقاطع الآلي

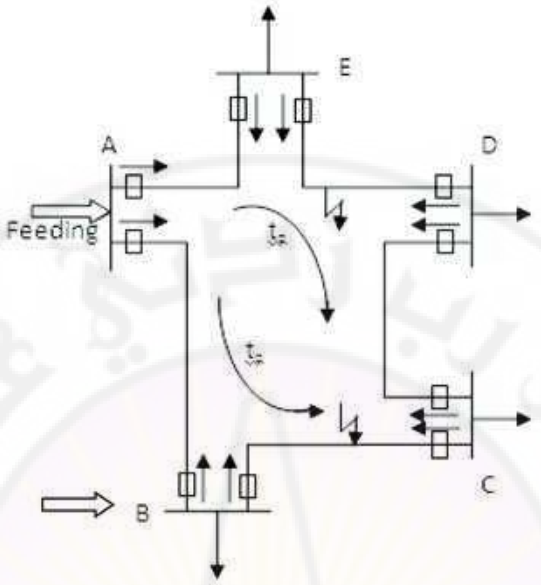
حيث:

P_{net} : استطاعة الشبكة الكهربائية.

وبذلك يتم حجز خط النقل الذي حدث عليه العطل فقط تبقى التغذية بين قضيبي التجميع A و B مستمرة عن طريق الخط الآخر.

مثال(1-10)

لتكن لدينا الشبكة الحلقية المبينة في الشكل (7-10) التي استخدمت فيها حاكمة الحماية بالتيار الزائد الزمنية الإتجاهية والمطلوب حساب أزمنة تعيير الحواكم المناسبة وذلك لحماية الشبكة وعلى فرض أن الفاصل الزمني $\Delta t = 0.4$ S .

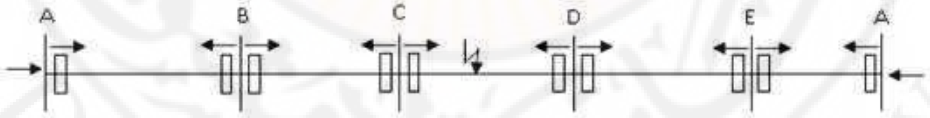


الشكل (7-10) حمايات بالتيار الزائد إتجاهية لشبكة حلقية

يتبين من الشكل أنه عند حدوث أي عطل كهربائي على أي جزء من أجزاء الشبكة، فإن التيارات المغذية للعطل ستمر عبر جميع الخطوط وقضبان التجميع.

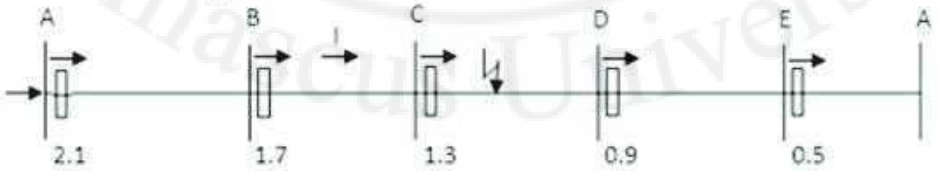
لتحديد أزمنة عمل الحواكم نقوم بالخطوات التالية :

1-نعيد رسم الشبكة بعد قطعها عند قضيب التجميع A وفردها كما هو مبين في الشكل (8-10) :



الشكل(8-10) شبكة المثال مفرودة

2-نفترض أن التغذية قادمة من جهة قضيب التجميع A فقط كما في الشكل (9-10).



الشكل(9-10) شبكة المثال مغذاة من جانب قضيب التجميع A فقط

هذه هي حالة شبكة شعاعية، وسوف نقوم بحساب أزمنة التعيير للحواكم المبينة بالشكل مفترضين أن t_E معلوم وقيمته مساوية إلى $t_E = 0.5$ Se وبالتالي فإن:

$$t_D = t_E + \Delta t = 0.9 \text{ Sec}$$
$$t_C = t_D + \Delta t = 1.3 \text{ Sec}$$

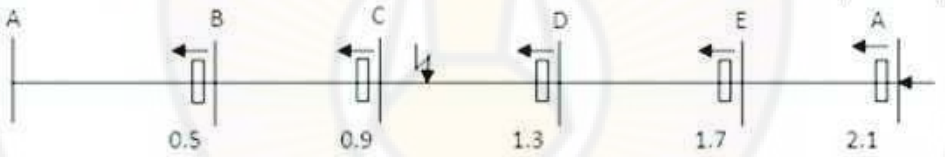
بشكل مماثل نحصل على قيم الأزمنة لبقية الحواكم (B , A) المبينة في الشكل السابق.

على فرض أن عنصر الاتجاه للحواكم معير على الاتجاه ( ) كما في الشكل فإنه عند حدوث عطل كهربائي على خط النقل (CD) فإن الحاكمة عند قضيب التجميع C تعمل على فصل القاطع الآلي الخاص بها بعد فترة زمنية قدرها 1.3 S .

3-نفترض الأن أن التغذية قادمة من الطرف الأيمن وبفرض أن t_B زمن عمل الحاكمة الموجودة عند قضيب التجميع B مساويا إلى $t_B = 0.5$ Sec فإن:

$$t_C = t_B + \Delta t = 0.5 + 0.4 = 0.9 \text{ Sec}$$

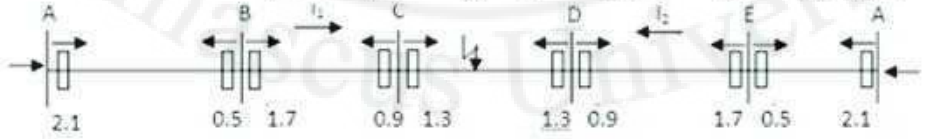
وبنفس الطريقة نحصل على قيم أزمنة تعيير الحواكم كما هو موضح في الشكل (10-10):



الشكل(10-10) أزمنة الحواكم عند التغذية من الجانب الأيمن فقط

عند حدوث عطل كهربائي على خط النقل (CD) فإن الحاكمة الموجودة عند قضيب التجميع D والتي يمر فيها تيار العطل بإتجاه موافق لاتجاه عنصر الاتجاه والموجود في الحاكمة تعمل على فصل القاطع الآلي بعد فترة زمنية 1.3 Sec وبهذا يتم عزل العطل من جهة قضيب التجميع D .

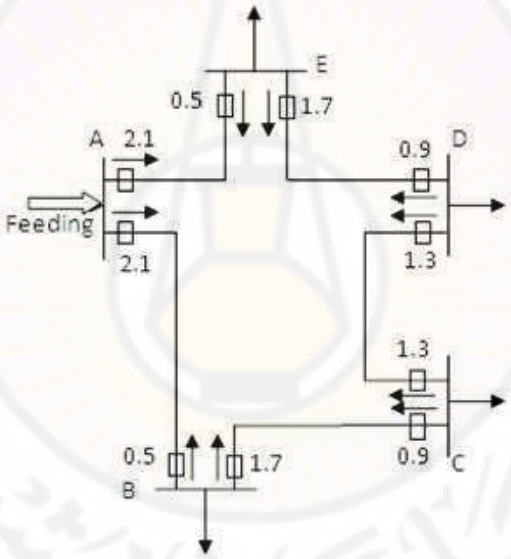
4-نقوم بدمج الحالتين السابقتين فنحصل على الشكل (10-11)



الشكل (10-11) تعيير الحواكم إستنادا إلى دمج الحالتين السابقتين

كما نلاحظ من هذا الشكل أنه عند حدوث العطل الكهربائي على خط النقل ($\overline{CD}$) فإن الحاكمتين C و D الموجودتين على جانبي خط النقل الذي حدث عليه العطل تعملان نتيجة مرور تيار مغذٍ للعطل من الطرفين (I_1 وI_2)، وبنفس الاتجاه المعير عليه عنصر الاتجاه للحاكمتين وتعطي أمراً للقواطع الآلية الخاصة بها بالفصل وحجز العطل دون أن تعمل بقية الحواكم للنظام على فصل قواطعها الآلية وبهذه الحالة تم عزل الخط الذي حدث عليه العطل دون أن تتأثر بقية الخطوط الأخرى .

5- نقوم الآن برسم الشكل النهائي للشبكة كما كانت في السابق محددين عليها أزمنة عمل الحواكم والاتجاهات التي تعمل بها كما هو مبين في الشكل(12-10).



الشكل (12-10) التعييرات النهائية لحواكم الحماية بالتيار الزائد للشبكة

نلاحظ من هذا المثال أنه في الشبكة الحلقية نستخدم حماية زيادة التيار الاتجاهية الزمنية وفي حالة شبكة شعاعية فإننا نستخدم الحماية بالتيار الزائد الزمنية ولكن لننظر إلى أزمنة تعير الحواكم وخاصة عند قضيب التجميع A فنلاحظ أن التأخير الزمني يصل إلى $t = 2.5\ s$ وهذا زمن كبير نسبياً وينتج عن ذلك أنه لو حصل عطل قريب من المحطة فإن استمراره سيؤدي إلى حدوث مشاكل في الشبكة ريثما يتم صدور أمر الفصل وهذا غير مرغوب به، وعندما يصبح النظام حلقياً فإن تنسيق حواكم الحماية بالتيار

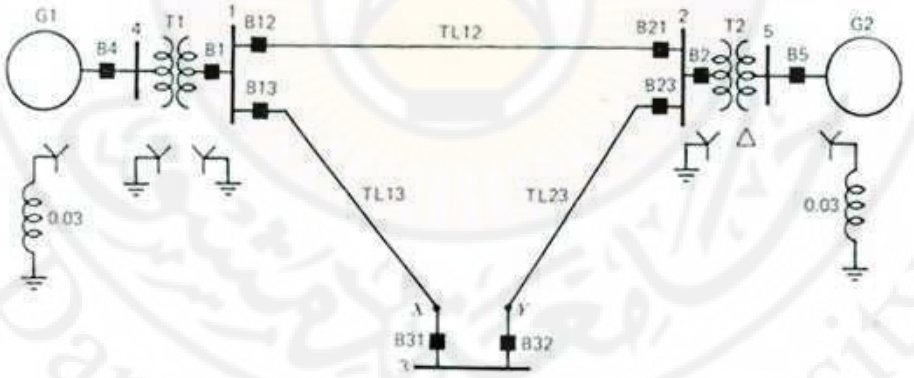
الزائد الزمنية يصبح أمرا صعبا وفي بعض الحالات يكون مستحيلا، ولذلك لا بد من اللجوء إلى استخدام عنصر حماية جديد يعطي شروط عمل أفضل يستطيع عزل العطل بسرعة.

من أجل الشبكات الحلقية المغذاة من منبعين فإنها تعامل بنفس طريقة الشبكة الحلقية المغلقة ولا بد من استخدام حواكم حماية بالتيار الزائد الاتجاهية لحماية وذلك لتحقيق الانتقائية في عملية الفصل كما هو موضح في المثال التالي.

مثال(2-10)

نظام قدرة كهربائية مبين في الشكل (13-10) مكون من شبكة كهربائية مكونة من ثلاثة خطوط نقل متصلة مع بعضها من خلال ثلاثة قضبان تجميع او 2 و3 ومغذاة بالقدرة الكهربائية من محطتي توليد G1 و G2 عن طريق محولي رفع T1 و T2 وعلى فرض حدوث عطل عند النقطة X من نظام القدرة والمطلوب:[29]

تنسيق حواكم الحماية الست المستخدمة لحماية خطوط نقل القدرة الكهربائية عند القواطع الالية B32,B23,B31,B13,B21,B12.



الشكل(13-10) دراسة تنسيق حواكم الحماية لنظام قدرة حلقي

عند حدوث العطل تتحسس القواطع B31 و B32 لنفس التيارات وكذلك B23 الا أننا نرغب أن يعمل القاطعين B31 و B13 لفصل العطل وألا يعمل القاطع B32 لأن ذلك سوف يسبب خروج Bus3 من الخدمة، ولذلك يمكننا باستخدام حواكم الحماية بالتيار الزائد بتأخير زمني أن نعير الحاكمة B31 لتكون بزمن أقل من زمن الحاكمة B32.

لنأخذ الأن بالإعتبار عطل عند النقطة Y. يجب أن يعمل القاطع B32 قبل B31، ثم يفصل بعد ذلك القاطع B23. هذا التناقض يجعل تنسيق حواكم الحماية بالتيار الزائد بتأخير زمني أمرا مستحيلا في الشبكات الحلقية المغذاة من الجانبين بحيث أن أعطال الخط لا تسبب خروج قضيب التجميع 3 من الخدمة. هذه المسألة يمكن التغلب عليها بإستخدام حواكم حماية بالتيار الزائد زمنية إتجاهية عند القواطع B32,B23,B31,B13,B21,B12 وفق ما يلي:

يعير إتجاه الحاكمة B13 من قضيب التجميع1 إلى الخط

يعير إتجاه الحاكمة B31 من قضيب التجميع3 إلى الخط

يعير إتجاه الحاكمة B23 من قضيب التجميع2 إلى الخط

يعير إتجاه الحاكمة B32 من قضيب التجميع3 إلى الخط

يعير إتجاه الحاكمة B21 من قضيب التجميع2 إلى الخط

يعير إتجاه الحاكمة B12 من قضيب التجميع1 إلى الخط

سوف يفصل العطل في النقطة X وفق مايلي:

B13 تتحسس بسبب مرور تيار العطل القادم من المولدG1 عبرها وتستجيب لأن إتجاهه موافق لإتجاه الحاكمة

B31 تتحسس بسبب مرور تيار العطل القادم من المولدG2 عبرها وتستجيب لأن إتجاهه موافق لإتجاه الحاكمة

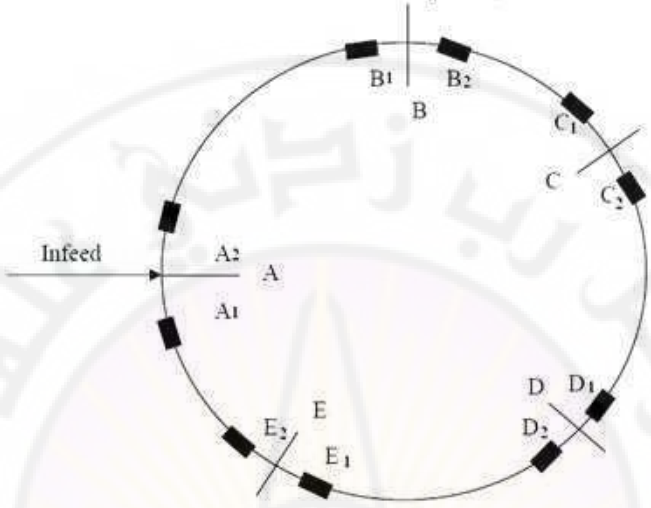
B32 تتحسس بسبب مرور تيار العطل القادم من المولد G2 عبرها ولا تستجيب لأن إتجاهه غير موافق لإتجاه الحاكمة

B23 تتحسس بسبب مرور تيار العطل القادم من المولد2 عبرها وإتجاهه موافق لإتجاه الحاكمة، ولا تستجيب باعتبار أن تأخيرها الزمني أعلى من التأخير الزمني لحاكمة B31.

مثال(3-10)

تمت حماية نظام القدرة الكهربائية الحلقي المبين بالشكل (14-10) والمغذى بالقدرة الكهربائية من منبع واحد عند تردد 50 Hz باستخدام حواكم حماية بالتيار الزائد زمنية

اتجاهية والمطلوب تحديد الأزمنة المناسبة لهذه الحواكم لتحقيق التنسيق والانتقائية إذا علمت أن زمن الفصل للقاطع الآلي 5 دورات وهامش الخطأ 0,3 Sec



الشكل(14-10) نظام قدرة حلقي مغذى من منبع واحد

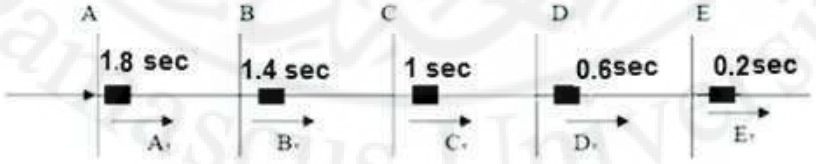
الحل:

نفتح الشبكة الحلقية عند عقدة التغذية في A لتحويلها إلى خطي تغذية شعاعيين أحدهما من اليسار إلى اليمين والآخر من اليمين إلى اليسار كما هو مبين في الشكلين أ و ب.

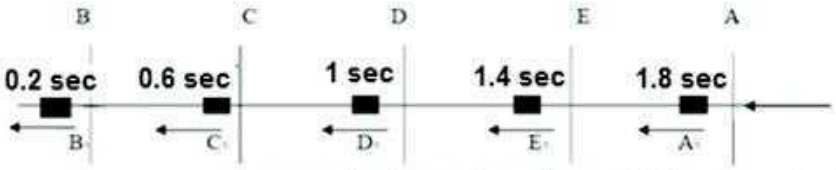
زمن الفصل للقاطع الآلي: 5/50=0.1 sec

الفاصل الزمني الكلي 0.3 + 0.1 = 0.4 sec واستنادا الى ذلك يمكننا كتابة الأزمنة المتدرجة

كما هو مبين في الشكلين(15-10) و (16-10).

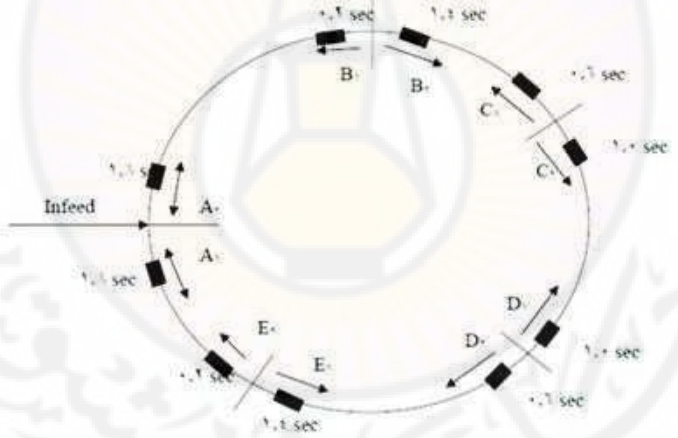


الشكل(10-15) تغذية شعاعية من اليسار إلى اليمين



الشكل (16–10) تغذية شعاعية من اليمين إلى اليسار

بإستخدام هامش زمني مقداره 0.4 sec بين حواكم الحماية فإن قيم التدرج الزمني تكون 0.2, 0.6, 1, 1.4, and 1.8 sec وتشير الأسهم عند كل حاكمة إلى إتجاه الفصل كما هو مبين في الشكل (17–10) أما عند نقطة قضيب التجميع A فإن التغذية تسري بإتجاه واحد فقط من المنبع ولذلك لاحاجة لإستخدام حواكم إتجاهية عند A1 و A2 أما من أجل الحواكم عند قضبان التجميع الأخرى فإننا نركب عند كل قضيب تجميع حاكمتين متعاكستين ويمكن أن يكون لهما زمنين مختلفين.



الشكل(17–10) التدرج الزمني لحواكم شبكة حلقية مغذاة من منبع واحد

مثال(4–10)

يبين الشكل (10–18(a)) نظام قدرة كهربائية ثلاثي الطور حلقي يعمل تحت توتر 11 kV وتردد 50 Hz مغذى من منوبة ثلاثية الطور استطاعتها 10MVA ومفاعلتها 16.5%. تم استخدام حواكم حماية بالتيار الزائد ذات خواص زمنية عكسية عند القواطع S1,S2,S3,S4 من النظام فإذا علمت أن :

-نسبة تحويل محولات التيار المغذية لهذه الحواكم تساوي 250/5 ، وأن زمن الفصل للقاطع الآلي 5 دورات، وهامش الزمن 0,3 Sec.

-مفاعلات عناصر النظام مبينة على الشكل (10-18(a)) وخواص حواكم الحماية المستخدمة مبينة على الشكل(10-18(b)) (المنحني السفلي للحاكمة S3 والمنحني العلوي للحواكم الثلاثة S1,S2,S4).

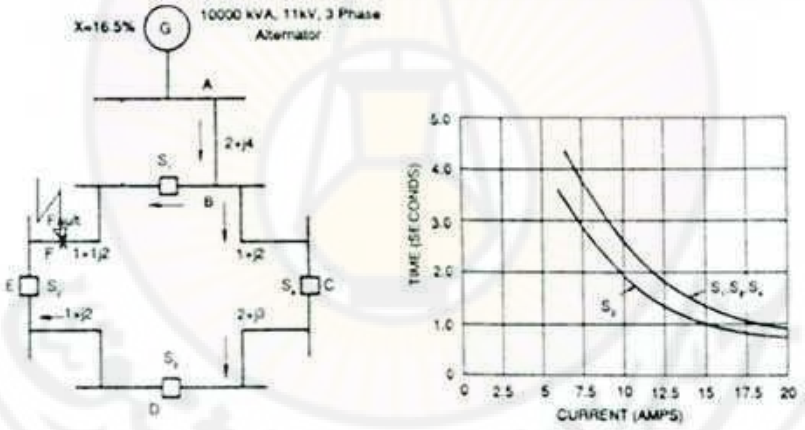
حدث عطل ثلاثي الطور عند النقطة x من نظام القدرة والمطلوب:

1-احسب التيار المار في حاكمة التيار الزائد للقاطع S1(الحاكمة العلوية)

2-احسب التيار المار في حاكمة التيار الزائد للقاطع S2(الحاكمة اليسارية)

3-احسب ازمنة الفصل للحاكمتين في S1 و S2.

4-احسب أزمنة التعيير للحاكمتين S3 و S4.



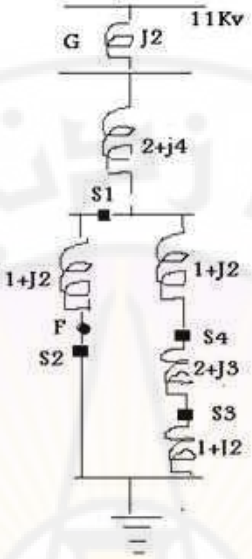
شكل a

شكل b

الشكل(18-10) نظام قدرة حلقي مغذى من نقطة واحدة وخواص الحواكم المستخدمة

الحل:

يمكن تمثيل الدارة المكافئة لنظام القدرة كما في الشكل(19-10):



الشكل(19-10) الدارة المكافئة لنظام القدرة

التيار الاسمي للمولد:

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} \times V} = \frac{10 \times 10^6}{\sqrt{3} \times 11 \times 10^3}$$

$$= 524.863 \text{ A}$$

مفاعلة المولد:

$$x_g = 16.5\% \times \frac{11^2}{10} = 2\ \Omega$$

ممانعة مسار العطل:

$$Z_{eq}=(2+j6)+[(1+j2)//(1+j2)+(2+j3)+(1+j2)] =$$

$$Z_{eq} = 2.8 + j\ 7.55\ \Omega$$

التيار الكلي الذي سيقدمه المولد:

$$I = \frac{11 \times 10^3}{\sqrt{3} \times (2.8 + j\ 7.55)} = 788.63 \angle -70^o A$$

$$I_{sec} = \frac{788.63}{\frac{250}{5}} = 15.77\ A$$

من قاعدة مجزيء التيار فإن التيار المار في القاطع S1:

$$I_1 = 15.77\frac{4+j7}{5+j9} = 12.35\angle 70^o\ A$$

التيار المار في القواطع S2,S3,S4 :

$$I_2 = 15.77\frac{1+j2}{5+j9} = 3.42 + j0.14 = 3.425\angle 298^o A$$

يقابل التيار $I_1 = 12.35$ A من المنحني الخاص بالحماية **S1** زمن فصل الحاكمة ومقداره 1.6 Sec .

زمن فصل القاطع الآلي: $t = 1/f = 5x1 / 50 = 0.1$ sec

وبالتالي فإن الزمن الكلي اللازم لفصل العطل من هذا الجانب:

T_1=1.6 sec +0.3 sec + 0.1 sec = 2 sec

بعد فصل العطل من جانب S1 تستمر تغذية تيار العطل من جانب S2,S3,S4 من خلال ممانعة مكافئة مقدارها :

Z_{eq} = 4+j7+2+j6 = 6+j13 Ω

وتيار مقداره:

$$I_2 = \frac{11.10^3}{\sqrt{3}(6+j13)} = 443.56\angle -65^o\ A$$

$$I_{2sec} = \frac{443.56}{\frac{250}{50}} = 8.87A$$

من منحني الخواص للحاكمة S_2 يقابل التيار **I_2 = 8.87 A** زمن فصل للحاكمة **S2** مقداره **2,7 S** ، وبالتالي فإن زمن الفصل الكلي للعطل من جانب **S2** يساوي :

T_2=2.7 sec+0.3 sec+0.1 sec= 3.1 sec

أزمنة التعيير للحاكمتين **S1,S2** تحسب بإضافة هامش الخطأ وزمن فصل القاطع الآلي:

$T_3 = Ts_2 + \Delta t + t_{Br}$ = 3.1 sec+ 0.3+ o.1 = 3.5 sec

$T_4 = Ts_3 + \Delta t + t_{Br}$ = 3.5 sec+ 0.3+ o.1 = 3.9 sec

3-10 خواص حواكم الحماية الإتجاهية

انطلاقا من المعادلة العامة للحوا كم:[29]

$$T = K_a \cdot A^2 + K_b \cdot B^2 + K_c \cdot A \cdot B \cdot \cos(\theta - \tau) - K_s \qquad (10\text{-}1)$$

لكي تعمل حاكمة حماية ذات دخلين حاكمة إتجاهيةً نستطيع أن نكتب:

Ka= Kb= Ks = 0

A = A∟0 = V

$B=B\angle -\theta = I$
$T = 90°$

عندها تصبح المعادلة العامة للحوا كم كما يلي:

$$T = K_c \cdot V \cdot I \cdot \cos(\theta - 90)$$
$$T = K_c \cdot V \cdot I \cdot \sin(\theta) \qquad (10\text{-}2)$$

بالتعريف :

$$Z = \frac{V}{I} = \frac{V\angle 0}{I\angle -\theta} = Z\angle\theta \qquad (10\text{-}3)$$

حيث:

Z : قيمة عقدية وهي بالتأكيد ليست ممانعة عنصر وحيد، وتصبح أكثر تعقيدا عندما نعد أن الأعطال ما عدا العطل الثلاثي سوف تسبب عدم التوازن لتيارات وتوترات الأطوار.

سوف نفكر بـ Z على أنها تابع رياضي معرف بالمعادلة:

$$Z = Z\angle\theta = Z(\cos(\theta) + j \cdot \sin(\theta)) = R + jX \qquad (10\text{-}4)$$

وبالعودة إلى المعادلة:

$$T = K_c \cdot V \cdot i \cdot \sin(\theta) \qquad (10\text{-}5)$$

وباعتبار أن $T \geq 0$ لكي تعمل الحاكمة وبتقسيم المعادلة على $K_c.I^2$ نحصل على:

$$\frac{V}{I}\sin(\theta) \geq 0 \Rightarrow Z\sin(\theta) \geq 0 \Rightarrow X \geq 0 \qquad (10\text{-}6)$$

وهذا يعني أن الحاكمة سوف تعمل من أجل أية قيمة موجبة لـ X .

عندما تتوضع الحاكمة في منتصف خط النقل وعلى فرض حدوث عطل ثلاثي الطور على يمين الحاكمة نجد أن:

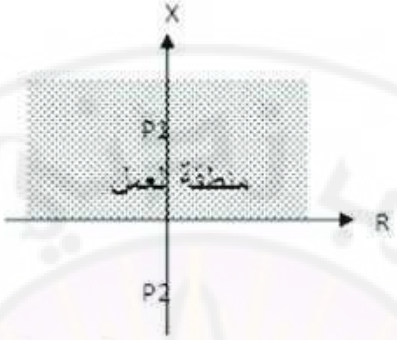
$$V/I = +JX \qquad (10\text{-}7)$$

ومن أجل عطل على اليسار ينتج:

$$V/I = -JX \qquad (10\text{-}8)$$

في مخطط Z فإننا نعمل عند P1 في الحالة الأمامية وعند P2 في الحالة الثانية، كما في الشكل(20-10). لذلك فإن الحاكمة تستجيب للأعطال على يمين خط النقل الذي تقوم

بحمايته وليس على يساره ، وفي هذه الحالة فإن الحاكمة " اتجاهية " ويمكن أن تكون مفيدة في تحقيق الانتقائية لأغراض التنسيق.

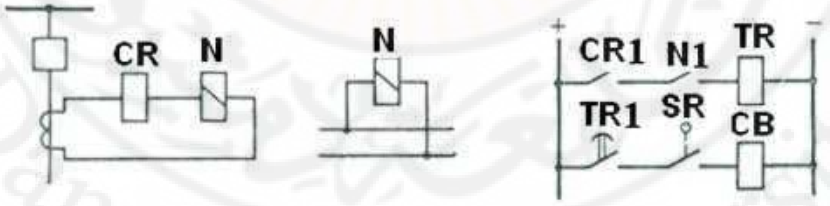


الشكل(20-10) مناطق عمل حاكمة الحماية الإتجاهية

10-4 عناصر ودارات حاكمة الحماية بالتيار الزائد الإتجاهية

باختيار مناسب نلاحظ أن كلتا حاكمتي زيادة التيار والاتجاهية يجب أن ترى العطل قبل أن تسمح للقاطع بالفصل إذ إن إتجاه العمل يضبط بقطبية الحاكمة ويشار إليه بنقاط. نتيجة لذلك فإن علامات القطبية على كافة العناصر مهمة وأن تفهم معناها بوضوح حاكمة الاتجاه تسمى أيضا في بعض الأحيان حاكمة المفاعلة.

يبين الشكل (10- 21) الدارة المبسطة للحماية الاتجاهية وهي تتكون من عنصر إقلاع CR وعنصر اتجاه N ومن عنصر تأخير TR.



أ-دارة التحكم ب-دارة التغذية بالتوتر ج-دارة التغذية بالتيار

الشكل(21-10) الدارة المبسطة للحماية الاتجاهية

تطبق الإشارة على حاكمة الزمن KT بشكل مباشر، في حين أن الإشارة الموجبة قادمة عن طريق حاكمة التيار الزائد وحاكمة الاتجاه وعندما تحدث زيادة التيار ويتطابق الاتجاه

للتيار بحيث يكون خارجا من قضيب التجميع إلى الخط تتحرض الحاكمة الزمنية وتغلق تماسها CR1 بعد تأخير زمني معين فيتم تطبيق القطبية الموجبة على وشيعة الفصل عبر تماس مساعد SQ الذي يغلق في أثناء العمل ويفصل عند فتح القاطع وله وظيفتان:

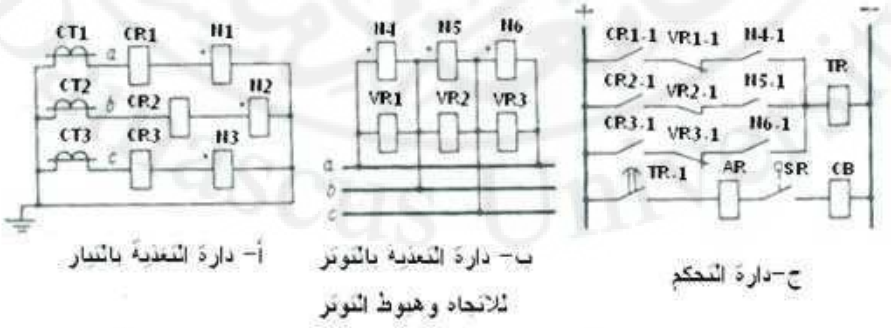
الأولى : حماية تلامس الحاكمة الزمنية لأنها لا تتحمل تيار الفصل والوصل للوشيعة.

الثانية : حماية وشيعة الفصل من العطل عندما يفتح هذا التلامس.

يفضل أن تكون حواكم الإقلاع بالتيار محمية من تيار الحمولة الأعظمي المار في الخط ليس فقط باتجاه عمل الحماية من قضيب التجميع إلى الخط وإنما من الخط إلى قضيب التجميع.

عند حدوث قصر ثلاثي الطور بالقرب من قضبان التجميع للمحطة حيث تتوضع الحماية بالتيار الزائد الاتجاهية ينخفض التوتر على القضبان إلى الصفر أو إلى قيمة قريبة من الصفر ولذلك لن تعمل حاكمة الاستطاعة الاتجاهية ويسمى الجزء من الخط الذي لا تعمل ضمنه الحاكمة في هذه الحالة بالمنطقة الميتة وهذه أهم مساوئ حاكمة التيار الزائد الاتجاهية.

تختلف دارات الحماية بالتيار الزائد الاتجاهية عن بعضها البعض حسب نوع عنصر الإقلاع وهي إما أن تكون ذات إقلاع بالتيار كما ورد في الأشكال السابقة، أو الإقلاع بالتيار مع دارة حجز التوتر الأصغري المبينة في الشكل (22-10). تختلف الدارات عن بعضها بطريقة تطبيق التوتر على حاكمة الاستطاعة الاتجاهية حيث يكون أما دائما أو لحظة حدوث العطل.



الشكل(22-10) الحماية الاتجاهية بالتيار مع دارة حجز التوتر الأصغري

يقصد بدارة حاكمة الاستطاعة الإتجاهية وضع زاوية الطور بين التيار الداخل في الحاكمة والتوتر المطبق عليها, وعلى الحاكمة تحديد اتجاه الاستطاعة بشكل صحيح عند حدوث القصر على الشبكة التي تتوضع عليها الحاكمة. وكلما كانت الاستطاعة التي تقيسها الحاكمة لحظة حدوث القصر كبيرة عملت الحاكمة بشكل أكثر وثوقية وكلما كانت المنطقة الميتة dead zone للحاكمة أصغر، تأخذ حاكمة الاستطاعة الاتجاهية بعين الاعتبار التوصيل بزوايا طور مختلفة للتيار والتوتر وبارتباط يضمن التحديد الصحيح لاتجاه الاستطاعة في حالات القصر. وأكثر الدارات انتشارا هي 30° و 90° .

يتم حساب توتر العمل لحاكمة التوتر بموجب العلاقة :

$$U_{OP} = \frac{U_{N\min}}{K_t.K_r} \qquad (10\text{-}9)$$

حيث:

U_{Nmin} توتر التشغيل الأصغري.

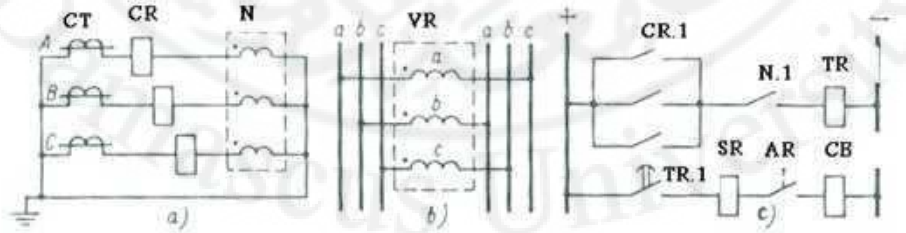
K_r عامل الرجوع.

K_t عامل الوثوقية.

بأخذ نسبة تحويل محول التوتر n_v بالاعتبار فإن توتر التشغيل على الثانوي يعطى بالعلاقة:

$$U_{OP} = \frac{U_{N\min}}{K_t.K_r.n_v} \qquad (10\text{-}10)$$

يبين الشكل (10-23) دارة الحماية من القصر بين الأطوار ومن القصر الأحادي.



الشكل (10-23) دارة الحماية بالتيار الزائد من القصر الأحادي الطور

تستخدم حاكمة الحماية بالتيار الزائد على الشبكات النجمية المؤرضة المغذاة من الجانبين وعلى الأطوار الثلاثة وتكون في هذه الحالة إتجاهية . إن إستخدام حواكم تيار على الأطوار الثلاثة يجعل حاكمة الحماية تعمل ليس فقط عند حدوث قصر بين الأطوار، وإنما أيضا عند حدوث قصر أحادي الطور، وبما أن تيار التشغيل لهذه الحاكمة محسوب بأخذ تيار الإقلاع الذاتي بالاعتبار وتحقيق شرط ألا تعمل الحاكمة عند مرور تيار الحمولة الأعظمي، فإنها قد تكون

غير حساسة بشكل كاف للقصر الأحادي الطور، ولذلك يفضل استخدام دارة مرشح المركبة الصفرية لضمان حساسية عالية عند حالات القصر الأحادي.

نتيجة لعدم تطابق مواصفات محولات التيار فإن محصلة التيارات الثانوية عند مرور تيار الحمولة العادية أو القصر الثنائي أو الثلاثي الطور المتناظر تكون غير مساوية الصفر، ولذلك سيمر في الحاكمة تيار يسمى تيار عدم التوازن ويساوي محصلة تيارات المغنطة لمحولات التيار أي:

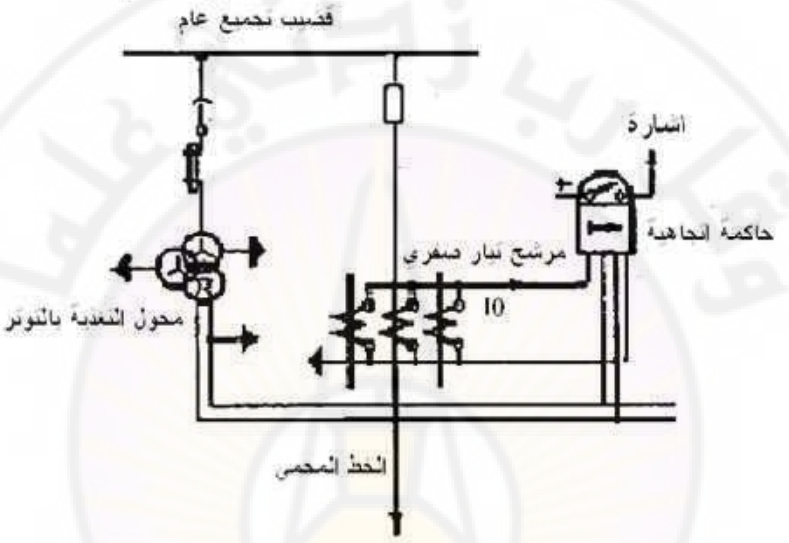
$$I_{total} = Ia_{mag} + Ib_{mag} + Ic_{mag} \qquad (10\text{-}11)$$

عند مرور تيارات الحمولة يكون لتيار عدم التوازن قيمة صغيرة، ولكنه يزداد بشكل كبير عند حدوث قصر بين الأطوار ما قد يسبب عملاً غير متوقع للحماية من القصر الأحادي.

10-5 استخدام الحاكمة الاتجاهية والمرشحات الصفرية في حماية الخطوط الشعاعية من الأعطال الأحادية

تستخدم لحماية الخطوط الكهربائية من الأعطال الأحادية حواكم اتجاهية تتحسس للمركبات الصفرية للتيار والتوتر بحيث تتحقق الانتقائية وتحديد فيما إذا كان العطل واقعا داخل المنطقة المحمية أو خارجها.[29]

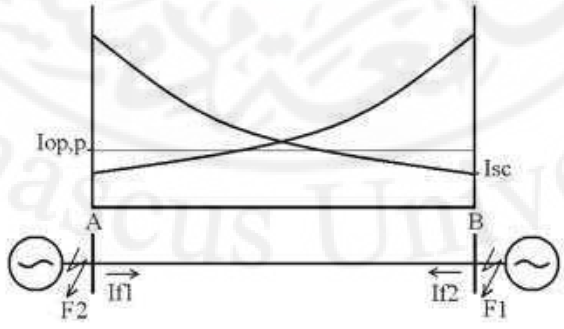
تغذى وشيعة التيار للحاكمة الاتجاهية عن طريق مرشح المركبة الصفرية للتيار، كما تغذى وشيعة التوترلها عن طريق مرشح المركبة الصفرية للتوتر. يبين الشكل (10– 24) دارة الحماية من الأعطال الأحادية باستخدام الحاكمة الاتجاهية التي يمكن أن تعمل عندما يتغير فرق الصفحة بين التيار والتوتر المغذيين لوشائع الحواكم.



الشكل(10– 24) الحماية من الأعطال الأحادية باستخدام حاكمة اتجاهية ومرشح الصفري

10–6 حماية القطع بالتيار الزائد للخطوط المغذاة من جانبين

لكي تعمل حماية القاطع الزائد بشكل انتقائي على الخطوط المغذاة من جانبين كما في الشكل(25–10)



الشكل(25–10) حاكمة القطع بالتيار الزائد الإتجاهية

يتم تحديد تيارات التشغيل لحاكمة القطع بالتيار الزائد استنادا إلى القيمة الأعظمية لتيار القصر المار في الخط عند حدوث قصر على قضبان تجميع إحدى محطات التحويل, فإذا كان التيار Ifl أكبر تيار مار في الخط عند حدوث القصر في النقطة fl فإن تياري التشغيل لحاكمتي الحماية عند A و B يجب أن يكونا متساويين ويحسبان إستنادا إلى العلاقة:

$$I_{OP,A} = I_{OP,B} = K_t \cdot I_{fl} \qquad (10\text{-}12)$$

يتم تحديد مناطق عمل حماية القطع بالتيار الزائد بشكل بياني عن طريق تقاطع المستقيم الموافق لتيار التشغيل t_{op} مع منحنيات تعيير تيارات القصر.

إضافة إلى الشروط المذكورة لاختيار تيار التشغيل لحماية القطع بالتيار الزائد للخطوط المغذاة من جانبين يجب أن يكون تيار التشغيل أكبر من القيمة الأعظمية لتيار القصر على قضبان التجميع المقابلة وعدم السماح للحماية بالعمل عند القيمة الأعظمية لتيار التأرجح (الاهتزاز) الناتج عن خلل في الاستقرار أو الربط المتزامن للمولدات، وعند ذلك تصبح علاقة تيار العمل للحاكمة كما يلي :

$$I_{OP,P} = K_t \cdot I_{SW\max}$$

$$I_{OP,S} = \frac{K_t \cdot K_{sh} \cdot I_{SW\max}}{n_C} \qquad (10\text{-}13)$$

حيث: I_{swmax} تيار التأرجح الأعظمي.

لا نحتاج في حماية القطع بالتيار الزائد إلى حاكمة زمنية كما هو الحال في حاكمة التيار الزائد.

10-7 المنطقة الميتة الإتجاهية Directional Dead Area

قد تؤدي الأعطال القريبة من موضع الحاكمة إلى هبوط التوتر إلى قيمة قريبة من الصفر فلا تعود الحاكمة قادرة على تقدير ما إذا كان العطل بالاتجاه الأمامي أم الخلفي. ولتمكين الحاكمة من تحديد الاتجاهية بصورة دقيقة يتم حساب المفاعلة باستخدام عينات توتر ماقبل العطل وعينات تيار مابعد العطل، ويمكن تحقيق ذلك بتأخير عينات التوتر

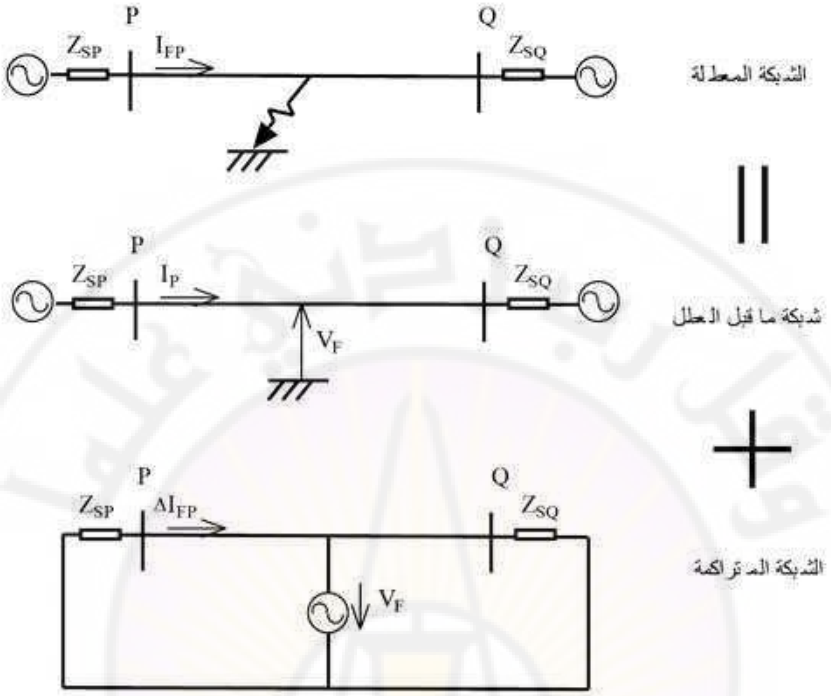
في الذاكرة لمدة تساوي عدة أدوار، وتكون المفاعلة المقاسة موجبة من أجل الأعطال الأمامية وسالبة من أجل الأعطال العكسية.

10-8 حواكم المقارنة الإتجاهية Directional comparison relays

تستخدم الحواكم الاتجاهية المتوضعة على جانبي خط النقل لتحديد ما إذا كان العطل داخل الخط المحمي أو خارجه ، وقد طورت حواكم الحماية الرقمية عمل حاكمة المقارنة الاتجاهيه بإستخدامها للمركبات المتراكمة (superimposed components)، وميزة هذه الطريقة هي أنه يمكن اتخاذ القرارات الاتجاهية الصحيحة حتى لو كان تيار العطل الأصغري أقل من تيار الحمل الأعظمي. وبشكل مشابه للخوارزمية السابقة فإن خوارزمية المركبات المتراكمة لحاكمة المقارنة الاتجاهية تفترض أن إشارات الدخل جيبية، وبالتالي فمن الضروري فلترة الإشارات رقمياً قبل معالجتها في الحاكمة. وتردد تحصيل العينات النموذجي لحاكمة المقارنة الاتجاهية الرقمية هو 3KHz.

10-9 طريقة التراكم

يمكن أن نحلل نظام قدرة مع وجود عطل عليه وكانه مكون من شبكتين مضافتين لبعضهما وهاتين الشبكتان هما شبكة ما قبل العطل لنظام القدرة ، والثانية هي نظام متراكم حيث يتم قصر المنابع وندخل منبع توتر عند نقطة العطل، ونعرف التوترات والتيارات الموجودة في النظام المتراكم بالمركبات المتراكمة كما هو مبين في الشكل(10-26). حيث تم تحليل عطل على خط نقل مغذى من جانبيه إلى الشبكتين المذكورتين. في هذا المثال يحدث عطل طور- أرض مباشر عند منتصف الخط، سيكون التوتر صفرياً V_0 عند نقطة العطل، وبالتالي يوضع منبع توتر عند نقطة العطل في الشبكة المتراكمة بقيمة مساوية ومعاكسة للتوتر الموجود عند منتصف الخط قبل العطل، وهذا يضمن أنه عندما تضاف شبكة ما قبل العطل والشبكة المتراكبة فإننا سنحصل على توتر صفري عند نقطة العطل.

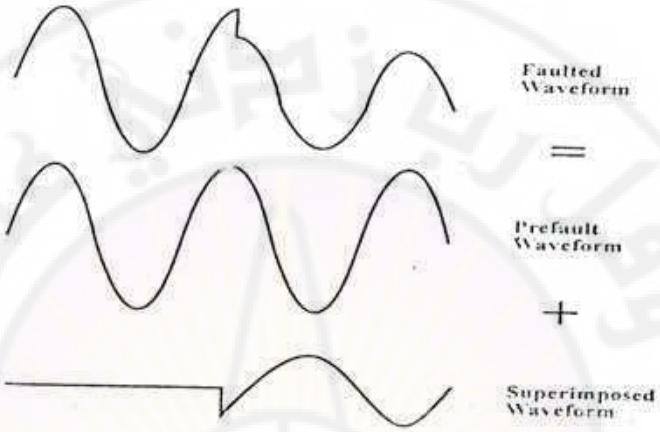


الشكل (26-10) تمثيل شبكة معطلة باستخدام طريقة التراكم

وبما أن الشبكة المتراكمة لا تتأثر بحمولة ما قبل العطل فإن اعتماد مبدأ المركبات المتراكمة يجعل الحاكمة لاتتأثر بالحمل قبل العطل.

إذ يتم تأخير عينات التوتر في الذاكرة لمدة دور واحد، ثم يتم تشكيل التوتر المتراكم باستخراج عينة التوتر الأحدث، ويفترض هذا الترتيب أن تردد تحصيل العينات هو مضاعف صحيح لتردد نظام القدرة وبالتالي سيكون هناك عدد كامل (صحيح) من العينات المأخوذة لكل دور، وفي هذه الحالة يمكن تحقيق التأخير لدور واحد عبر تأخير العينات بقيمة ثابتة في الذاكرة. فإذا هبط تردد النظام ببطء مثلاً، فسيصبح بالتزامن دور نظام القدرة أطول ببطء ، وسنكون بحاجة لعدد أكبر من العينات لتمثل دوراً واحداً، وكذلك فلا حاجة على الأغلب للعدد الكامل (الصحيح) من العينات لكل دور، وهذا مايقود إلى خطأ في حساب المركبات المتراكمة بسبب الحجم الثابت المستخدم في الذاكرة من أجل تأخير دور واحد، وللتغلب على هذه المشكلة تقوم دارة تعقب التردد frequency

tracking بضبط ثابت لتردد تحصيل العينات لضمان أن عدد عينات التوتر المقاسة خلال دور واحد سيكون دوماً عدداً ثابتاً. ويظهر الشكل (27-10) مثالاً على موجه العطل والمركبة المتراكمة لها.



الشكل (10-27) تراكم أمواج ماقبل العطل ومابعده

وبإستخدام هذه التقنية فإن المركبة المتراكمة تكون موجودة فقط خلال دور واحد، وبما أن حواكم المقارنة الإتجاهية يمكن أن تعطي قراراً باتجاه العطل خلال عدة ميلي ثانية. فإن زمن بقاء إشارة المركبة المتراكمة هذا (أي دور واحد) ليس مؤثراً.

10-10 القياس الإتجاهي

يظهر الشكل (28-10) حاكمتين إتجاهيتين متوضّعتين على قضيبي التجميع P و Q بالتتالي ولهما نفس الإتجاه أي بإتجاه قضيب التجميع R. وتتعلق إشارات التيار والتوتر المتراكمة المقاسة من قبل الحاكمة P والتي سيظهر لها العطل في الإتجاه الأمامي، بممانعة المنبع خلف موضع الحاكمة:

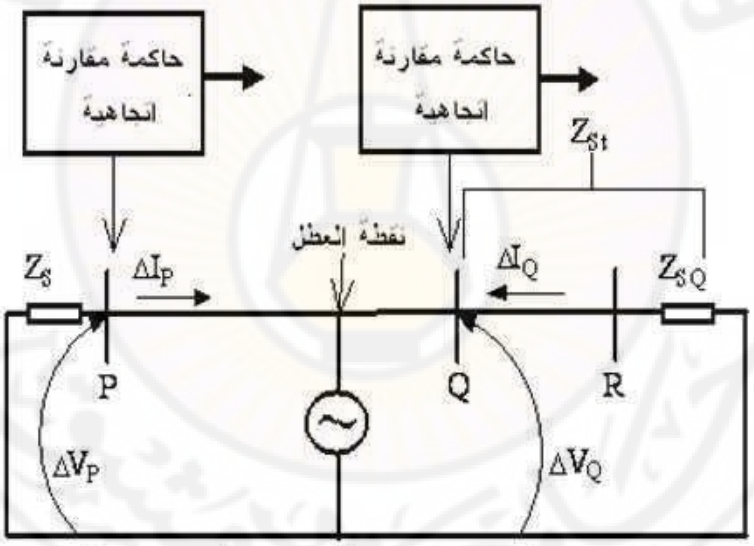
$$\Delta V_p = -\Delta I_P . Z_s \qquad (10\text{-}14)$$

من أجل الحاكمة عندQ والتي سيظهر لها العطل بالإتجاه العكسي فالعلاقة هي:

$$\Delta V_q = +\Delta I_p . Z_{st} \qquad (10\text{-}15)$$

حيث إن Z_{st} هي ممانعة الخط بين Q و R مضافاً إليها ممانعة المنبع خلف R.

إن أساس القرار الإتجاهي هو تغير الإشارة، و لا تأثير لقيمة مطالات Z_s و Z_{st} طالما أن قطبية الإشارات هي وحدها المستخدمة في التحديد الاتجاهي، أما زاوية الطور فتكون مهمة لأنه من الضروري للمقارنة في أثناء حالات الأعطال بين الإشارتين ΔV و ΔI أن نضبطهما بحيث تكونان متوافقتين بالطور. يمكن تشكيل الإشارات المتوافقة بالطور من أجل عملية اتخاذ القرار الاتجاهي بطريقتين: الأولى، نضرب ΔI بممانعة تمثل القيم المحتملة لـ Zst و Zs وبالتالي نجعل ΔI متوافقة بالطور مع ΔV ،والثانية طريقة رقمية بالكامل، حيث يتم تأخير التوتر المتراكم بزاوية قدرها ϕ عادة ما تكون $78°$ فنحصل على $\Delta V \angle \phi$ ويمكن إنجاز ذلك بواسطة فلتر رقمي يمتلك ميزة الإزاحة الطورية. ومن الضروري كذلك إجراء بعض التعديل على مطالات ΔV و ΔI.



الشكل (28-10) استخدام المقارنة الإتجاهية بالإتجاه الأمامي

فمن أجل العطل الأمامي نجد :

$$\Delta I = \frac{-\Delta V \angle \phi}{|\ Zs\ |} \quad (10\text{-}16)$$

حيث إن ΔI و $\Delta V \angle \phi$ متعاكستان بالإشارة، ومن أجل العطل العكسي يكون:

$$\Delta I = \frac{+\Delta V \angle \phi}{|\ Zst\ |} \quad (10\text{-}17)$$

حيث أن ΔI و $\Delta V\angle\phi$ متوافقتان بالإشارة.

ويتم تحقيق المقارنة باستخدام الإشارات المركبة التالية:

$$S1 = |\Delta V\angle\phi + \Delta I \qquad (10\text{-}18)$$

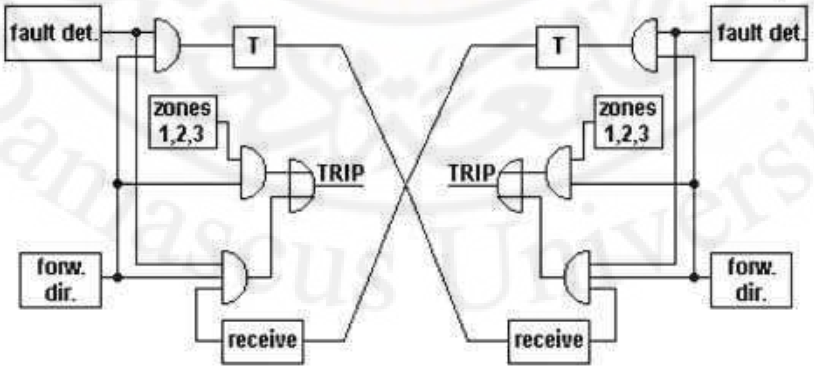
$$S2 = |\Delta V\angle\phi - \Delta I \qquad (10\text{-}19)$$

إذ تكون قيم S2 و S1 موجبة من أجل الأعطال الأمامية، وسالبة من أجل الأعطال العكسية.

ومن أجل اتخاذ قرار اتجاهي تتم مقارنة القيمة (S2-S1) مع قيمتي عتبة منفصلتين إحداهما موجبة من أجل الأعطال الأمامية، والأخرى سالبة من أجل الأعطال العكسية، وهنا أيضاً فإن تجاوز (S2-S1) لمستوى العتبة لا يشكل وحده مؤشراً كافياً على الاتجاهية، لذا يتم تطبيق استراتيجية عد لاستبعاد الحالات العابرة. وتضمن هذه الإستراتيجية أن (S2-S1) يجب أن تتجاوز الممانعة المقاسة لقيمة الممانعة المعايرة ثلاث مرات متتابعة (أي في ثلاث عينات متتالية) قبل اتخاذ القرار الإتجاهي.

10-11 المقارنة الإتجاهية Directional Comparison

وهي تقنية أخرى لضمان حماية 100% تتم بمساعدة أنظمة النقل، وتعتمد أساسا على مقارنة إتجاه العطل المكتشف مع الاتجاه المكتشف في الطرف المقابل كما في الشكل (29-10)



الشكل(29-10) نظام المقارنة الإتجاهية

في هذه الحالة عندما تكتشف الحماية عطلا أماميا فإنها ترسل إشارة إلى الطرف المقابل للإبلاغ عن عطل أمامي، وكذلك إذا كان العطل في الطرف المقابل أمامياً فإن الحماية سترسل إشارة عن حالة عطل أمامي. تتم مقارنة كلا الاتجاهين في هذا الطرف لتحديد ما إذا كان الفصل المباشر ضرورياً. في هذا النظام يتم نقل أمر الفصل بالمقارنة الإتجاهية.

12-10 الحماية الدليلية Pilot Protection

يقارن هذا النوع من الحمايات الكميات الكهربائية عند نهايتي الخط الذي تتم حمايته. حيث تستخدم قنوات إتصال للتحقق فيما إذا كان العطل ضمن المنطقة المحمية أو خارجها، وهناك أربعة أنواع أساسية من القنوات تستخدم للحماية الدليلية هي:

-السلك الدليلي

-قناة المايكروية

-خط القدرة الحامل

-الألياف البصرية

10-12-1 السلك الدليلي Pilot Wire

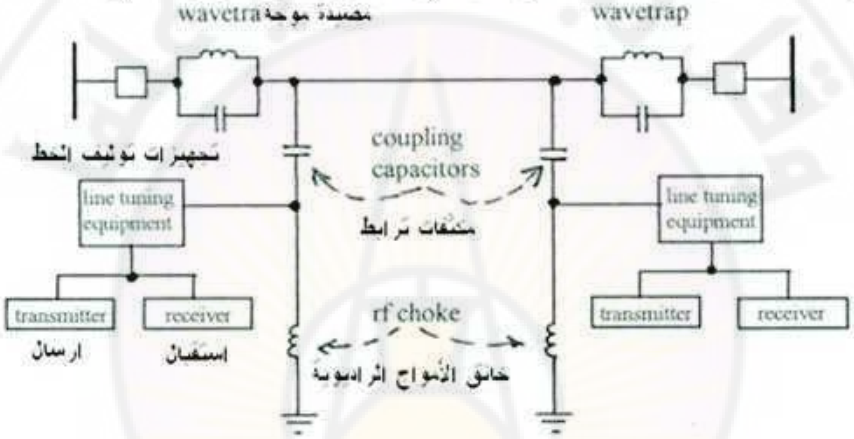
يستخدم السلك الدليلي زوج مجدول من السلك النحاسي على شكل كابل تلفوني لتوصيل نهايتي الخط الذي تتم حمايته بشكل مباشر. يتم الاتصال بإستخدام النغمات الصوتية بترددات في المجال(200 Hz - 3000 Hz). يستخدم السلك الدليلي عادة أما لحجز أو فصل حماية خطوط النقل لطول حتى 10 miles.

10-12-2 القناة المايكروية Microwave Channel

تنتشر إشارة مايكروية في المجال يقع ترددها في المجال(150 MHz - 20 GHz) خلال الطبقة الجوية الواقعة بين هوائيات الخط وتشفر القناة المايكروية الأساسية عادة بحيث أنها تستخدم لعدة مهام في نفس الوقت ويمكن أن تتأثر القنوات المايكروية بحالة الغلاف الجوي وتتعرض الإشارة للإختفاء. من أجل ذلك تعزل دارات الفصل عن دارات الحجز.

10-12-3 خط القدرة الحامل Power Line Carrier

يبين الشكل(10- 30) مخطط وظيفي لخط قدرة حامل Power line carrier حيث انه من أجل ترددات ضمن المجال (10 kHz to 490 kHz) فإن الإشارة الحاملة الدليلية تترافق بشكل مباشر مع خط القدرة وهي محتواه ضمن مصائد الخط wave traps المراد حمايته. المرسل والمستقبل مترابطان مع خط النقل عبر تجهيزات تناغم مع الخط ومكثف الترابط. يحقق خانق التردد الراديوي RF ممانعة منخفضة لاستطاعات 60Hz ، ولكنه يحقق ممانعة عالية للتردد الحامل وهذا يحمي التجهيزات من التوتر العالي.



الشكل(30-10) مخطط وظيفي لخط قدرة حامل

10-12-4 وصلة ألياف ضوئيةFiber Optic Link

يتم إرسال الإشارة عبر ألياف ضوئية من البلاستيك أو الزجاج . جزء من المرسل في قناة الاتصال بالألياف الضوئية عبارة عن أداة لتحويل الإشارة الكهربائية إلى ضوء وجزء من المستقبل هو عبارة عن أداة لتحويل الضوء إلى إشارة كهربائية .تردد العمل للنقل في المجال 300 kHz. يمكن أن تكون وصلة الألياف الضوئية إما كابل ألياف ضوئية منفصل هوائي أو مطمور أو أن تكون الألياف الضوئية متضمنة في نواقل الطور أو في نواقل التأريض الهوائية overhead ground conductors وتعمل الأنماط الثلاثة من الأقنية بإحدى طريقتين:

-تشغيل On/Off حيث أنه إما أن يكون هناك إشارة دليلية أو لايكون، ويستخدم وجود الإشارة الدليلية أو غيابها لتقرير فيما إذا كان العطل داخل المنطقة المحمية أو خارجها.
-تشغيل انزياح التردد تزود الإشارة الدليلية في هذه الطريقة في كافة الأوقات. إذا تم اكتشاف عطل فإن تردد الإشارة يتغير. يمكن أن تستخدم الإشارة الدليلية أما لمنع الفصل أو تحريض الفصل وستنادا إلى ذلك تصنف الحماية الدليلية على أنها حماية دليلية للحجز أو حماية دليلية للفصل.

10-13 دارات الحماية Protective Schemes

هناك أربع دارات حماية دليلية أساسية:

المقارنة الإتجاهية Directional Comparison

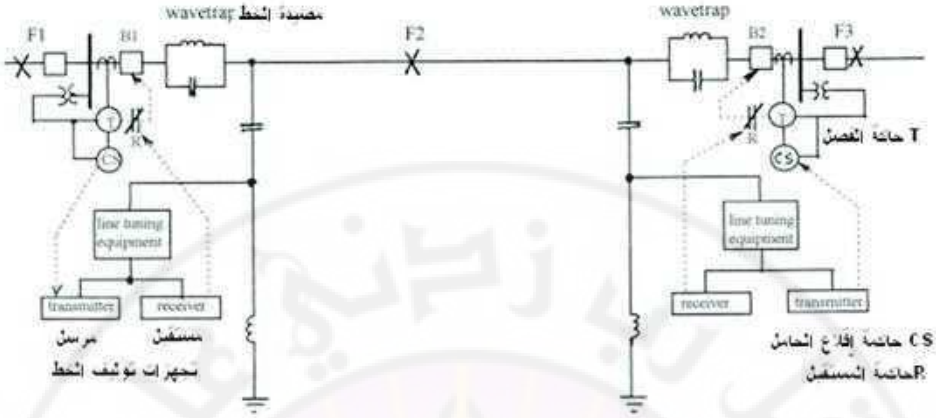
المقارنة بالطور Phase Comparison

الفصل عن بعد Remote Tripping

التفاضل بالتيار Current Differential

10-13-1 المقارنة الإتجاهية Directional Comparison

تمثل المقارنة الاتجاهية دارة حماية حاجزة، وفيها يكون لكل نهاية مرسل ومستقبل ومجموعة حواكم اتجاهية تعير لمراقبة الأعطال داخل المنطقة المحمية ومجموعة من الحواكم الاتجاهية تعير لكشف الأعطال خارج المنطقة المحمية. ترسل إشارة إلى النهاية الأخرى إذا تم اكتشاف عطل خارجي. لكي يتم فصل القاطع آلياً عند نهاية معينة فإنه من الضروري لمجموعة حواكم الحماية التي ستكتشف العطل داخل منطقة الحماية أن تعمل، مع عدم وجود إشارة من النهاية الأخرى. يبين الشكل (10- 31) مخطط الحماية بالمقارنة الاتجاهية باستخدام خط نقل القدرة الحامل



الشكل (10-31) نظام الحماية بالمقارنة الاتجاهية باستخدام قناة خط القدرة الحامل

إذ تستخدم حاكمة الفصل T لكشف الأعطال من أجل الأعطال داخل المنطقة المحمية، وتستخدم حاكمة إقلاع الحامل لكشف الأعطال خارج المنطقة المحمية، أما حاكمة المستقبل R فتعمل عن طريق المستقبل تكون تلامساتها مغلقة في الحالة الطبيعية وعندما يستقبل المستقبل إشارة دليلية من الجانب الآخر فإن التلامسات تفتح وتوقف الفصل.

يبين الجدول (1-10) أداء نظام الحماية بالمقارنة الاتجاهية باستخدام قناة خط الاستطاعة الحامل عند حدوث أعطال عند مواقع مختلفة من نظام القدرة

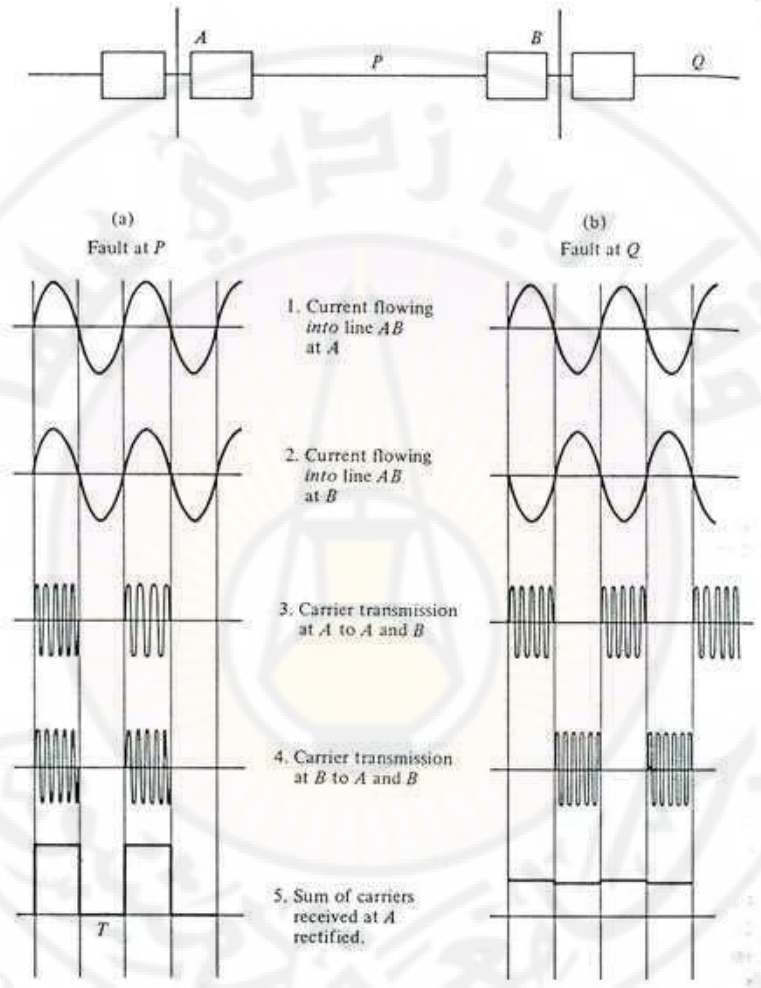
جدول(1-10) أداء نظام الحماية بالمقارنة الإتجاهية

Fault Location	Carrier Transmission	Carrier Received
F1	A	A & B
F2	NONE	NONE
F3	B	A & B

10-13-2 مقارنة الطور Phase Comparison

مقارنة الطور نوع آخر من دارات حجز الحماية الدليلية. تقارن هذه الدارة زاوية الطور للتيار الداخل مع زاوية الطور للتيار المغادر للنهاية. فإذا تبين أن التيار دخل من نهاية واحدة وغادر من النهاية الأخرى من الخط المحمي، فإن هناك إشارة حجز ترسل بين

النهايتين. إذا تبين أن كلا التيارين قد دخلا الخط فإن إشارة الحجز تزول وذلك كما هو مبين في الشكل (32-10).



الشكل(10- 32) مبدأ حواكم مقارنة الطور

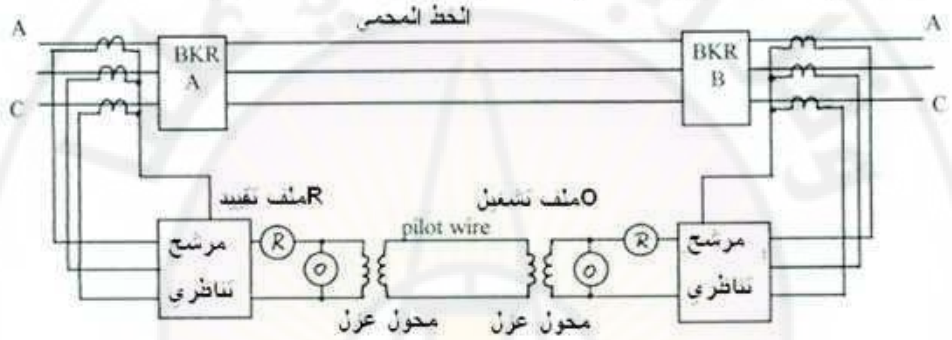
10-13-3 الحماية التفاضلية بالتيار

Current Differential Protection

تستخدم حاكمة الحماية التفاضلية بالتيار فقط عبر قناة السلك الدليلي. كمثال على هذا النوع من الحماية تحول حاكمة HCB الفلاتر التتابعية عند كل نهاية من نهايات الخط

تيار الطور إلى توتر أحادي بحدود 20 Vrms. تقارن بعدها التوترات عن طريق زوج من الأسلاك لتقرر فيما إذا كان العطل داخل الخط المحمي.

في ظروف العمل العادية أو حالة تيار عابر فإن التيار يدور عبر السلك الدليلي وتتحرض وشائع الكبح. تستقبل وشائع التشغيل حالة عدم وجود تيار أما إذا كان العطل داخل الخط المحمي، فإن التوترات على كلا الجانبين يكون لها نفس القطبية ويدفع التيار عبر وشائع التشغيل. يبين الشكل(33-10) التوصيل المبسط لحواكم HCB.

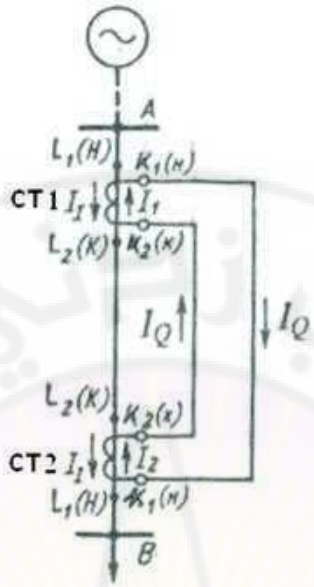


الشكل(33-10) دارة التوصيل المبسط لحواكم HCB

10-13-3-1 الحماية التفاضلية الطولية

Longitudinal Differential Protection

تستخدم الحماية التفاضلية الطولية لحماية خطوط نقل القدرة الكهربائية القصيرة التي لايتجاوز طولها 5 km وذلك بوضع محولات تيار ذات نسب تحويل متماثلة من جهتي العنصر الخط المراد حمايته كما هو مبين في الشكل (34-10).



الشكل(34-10) الحماية التفاضلية الطولية

تكون للتيار I_1 في حالتي القصر الخارجي وحالة العمل الطبيعي اتجاهات مختلفة بالنسبة إلى قضبان التجميع فهو بالنسبة إلى قضيب التجميع A يتجه من قضبان التجميع إلى الخط، ولقضيب التجميع B يتجه من الخط نحو قضبان التجميع. حيث توصل الملفات الثانوية لمحولات التيار CT2 و CT1 فيما بينها بواسطة نواقل وفق دارة تفاضلية كما هو مبين في الشكل (34-10) السابق. عند مرور تيار الحمولة أو تيار القصر في هذه الدارة سيمر بشكل دائم في النواقل تيار مساوٍ بالقيمة لتيار الثانوي لمحولات التيار تعطى قيمته بالعلاقة :

$$I_Q = \frac{I_1}{n_C} \qquad (10\text{-}18)$$

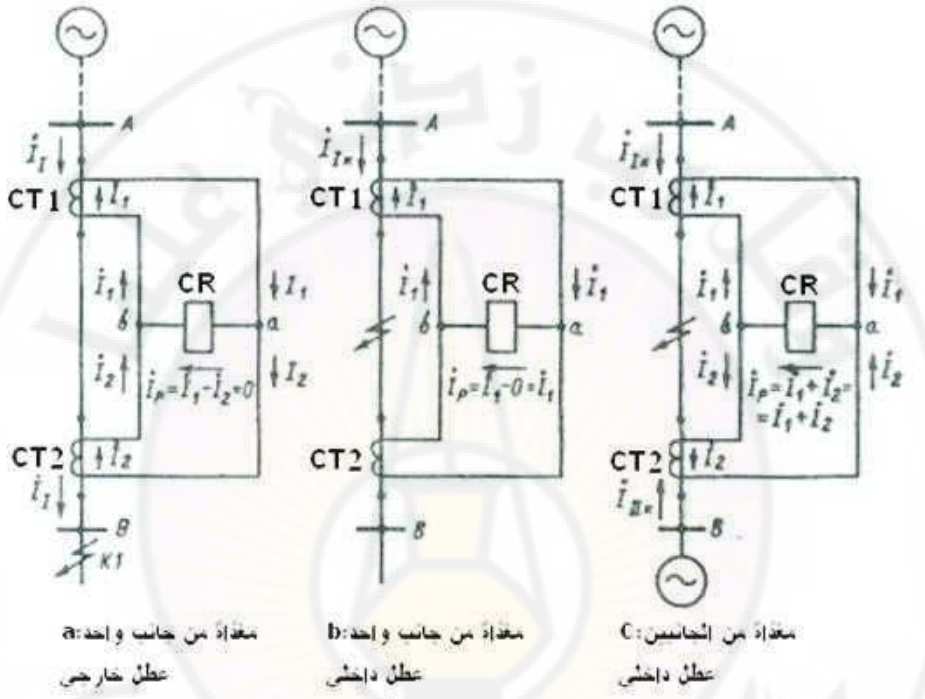
حيث:

Nc : نسبة تحويل محولات التيار

I_1 : تيار ابتدائي محولات التيار

لذلك تسمى هذه الدارة بدارة التيار الدائر .

يوصل ملف حاكمة التيار CR على التفرع مع الملفات الثانوية لمحولات التيار الذي يشكل مع محولات التيار الحماية التفاضلية، وذلك كما هو مبين في الشكل(35-10) للحالات a و b و c.



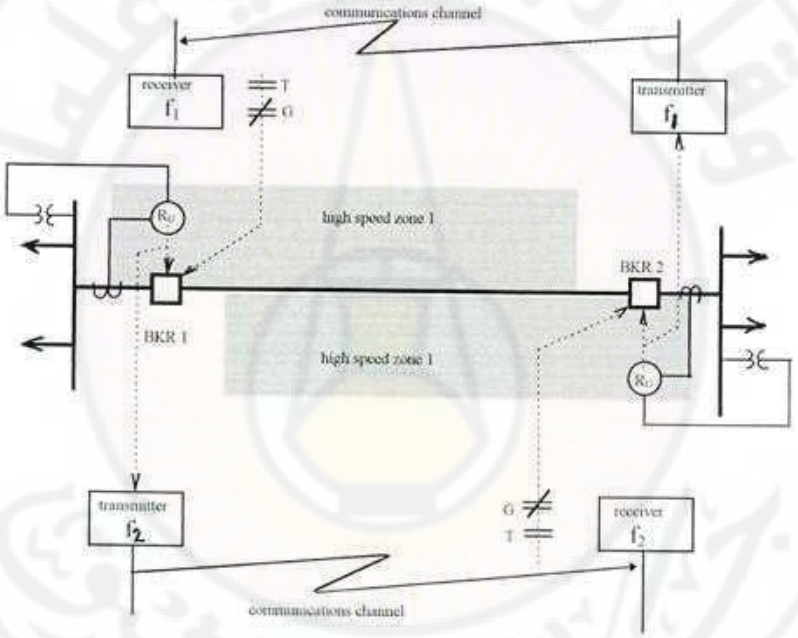
الشكل(35-10) دارة التيار الدائر للحماية التفاضلية للحالات a و b و c

بما أن الحاكمة لا تتأثر عند مرور القصر الخارجي أو تيار الحمولة الطبيعية، فإن التيار المار في ملف التفاضل للحاكمة التفاضلية صفر، ولا تتأثر الحماية في مثل هذه الحالات. نستنتج من ذلك أن هذه الحماية وكونها لا تتأثر بالقصر على العناصر المجاورة للمنطقة المحمية فإنها لا تحتاج إلى تأخير زمني، وهي بالتالي حاكمة لحظية وانتقائية.

10-13-4 الفصل عن بعد Remote Tripping

في دارات حواكم الفصل عن بعد يجب أن يتم استقبال الإشارة من النهاية الأخرى لكي يتم فصل قاطع الخط خلال حالات العمل العادية ترسل المرسلات إشارة دفاع متواصلة.

عندما تعمل حواكم الحماية فإن تردد الإشارة يتغير عن تردد الدفاع إلى تردد الفصل. هناك نوعان رئيسيان للفصل هما إما فصل مباشر حيث يفصل القاطع المحلي بشكل مستقل عن حواكم الحماية المحلية عند استقبال إشارة فصل وإما فصل منتقل مسموح حيث إن حواكم الحماية المحلية يجب أن تعمل حتى من أجل إشارة الفصل المنتقلة لكي تفصل القاطع. يبين الشكل (36-10) مخطط وظيفي لدارة الفصل المنتقل بمبدأ تحت الوصول بشكل مباشر



الشكل (36-10) مخطط وظيفي لدارة الفصل المنتقل بمبدأ تحت الوصول بشكل مباشر

إذ تعمل حاكمة تحت الوصول الاتجاهية R_U عندما تكتشف العطل وتفصل القواطع الآلية عند كلا النهايتين، ويغلق تلامس الفصل T عند استقبال فصل منتقل، كما يغلق التلامس G إذا استجابت قناة الاتصال ويفتح عندما تتوقف قناة الاتصال.

الفصل الحادي عشر

11-الحماية المسافية

Distance Protection

وقل رب زدني علما
Damascus University

الفصل الحادي عشر

11- الحماية المسافية

Distance Protection

مقدمة

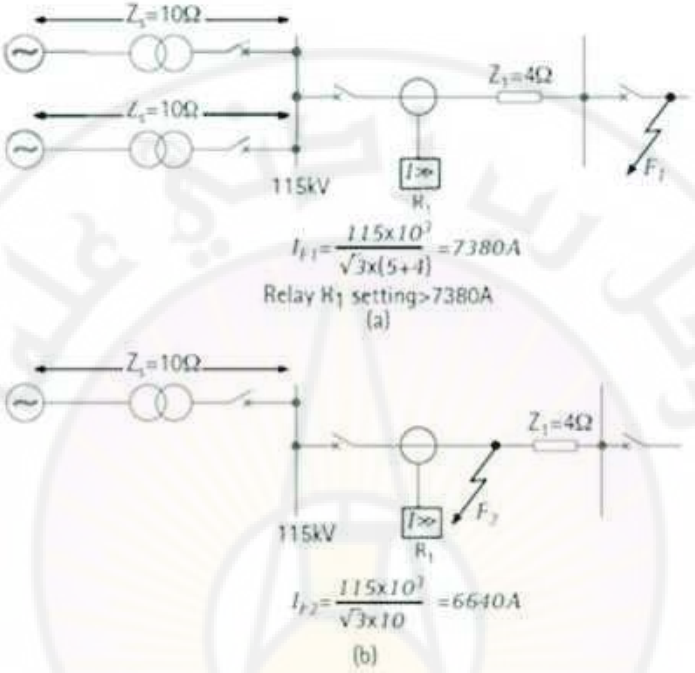
إن الهدف الأساسي من حمايات نظام القدرة الكهربائية هو إعطاء أمر الفصل المناسب والسريع عند تعرض النظام للأعطال، لذا سنتعرف على أنظمة الحماية السريعة لخطوط النقل ودارات التوزيع الملائمة لمعيد الاغلاق الآلي للقواطع، ومواكبة التطور الواسع بهذا المجال .

لا يمكن أن تتحقق الانتقائية في إخماد الأعطال ومعالجتها في الشبكات المركبة باستعمال حماية التيار الأعظمي أو الحماية الاتجاهية كما أن الحماية السريعة مثل حماية تقسيم تيار الأعطال لا يمكن أن تكون كافية، وذلك بسبب المنطقة الميتة في مخطط عملها، لهذا تستعمل حاكمة الحماية المسافية التي يمكنها أن تؤمن كافة الخصائص المطلوبة من حيث الانتقائية وسرعة العمل. [4]

تعتبر الحماية المسافية من الحمايات الاقتصادية وتتمتع بمزايا تقنية غير مشابهة لعمل حماية التيار الزائد ، وتكمن أهمية هذه الحماية بانها تغطي منطقة العطل بمعزل عن تغيير ممانعة المنبع حيث تعتمد الحماية المسافية على ممانعة المنطقة المحمية.

يبين الشكل (11-1) نظام قدرة كهربائية يعمل تحت توتر 11.5 kV إ ستخدامت فيه حاكمة الحماية من زيادة الشدة << I لحماية خط نقل القدرة، التي يجب أن تعير في الحالة(a) على تيار أكبر من التيار المار في خط النقل عند حدوث العطل F1 ومقداره 7380A، أما في الحالة (b)، وعند حدوث عطل F2 سوف يمر تيار مقداره أقل من 6640A، وبالتالي لن تستجيب حاكمة الحماية من زيادة التيار << I في هذه الحالة، وسيكون أداء الحماية غير مناسب، لذا يمكن استخدام حاكمة الحماية المسافية بديلا عنها وهي تعمل بكفاءة عالية عند حصول أعطال ضمن المنطقة المحمية، كما أنها مزودة بالإضافة إلى عملها الأساسي بوظائف أخرى احتياطية، ويمكن توظيفها حسب

المنطقة المحمية وغالبا ما يستخدم معيد الإغلاق الآلي مع الحماية المسافية لإعادة وصل الخطوط بعد زوال العطل الحاصل عليها.



الشكل (1-11) خواص الحماية المسافية مقارنة مع التيار الزائد

11-1 مبدأ عمل حاكمة الحماية المسافية

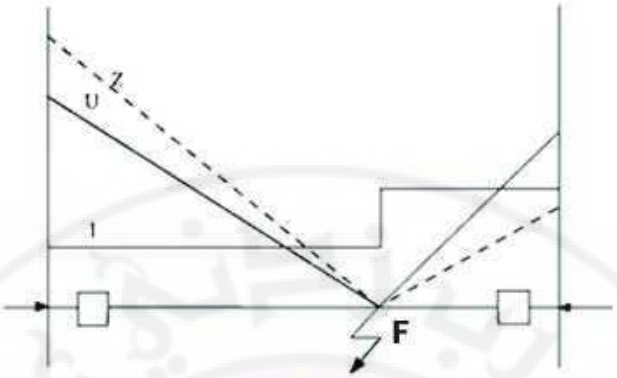
Principle OF Distance Relay

تعتمد الحاكمة المسافية من حيث المبدأ على الحقيقة المتمثلة بأن حدوث عطل ما في الشبكة سيؤدي بشكل عام إلى إرتفاع في قيمة التيار وإنخفاض في قيمة التوتر وذلك بقيمة تتعلق بقرب وبعد نقطة القياس عن موضع العطل وبقوة تغذية المنبع للعطل. وبما أن النسبة U/I تمثل قيمة الممانعة فإن زيادة التيار وإنخفاض التوتر تكافئ إنخفاضاً أكبر في قيمة الممانعة المقاسة، ولذلك فإن مبدأ عمل حاكمة الحماية المسافية يعتمد على قياس ممانعة خط النقل، والتي تتناسب طردا مع طوله، وبذلك يجب أن تكون حاكمة الحماية المسافية قادرة أولاً على كشف العطل من خلال قياس ممانعة العطل (توتر وتيار القصر المقاسين عند نقطة توضع الحاكمة) وقادرة كذلك على تحديد نوع العطل

وعلى المقارنة بين ممانعة العطل المقاسة وممانعة الخط المعروفة (المعايرة)، وبناء على نتيجة المقارنة تقرر الحاكمة ما إذا كان العطل على الخط المحمي فترسل أمر الفصل إلى القاطع الآلي. أي إن الحاكمة قادرة على اتخاذ القرار فقط من خلال قياس قيمتي التوتر والتيار.

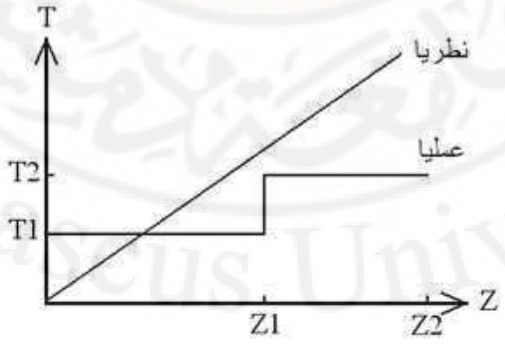
شهد تطور تصميم الحواكم العديد من المقاربات لتحقيق القياس الأمثل للممانعة وسنستعرض في هذا الفصل مراحل تطور الحواكم بشكل عام، وبالأخص الحواكم المسافية، ثم نستعرض مبادئ العمل الأكثر شهرة للحواكم المسافية، وسنركز على الحواكم الرقمية التي تمثل الجيل الأحدث من الحواكم.

يعتمد مبدأ عمل الحماية المسافية على تقسيم قيمة التوتر عند موضع الحاكمة على قيمة التيار المقاس، وتقارن الممانعة الظاهرة المحسوبة مع ممانعة الوصول، إذ يقوم عنصر فيها بقياس نسبة ممانعة الخط إلى ممانعة محددة مسبقاً، فإذا كانت الممانعة المقاسة أقل من ممانعة الوصول فمن المفترض أن يكون العطل على الخط بين الحاكمة ونقطة الوصول وتدعى بالحواكم المسافية لأن الحاكمة قادرة على قياس ممانعة الخط بين مكان توضع الحاكمة ونقطة الوصول reach point ، وبالتالي فهي تعمل على التمييز بين الأعطال التي تحدث على الأقسام المختلفة للخط، وهذا يتيح المجال لعملية تنسيق الحماية للأعطال التي تحدث في مناطق مختلفة من الشبكة. ونقطة الوصول للحاكمة هي النقطة التي تتقاطع فيها ممانعة الخط مع خصائص الحاكمة وهذا يعتمد على نسبة التوتر والتيار والزاوية بينهما، ويمكن رسمهما على مخطط إحداثيات R/X ، كما يمكن إظهار ممانعة النظام المرئية من قبل الحاكمة وتأرجح الاستطاعة وتغيرات الحمل على نفس المخطط ، وبذلك يمكن دراسة أداء الحاكمة خلال حالات الأعطال و الاضطرابات. يبين الشكل (2-11) مبدأ عمل حاكمة الحماية المسافية لخط نقل وحيد مغذى من الطرفين.



الشكل(2-11) مبدأعمل حاكمة الحماية المسافية

عند حدوث عطل على نقطة ما F من خط النقل فإن العطل سيغذى من الطرفين مما يسبب مرور تيار كبير ونلاحظ نتيجة لذلك أن الممانعة Z=U / I تصغر كلما اتجهنا باتجاه العطل ويوضح الشكل أيضا منحنيات تغير قيمة الممانعة مع تغير قيم التيار والتوتر، حيث تعمل الحماية الأقرب من نقطة العطل على فصل القاطع الآلي أولا ثم تليها الحماية الأخرى، وبذلك يتم عزل العطل من الطرفين. بما أن عمل حاكمة الحماية المسافية يعتمد على قياس الممانعة التي تراها الحاكمة ما بين نقطة توضعها ونقطة العطل، فإن زمن فصلها يتعلق ببعد العطل عن موقع الحماية ويكون هذا الزمن صغيرا عندما يكون العطل قريبا من الحاكمة. يبين الشكل (3-11) منحني العلاقة بين زمن تشغيل الحاكمة والممانعة



الشكل(3-11) العلاقة بين زمن تشغيل الحاكمة والممانعة

نميز من الشكل الحالتين التاليتين:

أ-إذا كانت $Z_{mea} < Z_1$ فإن الحاكمة تعطي أمر للقاطع الآلي بالفصل بعد زمن T_1.

ب-إذا كانت $Z_{mea} < Z_2$ فإن الحاكمة تعطي إشارة للقاطع الآلي بالفصل بعد زمن T_2.

11-2 أداء حاكمة الحماية المسافية

يعتمد أداء حاكمة الحماية المسافية على سرعة الوصول والدقة و زمن التشغيل وتعتمد دقة الوصول على المقارنة بين القيمة الفعلية للوصول بالأوم مع قيمة التعيير للحاكمة، وتعتمد دقة الوصول أيضاً على قيمة التوتر المطبق على الحاكمة عند الحالات المختلفة تحت العطل، وبالتالي فإن تقنية قياس الممانعة يجب أن تؤخذ بالاعتبار لأن لها تأثيراً كبيراً عند تصميم الحاكمة .

تتغير أزمنة التشغيل بحسب تيار العطل ومكان العطل، وقيمة التوتر عند نقطة العطل، وهذا يعتمد على طريقة تصميم تقنية القياس للحاكمة، وتؤثر نسبة خطأ القياس لمحولات التوتر ومحولات التيار بشكل عكسي على تشغيل الحاكمة لأجل الأعطال التي تحدث عند نقطة الوصول، وتظهر هذه النسبة بشكل واضح في الحمايات المسافية الستاتيكية والحمايات المسافية الإلكترونية لذلك تزود هذه الحمايات بما يسمى زمن التشغيل الأصغري وزمن التشغيل الأعظمي وأما في الحمايات المسافية الرقمية الحديثة فإن تغيرات زمن التشغيل تكون ضمن مجال صغير يتعلق بحالة تشغيل النظام و مكان العطل.

11-3 مقارنة المطال و الطور

Amplitude and Phase Comparison

تعد عناصر القياس للحاكمة أساساً للمقارنة بين كميتين مستقلتين ولهذه العناصر دور جوهري بمطال و مقارنة الطور. تعتمد عناصر الممانعة للحماية المسافية على المقارنة للتوتر والتيار المقاسين من قبل الحاكمة استنادا إلى التقنية المستخدمة.

تتم في الحمايات الإلكترونية مقارنة المطال من خلال القيمة الشعاعية للتيار ومقارنة الطور من خلال الزاوية وذلك من خلال الديود، وفي الحماية المسافية الستاتيكية تعمل

المضخمات باعتبارها مقارنات وفي الحمايات الرقمية تستخدم المقارنات الرقمية والألغوريثمات، وللحصول على خصائص ممانعة يجب أن يأخذ المقارن إشارتين ، ولكن جمع أو طرح إشارتين من نفس النوع سينتج إشارة مماثلة لهما ولذلك وللحصول على الممانعة ندخل إشارتين مختلفتين هما إشارة V و إشارة I إلى مقارن القسمة فنحصل على خصائص مميزة للممانعة و التي يمكن رسمها أو تمثيلها على مخطط R /X، وبالتالي فإنه سواء تم جمع أو مفاضلة الإشارات الداخلة للمقارن ستكون النتيجة خصائص مماثلة لهما.

4-11 تصنيف حواكم الحماية المسافية

تصنّف الحواكم المسافية تبعاً لمميزاتها، وتبعاً لعدد مداخلها ولطريقة المقارنة التي تُجريها. فالأنماط العامة من الحواكم تقوم بمقارنة قيمتي الدخل(توتر وتيار) أما بالمطال أو بالطور للحصول على المميزات والتي تكون أما مستقيمة أو دائرية عند تمثيلها على مستوي(R-X).

فالحاكمة الكهروميكانيكية ذات الذراع المتوازن مثلاً هي مقارن مطال لأن محصلة العزم تعتمد كلياً على قيمة مطال الدخل. فيما تشكل حاكمة المفاعلة مقارناً طورياً لأن محصلة العزم تكون باتجاه العمل فقط عندما تكون الزاوية بين قيم الدخل واقعة ضمن المجال $[0 \div \pm 90^\circ]$.

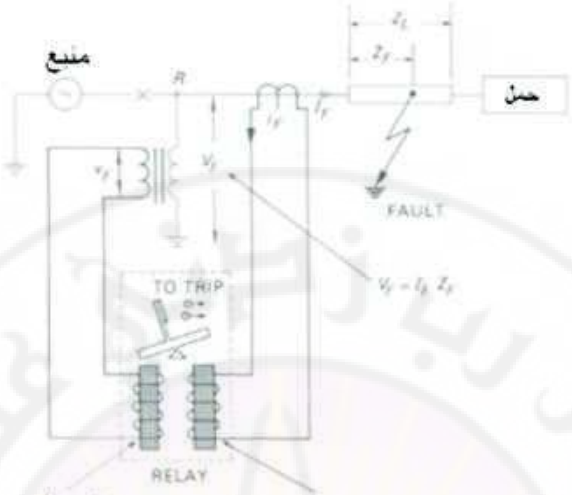
وبالمقابل فإننا نستطيع الحصول على أي نمط من المميزات باستخدام أي من المقارنين وكمثال فإن مقارنة التيار والتوتر بالمطال تعطي مميزات دائرية مركزها في نقطة المبدأ أما مقارنتهما بالطور فتعطي خطوطاً مستقيمة تمر من المبدأ، أما إذا طبقنا المقارنة الطورية على محصلة التوتر والتيار وفرقهما فسنحصل على مميزات دائرية مركزها في مبدأ الاحداثيات.

وبشكل عام فقد تم تصنيف الحواكم على هذه الأسس منذ الاستخدامات الأولى للحواكم الكهروميكانيكية، ويبقى هذا التصنيف مفيداً لأنه يلقي الضوء على المبادئ العامة لعمل الحاكمة المسافية وسنستعرض هذه الأنماط بسرعة.

تصنف الحواكم عادة استنادا إلى مبدأ عملها إلى حواكم كهروميكانيكية وحواكم ستاتيكية وحواكم رقمية. ويعد هذا التصنيف عاما جداً. لأن لكل نوع من هذه الحواكم العديد من أشكال وأنواع الحمايات تبعاً لمجال إستخدامها وآلية عملها.

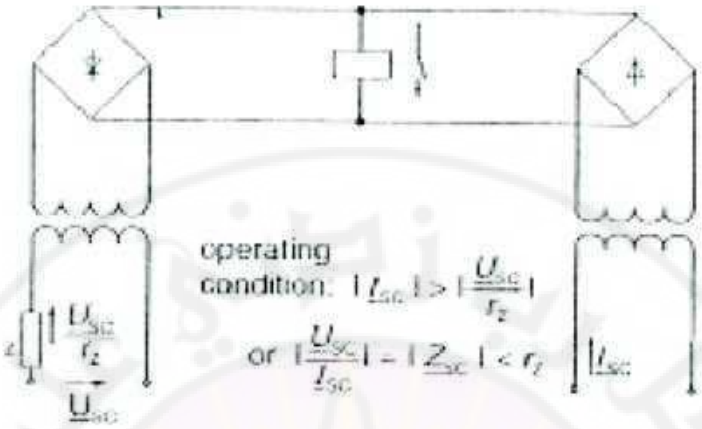
11-4-1 حواكم الحماية المسافية الكهروميكانيكية

الصفة العامة لهذا النوع من الحواكم هي وجود أجزاء متحركة للحاكمة، ولها أنواع عديدة وتم تطويرهذا النوع من الحواكم بشكل كبير ولعدة سنوات بحيث أصبح مشبعاً ولم يعد هناك الكثير مما يمكن إضافته، وتم إستخدامها في حماية الشبكات الكهربائية لسنوات عديدة ولا يزال استخدامها قائما حتى اليوم وبات من الثابت الآن أن هذه الحواكم تصمم بحيث تكون متينة وموثوقة ويفضلها مهندسو الحماية في العديد من هذه التطبيقات بسبب وثوقيتها وانخفاض كلفتها. تتم المقارنة بين تيار العطل الذي تراه الحاكمة وبين التوتر عند موقع الحاكمة، وبإجراء هذه المقارنة يمكن تحديد الحالة وفقا للممانعة المنظورة بين الحاكمة ونقطة العطل فيما إذا كانت أكبر أو أصغر من الممانعة المحددة مسبقاً إلى نقطة الوصول، وكمثال على هذه الحواكم الحاكمة ذات الذراع المتوازن Balanced beam relay المبينة في الشكل(4-11)، وفيه يظهر أن الحاكمة المركبة عند النقطة R تغذى بتيار ثانوي محول التيار والمكافئ لتيار العطل، وكذلك بتوتر ثانوي محول التوتر والمساو لجداء تيار العطل بممانعة الخط المنظورة من قبل الحاكمة، فإذا كانت الحاكمة مصممة بحيث يكون عزم العمل متناسب مع التيار والعزم المقاوم متناسب مع التوتر عندها سيكون هناك قيمة للأمبير لفة على كل نواة من أجل قيمة معينة يكون عندها العزمان متساويين وهذه هي نقطة التوازن أو نقطة الوصول التي تعير عليها الحاكمة، وبالتالي فإن أي زيادة في الأمبير لفة لنواة التيار دون أن يقابلها زيادة في نواة التوتر سوف تسبب عدم توازن الذراع وسيصبح عزم العمل أكبر من العزم المقاوم وتغلق الحاكمة تلامسها.

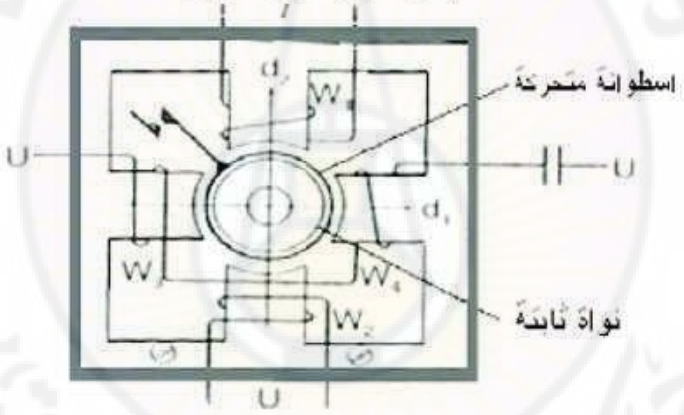


الشكل (4-11) الحاكمة ذات الذراع المتوازن

اعتمدت الحواكم في هذه المرحلة على جسور تقويم للموازنة بين القيمتين(I_{sc}) و(U_{sc}/R_z) فإذا كانت الأولى أكبر من الثانية فالحاكمة ستقلع وتمثل مميزات هذه الحاكمة في المستوي (R-X) دائرة يمكن التحكم بها عبر التحكم بدارة القياس كما هو مبين في الشكل(5-11- أ) كما ظهرت في هذا الجيل أيضا حواكم أخرى تعتمد على دارة موازنة تحريضية مكونة من ملفات تشغيل وكبح واستقطاب وتسمى بالحاكمة التحريضية وذلك كما هو مبين في الشكل (11-4) .



أ-جسر للموازنة بين كميتين



$$U \cdot I \cos(\varphi-\theta) \le \frac{1}{Z} U$$

$$\frac{U}{I} = Z < Z \cos(\varphi-\theta)$$

W1 :Operate

W2 :Restrain

W3+W4: Polarise

ب-الحاكمة التحريضية

الشكل(5-11) مبدأ جسر الموازنة والحاكمة التحريضية

1-1-4-11عناصر حاكمة الحماية المسافية

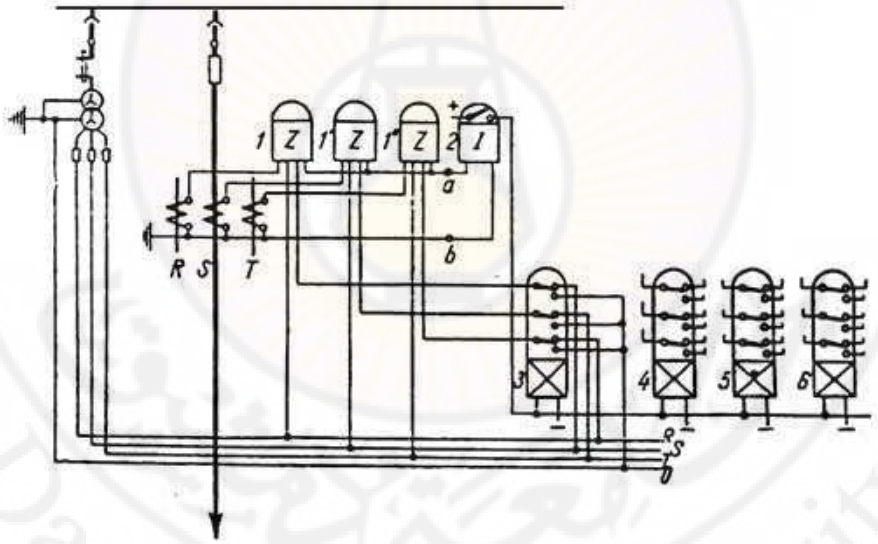
تتكون الحماية المسافية من العناصر التالية:

1-عنصر إقلاع يمكن أن يتحسس عند ظهور العطل في الشبكة وهذا يكون عادة على شكل حاكمة ممانعة. [24]

2-عنصر قياس ويقيس هذا قيمة الممانعة من مكان تركيب الحماية وحتى العطل. وهذا يحدد المنطقة التي يحدث فيها العطل ليصار إلى إخماده بالسرعة المطلوبة. يكون هذا العنصر عادة أحد الحواكم التي تسمح بإجراء المقارنة المطلوبة.

3-عنصر زمن ويؤمن هذا التعيير اللازم لتحقيق الانتقائية والتأخير المطلوب للتنسيق بين أنظمة حماية مختلف أجزاء الشبكة.

يبين الشكل (6-11) عناصر الحماية المسافية ومخطط توصيلها إلى نظام القدرة .



الشكل (6-11) عناصر الحماية المسافية ومخطط توصيلها إلى نظام القدرة

حيث تتألف هذه الحماية من ثلاث حواكم ممانعة (1" و1' و1) وحاكمة تيار (2) وحاكمة مساعدة (3) ومجموعة حواكم مساعدة (4 و 5 و6)، ويجب أن تعمل حماية المسافة في حال ظهور الأعطال الأحادية والأعطال الثنائية، لذا يجب أن تغذى وشائع التوتر لحواكم الممانعة بالتوتر المناسب، أي بالتوتر بين الأطوار أو بتوتر الطور الواحد.

والحاكمة (2) هي عبارة عن حاكمة تيار تعمل عند التحسس بالمركبة الصفرية لتيار العطل.

عند ظهور عطل ثلاثي فإن حواكم الممانعة ("1 و'1 و 1) تعمل وتعطي الإشارة للحاكمة المساعدة (3) التي تنقل الإشارة، دون أن تتحرض، عن طريق تماساتها المطلقة إلى الحواكم المساعدة (4 و 5 و6) التي تقوم بتغذية عنصر القياس وعنصر الاتجاه وعنصر الزمن بالتيار المستمر. أما عند ظهور عطل ثنائي الطور أوعطل أحادي الطور فيجب أن يتغير التوتر المطبق على وشائع التوتر لحواكم الممانعة بحيث يطبق عليها التوتر بين الطورين أو التوتر بين الطور والأرض. وهذا الأمر (أي تغير التوتر) يتم عندما تتحسس الحاكمة (2) بالمركبة الصفرية للتيار، فتتهيج وتغلق تماسها ما يؤدي إلى إغلاق دارة تهييج الحاكمة (3) التي تغير بذلك وضعية تماسها بحيث يطبق على حواكم الممانعة توتر الطور أو توتر الطورين المعطلين.

تتكون الحاكمة المسافية الكهرميكانيكية من عناصر لكشف الأعطال بين الأطوار وأخرى لكشف الأعطال الأرضية.

في حاكمة الحماية المسافية يكون لكل منطقة حماية ثلاثة عناصر لكشف الأعطال الأرضية، وثلاثة عناصر لكشف الأعطال بين الأطوار، وكل من هذه العناصر يقوم بحساب ممانعة مستقلة وينجز تقييماً مستقلاً للعطل، والفارق بين العناصر هو في عينات التوتر والتيار المستخدمة لحساب الممانعة. ويتم تعويض المركبة الأرضية (عامل التعويض المتبقي) بإضافة نسبة من التيار المتبقي إلى تيارات الخط، ويمكن تقريب عامل التعويض المتبقي إلى قيمة عددية (لا شعاعيه) أو إستخدام عوامل تعويض عقدية متبقية لزيادة الدقة.

11-4-2 حواكم الحماية المسافية الكهروميكانيكية-الستاتيكية

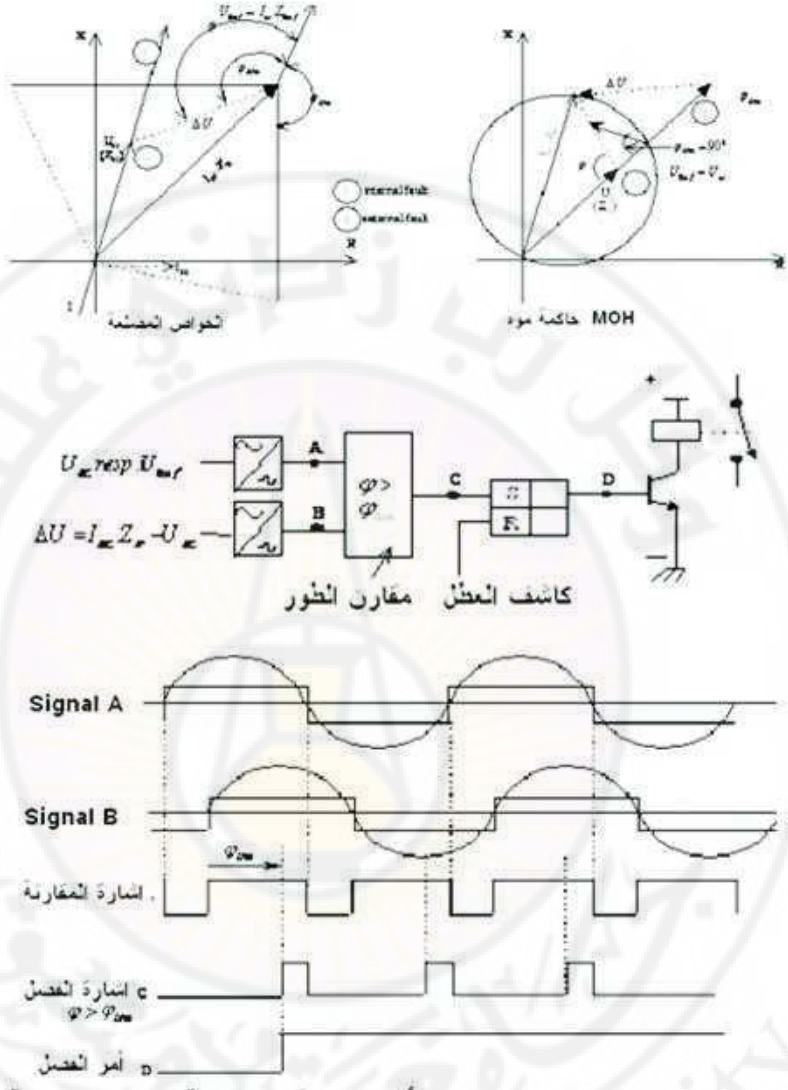
Electromechanical/Static Distance Relays

ظهر هذا النوع من الحواكم في الستينات من القرن العشرين وتطور بشكل كبير ومذهل ويمكن القول أن الحاكمة الستاتيكية حاكمة لا تحوي أجزاءً دوارة أو متحركة وأنما تعتمد على الاستجابة الإلكترونية أو المغناطيسية أو أي وسيلة أخرى غير متحركة.[4]

تطلب تطوير حساسية وسرعة استجابة ووثوقية الحماية ظهور هذا النوع من الحواكم الكهرميكانيكية – الستاتيكية وهي مقاومة للصدمات أكثر من الحاكمة الكهروميكانيكية وأسرع منها بكثير سواء من حيث زمن العمل، أو زمن العودة للحالة الابتدائية والذي يعرف بزمن الاستعادة، وذلك لعدم وجود أجزاء دوارة أو تماسات تحتاج إلى زمن للحركة، وهذا ما يتيح تنسيق الحمايات بأزمنة أقل. كما أن هذه الحواكم تحتاج إلى صيانة أقل وذات ضياعات استطاعة أقل وحجمها صغير وجميعها ميزات جيدة.

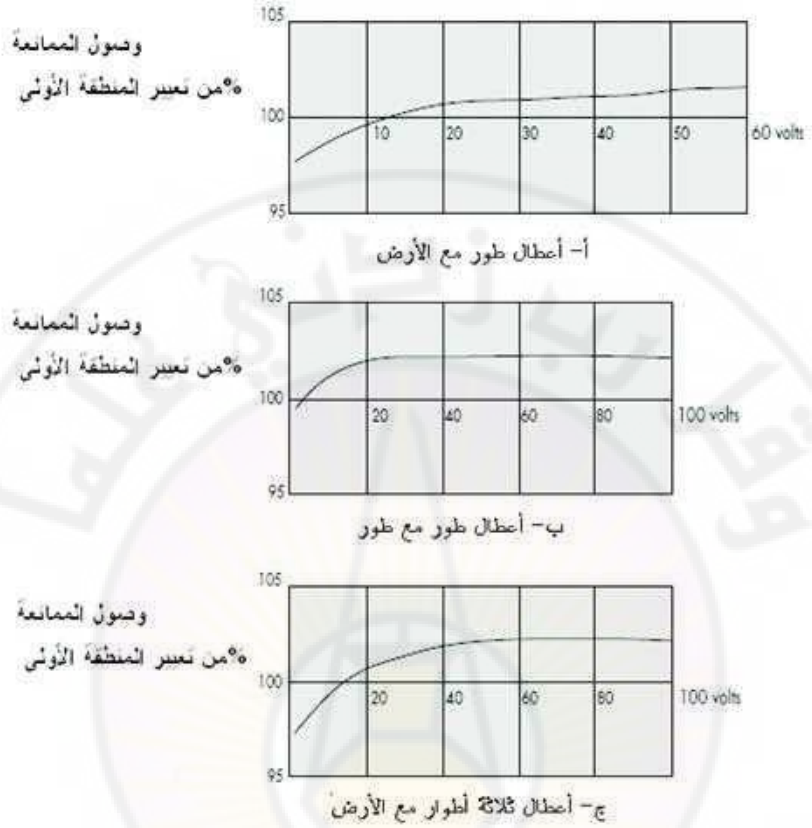
من مساوئ حواكم الحماية الستاتيكية حساسيتها العالية للحالات العابرة حتى إن كانت بقيم صغيرة، وبالتالي فهي تتطلب عمليات عزل إضافية، كما أنها حساسة لتغيرات درجة الحرارة ولا يمكنها العمل إلا في مجال صغير من تغيرات درجة الحرارة. يمكن تصميم هذا النوع من الحمايات للعديد من التطبيقات إن لم تكن جميعها، وهي واسعة الاستخدام في شبكات التوتر العالي جداً EHV فمنها الزمنية و المسافية والاتجاهية وزيادة التيار وغيرها.

تؤثر تصاميم حواكم الحماية الستاتيكية وحواكم الحماية الإلكترونية ومقدار الدخل لكل منهما على دقة الوصول و زمن التشغيل. اعتمد القياس في هذا الجيل من الحواكم على المقارنة الزاوية، إذ يتم أولاً تحويل الإشارات (ΔU , $\Delta Uref$) إلى إشارات مربعة، ونحصل على خواص mho الدائرية من قياس الزاوية بين ΔU و U_{sc}، فيما يحتاج تشكيل المميزات المضلّعة إلى قياسين الأول لزاوية المسافة ونحصل عليه من قياس الزاوية بين التوتر المرجعي ΔU_{ref} وفرق التوتر ΔU . أما الثاني فهو لإتجاهية الزاوية أي قياس زاوية ΔU ، وذلك كما هو مبين في الشكل (7-11) .



الشكل(7-11) مبدأ القياس في الحاكمة الكهروستاتيكية

يبين الشكل (8-11) أداء حاكمة الحماية المسافية الستاتيكية من خلال منحني علاقة التوتر الاسمي للحاكمة مع وصول الممانعة للمنطقة الأولى لأنواع الأعطال المختلفة.



الشكل (8-11) خصائص دقة وصول الممانعة النموذجية للمنطقة الأولى

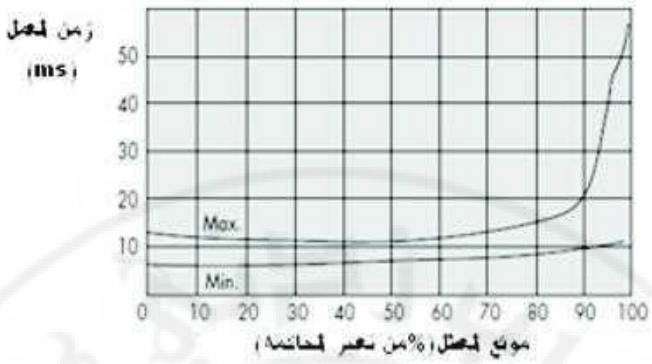
كما يبين الشكل (9-11) خصائص زمن العمل النموذجية للمنطقة الأولى لأعطال طور مع الأرض عند قيم متغيرة لممانعة النظام

$$S.I.R = Zs/ZL \qquad (11\text{-}1)$$

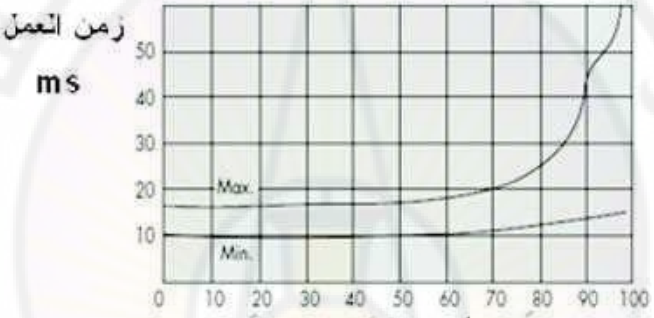
حيث أن :

Z_S: ممانعة منبع التغذية لنظام القدرة خلف مكان توضع الحاكمة .

Z_L : قيمة ممانعة الخط المكافئة .



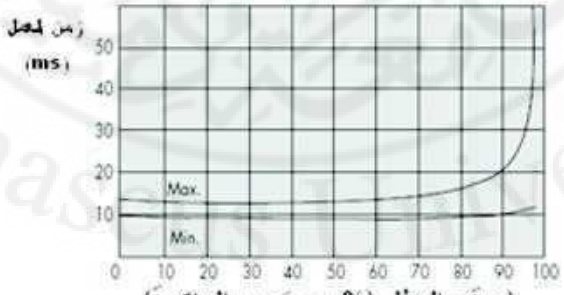
أ- نسبة ممانعة النظام ١/١



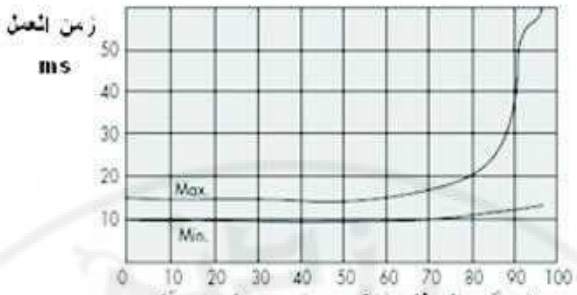
ب-نسبة ممانعة النظام ١/٣٠

الشكل (11- 9) أزمنة العمل النموذجية للمنطقة الأولى لأعطال طور مع الأرض

كما يبين الشكل (10-11) خصائص زمن العمل النموذجي للمنطقة الأولى لأعطال طور مع طور عند قيم متغيرة لممانعة النظام .



أ- نسبة مانعة النظام ١/١

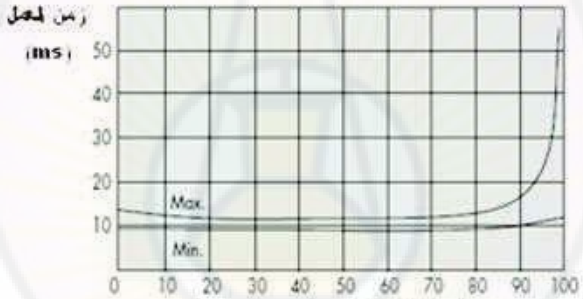


(موقع العطل (% من تعبير الحاكمة)

ب- نسبة ممانعة النظام ١/٣٠

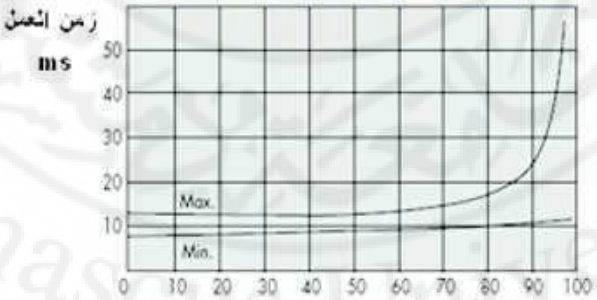
الشكل (10-11) أزمنة العمل النموذجية للمنطقة الأولى لأعطال طور مع طور

يبين الشكل (11-11) خصائص زمن العمل النموذجي للمنطقة الأولى لأعطال ثلاثية الطور مع الأرض عند قيم متغيرة لممانعة النظام .



موقع العطل (%من تعبير الحاكمة)

أ- نسبة ممانعة النظام ١/١

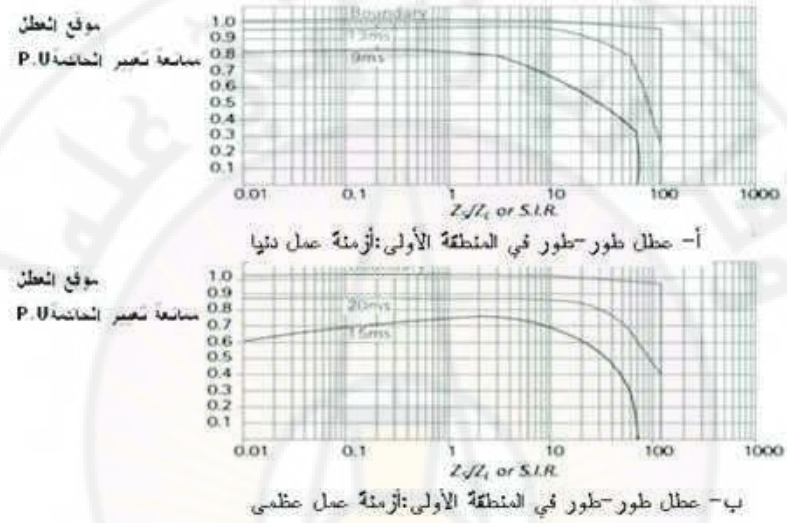


موقع العطل (%من تعبير الحاكمة)

ب- نسبة ممانعة النظام ١/٣٠

الشكل (11- 11) زمن عمل المنطقة الأولى عند أعطال ثلاثية الطور مع الأرض

يبين الشكل (12-11) منحنيات أزمنة العمل النموذجية بوصفها علاقة بين موضع العطل كنسبة مئوية من تعيير الحاكمة و نسبة ممانعة المنبع إلى ممانعة الخط وذلك لحالة عطل طور- طور ضمن المنطقة الأولى لحالتي أزمنة عمل دنيا وأزمنة عمل عظمى.



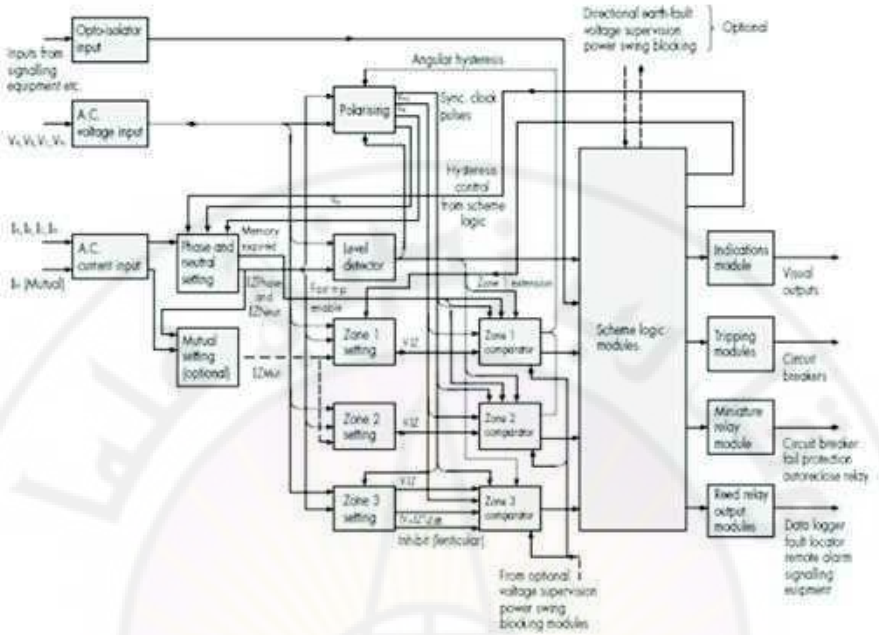
أ- عطل طور-طور في المنطقة الأولى:أزمنة عمل دنيا

ب- عطل طور-طور في المنطقة الأولى:أزمنة عمل عظمى

الشكل (12-11) مخططات أزمنة العمل النموذجية

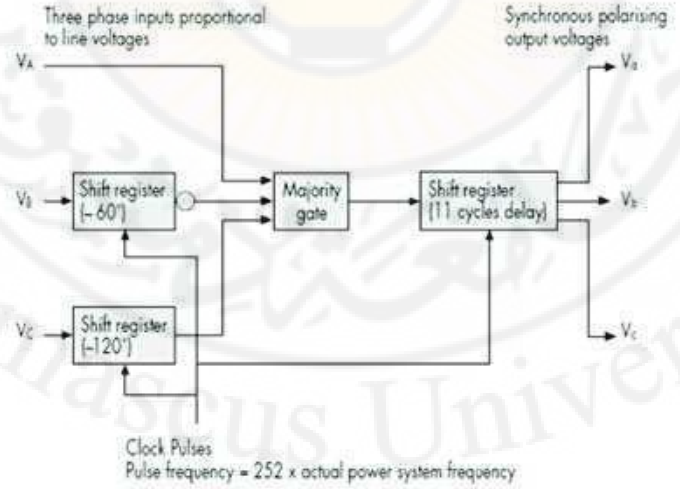
يبين الشكل (13-11) المخطط الصندوقي لدارة حاكمة الحماية المسافية الالكترونية

Damascus University



الشكل (13–11) المخطط الصندوقي لدارة حاكمة الحماية المسافية الالكترونية

كما يبين الشكل (14–11) المخطط الصندوقي لنظام الاستقطاب المتزامن للحاكمة المسافية الالكترونية.



الشكل (14–11) المخطط الصندوقي لنظام الاستقطاب المتزامن للحاكمة

11-4-3 حواكم الحماية المسافية الرقمية

Digital/Numerical Distance Relays

تستخدم هذه الحواكم خوارزميات خاصة لحساب ممانعة العطل (R,X) من قيمتي التيار والتوتر المقاستين، ونظراً إلى التطور التقانات الرقمية فقد بات من الممكن الحصول على أي شكل من المميزات وسنناقش بتفصيل أكبر هذه الحواكم في الفصل التالي.لكن سنذكر هنا أهم ميزات هذه الحواكم مقارنة بسابقاتها فهي بالإضافة إلى أنها تمتاز بالسرعة والدقة فهي مرنة من حيث قابلية اختيار المميزات وتشكيلها، وسهلة من حيث الاستخدام والمعايرة وإعادة المعايرة، وكذلك من السهل تحقيق الإتجاهية فيها سواء باستخدام المقارنة مع توترات الأطوار السليمة أو مع توتر ما قبل العطل المخزّن في الذاكرة، كما يمكن ربطها مع تجهيزات أخرى (حمايات، مراكز مراقبة، حواسب..) بالإضافة إلى إمكانية دمج عدد كبير من وظائف القياس والمراقبة والحمايات الأخرى في تجهيزه واحدة. تستخدم الحماية الرقمية للحصول على زمن تشغيل ثابت بالمقارنة مع الجيل الأقدم من الحواكم وعند شروط التشغيل الطبيعية غير أن أزمنة التشغيل تكون أقل بكثير عند حالات الأعطال.

11-5 العوامل المؤثرة على الحماية المسافية

مما سبق أصبح من الواضح أن الحماية المسافية تعاني من بعض الظواهر التي قد تحدث في الشبكة الكهربائية مسببة المشاكل وتؤثر على عملها سواء كانت هذه المشاكل عيوباً في الحواكم المستخدمة. أو بسبب شكل الشبكة الكهربائية وطريقة ربطها أو من التغيرات التي تطرأ على الأحمال والمولدات العاملة وهذا ما يجعل نظام الحماية المسافية يعمل بشكل خاطئ نتيجة استجابة لعطل خارج منطقة الحماية أوعدم استجابة لعطل من المفروض أن يتم كشفه وعزله بواسطة هذا النظام ومن أهم هذه الظواهر المؤثرة الظواهر التالية :

11-5-1 تحت الوصول under reach

يتقلص مجال التعيير للحاكمة عندما تصبح ممانعة العطل المنظورة من الحاكمة أكبر من الممانعة الحقيقية للعطل. وبالتالي لن تتحسس الحاكمة لبعض الأعطال التي قد تحدث في نهاية مجال التعيير.

11-5-2 زيادة الوصول over reach

يتمدد مجال التعيير للحاكمة عندما تصبح ممانعة العطل المنظورة من الحاكمة أصغر من الممانعة الحقيقية وبالتالي ستستجيب الحاكمة لبعض الأعطال التي تقع خارج مجال التعيير لها.

11-5-3 تأرجح الاستطاعة power swing

يعرف تأرجح الاستطاعة بأنه الاهتزاز الذي يحدث بين آلات التيار المتناوب المتواقتة بسبب التغير المفاجئ في الحمولة الذي ينتج عن فصل أحمال كبيرة أو حدوث عطل على أحد الخطوط المحملة وفصله وقد يكون تأرجح الاستطاعة حالة عابرة بين حالتين مستقرتين لا تستوجب الفصل وإذا حدث فصل على الخطوط غير المعطلة يمكن أن تتسبب بحدوث فصل متتابع للخطوط يؤدي إلى انهيار النظام بالكامل

11-5-4 تأثير العلاقة بين توتر الحاكمة و نسبة Z_S/Z_L

Relationship Between Relay Voltage and Z_S/Z_L Ratio

يبين الشكل (11-15أ) الدارة المكافئة أحادية الطور لحالة عطل ثلاثي الطور على نظام قدرة كهربائية . نطبق التوتر V على حلقة الممانعة وهو توتر الدارة المفتوحة لنظام القدرة. تمثل النقطة R موقع الحاكمة و V_R & I_R تمثلان قيم التيار و التوتر المقاسين من خلال الحاكمة

Z_S و Z_L تمثلان ممانعة المنبع و ممانعة الخط اللتين ترتبطان بموضع الحاكمة . وتعد ممانعة المنبع Z_S مقياس لمستوى العطل عند موضع الحاكمة وممانعة الخط Z_L مقياس لممانعة المنطقة المحمية و V_R التوتر المطبق على الحاكمة.

من أجل أعطال نقطة الوصول و نسبة ممانعة المنبع إلى ممانعة الخط Z_S/Z_L يمكن كتابة مايلي :

$$V_R = I_R . Z_L \qquad (11\text{-}2)$$

حيث:

$$I_R = \frac{V}{Z_S + Z_L} \qquad (11\text{-}3)$$

لذلك فإن:

$$V_R = \frac{Z_L}{Z_S + Z_L} V \qquad (11\text{-}4)$$

أو بصيغة اخرى

$$V_R = \frac{1}{(Z_S/Z_L)+1} V \qquad (11\text{-}5)$$

فالعلاقة السابقة تربط بين V_R والنسبة Z_S / Z_L وهي ممثلة بالشكل (11- 15 ب)، ويمكن تطبيقها على دارات القصر البسيطة، فمثلاً من أجل الأعطال بين الأطوار إذا كانت $V_{p\text{-}p}$ تمثل توتر المنبع الخطي وV_R التوتر المطبق على الحاكمة وI_R تيار الخط للحاكمة وZ_S/Z_L نسبة الممانعة الموجبة للمنبع إلى ممانعة خط النقل فإن V_R تعطى بالعلاقة التالية:

$$V_R = \frac{1}{(Z_S/Z_L)+1} V_{p-p} \qquad (11\text{-}6)$$

ولأجل الأعطال الأرضية إذا كانت $V_{L\text{-}N}$ تمثل توتر المنبع الطوري وV_R التوتر المطبق على الحاكمة و I_R تيار الطور للحاكمة و Z_S / Z_L معدل الممانعة الموجبة للمنبع إلى ممانعة خط النقل فإن V_R تعطى بالعلاقة التالية :

$$V_R = \frac{1}{(Z_S / Z_L)\left(\frac{2+p}{2+q}\right)+1} V_{L-n} \qquad (11\text{-}7)$$

حيث إن:

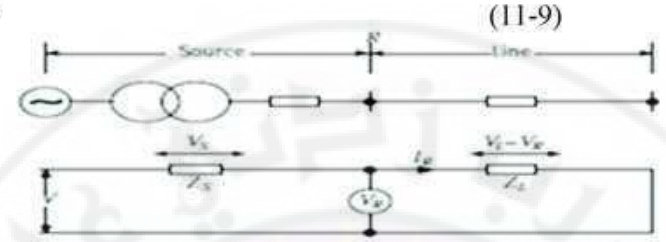
$$Z_S = 2Z_{S1} + Z_{S0} = Z_{S1}(2+p)$$
$$Z_L = 2Z_{L1} + Z_{L0} = Z_{L1}(2+q) \qquad (11\text{-}8)$$

وحيث إن:

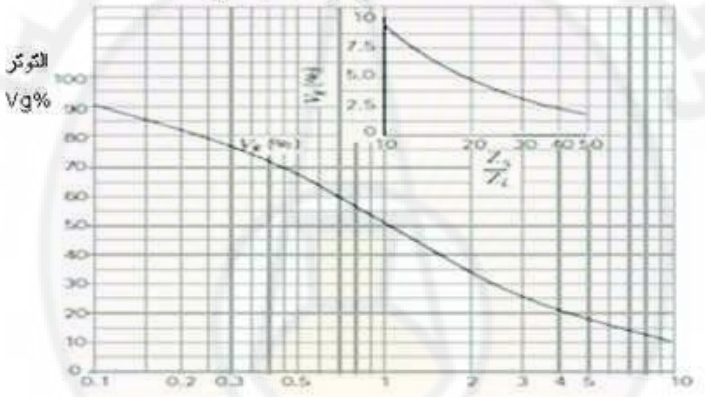
$$p = \frac{Z_{S0}}{Z_{S1}}$$

$$q = \frac{Z_{L0}}{Z_{L1}}$$

(11-9)



أ- توصيف نظام القدرة



نسبة ممانعة النظام Zs/ZL

ب- تغير توتر الحاكمة مع نسبة ممانعة المنبع الى الخط للنظام

الشكل (15-11) منحني العلاقة بين Z_S / Z_L وتوتر الحاكمة

11-5-5 حد التوتر لقياس نقطة الوصول الدقيقة

Voltage Limit for Accurate Reach Point Measurement

الحماية المسافية قادرة على قياس نقطة الوصول بدقة عند حدوث عطل بالاعتماد على التوتر الأصغري عند موضع الحاكمة وبالتالي تكون قيمة توتر التعيير أعلى من هذه القيمة ويعتمد هذا التوتر على تصميم الحاكمة و أيضاً على القيمة الأعظمية المكافئة لنسبة Z_S/Z_L أو S.I.R.

تزود الحماية المسافية المصممة بمعيار لتوتر نقطة الوصول الذي رأيناه سابقاً وبالتالي عندما يكون الخطأ المقاس كبيراً فإن الحاكمة لن تعمل، كما تزود معظم الحواكم الحديثة

بزاوية توتر الخط (استقطاب توتر الطور)، والغرض الأساسي من التوتر المستقطب للحاكمة هو تأكيد اتجاه عمل الحاكمة للاستجابة عند حدوث الأعطال في الاتجاه الأمامي أو الاتجاه العكسي للحاكمة، علما أن توتر حلقة العطل المقاس من قبل الحاكمة صغيراً جداً .

11-5-6 تحديد موضع العطل

يمكن للتطبيقات المذكورة أعلاه أن تحدد فقط ماإذا كان العطل ضمن خواص الحاكمة المسافية أو خارجها، وبما أن الحاكمة الرقمية قادرة على حساب الممانعة الظاهرية للعطل، وهذه الممانعة متعلقة بالمسافة فمن المفيد استخدامها لتحديد موضع العطل، ويتم ذلك باستخدام إحدى الطرق التالية:

11-5-6-1 تحديد موضع العطل باستخدام المفاعلة الظاهرية

يمكن استخدام قياس المفاعلة في الحاكمة المسافية الرقمية لتحديد موضع أعطال خطوط النقل، وباستخدام دارة العطل أحادي الطور في الشكل(11-16) سيكون التوتر المقاس عند قضيب التجميع P:

$$V_P = I_p \alpha Z_L + (I_p + I_q) R_f \qquad (11\text{-}10)$$

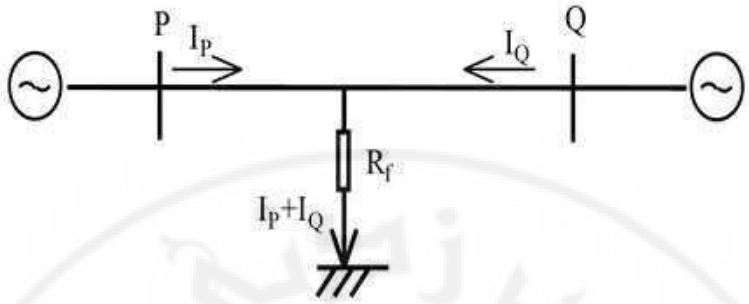
حيث:

α :هي ثابت يعبر عن موضع العطل ويقع ضمن المجال $0 < \alpha < 1$

Z_L :هي الممانعة الكلية للخط بين P و q

وبالتالي فإن الممانعة الظاهرية Z_a تصبح :

$$Z_a = \frac{V_p}{I_p} = \alpha . Z_L + \frac{(I_p + I_q) R_f}{I_p} \qquad (11\text{-}11)$$



الشكل (16-11) عطل على خط نقل مغذى من جانبيه

تعتمد Z_a على تيار العطل المقاس عند قضيب التجميع Q. فإذا كان I_p و I_q متوافقين بالطور فإن Z_a عندها ذات قيمة أومية بالكامل:

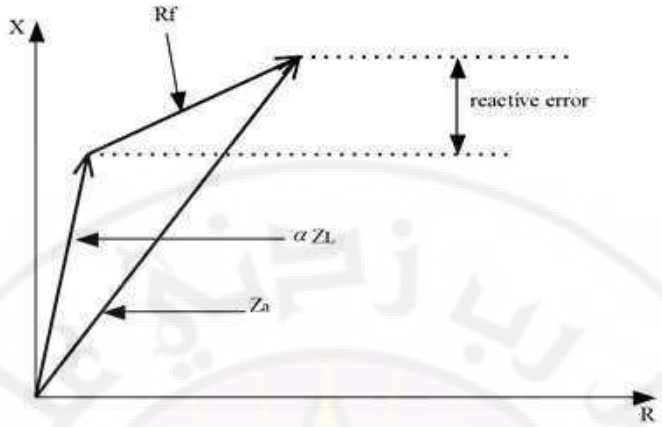
$$(I_p+I_q)R_f / I_p = Za \qquad (11\text{-}12)$$

وسيتم تقدير موضع العطل α من العلاقة:

$$\alpha = \frac{X_a}{X_L} = \frac{imag[Z_a]}{imag[Z_p]} \qquad (11\text{-}13)$$

نلاحظ أن تيارات العطل لقضيب التجميع لن تكون متوافقة بالطور إلا في حال عدم وجود جريان استطاعة ما قبل العطل، وفي حالة وجود زاوية طور δ بين I_p و I_q فإن الممانعة Za ستظهر كما في الشكل (17-11)، وبالتالي فهذه التقنية تعطي نتائج دقيقة فقط في حالة الأعطال ذات المقاومة المعدومة أو في حالة عدم وجود حمل ما قبل العطل. وهو أمر نادر عملياً.

يجب أن تغطي معايرة R للمناطق المسافية مقاومة الخط أو الكابل و مقاومات العطل الإضافية في حالة مقاومة العطل فإن المقاومة تزداد بسبب التغذية من الطرف البعيد ويجب تضمينها في الحسابات. ومن أجل المناطق الإحتياطية يجب أخذ المقاومات بعين الإعتبار بشكل أكبر، حيث إنه توجد خلال الأعطال البعيدة مركبة لتيار الحمل والتي تخفض زاوية القصر المقاسة عند الحاكمة، كما حدد سابقاً خلال معايرة كشف العطل بالممانعة.



الشكل(17-11) أثر مقاومة العطل وحمل ماقبل العطل على الممانعة المقاسة

حيث:

$\alpha.Z_L$: هي الممانعة الظاهرة للخط حتى نقطة العطل.

Z_a: الممانعة الظاهرة الكلية.

R_f: مقاومة القوس وهي تظهر للحاكمة بوصفها ممانعة (أي فيها جزء ردي) بسبب أثر حمل ماقبل العطل.

11-5-6-2 التعويض عن تغذية العطل من قضيب التجميع البعيد:

من الممكن تعويض أثر تغذية العطل على قضيب التجميع البعيد باستخدام تراكم التيار المقاس عند الطرف P ويعاد كتابة المعادلة (11-10) كالتالي:

$$V_p = I_p \alpha Z_L + \frac{I_{pf}.R_f}{D_a} \qquad (11\text{-}14)$$

حيث:

$I_{pf}=I_p-I_{load}$ تيار العطل المتراكم عند P

I_{load}: هو تيار الحمل ماقبل العطل،

D_a: تعبر عن "عامل توزع التيار.

$$Da = \frac{I_{pf}}{I_f} = (I-\alpha)Z_L + \frac{Z_{sq}}{Z_{sp}+Z_L+Z_{sq}} \qquad (11\text{-}15)$$

حيث :

Z_{sp} و Z_{sq} : ممانعتا المنبع عند نهايتي الخط P و Q على التتالي.

وبدمج المعادلتين (14-11) و (15-11) نجد أن :

$$\alpha^2 - \alpha K_1 + K_2 - K_3 R_f = 0 \qquad (11\text{-}16)$$

حيث:

$$K_1 = \frac{V_p}{I_p Z_L} + 1 + \frac{Zsq}{Z_L} \qquad (11\text{-}17)$$

$$K_2 = \left(\frac{V_p}{I_p Z_L}\right)\left(1 + \frac{Zsq}{Z_L}\right) \qquad (11\text{-}18)$$

$$K_3 = \left(\frac{I_{pf}}{I_p Z_L}\right)\left(1 + \frac{Z_{sq} + Z_{sp}}{Z_L}\right) \qquad (11\text{-}19)$$

بموازنة الأجزاء التخيلية في المعادلة (16-11) يمكننا إيجاد قيمة α، ويمكن تعميم هذه الطريقة لتشمل نظام القدرة ثلاثي الطور بالاعتماد على المركبات المتناظرة ولهذه الخوارزمية سلبيتان هما:

1-إن قيمة ممانعة المنبع للطرف البعيد Zsq يجب أن تكون معروفة. ويصعب تحديد هذه الممانعة بدقة لكونها تتغير مع الزمن. والحل الوحيد لهذه المشكلة هو استخدام طريقة قياس ثنائية الجانب (القياس على جانبي الخط). حيث يتم تسجيل التوترات والتيارات في أثناء فترة العطل على كلا طرفي الخط.

2-تهمل الخوارزمية أثر السعات التفرعية وبالتالي ستكون دقتها منخفضة على الخطوط الطويلة.

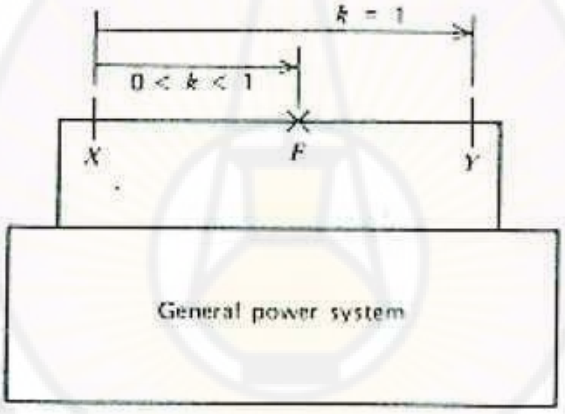
11-6 استجابة حاكمة الحماية المسافية للأعطال غير المتوازنة

Distance Relay Response to Unbalanced Faults

افترضنا حتى الآن أن الأعطال التي تحدث هي أعطال متوازنة ثلاثية الطور. في هذه الحالة فإن:[29]

$$Z = \frac{V}{I} \qquad (11\text{-}20)$$

هي الممانعة التناظرية الموجبة للخط وتتناسب بصورة مباشرة مع طول الخط، وينطبق ذلك على الخطوط الشعاعية وعلى النظم الحلقية أيضا، والسؤال الآن هل ينطبق هذا المفهوم أيضا على الأعطال غير المتوازنة، وبمعنى آخر هل تتناسب الممانعة طردا مع المسافة إلى نقطة العطل ؟ وللإجابة عن هذا السؤال نعد الحالة المبينة في الشكل (11-18) والتي تمثل خطأ مغذى من نهايتيه تعرض إلى عطل من نوع طور مع الأرض أو عطل أحادي الطور SLG في النقطة F التي تبعد مسافة k عن النقطة X التي تمثل موقع الحاكمة



الشكل(11-18) خط مغذى من نهايتيه حصل عليه عطل طور - أرض SLG

11-6-1 استجابة الحماية المسافية لأعطال من نوع طور مع الأرض SLG

من أجل عطل من نوع طور مع الأرض يمكن حساب ممانعة الطور كنسبة توتر الطور الذي يساوي الى مجموع التوترات التناظرية الموجبة والسالبة والصفرية إلى تيار الطور كما مبين في مجموعة المعادلات (11-21) و (11-22) التالية:

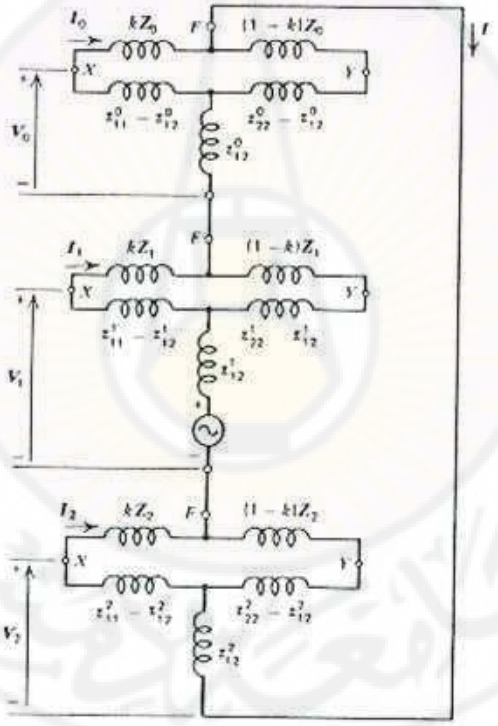
$$V_0 + V_1 + V_2 = K(Z_0 I_0 + Z_1 I_1 + Z_2 I_2)$$
$$= K(Z_0 I_0 + Z_1 I_1 + Z_2 I_2 + Z_1 I_0 - Z_1 I_0)$$
$$V_a = K Z_1 I_a + K(Z_0 - Z_1) I_0$$
$$I_a = I_0 + I_1 + I_2 \qquad (11\text{-}21)$$

وتكون الممانعة التي تراها الحاكمة:

$$Z_a = \frac{V_a}{I_a}$$

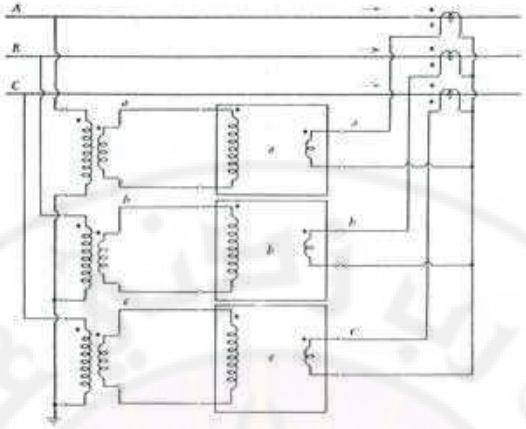
$$Z_a = KZ_1 + K(Z_0 - Z_1)\frac{I_0}{I_a} \qquad (11\text{-}22)$$

إذن لا تتناسب الممانعة طردا مع المسافة لأن Za تابعة للمسافة K بدرجة أكثر تعقيدا. أما إذا كانت $Z_1 = Z_0$ فإن Za تتناسب مباشرة مع المسافة إلى نقطة العطل. يبين الشكل(19–11) الدارات التناظرية لعطل غير متناظر.



الشكل (19–11) الممانعة المنظورة لعطل غير متوازن

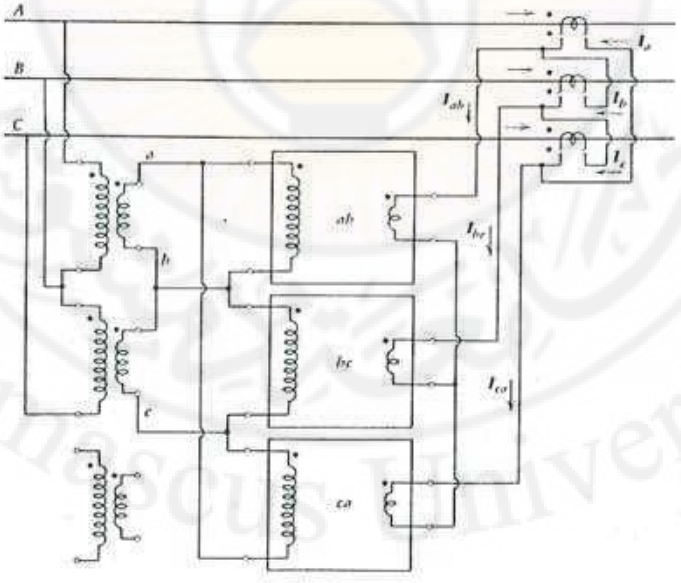
يبين الشكل(20–11) دارة كشف الأعطال من نوع SLG وتسمى الحواكم المستخدمة في هذه الحالة حواكم العطل الأرضي.



الشكل(20-11) دارة كشف عطل من نوع SLG باستخدام حواكم العطل الأرضي

11-6-2 استجابة الحماية المسافية لأعطال من نوع LL

يبين الشكل (21-11) دارة مناسبة لاكتشاف أعطال من نوع L-L حيث إن الحواكم المستخدمة هي حواكم الطور، وتجدر الإشارة إلى أن كلتا الدارتين تصلحان لاكتشاف أعطال من نوع طورين مع الأرض DLG وعطل ثلاثي الطور 3L



الشكل(21-11) دارة كشف عطل من نوع L-L بإستخدام حواكم الطور

11-7 مناطق الحماية Zones of Protection

عند إختيار تعييرات المراحل المختلفة للحاكمة المسافية، وكذلك أزمنتها يجب أن نكون حذرين ، في الحفاظ على التنسيق بين الحمايات المسافية لنظام القدرة، وتضم الحماية المسافية مرحلة حماية واحدة أو أكثر ، وتعتمد المراحل الأخرى على التأخير الزمني. يبين الشكل (22-11) مناطق الحماية المسافية التي منها منطقة عكسية مع تعيير الزمن لكل منطقة، وعملياً يتم تعيير المراحل الثلاث الأولى للحماية لتغطي كافة أجزاء الخط، كما تتعلق التعييرات بتصميم الحاكمة أو بالتخاطب بين الحمايات المسافية وفقا للشركة المصنعة للحاكمة تتم بشكل عام وفقا لما يلي:[4]

المنطقة الأولى Zone1 : 80-85% من ممانعة الخط الذي تتم حمايته

المنطقة الثانية Zone2 (أدنى): 120% من الخط الذي تتم حمايته

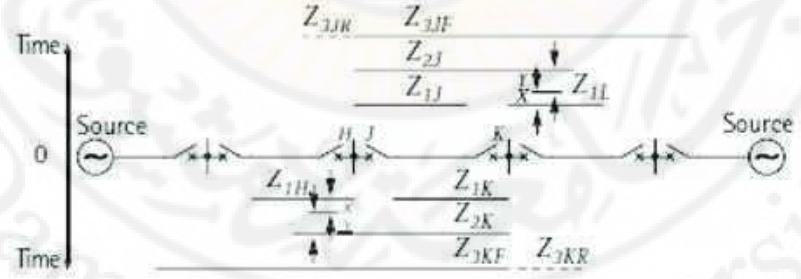
المنطقة الثانية Zone2(أعلى): <الخط الذي تتم حمايته + 50% من أقصر خط تالٍ>

المنطقة الثالثة أماميةZone3F: 1.2(الخط الذي تتم حمايته+الخط التالي الأطول)

المنطقة الثالثة خلفية Zone3R: 20% من الخط المحمي

X: زمن فصل القاطع الآلي

Y: زمن التنسيق



الشكل (22-11) خواص مسافة / زمن للحماية المسافية ثلاثية المناطق

11-7-1 تعيير المرحلة الأولى Zone1 Setting

تعير ممانعة المنطقة الأولى Zone1 عادة في الحمايات الستاتيكية والإلكترونية على قيمة 80% من ممانعة الخط الذي تتم حمايته، وفي الحمايات الرقمية على قيمة 85% من

ممانعة الخط حيث إن هناك هامش أمان ضمن المجال %(20-14) لتأكيد الفصل ضمن المرحلة الأولى للخط، وهذا الهامش ناجم عن أخطاء القياس لمحولات التيار والتوتر. يؤدي عدم الدقة في معطيات ممانعة الخط المستخدمة لتعيير الخط إلى حدوث أخطاء في قيم تعيير مراحل الحاكمة وحسابها ما يسبب فقدان لسرعة تشغيل الحاكمة عند حدوث عطل عند أجزاء من الخط، ولذلك تأتي المنطقة الثانية لتغطي المجال %(20-14) المتبقية من المرحلة الأولى من الخط المحمي.

11-7-2 تعيير المرحلة الثانية Zone 2 Setting :

تعير المنطقة الثانية Zone2 لتأكيد تغطية كامل الخط المحمي نتيجة للأخطاء الناتجة عن المنبع والخطوط السابقة للخط المحمي. تعير ممانعة المنطقة الثانية Zone2 للحماية المسافية على 120% من ممانعة الخط المحمي وفي بعض الحمايات تعير بحيث تساوي قيمة التعيير لممانعة الخط المحمي مضافاً إليه 50% من ممانعة أقصر خط يلي الخط المحمي، وهنا يجب أن لا تؤثر قيمة تعيير Zone2 على قيمة تعيير Zone1 في الخط التالي، لذلك يتم تعيير Zone2 مع تاخير زمني لها .

في الحواكم الستاتيكية والإلكترونية تزود حماية المنطقة الثانية Zone2 إما بعناصر منفصلة أو بتوسع المنطقة الأولى Zone1 مع تأخير زمني، وهذا يتعلق بطبيعة العطل المكتشف أما عناصر المنطقة الثانية Zone2 في الحواكم الرقمية فإنها موجودة ضمن نظام البرمجة للحاكمة.

يجب أن يزود تعيير Zone2 بتأخير زمني لتحقيق التدرج الزمني مع حواكم الخطوط المجاورة عند حدوث فشل في عمل الحاكمة ضمن Zone2 وهكذا فإن تغطية الخط من قبل حاكمة الحماية المسافية قد تتحقق بشكل كامل ويتم الفصل بشكل سريع ضمن المجال %(85-80) من الخط وأبطأ بقليل لبقية الخط.

11-7-3 تعيير المرحلة الثالثة Zone3 Setting

تستخدم المنطقة الثالثة Zone3 للتحكم بكافة الأعطال في الخطوط اللاحقة للخط المحمي، ويستخدم معها تأخير زمني يتمثل بزمن Zone2 إضافة إلى زمن فصل القاطع الآلي في الخط التالي، ويجب أن يساوي تعيير ممانعة المنطقة الثالثة Zone3 إلى 1.2

مرة من الممانعة المقاسة من قبل الحاكمة عند حدوث عطل بالنهاية البعيدة من الخط Zone2 التالي، وبما أن تيار العطل المغذي لقضيب التجميع البعيد لنظام القدرة يبدي ممانعة كبيرة للحاكمة فإنه يتوجب حساب ممانعة تعيير المنطقة الثالثة Zone3.

في بعض الأنظمة فإن تغير مغذيات قضيب التجميع البعيد يمكن أن يمنع تطبيق حماية Zone3 أما في أنظمة التوزيع الشعاعية ذات المغذي الوحيد فإنه لا توجد صعوبات في تطبيقها.

4-7-11 تعييرات المنطقة العكسية والمناطق الأخرى

Settings for Reverse Reach and Other Zones

يمكن إضافة عدة مناطق للحماية المسافية الرقمية، وذلك يزيد من وظائف الحماية . فمثلاً لدينا ثلاث مناطق يمكن تعييرها بالاتجاه الأمامي، ويمكن أيضاً أن تضاف منطقة رابعة Zone4 يمكن أن تعير بالاتجاه العكسي للحماية وتعد حماية احتياطية لقضيب التجميع المحمي وعادة يتم تعيير ممانعة المنطقة الرابعة Zone4 على 25% من قيمة المنطقة الأولى Zone1. كما يمكن إضافة منطقة عكسية على مخطط R/X بحيث تصبح المناطق الثلاثة الأولى أمامية و الأخرى عكسية وخصائص الممانعات المقاسة تكون غير اتجاهية. أحد مزايا المنطقة غير الإتجاهية لقياس الممانعة هي قابليتها للعمل في حالة العطل القريب أو لعطل ذات ممانعة صفر، وفي حالات عدم توفر إشارة توتر الطور السليم أو التوتر المتبقي الذي يسمح بعمل منطقة الحماية الاتجاهية. والغاية من المناطق غير الاتجاهية هي أن تعمل الحماية عند فقدان التوتر على أحد الأطوار أما المنطقة الاتجاهية فيجب أن يتوفر توتر الأطوار الثلاثة حتى تعمل.

الحماية SOTF وهي حماية لفصل القاطع تحت العطل وبشكل قسري عند الحالات الطارئة مثل عمل صيانة على أحد خطوط محولة التوتر ونسيان كابلات التأريض معلقة على الخط. تعتبر المناطق المضافة جزءاً من الحماية المسافية لأجل التخاطب بين الحمايات.

11-8 خصائص حاكمة الحماية المسافية

Distance Relay Characteristics

تصنف الحوا كم المسافية استنادا إلى المنحني المميز لها على إحداثيات R/X واستنادا إلى قيم الدخل للحاكمة وعددها، وكذلك حسب طريقة المقارنة. في الحوا كم الأكثر شيوعاً تجري المقارنة بين قيمتين للدخل، وذلك إما بمقارنة الطويلة أو مقارنة فرق الصفحة، وبالتالي فإن منحني الخواص لهذه الحواكم على إحداثيات R/X إما أن يكون دائرة مركزها نفس مركز الإحداثيات أو مستقيماً يمر من مركز الإحداثيات.

تقيس بعض الحمايات المسافية الرقمية ممانعة العطل و عندئذ تقرر التشغيل المطلوب والموافق لمجال الممانعات وهذا ما يبينه مخطط R/X، أما الحمايات التقليدية والرقمية التي تعتمد على عناصر الممانعة فتقوم بقسمة توتر العطل المقاس على تيار العطل، ثم تقارن الناتج مع قيمة ممانعة تعيير المنطقة لتقرر فيما إذا كان العطل ضمن مجال المنطقة أو خارجها.

يعمل ألغوريتم ممانعة حاكمة الحماية المسافية على تصنيف المقارنات ومطابقتها من خلال إشارات الدخل المطبقة على الحاكمة، وهناك طرائق حسابية تستخدم لمقارنة الإشارات، وتتم المقارنة إما من خلال التقريب النسبي أو من خلال كميتي دخل لكل طور للحصول على الخصائص والتي إما أن تكون خطوطاً مستقيمة أو دوائر، ويمكن رسمها على مخطط R/X .

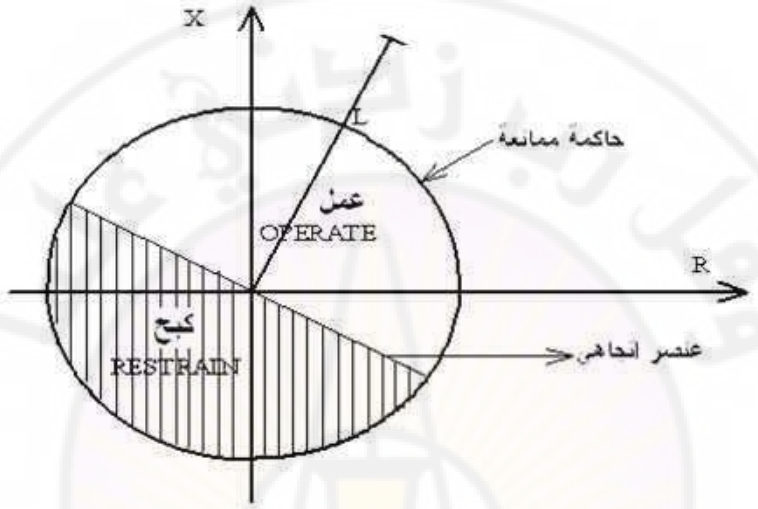
هناك العديد من الحواكم التقليدية التي ما زالت بالخدمة إلى جانب عدد من الحواكم الرقمية ذات التقنية العالية مقارنة مع التقليدية .

11-8-1 خواص حاكمة الممانعة البسيطة

Plain Impedance Relay

تعتمد حاكمة الممانعة البسيطة في مبدأ عملها على مقارنة قيمة الجداء ($Z_{setting}xI$) مع قيمة التوتر أي مع القيمة (Z_fxI) ولا تأخذ هذه الحاكمة بالاعتبار الزاوية بين التوتر والتيار، ولذا تعطي مميزات دائرية مركزها في مبدأ الجملة الاحداثية ونصف قطرها يساوي قيمة الممانعة المعايرة وستقلع الحاكمة عندما تصبح قيمة ($Z_{setting}xI$) أكبر من

قيمة (Z/xI) بغض النظر عن موقع العطل أمام الحاكمة أوخلفها ، لذا نحتاج عادة إلى إضافة عنصر إتجاهي لهذه الحاكمة، حيث يبين الشكل(23-11) الخواص الدائرية لهذه الحاكمة مع إضافة عنصر اتجاهي يعبر عنه الخط المستقيم.

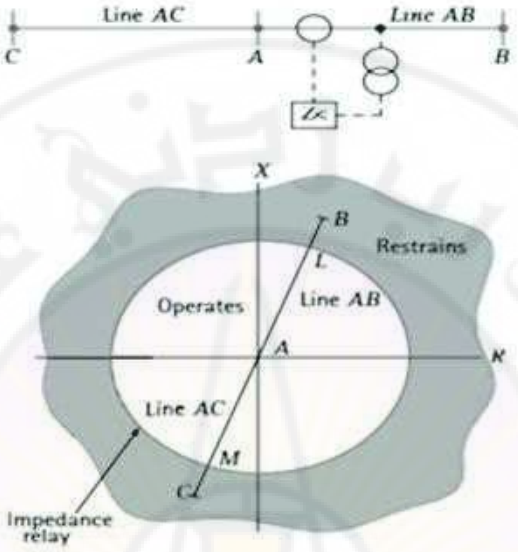


الشكل(23-11) مميزات حاكمة الممانعة مع عنصر إتجاهي

إذا كانت المقارنة بين I و V من حيث فرق الصفحة سينتج لدينا مستقيم يمر بمركز الإحداثيات كما في الشكل (24-11) الذي يبين الخصائص الدائرية للحاكمة ولا تعتمد هذه الخصائص على قيمة الزاوية بين التيار والتوتر المطبقين على الحاكمة، ولهذا السبب فإن خصائص الممانعة يمكن رسمها على مخطط R/X على شكل خصائص دائرية ونصف قطرها قيمة تعيير الممانعة ، وتعمل الحاكمة عندما تكون قيمة الممانعة أقل من قيمة التعيير وذلك من أجل كافة النقاط داخل الخصائص الدائرية.

يتبين من الخواص أن الحاكمة ستعمل من أجل كافة الأعطال على اتجاه الخط AL وكذلك خلف الباسبار AM ، ويمكن أن نلاحظ أن موضع الحاكمة هي النقطة A وأن RAB هي زاوية التيار المتأخر عن توتر الحاكمة من أجل الأعطال على الخط AB وأن RAC هي الزاوية المكافئة للأعطال على الخط AC . وتمثل القيمة الشعاعية AB الممانعة الأمامية للحاكمة بين موضع الحاكمة و نهاية الخط وأما القيمة الشعاعية AC

فتمثل ممانعة الخط AC خلف موضع الحاكمة، وتمثلAL قيمة وصول المنطقة الأولى و التي تغطي 80% أو 85% من الخط المحمي .



الشكل (24-11) خواص حاكمة الممانعة البسيطة

11-8-1-1 أداء حاكمة الممانعة البسيطة

بالعودة إلى المعادلة العامة للحواكم، وانطلاقا من أن العزم الناتج يجب أن يكون موجباً حتى تعمل الحاكمة، سوف نقوم بتعيين المحددات التالية :

$$Kc = Ks = 0$$

$$A = V$$

$$B = I$$

$$KaV^2 + KbI^2 \geq 0 \qquad (11\text{-}23)$$

ومنها نستنتج أن:

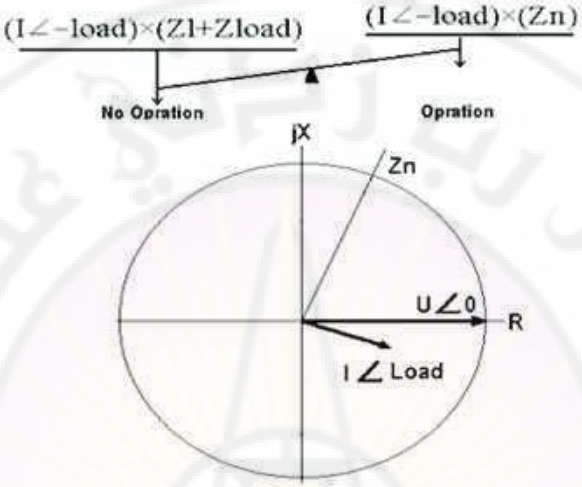
$$Zr = \sqrt{\frac{-Kb}{Ka}} \qquad (11\text{-}24)$$

حيث:

Z_r: هي قيمة Z الحرجة التي تكون عندها الحاكمة على حافة العمل.

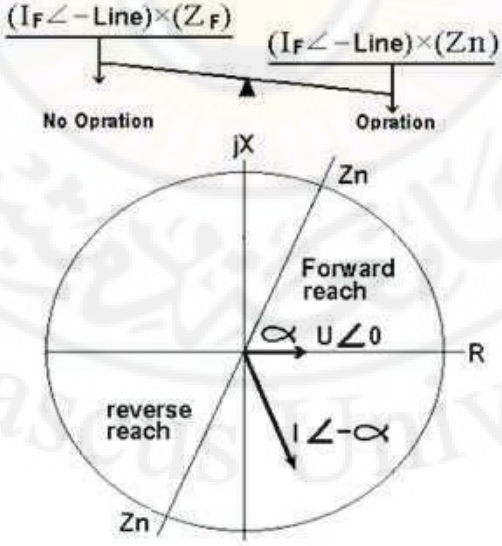
K_a أو K_b: ثابتتان ويجب أن تكون إحداهما سالبة وليس كليهما.

واستنادا إلى ذلك تشير المعادلة السابقة إلى أن Z ثابتة، وأن المحل الهندسي لها دائرة كما هو مبين في الشكل (25-11). والذي يبين منطقتي العمل واللاعمل للحاكمة.



الشكل (25-11) منطقتا العمل واللاعمل للحاكمة

يبين الشكل (26-11) أداء حاكمة الممانعة البسيطة عند حالة عطل بالاتجاه الأمامي



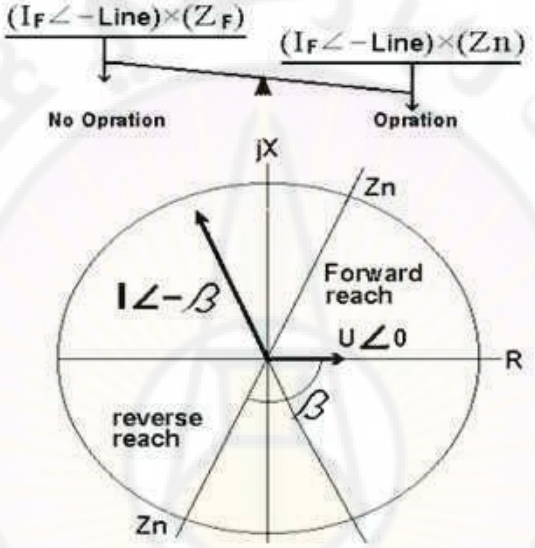
الشكل (26-11) أداء الحاكمة عند حالة عطل بالاتجاه الأمامي

حيث:

$(I_F \angle -Line) \times Z_F$: التوتر المرجعي

$(I_F \angle -Line) \times Zn$: التوتر المقارن

كما يبين الشكل (27-11) أداء حاكمة الممانعة البسيطة عند حدوث حالة عطل بالاتجاه العكسي حيث $|U| < |IZn|$.



الشكل (27-11) أداء الحاكمة عند حالة عطل بالاتجاه العكسي

تتلخص مساوئ هذه الحاكمة فيما يلي:

1-أنها لاتجاهية فهي ترى الأعطال الواقعة أمامها أو خلفها، وبالتالي تتطلب وجود عنصر اتجاهي إضافي لتنسيق عملها بشكل صحيح.

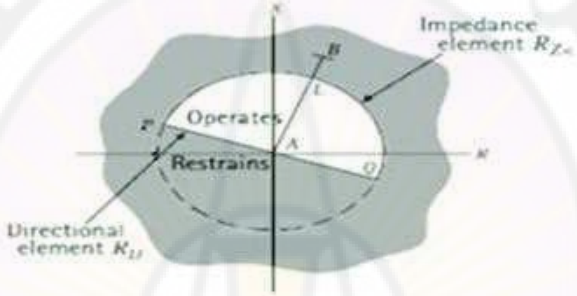
2- تتأثر بمقاومة القوس الكهربائي للعطل.

3-حساسة تجاه تأرجح القدرة والأحمال الكبيرة، وذلك بسبب المساحة الكبيرة التي تغطيها دائرة الخواص.

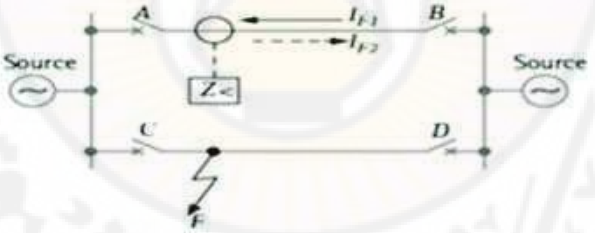
11-8-1-2 حاكمة بخواص ممانعة واتجاه مشتركة

إن تحديد الاتجاه ضروري لتمكين الحاكمة المسافية من تمييز الأعطال بجودة عالية وعدم الاستجابة للأعطال خارج منطقة الحماية للخط .ويمكن تحقيق ذلك بإضافة عنصر تحكم إتجاهي منفصل عن الحاكمة .

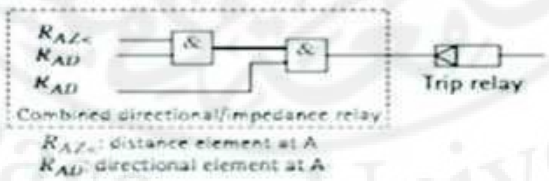
تمثل خصائص الممانعة للعنصر الاتجاهي بخط مستقيم على مخطط R/X، ولذلك يمكن توحيد خصائص الممانعة للعنصر الاتجاهي وكذلك للحماية المسافية إذ تمثل بنصف دائرة كما في الشكل (28-11).



أ- الخواص المشتركة لحاكمة ممانعة/اتجاه



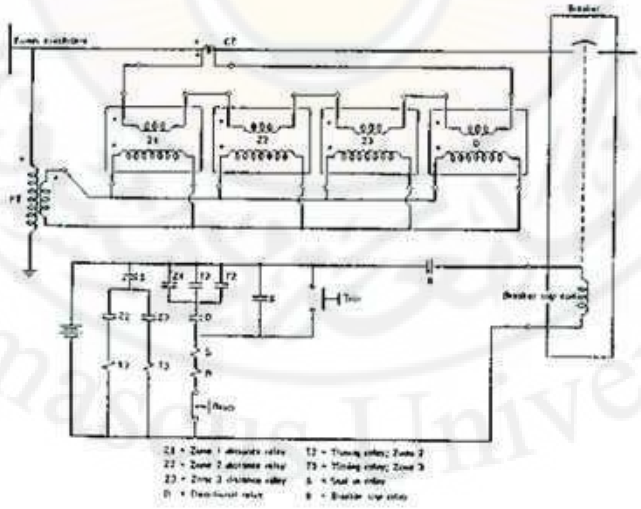
ب- شرح استخدام حاكمة ممانعة/اتجاه : مخطط الدارة



ج- منطق عناصر الممانعة والاتجاه في A

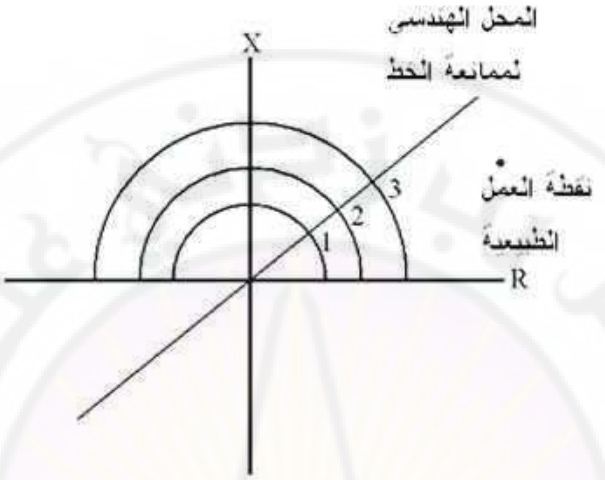
الشكل(28-11) حاكمة بخواص ممانعة واتجاه مشتركة

عند حدوث عطل في النقطة F والقريبة من C يكون العطل على التفرع مع الخط CD ، وعندها سيتم اعاقة عنصر الاتجاه RD بسبب التيار I_{F1} . وبنفس الوقت سيتم منع وحدة الممانعة من العمل بسبب خرج عنصر الاتجاه RD . وإذا لم يكن هناك ضبط لعنصر الممانعة فمن الممكن أن يحدث تشغيل غير مرغوب فيه و يتم فتح القاطع بالنقطة C . كما أن عكس اتجاه التيار في الحاكمة من I_{F1} إلى I_{F2} بسبب فتح القاطع C سوف يسبب نتائج غير صحيحة وقد يؤدي لفصل الخط السليم إذا تم تشغيل الوحدة الإتجاهية RD قبل إعادة تهيئة وحدة الممانعة. ما يتطلب التنسيق الصحيح بين كافة عناصر الحاكمة لتأمين الوثوقية عند حدوث أعطال مختلفة، وفي الحواكم القديمة فإنه يتم توظيف المخارج لكل نوع من أنواع الأعطال المعروفة، ويتم الإشارة على هذا المخرج. يبين الشكل (29-11) دارة حاكمة حماية مسافية ثلاثية المراحل اتجاهية وتم توصيل عنصر الإتجاه D مع ملفات المراحل الثلاث على التسلسل، وتم توصيل نهايتيها إلى خرج محولة التيار CT ، كذلك تمت تغذيتها بالتوتر من ثانوي محول توتر PT، كما يبين الشكل طريقة توصيل ملف تغذية القاطع الآلي والتحكم بفصله ووصله عن طريق تلامسات مراحل الحاكمة [29]



الشكل(29-11) حاكمة حماية مسافية بثلاث مراحل مع عنصر إتجاه

يبين الشكل (30-11) خواص حاكمة الممانعة الاتجاهية للدارة السابقة للمراحل الثلاث ومنطقة عملها فوق المحور فقط.



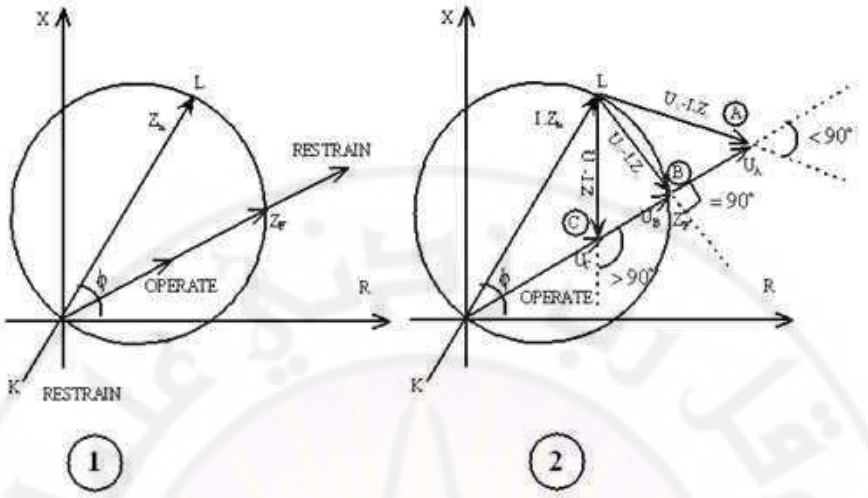
الشكل (30-11) منطقة العمل لحاكمة مسافية ثلاثية المناطق ذات محدد للاتجاه

11-8-2 حاكمة موه MHO ذاتية الاستقطاب

Self-Polarized MHO Relay

تعرف هذه الحاكمة بهذا الاسم لكون مميزاتها تشكّل خطاً مستقيماً في مستوي السماحية وتتميز بجمعها لمميزات الحاكمة الإتجاهية وحاكمة الممانعة.[4]

ويقوم المبدأ الأساسي لعملها على مقارنة الزاوية بين شعاع الممانعة المقاسة Z_f وشعاع الفرق بين الممانعة المقاسة والممانعة المعايرة $[U/I-Z_n]$ ، أو إذا ضربنا القيم السابقة بالتيار فإن المقارنة تكون بين التوتر المقاس U_A وإشارة الفرق التي تسمى بالاستقطاب $PS=U-IZ_n$ وعندما نرسم خواص هذه الحاكمة في مستوي الممانعة(R - X) فإنها ستشكل دائرة يمر محيطها من المبدأ وقطرها يساوي $Z_{setting}$ كما في الشكل (11-31) الذي يظهر أن الحاكمة اتجاهية ضمناً.



الشكل(31-11) خواص حاكمة السماحيةMHO

حيث $Z_{setting}=Z_n$ هي قيمة الممانعة المعايرة، وتشكّل قطر الدائرة، والزاوية Φ هي زاوية خواص الحاكمة (RCA)، ويمثل الشكل الثاني مميزات MHO الإتجاهية بإستخدام مقارن طوري والذي يقارن إشارتي الدخل (V-IZn) و V حيث تقلع الحاكمة عندما تصبح الزاوية بينهما [90÷270°]. ويجب ملاحظة أن وصول منطقة الحماية سيتغير مع تغير زاوية العطل وبالأخص في حال وجود مقاومة قوس كبيرة تزيد من قيمة المركبة الأومية لممانعة العطل، لذا من الضروري معرفة الفرق بين زاوية الخط وزاوية المميزات. والمشكلة الأساسية لهذه الحواكم هي التقلص الكبير لوصول منطقة الحماية الأولى (Zone1) في حالة الأعطال الأرضية، كذلك سميت هذه الحاكمة بهذا الاسم لأن المنحني المميز لها على إحداثيات السماحية هو مستقيم وبإضافة إشارة استقطاب تم الحصول على خصائص كلتا الحاكمتين الممانعة والاتجاهية وإذا رسمنا منحني الخواص لهذه الحاكمة في مستوي الإحداثيات (R-X) فإننا نحصل على دائرة تمر من مبدأ الإحداثيات كما هو مبين في الشكل (11-32) الذي يظهر بوضوح أن الحاكمة ذات خاصية اتجاهية وأنها ستعمل فقط في الاتجاه الأمامي أي من أجل الأعطال التي تحدث على الخط AB فقط. يمكن الحصول على إشارة الاستقطاب ببساطة باستخدام دارة مقارنة فرق الصفحة بين إشارتي الدخل S_1 و S_2 وإعطاء أمر التشغيل عندما تتأخر S_2

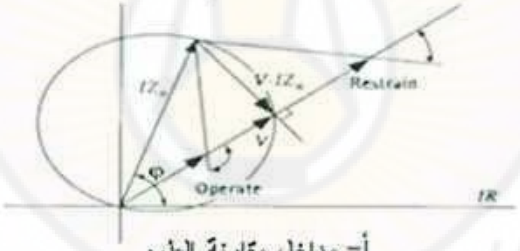
عن S_1 بزاوية تقع في المجال°(90-270) كما هو مبين في الشكل (32-11) حيث إن إشارتي الدخل للحاكمة S_1 و S_2 هما:

V: توتر ثانوي محول التوتر المطبق على الحاكمة

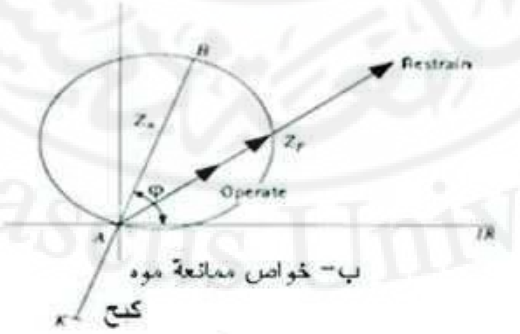
I: تيار ثانوي محول التيار المطبق على الحاكمة

Z_1: ممانعة التعيير للحاكمة

تعرف خصائص ممانعة موه MHO على أنها خط مستقيم وأنه من الجيد الجمع بين الجودة بتعيير ممانعة الوصول وتعيير الاتجاهية، لذا ولإزالة المشاكل المتعلقة بالمخارج يتوجب الفصل بين تعيير نقاط الوصول وتعيير عنصر الاتجاه، ويتم ذلك من خلال إضافة الاشارات المتعلقة بالقطبية أو الاتجاه حيث إن عنصر الممانعة اتجاهي و يعمل لكشف الأعطال بالاتجاه الأمامي على طول الخط AB. وتعد حاكمة موه MHO اقتصادية ومستخدمة في الحواكم الإلكتروميكانيكية التي انتشرت بشكل واسع في العالم لعدة سنوات بسبب استخداماتها وميزاتها ولذلك يتم الآن محاكاة ذلك في الحواكم الحديثة



أ- مداخل مقارنة الطور



ب- خواص ممانعة موه

كمح

الشكل(32-11) خواص حاكمة موه MHO

11-8-2-1 تعيير خصائص حاكمة موه

تتلخص خصائص حاكمة MHO بما يلي:

1-يجب أن تضبط وتعيّر خصائص الممانعة على ممانعة الوصول المتمثلة بالقطر، وتمثل φ زاوية انزياحه عن المحور R وتعرف بأنها زاوية خصائص الحاكمة RCA (Relay Charachteristics Angle) وعندما تعمل الحاكمة بوجود ممانعة عطل Z_F فإنها تؤخذ ضمن الخصائص.

2-يلاحظ بأن ممانعة الوصول تتغير مع تغير زاوية العطل، التي ترتبط من أجل خطوط النقل المحمية مع مقاومة الخط R و مفاعلته X بعلاقة من خلال تردد تشغيل النظام.

3-تتضمن المقاومة الأومية بالإضافة إلى مقاومة قوس العطل المقاومة الأرضية مثل مقاومة البرج أوالقصر عبر الأشجار، وبالتالي فإن مقاومة العناصر الداخلة بممانعة العطل ستزيد من زاوية الممانعة ، وهكذا فإن زاوية خصائص الحاكمة هي الزاوية المكافئة لزاوية الخط عند حالات العطل المختلفة.

4-تكون زاوية خصائص الحاكمة RCA عادة أقل من زاوية الخط، وبالتالي يمكن قبول قيمة صغيرة من مقاومة العطل بشرط أن تبقى قيمة ممانعة العطل ضمن ممانعة المنطقة .

5-الفرق ما بين زاوية خصائص الحاكمة وزاوية الخط موضح بالشكل (11-33) حيث إن AB تمثل طول الخط المحمي وأن قيمة φ أقل من قيمة Φ، والقيمة الحقيقية للخط المحمي AB يجب أن تساوي قيمة تعيير الحاكمة AQ مضروباً بعامل الاستطاعة COS (Φ-φ) وبالتالي يمكن كتابة العلاقة :

$$AQ = \frac{AB}{cos(\theta - \varphi)} \qquad (11\text{-}25)$$

بسبب الطبيعة الفيزيائية للقوس فإن العلاقة ما بين توتر القوس و تيار القوس علاقة غير خطية، وبالتالي فإن المقاومة الناتجة مقاومة غير خطية.

يمكن حساب القيمة التقريبية لمقاومة القوس R_a بإستخدام العلاقة التجريبية التالية:

$$R_a = \frac{28710}{I^{1.4}} L \qquad (11\text{-}26)$$

حيث:

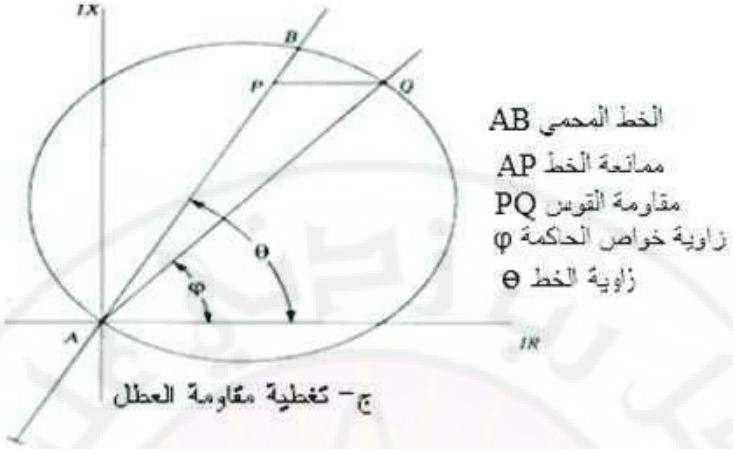
R_a : مقاومة القوس بالأوم

L: طول القوس بالمتر

I: تيار القوس بالأمبير

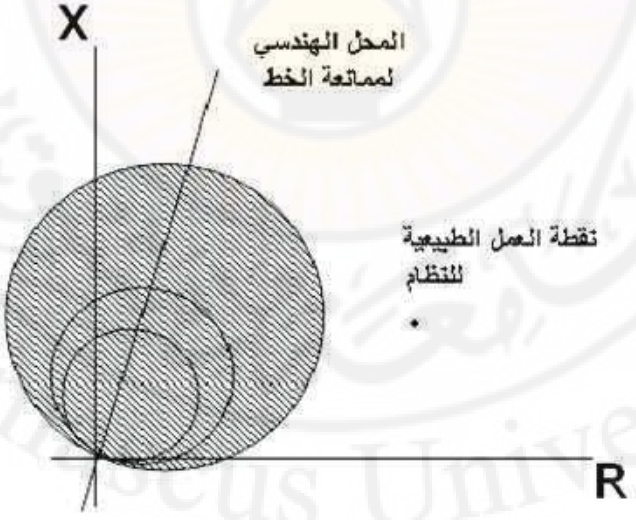
تؤثر الأسلاك الفولاذية الموجودة ضمن الخطوط الهوائية بالإضافة إلى خط التأريض الهوائي بشكل بسيط على ممانعة القوس. يكون التأثير الأكبر على الخطوط الهوائية عند مرور تيارات قصر أقل من 2000A إذا كان الخط المحمي محمولاً على أبراج خشبية و بدون أسلاك تأريض، إذ يؤثر تناقص مقاومة العطل الأرضي على قيمة الوصول لحاكمة موه MHO عند حدوث الأعطال الأرضية ولذلك فإنها ترى أغلب الأعطال في المنطقة الثانية وللتغلب على هذه المشكلة يتم استخدام الخصائص المضلعية للحاكمة المسافية .

عندما يكون نظام القدرة الكهربائية مؤرضاً عبر مقاومة، فإنه من الممكن أن يكون لذلك تأثير على قيمة مقاومة القوس المرئية، وبالتالي على تعييرات الحاكمة وبشكل مختلف عن تاثير تخفيض تيار العطل. تكون مقاومة التأريض عند المنبع خلف الحاكمة وهي تؤثر على زاوية ممانعة المنبع فقط، أما الأعطال الأرضية فتؤثر على نسبة ممانعة المنبع إلى ممانعة الخط وهذه النسبة يمكن أن تساعد في تقييم أداء الحاكمة استنادا إلى نسبة ممانعة النظام.



الشكل(33-11) تأثير مقاومة القوس على الممانعة التي تقيسها الحاكمة

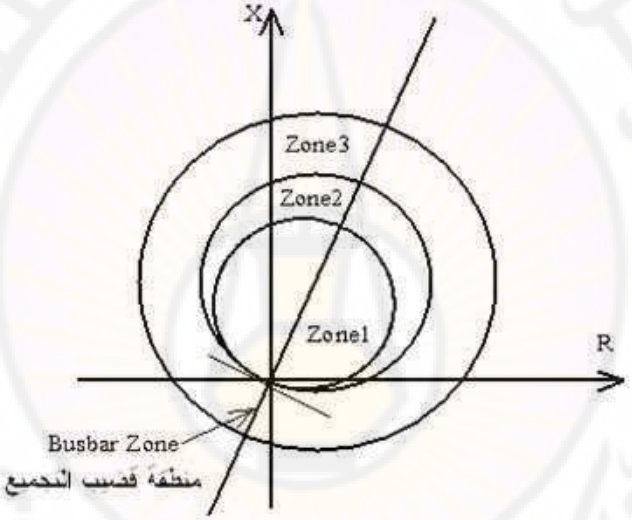
يمكن أن ترسم خصائص الممانعة لحاكمة موه MHO في مستوي (R- X) كما هو مبين في الشكل (33-11) وهي حواكم اتجاهية، ويمكن أن تعير أيضا لتستشعر بالأعطال عند مسافات مختلفة من الخط محققة بذلك حماية المناطق وذلك كما هو مبين في الشكل(34-11) الذي يبين خواص العمل لحاكمة MHO ثلاثية المناطق.



الشكل (34-11) حاكمة Moh المعدلة ثلاثية المناطق

11-8-2-2 إستخدام حاكمة MHO المعدلة لبعض الحالات الخاصة

تستخدم هذه الحواكم لتشكيل خواص المنطقة الثالثة ومنطقة الإقلاع في الحواكم عند استخدام أحد نظم التخاطب بين الحواكم ولتشكيل مميزات منطقة تأرجح القدرة، وفي حال وجود تيارات حمل كبيرة يمكن استخدام المميزات العدسية لتقليص مدى المنطقة الثالثة وضمان عدم وصولها إلى منطقة ممانعة الحمل, ويبيّن الشكل (35-11) خواص هذه الحاكمة للمنطقتين الأماميتين الأولى والثانية وللمنطقة الثالثة غير الإتجاهية والتي تشكل حماية إحتياطية لقضيب التجميع.



الشكل(35-11) مميزات حاكمة MHO المعوضة

ويمكن ترتيب مناطق الحماية في هذه الحاكمة بطرائق مختلفة وبالأخص لمنطقة الحماية الاحتياطية والأعطال العكسية ومنطقة الإقلاع وخواص تأرجح الاستطاعة.

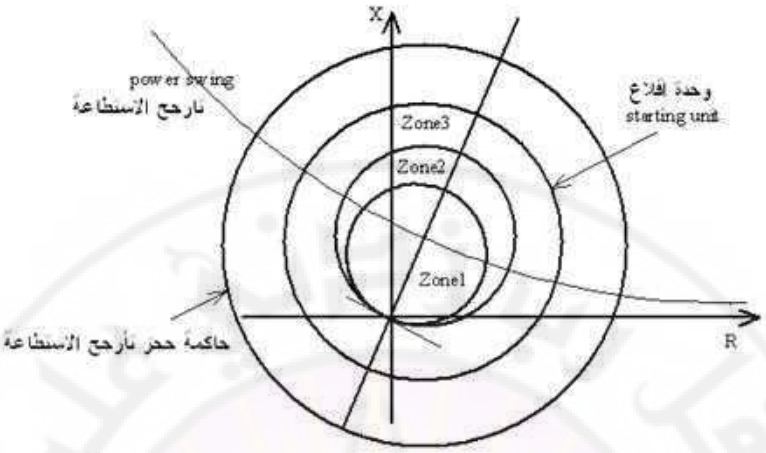
11-8-2-3 الحماية من تأرجح الاستطاعة بإستخدام خصائص الممانعة

Protection against Power Swing Using Ohm Characteristic

يمكن أن يتعرض نظام القدرة لتأرجحات استطاعة حادة يمكن أن تغطي النظام يجب المحافظة على استقراره ومنع انفصال المنابع في أثناء التأرجح. وهذه الحالات الافتراضية تكون معروفة ولذلك يمكن التعامل معها من خلال الحماية من تأرجح الاستطاعة أو الحماية من الخروج عن التزامن out-of step, التي تعمل على تقسيم

نظام القدرة عند نقطة معينة ، والفكرة من تقسيم النظام هي العمل على ربط الأحمال إلى كل قسم بشكل مناسب له. وهذا النوع من الاضطرابات يمكن أن يتم تصحيحه من خلال الحاكمة المسافية، وكما أشرنا سابقاً فمن الضروري منع الحماية المسافية من التشغيل أثناء تأرجح الاستطاعة المستقرة و غير المستقرة ، وذلك لتفادي الفصل المتكرر. وعند حدوث تأرجح استطاعة غير مستقر يجب تقسيم النظام، ويكون ذلك من خلال أمر الفصل لحماية الخروج عن التزامن out-of step والتي تعتمد على قياس عنصر الممانعة حيث تطبق خصائص ممانعة أوم بالاتجاه الأمامي والعكسي على محاور R &X، وإن خط عمل ممانعة الخروج عن التزامن out-of step يكون موازياً لممانعة الخط كما في الشكل (36-11) وإن عناصر الممانعة تقسم لثلاث مناطق A,B,C حيث تتغير الممانعة خلال التأرجح، بحيث تتحرك على طول المحل الهندسي للتأرجح وهذا المحل يدخل إلى المناطق الثلاث للحاكمة Zone1, Zone2, Zone3 مسبباً تشغيل وحدات الممانعة بشكل متسلسل ويدخل المحل الهندسي للتأرجح أولاً Zone3 ، وبالتالي يعطي أمر الفصل لدارة القاطع عند زاوية معينة بين منابع النظام وذلك للتقليل من الأضرار .

وإن حالة التأرجح غير المستقر هي الحالة الوحيدة التي يمر بها المحل الهندسي بالمناطق الثلاث Zone1,Zone2, Zone3 ، وإن الأنواع الأخرى من المشاكل كحالات الأعطال على نظام القدرة لا تؤدي لتشغيل عناصر التأرجح بالحاكمة، وعندها تعمل هذه الحاكمة على إقفال عمل حاكمة الحماية المسافية أثناء حالة تأرجح الاستطاعة، ويقطع منحني الممانعة أثناء تأرجح الاستطاعة منحني الخواص لكلتا حاكمتي تأرجح الاستطاعة وموه فإذا استجابت حاكمة موه خلال فترة تأخير زمني محددة مسبقاً بعد استجابة حاكمة تأرجح الاستطاعة يحدث الفصل، أما إذا لم تستجب حاكمة MHO بعد استجابة حاكمة تأرجح الاستطاعة خلال فترة التأخير الزمني المحدد فإن حاكمة تأرجح الاستطاعة ستفصل محل حاكمة MHO ولا يحدث الفصل وهذا ما يمنع حدوث خطر الفصل المتتابع للشبكة الكهربائية.



الشكل(36-11) مناطق الحماية مع إظهار منطقة الإقلاع ومنطقة إقفال تأرجح الاستطاعة وتطبيق خواص حاكمة الفصل عند الخروج عن التزامن

بإستخدام التقنيات الرقمية أدخلت خواص جديدة لهذه الحاكمة لزيادة وثوقية عملها من أجل الأعطال القريبة، إذ تنخفض قيمة التوتر إلى قيمة قريبة من الصفر ومنها استخدام خواص الاستقطاب العرضي، وتقوم على استخدام توترات الأطوار السليمة في المقارنة عوضاً عن توتر الطور المعطل في حالة الأعطال الأرضية وهو ما سيتم شرحه في فصل الحواكم الرقمية.

11-8-2-4 أداء حاكمة موه

لتوضيح آلية عمل حاكمة MHO سوف نناقش أدائها في الحالات المختلفة التالية:

أ-حالة العمل الطبيعي :

في حالة العمل الطبيعي وبوجود حمل تكون الممانعة المرئية من قبل حاكمة الحماية المسافية هي:

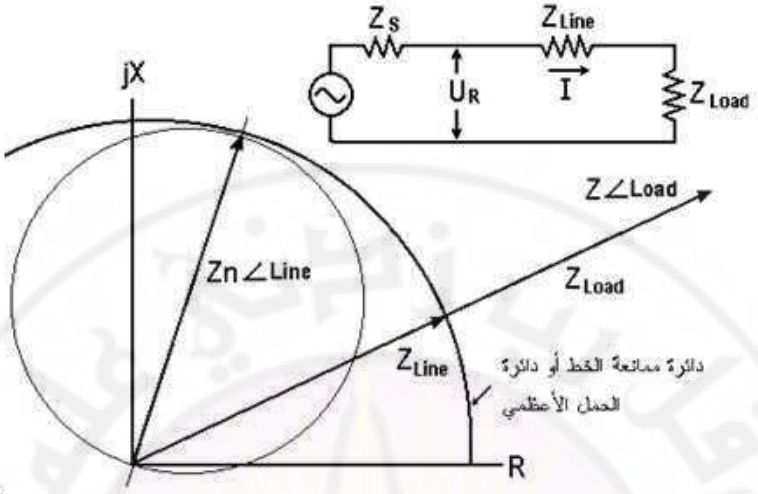
$$Z_n \angle \text{Line} = (ZL + Z_{Load}) \angle \text{Load} \qquad (11\text{-}27)$$

إذا كانت الممانعة :

$$Z_n \angle \text{Line} = Z \angle \text{Line} \qquad (11\text{-}28)$$

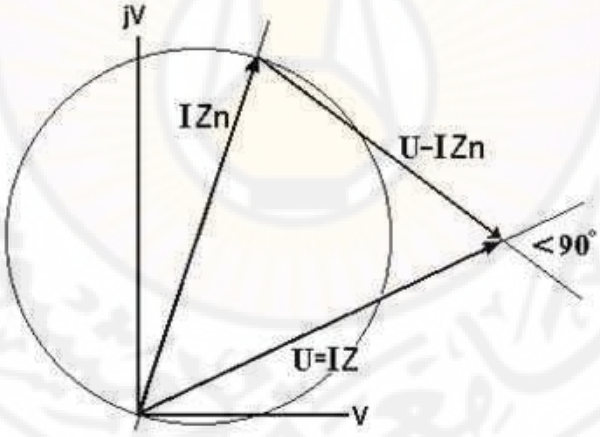
فإنها ترسم دائرة نصف قطرها: $(r = Z/2)$

حيث أن Z_n تمثل قطر الدائرة وتقسم إلى قسمين كما هو مبين في الشكل (37-11)



الشكل(37-11) أداء حاكمة موه في حالة العمل الطبيعي

إذا قمنا بضرب قيمة الممانعة Z بتيار الخط فإنها ستصبح عندئذ توترات كما هو مبين في الشكل (38-11)



الشكل(38-11) أداء حاكمة موه بدلالة التوترات بدلا من الممانعات

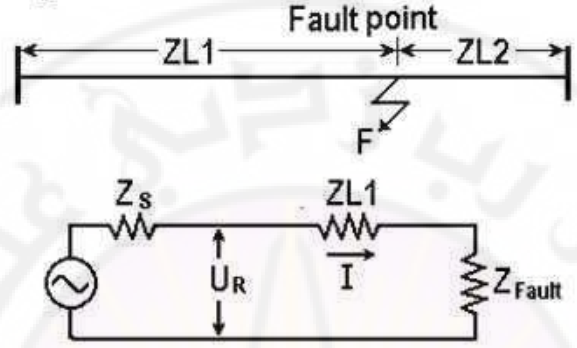
بطرح الحد $I \times Z_n$ من U فإننا نحصل على إشارة الاستقطاب:

$$PS = U - I \times Zn \qquad (11\text{-}29)$$

في الحالة الطبيعية فإن الزاوية بين U و PS أقل من 90^o وهي خارج دائرة الخواص. إذا أصبحت الممانعة صغيرة إلى درجة تصبح فيها على محيط دائرة الخواص فإن الزاوية ستصبح عندها 90^o لأنها تقابل قطر الدائرة .

ب-حالة العطل:

في حالة العطل فإن الممانعة المنظورة من حاكمة الحماية المسافية تصبح جزءاً من ممانعة الخط بالإضافة إلى ممانعة العطل Z_F وذلك كما هو مبين في الشكل (39-11).



$U_R = I(Z_{L1} + Z_{Fault})$

الشكل (39-11) الممانعة المنظورة من الحاكمة في حالة العطل

قريبة من زاوية الخط لأن ممانعة العطل صغيرة جدا. Z سوف تكون زاوية الممانعة

حيث إن $Z = Z_{L1} + Z_{Fault}$ (11-30)

وتكون الممانعة Z أصغر من ممانعة الخط الكلية لذا فإن U مقارنة مع $(I \times Zn)$ سوف تتناقص، وفي هذه الحالة فإن الزاوية بين (U) وإشارة الاستقطاب ستكون أكبر من 90° وتفصل الحماية.

ممانعة الخط مكونة من R و X وبما أن الزاوية تعتمد على هاتين المركبتين، فإن ظهور مقاومة القوس الكهربائي R_a سوف تؤثر على الزاوية وبالتالي على أداء هذه الحاكمة.

11-8-3 تحليل خصائص موهMHO الدائرية المزاحة

Offset MHO / Lenticular Characteristics

عند حالة العطل يهبط توتر الحاكمة إلى الصفر أو إلى قيمة قريبة من الصفر، وبالتالي فإن خصائص حاكمة الممانعة القطبية المستخدمة أوأي نوع آخرمن الخصائص المعتمد على قطبية الاتجاه لن تؤدي عملها كما يجب، بينما المطلوب هو أن تحافظ على أدائها بمثل هذه الظروف.

لتغطية هذه الحالات يمكن إستخدام خصائص الممانعة اللإتجاهية ويتم تحقيق ذلك بإستخدام خواص ممانعة موه MHO الدائرية (العدسية) المزاحة (MHO المعدلة) أو خصائص الممانعة الاتجاهية القطبية .[29]

يؤدي تغير التيار لعمل ازاحة بخصائص موه MHO ،وبالتالي عمل عناصر القياس على تشغيل الحاكمة عند الأعطال المغلقة وبالإتجاهين الأمامي و العكسي. يتم إدخال ميزة الاتجاه ضمن حاكمة الممانعة، وذلك من خلال توتر إضافي IZ يضاف إلى V ويطبق على الحاكمة .

عندئذ يمكن أن نكتب :

$$Vr = V - IZ_\alpha \qquad (11\text{-}31)$$

إذا عرفنا المحددات التالية المبينة في المعادلة (11-32):

$$\begin{aligned} &V = V\angle 0 \\ &I = I\angle -\theta \\ &Z_\alpha = Z_\alpha\angle\alpha \\ &-\frac{\pi}{2} \le \alpha \le \frac{\pi}{2} \\ &Z_\alpha = R_\alpha + jX_\alpha \end{aligned} \qquad (11\text{-}32)$$

عندئذ يمكننا أن نكتب :

$$Vr = V - IZ_\alpha\angle\alpha - \theta \qquad (11\text{-}33)$$

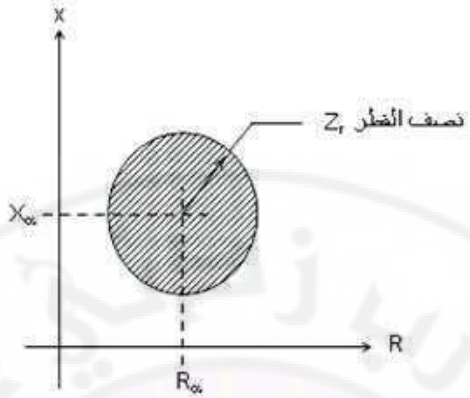
بحساب مربع المطال ومعرفة أن:

$$\frac{Vr^2}{I^2} = \frac{-Kb}{Ka} = Zr^2 \qquad (11\text{-}34)$$

نحصل على المعادلة التالية:

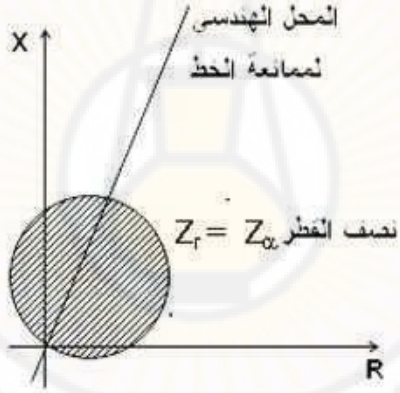
$$(R - R_\alpha)^2 + (X - X_\alpha)^2 = Zr^2 \qquad (11\text{-}35)$$

وهي تمثل معادلة دائرة في المستوي Z احداثيات مركزها (Xα، Rα) ونصف قطرها Zr كما هو مبين في الشكل (11- 40).



الشكل(40-11) خواص حاكمة الممانعة في المستويZ

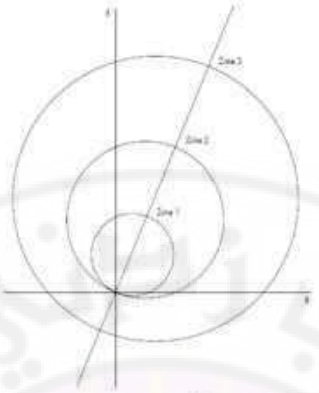
بإستبدال $Z_\alpha = Z_r$ نحصل على خواصMOH الدائرية المزاحة كما هو مبين في الشكل(41-11)



الشكل (41-11) خواص الممانعة الدائرية المزاحة MHO

غالبا ما تصمم حاكمة موه بثلاث مناطق حيث يستخدم جزء من المنطقة الثالثة للتغطية العكسية.

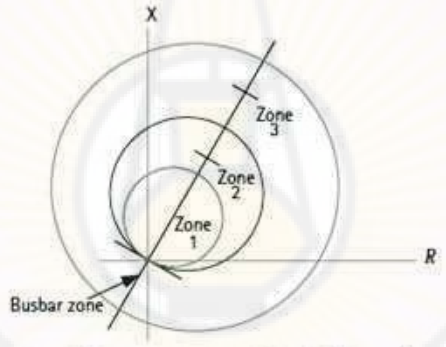
يبين الشكل (11- 42) مناطق العمل الثلاث لحاكمة MHO مع تغطية عكسية للمنطقة الثالثة Zone3.



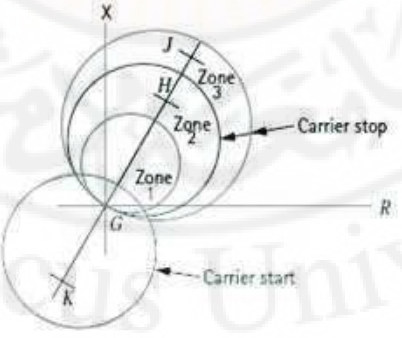
الشكل (42-11) مناطق العمل لحاكمة MHO مع التغطية العكسية للمنطقة الثالثة

11-8-3-1 تطبيقات حاكمة MHO

لخواص ممانعة موه MHO المعدلة تطبيقان رئيسيان مبينان في الشكل(43-11)



أ-حماية احتياطية لمنطقة الباسبار باستخدام حاكمة موه المزاحة



ب- الإقلاع بالنقل في دارات حجز الحماية المسافية

الشكل (43-11) تطبيقات نموذجية لحاكمة موه المزاحة

11-8-3-1-1المنطقة الثالثة والاحتياطية لقضيب التجميع

Third Zone and Bus-bar Back-Up

يعتمد هذا التطبيق على ربط وحدة قياس MHO أثناء العطل مع/ أو وحدة قياس Zone3 بحيث تشمل المنطقة الثالثة على المنطقة الخلفية و تتضمن منطقة قضيب التجميع، وهذا ما يظهر بالشكل (11-43أ) وبذلك يتم تعيير الحماية بالاتجاه العكسي لحماية أعطال قضيب التجميع. كذلك يمكن أن تعمل حماية MHO المعدلة بالاعتماد على الخصائص المضلعة وهناك فائدة أكبر من Zone3 وهي تطبيق SOTF (إغلاق القاطع تحت العطل) حيث أن التأخير الزمني للمنطقة الثالثة يجعل تدفق القدرة كبير خلال فترة القصر، وهذا ما يعطي الحاكمة سرعة الاستجابة لإيقاف أي عطل على طول الخط .

11-8-3-1-2 وحدة الإقلاع بالنقل في دارات الحماية المسافية مع اقفال Carrier starting unit in distance schemes with carrier blocking

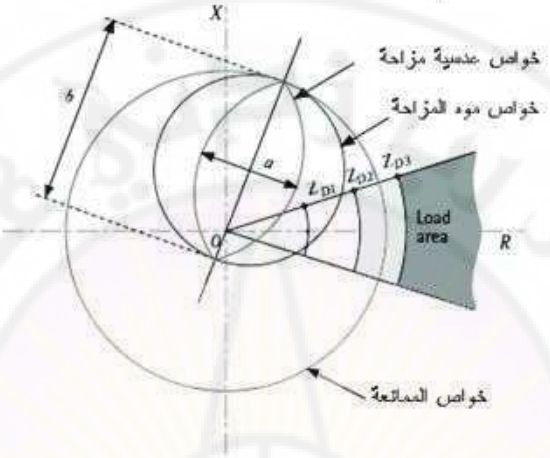
تستخدم وحدة موه mho المعدلة لنقل معلومات عند حدوث الأعطال وتظهر في بالشكل (11-43 ب) ويتم نقل المعلومة إذا حصل عطل خارجي على خط النقل وكانت قيمة الممانعة داخل منطقة الزون لحاكمة MHO المعدلة وهذا لمنع حصول الفصل فيZone2 أو Zone3 للحاكمة للمحطة البعيدة عن نقطة العطل ولا يجب أن يستخدم نقل المعلومات لأجل الأعطال الداخلية بسبب تشغيل وحدة قياس الممانعة التي تسمح بكشف الأعطال وإعطاء الأمر للقواطع الآلية على جانبي خط النقل للفصل بسرعة.[4]

11-8-3-1-3 تطبيقات الخصائص العدسية

Application of lenticular characteristic

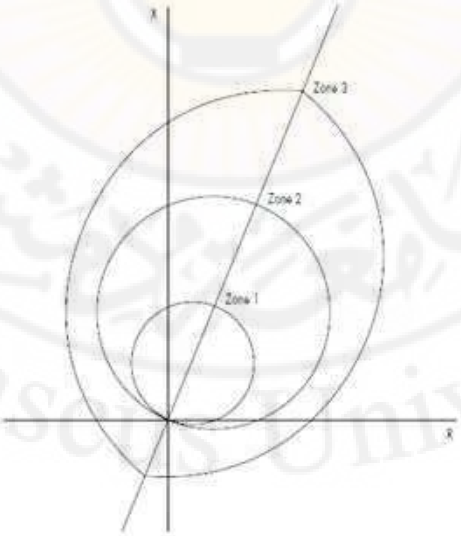
يظهر الشكل (11-43) السابق حاكمة MHO المعدلة حيث إن هناك مشكلة عند التشغيل على الحمل الأعظمي لأن Zone3 للحاكمة لها قيمة وصول كبيرة و قريبة من الحمل مع العلم أن Zone3 تستخدم حمايةً احتياطية داعمة للأعطال على الخطوط المجاورة، ولتفادي ذلك يمكن أن نعتمد على شكل الخصائص المستخدمة لتغطية المنطقة المحددة ومن خلال الخصائص الدائرية يمكن التحكم بتعديل النسبة a / b ويتم التعيير بحيث تكون القيمة العظمى لممانعة العطل أقل من قيمة ممانعة الحمل.

يبين الشكل (44-11) أن الخصائص العدسية (الدائرية المعدلة) يمكن أن تسمح بزوايا كبيرة لحمولة الخط كما أن خصائص الممانعة تكون بسيطة وأن تخفيض الممانعة من Z_{D3} إلى Z_{D1} سيقابله زيادة مكافئة بتيار الحمل .



الشكل (44-11) ممانعة الحمل الدنيا بالخواص العدسية موه المزاحة

كما يبين الشكل (45-11) مناطق العمل الثلاث للحاكمة مع خواص عدسية للمنطقة الثالثة Zone3



الشكل (45-11) مناطق العمل الثلاث مع خواص عدسية للمنطقة الثالثة Zone3

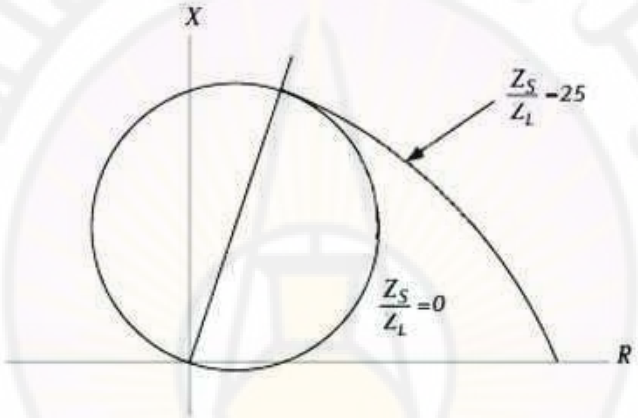
4-8-11خواص موه MHO بالاستقطاب الكامل

Fully Cross-Polarized MHO Characteristic

بينا في الفقرة السابقة خصائص ممانعة موMHO المعدلة اللاتجاهية والقادرة على العمل عندما يكون توتر العطل مساويا الصفر، إذ لايوجد قطبية للتوتر لتسمح بتشغيل العنصر الإتجاهي البسيط موه MHO ولتأكيد استجابة عنصر موه MHO عند الأعطال التي توترها صفر تتم إضافة نسبة من توتر الطور الطبيعي إلى التوتر المستقطب الرئيسي تعويضاً من الطور المرجع. تسمى هذه التقنية الاستقطاب المستعرض cross-polarizing والغاية منه تحسين الخواص الاتجاهية لخصائص موه MHO. ومن خلال التوتر المستخدم والمخزن بالنظام يمكن أن نأخذ عدة موجات من التوتر قبل العطل بوصفه مرجع أثناء العطل، تعد تقنية الاستقطاب المستعرض فعالة لأجل الأعطال ثلاثية الطور على الرغم من عدم وجود أي طور بحالة سليمة (غير معطل) بهذه الحالة. قديماً كان يتم التحكم بالأنظمة من خلال ما يسمى بالرنين حيث تتساوى ممانعة المكثف مع ممانعة الملف WL =1/Wc من خلال الدارات التمثيلية ولكن المشاكل تحدث عند تطبيق ذلك على الشبكات الكهربائية بسبب أن تردد النظام يمكن أن يتغير، أما الحواكم الحديثة فتقوم بإجراء التزامن بين الطور المرجعي وتغيرات تردد النظام قبل العطل وخلال العطل. وكما شرحنا سابقا فإن الاستقطاب الذاتي يسبب مشكلة حيث إنه عند تطبيق ممانعة موه MHO البسيطة على خطوط هوائية ذات زاوية ممانعة عالية فإن الحاكمة يجب أن تغطي قوس العطل أو ممانعة العطل، لكن المشكلة تكمن في التحريض على خطوط النقل القصيرة ما يسبب نشوء ممانعة تؤثر على المنطقة الأولى للحاكمةZone1 وخصائص الممانعة الدائرية يجب أن تغطي ذلك بشكل مباشر ولكن تغطية الممانعة هنا من قبل الخصائص للقيم المفترضة لممانعة العطل لن تكون كاملة. ولذلك فإن من الفوائد المضافة من إستخدام خصائص الإستقطاب المستعرض على عناصر ممانعة موه MHO تحسين مجال التغطية من قبل الحاكمة وهذا موضح بالشكل (46-11) حيث أن عنصر موه بكافة الحالات يعتمد على الإستقطاب المستعرض cross-polarization ومن

خلال هذه الميزة يمكن توسيع ممانعة موه MHO لتشمل الأعطال الثلاثية المتزنة وكذلك وغير المتزنة .

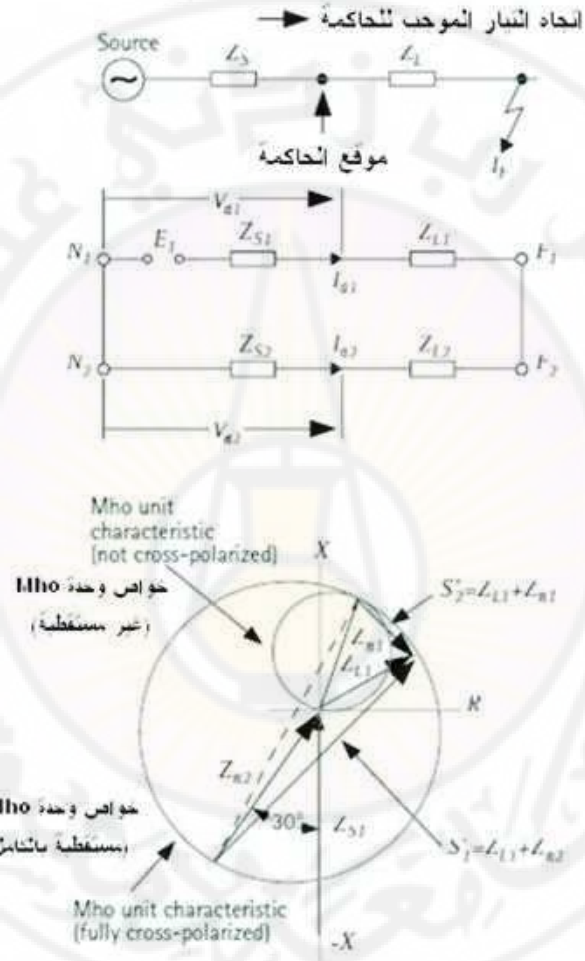
ولا يمكن توسيع ممانعة موه تحت حالات الحمل التي لا يكون فيها توتر الطور بين التوتر المقاس و التوتر المستقطب وتحسين زاوية مقاومة الوصول يعتمد على معدل ممانعة المنبع إلى ممانعة الوصول بالحاكمة التي يمكن أن نستنتجها من خلال الرجوع للشكل.



الشكل (46-11) خواص حاكمة موه ذات الاستقطاب الكامل مع تغيرات Z_S / Z_L

من المؤكد بأن الامتداد الظاهر في خصائص الممانعة ذات الاستقطاب الكامل-cross polarized يصل حتى الربع السالب لدائرة المفاعلة كما في الشكل (47-11)، وحيث إنه لم تتم الإشارة إلى التشغيل بحالة الأعطال بالإتجاه العكسي فإن خصائص الحاكمة تشمل الأعطال بالاتجاه الأمامي فقط . وبالنسبة إلى الأعطال بالإتجاه العكسي فإن هذه الخاصية تستثني الممانعة بالإتجاه العكسي وذلك لتأكيد الاستجابة الصحيحة من الاتجاهية لأجل الأعطال الأمامية و الأعطال الخلفية، وأن خاصية الاستقطاب الكامل لا يمكن تعميمها لأنه عند حدوث عطل كبير على أحد الأطوار فإن هذه الخاصية ستتأثر بهذا العطل على الفازات الصحيحة ، وبالتالي فإن الحماية المسافية لن تعطي أية نتائج لأن المقارن الوحيد الموصل لتصحيح ممانعة حلقة العطل يبدأ بالعمل قبل بدء

عناصر القياس .وعلى كل حال فالحمايات الحديثة تعتمد على قياس كل من الأعطال الأرضية وأعطال الأطوار الثلاث. وهذا النوع من الحواكم غير مرغوب فيه لأنه قد يؤدي لفصل الأطوار السليمة والمطلوب هو فصل الطور الذي حدث عليه العطل.[4]



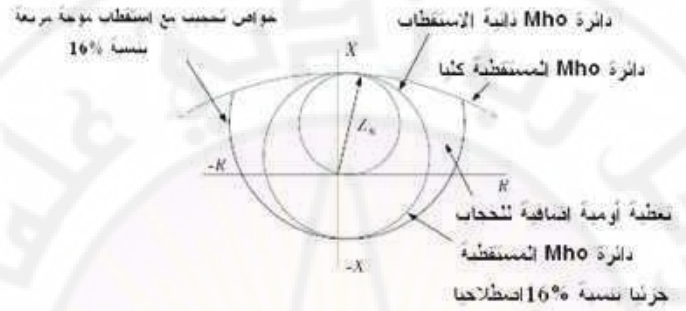
الشكل(11-47) تحسن التغطية الأومية للحاكمة ذات الاستقطاب الكامل

11-8-5 خصائص موه المستقطبة جزئيا

Partially Cross-Polarised Mho Characteristic

في حواكم الحماية المسافية الحديثة يمكن أن تستخدم فقط نسبة صغيرة نسبيا من الاستقطاب العرضي كافية لتأمين تحكم إتجاهي موثوق بوجود الحالات العابرة لمحولات

التيار والتوتر من أجل الأعطال القريبة وتتضمن إختيار طور معطل مؤكد، ويمكن أن تلغى مساوئ خواص الاستقطاب الكامل وتحتفظ بالمزايا من خلال إستخدام الاستقطاب الجزئي. يبين الشكل(48-11) خواص نموذجية والتي يمكن الحصول عليها بإستخدام هذه التقنية.



أ- مقارنة الخواص المستقطبة مرسومة من أجل S.I.R. -6

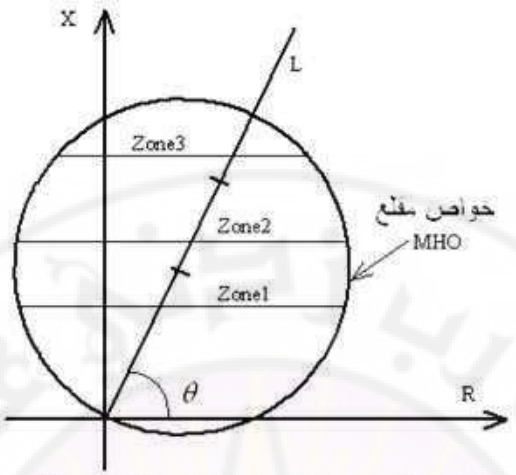


ب- التوسع الأومي لحاكمة موه المستقطبة جزئيا بقيم متزايدة لـ S.I.R.

الشكل (11-48) خاصية الاستقطاب الجزئي ذات الشكل المحجب

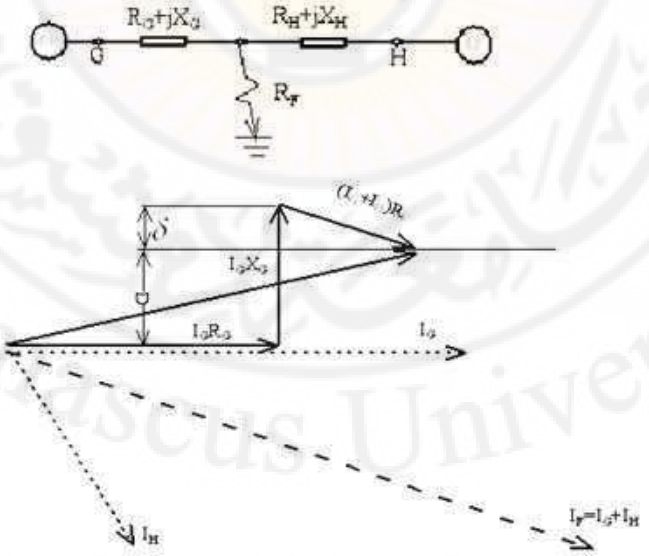
11-8-6 حاكمة المفاعلة Reactance Relay

تقوم هذه الحاكمة بمقارنة المفاعلة المقاسة مع قيمة المفاعلة المعايرة أو المرجعية، وبالتالي لا تتأثر هذه الحاكمة بمقاومة القوس لأنها مصممة لقياس المفاعلة X فقط، وترسم مميزات هذه الحاكمة خطوطاً مستقيمة وموازية للمحور R على المستوي (R-X) ويوضح الشكل (11-49) هذه الخواص:



الشكل(49-11) مميزات حاكمة المفاعلة

لكن في الواقع يبقى لمقاومة العطل أثر على دقة قياس هذه الحاكمة وبالأخص عندما تكون مقاومة العطل كبيرة لدرجة يصبح معها تيار العطل قريباً من تيار الحمل الأعظمي، والسبب هو أن زاوية تيار العطل ستكون مختلفة عن زاوية التيار المقاس من الحاكمة في الخطوط المغذاة من جانبيها، وبالتالي ستظهر مقاومة العطل للحاكمة على أنها ممانعة مركبة كما هو موضح في الشكل (50-11):[24].



الشكل(50-11) أثر المركبة الأومية على الممانعة المقاسة

11-8-6-1 أداء حاكمة المفاعلة Reactance Relay Performance

لا تتأثر حاكمة المفاعلة بمقاومة القوس الكهربائي لأنها مصممة لقياس الجزء التخيلي من ممانعة الخط، وبالتالي فإن أي زيادة في قيمة مقاومة القوس الكهربائي لن يكون لها أي أثر على عمل الحاكمة لأن المفاعلة المنظورة من الحاكمة ستبقى كما هي .

أ- حالة العمل الطبيعي:

في هذه الحالة يعطى التوتر بالعلاقة :

$$U = I(Z_{Line}+Z_{Load}) \qquad (11\text{-}36)$$

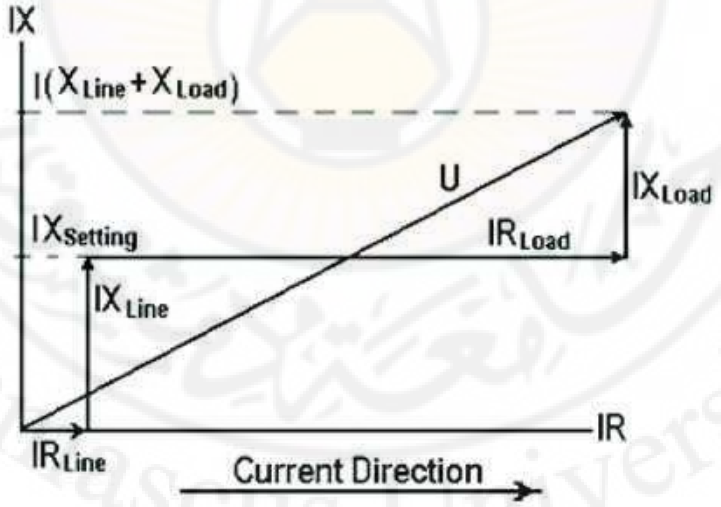
$$U = I(R_{Line}+R_{Load}) + j\ I(X_{Line}+X_{Load}) \qquad (11\text{-}37)$$

والجزء التخيلي من U يعطى بالمعادلة (11-38):

$$U_j = j\ I(X_{Line}+X_{Load}) \qquad (11\text{-}38)$$

$$I \times Xsetting < jU \qquad (11\text{-}39)$$

يبين الشكل (11-51) التوتر U في حالة العمل الطبيعي



شكل (11-51) التوتر U في حالة العمل الطبيعي

ب- حالة العطل :

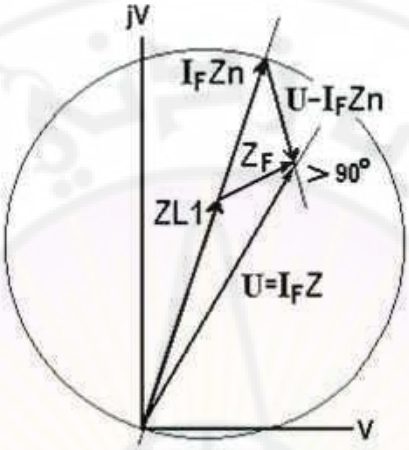
خلال حالة العطل فإن U :

$$U = I(Z_{Line}+Z_{fault}) \qquad (11\text{-}40)$$

أو

$$U = I(R_{Line}+R_{Fault}) + j\, I(X_{Line}+X_{Fault}) \qquad (11\text{-}41)$$

وذلك كما هو مبين في الشكل (52-11)



الشكل (52-11) التوتر U في حالة العطل

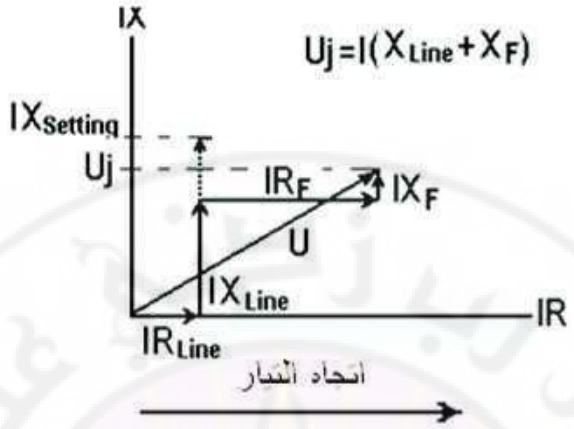
والجزء التخيلي من التوتر U يعطى بالمعادلة (42-11):

$$U_j = jI(X_{Line}+X_{Fault}) \qquad (11\text{-}42)$$

ولأن X_{Line} أثناء العطل أقل من مفاعلة الخط الكلية ومفاعلة العطل صغيرة جدا فإن:

$$I \times Xsetting > U_j \qquad (11\text{-}43)$$

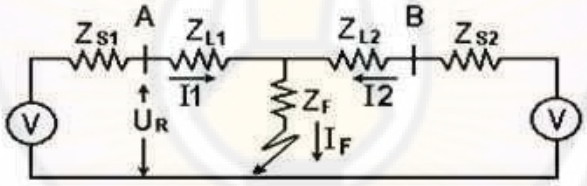
وبذلك سوف تفصل الحماية كما هو مبين في الشكل (53-11)

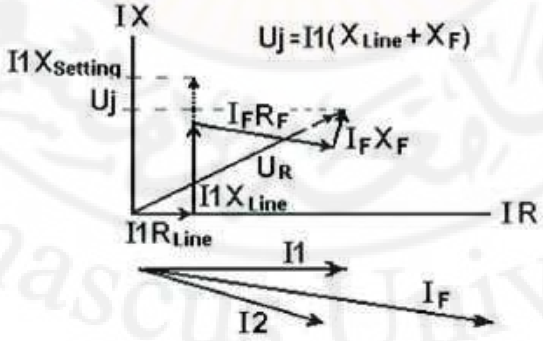


الشكل(53-11) فصل الحاكمة

ت-عطل على خط مغذى من جانبيه:

عندما يكون الخط مغذى من جانبيه تكون زاوية تيار العطل متأخرة عن تيار الخط وذلك كما هو مبين في الشكل (54-11)



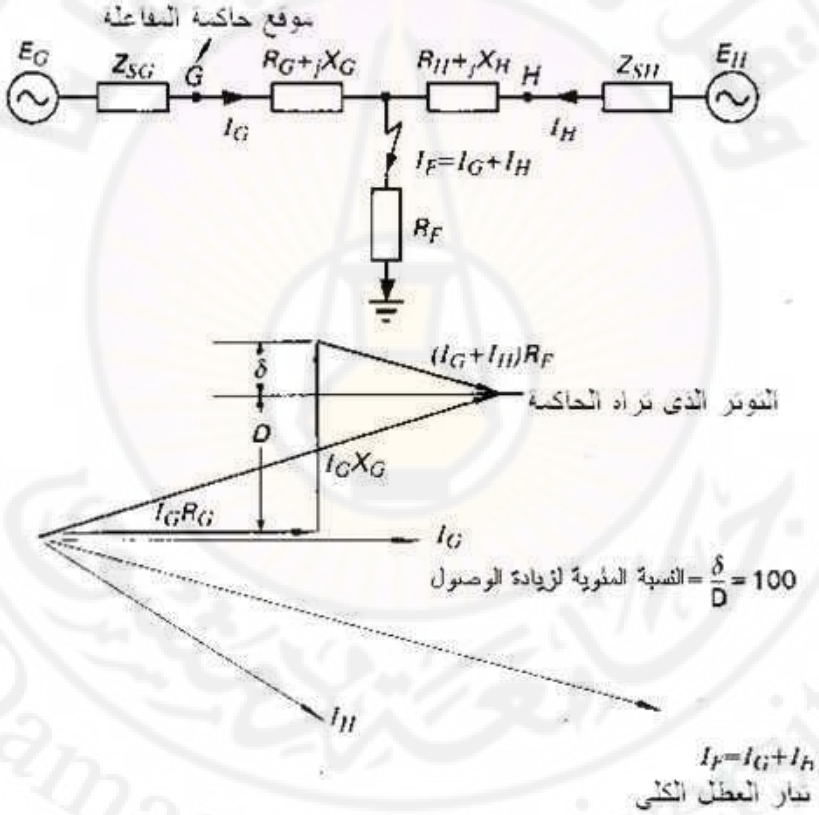


الشكل (54-11) زاوية تيار العطل متأخرة عن تيار الخط

ولكن إذا كان الخط المعطل والمحمي بواسطة هذه الحاكمة مغذى من الجهتين وبتيار حمل كبير فإن الحاكمة ستتأثر بمقاومة القوس، وذلك لأن تيار العطل i_F ليس له نفس زاوية التيار I_G المار في الحاكمة كما هو مبين في الشكل(55-11) وكذلك ليس له زاوية التيار I_H المقاوم من الجهة حيث يمكننا أن نكتب:

$$IF = I_H + I_G \qquad (11-44)$$

في هذه الحالة فإن مقاومة العطل R_F ستظهر وكأنها ممانعة بالنسبة إلى الحاكمة كما هو مبين في المخطط الشعاعي من الشكل(54-11).

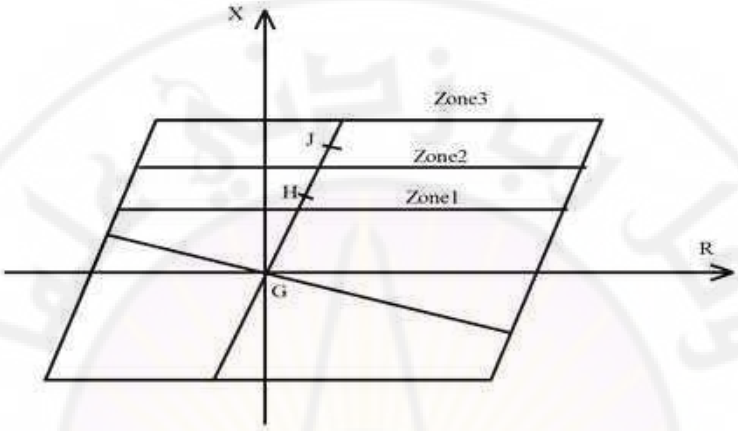


الشكل(55-11) تاثير القوس على حاكمة المفاعلة

11-8-7 الحاكمة ذات الخواص المضلعة Quadrilateral Relay

تحوي هذه الحاكمة على مميزات الحاكمة السابقة بالإضافة إلى إمكانية التحكم بمناطق الحماية والإتجاهية وتكون هذه الحواكم فعالة عند تطبيقها على الخطوط القصيرة

والمتوسطة بوجود تغذية قوية للعطل فهي تستطيع التغلب على المشكلة الأساسية لحاكمة المفاعلة أي تيار الحمل ماقبل العطل الذي يمكن تعويضه هنا. يبين الشكل(11- 56) الخواص المضلعة للحاكمة.



الشكل(11- 56) الخواص المضلعة للحاكمة المسافية

11-9 إعادة الإغلاق الآلية Autoreclosing

تتدرج الأعطال على الخطوط الهوائية تحت أحد الأصناف التالية : [4]

أ-الأعطال العابرة

ب-الأعطال شبه الدائمة

ت-الأعطال الدائمة

إن ما يعادل نسبة %(80-90) من الأعطال على شبكة القدرة الكهربائية الهوائية عابرة بطبيعتها أما النسبة المتبقية من الأعطال والبالغة %(10-20) فإنها تكون أما شبه دائمة أو دائمة. يعد البرق سببا شائعا للأعطال العابرة إضافة إلى التلامس المؤقت مع الأجسام الغريبة وهناك أسباب أخرى محتملة كتأرجح النواقل، ما يسبب فصل قاطع آلي أو عدة قواطع آلية وعزل العطل ولذلك فإن عملية إعادة وصل التغذية إلى الخط تتم بنجاح، في حين أن سقوط غصن شجرة صغير على الخط يسبب عطلاً شبه دائم، وهنا لن تتم إزالة سبب العطل عند الفصل المباشر للقاطع الآلي،وإنما تتم إزالة العطل العابر، مثل قوس كهربائي على عازل بشكل فوري ولا يتكرر العطل عند إعادة تغذية الخط، أما

الأعطال الدائمة كانقطاع النواقل والأعطال على الكابلات الأرضية فيجب معرفة موقعها ومعالجتها قبل عملية إعادة تغذيتها. وبشكل عام يقوم القاطع الآلي بمحاولة أولية لإعادة إغلاق آلي ناجحة في حالة كون العطل عابراً، و إعادة إغلاق غير ناجحة يتبعها حجز للقاطع الحالي إذا كان العطل دائماً .

يسمح استخدام معيد الاغلاق الآلي Auto Reclose بإعادة التغذية للخط بشكل ناجح بعد فصل العطل ، ويجب السماح بوقت كاف بعد الفصل لإزالة القوس الكهربائي الناتج عن العطل قبل إعادة الاغلاق والا سيعاد قدح القوسArc Restricting. وتعد معيدات الإغلاق الآلية سببا أساسيا في التطور الكبير لعملية استمرارية التغذية.

11-9-1 تعاريف

سوف نقدم في هذه الفقرة تعريفا لبعض المصطلحات الأساسية المستخدمة في مجال معيدات الإغلاق الآلية.

أ-زمن القوس Arcing Time

الزمن الممتد بين لحظة فصل تلامسات القاطع الآلي و لحظة إخماد العطل القوسي.

ب- فترة الإغلاق القسري ClosingImpulse Time

الزمن الذي يتم خلاله إغلاق تلامسات حاكمة معيد الاغلاق الآلي.

ت-زمن الإغلاق Closing Time

الفترة بدءاً من شحن الدارة المغلقة للقاطع الآلي حتى عمل تلامسات القاطع الآلي.

ث-الزمن الميت Dead Time

الزمن ما بين بدء أمر إعادة الوصل الآلي وعمل التلامسات التي ستشحن دارة القاطع الآلي المغلقة، وهو زمن فوري وتكون آلية إعادة الإغلاق سريعة جداً بحيث يمكن إعتباره الزمن الميت للقاطع الآلي وهو الزمن ما بين إخماد قوس العطل و عودة تلامسات القاطع الآلي للعمل.

وهناك عدة عوامل تؤثر على إختيار الزمن الميت للنظام منها:

1-استقرار النظام والتزامن

2-نوع الحمل

3-خواص القاطع الآلي

4-زمن إزالة مسار العطل

5-زمن العودة للحماية

ج- زمن إزالة التأين De-ionizing Time

هي الفترة الزمنية التي تتبع إخماد العطل القوسي للخط الهوائي وهو ضروري للتأكد من إخماد الهواء المؤين و بالتالي ضمان عدم عودة اشتعال القوس عند إعادة تغذية الخط .

د- آلية إعادة الوصل عالية السرعة High Speed Reclosing Scheme

يعاد بواسطة هذه الآلية وصل القاطع الآلي بشكل آلي بغضون ثانية بعد حدوث العطل.

ذ- الحجز أوالقفل Lock Out

هي ميزة لآلية إعادة الوصل الآلي تمنع عمليات إعادة وصل آلية إضافية بعد فشل القاطع. **هـ- دارة إعادة الاغلاق منخفضة السرعة أوالمتأخرة**

Low Speed or Delayed Reclosing Scheme

آلية بواسطتها يتم تأخير عملية إعادة الوصل الآلية للقاطع الآلي التابع لحدوث العطل و ذلك لزمن لا يتجاوز الثانية بحده الأقصى .

و- إعادة الاغلاق متعددة المحاولات Multi Shot Reclosing

القيام بأكثر من عملية إعادة وصل متتالية عند عطل معين قبل حدوث عملية الحجز على

القاطع الآلي.

ز- عداد العمل Operation Counter

عداد عادة ما يكون من النوع الكهرميكانيكي الترددي و توضع لتدل على عدد العمليات

الآلية ، سواء وصل أم فصل ، من قبل القاطع الآلي منذ بدء عمله.

ط- زمن الفتح Opening Time

الفترة ما بين إعادة تغذية ملف فصل القاطع الآلي و لحظة تباعد التلامسات .

ر- زمن تشغيل القاطع الآلي Operating Time

الفترة بدءاً من تغذية ملف فصل القاطع الآلي إلى أن يتلاشى قوس العطل.

ف- زمن تشغيل الحماية Operating Time

الفترة بدءاً من لحظة العطل حتى إغلاق تلامسات الفصل حيث أن حاكمة الفصل يتم تضمين زمن عملها.

س- زمن التهيؤ Reclaim Time

الفترة التي تلي عملية إعادة الإغلاق الناجحة ، و تقاس بدءاً من لحظة عمل تلامسات الإغلاق لحاكمة معيد الإغلاق الآلي والذي يجب أن ينتهي قبل أن تبدأ حاكمة معيد الإغلاق الآلي بمحاولة إعادة إغلاق تليها عطلاً تالياً .

ش- زمن اضطراب النظام System Disturbance Time

الفترة ما بين بدء العطل و عمل تلامسات القاطع الآلي من خلال عملية إعادة إغلاق ناجحة .

ر-زمن النابض Spring Winding Time

الزمن هو الزمن المطلوب لشحن النابض بعد عملية الإغلاق

11-9-2 إعادة الإغلاق وحيدة المحاولة Single Shot Reclosing

تأمين عملية إعادة إغلاق وحيدة تالية للعمل ، ويحدث حجز للقاطع الآلي بحالة تلا ذلك فشل للعملية. تبين الأشكال (57-11) و(58-11) دارة إعادة إغلاق آلي أحادية المحاولة Single-Shot-Auto-Reclose حيث يبين الشكل (57-11) إعادة إغلاق ناجحة لحالة عطل عابر، أما الشكل (58-11) فيمثل إعادة اغلاق غير ناجحة يتبعها قفل للقاطع الآلي لحالة عطل دائم.



الشكل(57-11) إعادة إغلاق أحادية المحاولة ناجحة لحالة عطل عابر



الشكل(58-11) إعادة اغلاق أحادية المحاولة غير ناجحة لحالة عطل دائم

11-9-3 تطبيق معيد الاغلاق الآلي

المحددات الأكثر أهمية لدارات إعادة الاغلاق هي:

1. الزمن الميت Dead Time
2. زمن التهيؤ Reclaim Time
3. كونه وحيدا أو متعدد المحاولات single or multi-shot

تتأثر هذه المحددات بالمسائل التالية:

أ. نوع الحماية.

ب. نوع القاطع الآلي.

ت.مسألة الاستقرار.

ث.تأثير نوع الحمل .

يختلف الوزن المعطى للعوامل السابقة بين شبكات التوزيع بالتوتر العالي HV وشبكات النقل بالتوتر العالي جدا EHV، وقد أدى التوسع السريع في استخدام معيدات الإغلاق الآلية إلى وجود دارات تحكم مختلفة عديدة.

11-9-3-1 إعادة الاغلاق الآلي على شبكات التوزيع عالية التوتر HV

تطبق إعادة الاغلاق الآلي على شبكات التوزيع عالية التوتر HV غالبا على المغذيات الشعاعية إذ لاتظهر مسائل استقرار النظام وتتلخص المزايا الرئيسية من استخدامها بما يلي:

1-تقليل إنقطاعات التغذية عن المستهلك إلى الحد الأدنى

2-يمكن إزالة العطل لحظيا وينجم عن ذلك فوائد في تقليل فترة استمرار العطل وبالتالي تقليل الضرر وتقليل الأعطال الدائمة، حيث أن 80% من أعطال الخطوط الهوائية هي أعطال عابرة وأن إعادة التغذية من خلال إستخدام إعادة الاغلاق الآلي تؤمن استمرارية تغذية محسنة.

3-تقليل زيارة محطات التحويل.

4-يقلل الفصل اللحظي استمرار القوس الناجم عن أعطال الخطوط الهوائية إلى الحد الأدنى، وتقل فرصة حدوث الانقطاع الدائم للخط.

يمكن أن يسبب استخدام حواكم الحماية اللحظية الفصل غير الانتقائي لعدد من القواطع الآلية وبالتالي فقدان التغذية على عدد من الخطوط السليمة، في حين تسمح إعادة الاغلاق الآلي بإغلاق هذه القواطع خلال عدة ثواني و في حالة الأعطال العابرة سيكون التأثير الاجمالي فقدان التغذية لزمن قصير جدا ولكنه يؤثر على عدد كبير من المستهلكين في حين أنه إذا تم استخدام حماية متدرجة زمنيا بدون استخدام إعادة الإغلاق الآلي فإن عدد أقل من المستهلكين يتأثر ولكن لفترة زمنية أطول.[4]

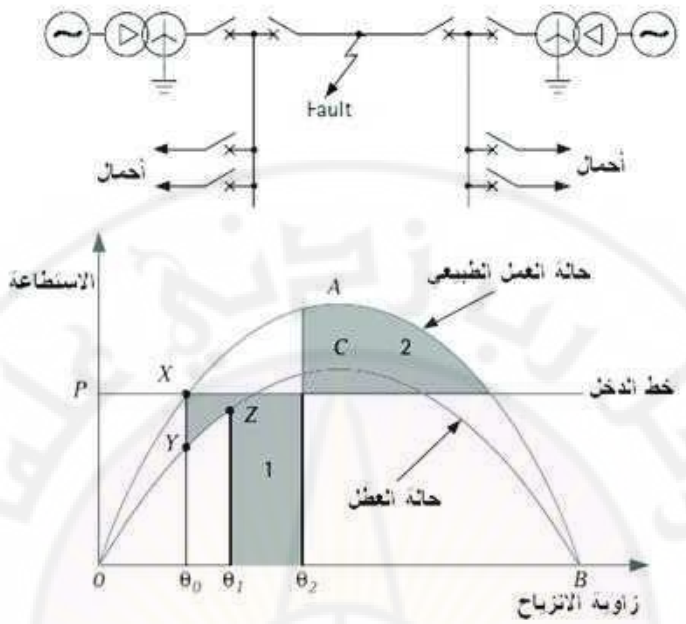
عند استخدام الحماية اللحظية مع إعادة الاغلاق الآلي فإنه يتم ترتيب الدارة طبيعيا لتمنع عمل الحماية اللحظية بعد الفصل الأول للقاطع الآلي، وفي حالة العطل الدائم فإن

الحماية المتدرجة زمنيا سوف تؤمن فصل انتقائي بعد إعادة الاغلاق مما ينجم عنه فصل الجزء المعطل. ومن الجدير بالذكر أن بعض الدارات تسمح بعدد من محاولات إعادة الاغلاق وفصل متدرج زمنيا بعد الفصل اللحظي الأول والذي ينجم عنه إزالة وفصل الأعطال شبه الدائمة، وهناك فوائد أخرى للفصل اللحظي تتمثل بتخفيض صيانة القاطع الآلي بتقليل تسخين ما قبل القوس عند إزالة الأعطال العابرة. عند الأخذ بالاعتبار للمغذيات التي تتضمن في قسم منها خط هوائي وقسم كابلات أرضية فإن أي قرار بتركيب معيد اغلاق آلي سوف يتأثر بأية معطيات معروفة عن تردد الأعطال العابرة. عندما تكون نسبة الأعطال الدائمة كبيرة فإن مزايا إستخدام معيد الاغلاق الآلي تكون قليلة وخاصة أن إعادة الاغلاق على حالة عطل قد تزيد من الضرر.

11-9-3-2 إعادة الاغلاق الآلي على خطوط التوتر العالي جدا

Auto-Reclosing ON EHV Transmission Lines

عند إعادة الاغلاق الآلي على خطوط التوتر العالي جدا EHV يجب ضمان إستقرار النظام والتزامن. وتعتمد المشاكل الواقعة على الخط فيما إذا كان قوياً أو ضعيفاً. فمن أجل النظام الضعيف فإن فقدان خط النقل يمكن أن تقود سريعا إلى زيادة زاوية الطور عبر القاطع الآلي المستخدم لإعادة الاغلاق مانعة بذلك إعادة الاغلاق الناجحة. أما في النظام القوي نسبيا فإن معدل تغير زاوية الطور سوف يكون بطيئا لذلك يمكن تطبيق إعادة الإغلاق بتأخير زمني بنجاح. يبين الشكل (11-59) شرح لعملية الربط بين نظامي قدرة، حيث يعبر عن كمية القدرة المتزامنة المنتقلة P في ظروف العمل الطبيعية في النقطة X من خلال منحني استطاعة- زاوية OAB وزاوية إنزياح الطور بين النظامين هي θ_0 . أما في حالة العطل يطبق المنحني OCB وتصبح نقطة العمل Y .



الشكل(59-11) تأثير معيد الاغلاق الآلي ثلاثي الطور عالي السرعة على استقرار النظام لحالة نظام ضعيف

بافتراض استطاعة دخل ثابتة عند نهايتي الخط، فإن النظام يتعرض الآن لاستطاعة مسرعة XY . نتيجة لذلك تنتقل نقطة العمل إلى Z بانزياح طور متزايد θ_1 بين النظامين. عند هذه النقطة تفصل القواطع الآلية وتقطع الارتباط بين النظامين. تتابع زاوية انزياح الطور بالتزايد بمعدل يعتمد على عطالة مصدري القدرة، ولضمان التزامن فإن القاطع الآلي يجب أن يعيد الإغلاق خلال زمن قصير بما فيه الكفاية لمنع زاوية الطور من تجاوز θ_2 . وتتحدد هذه الزاوية بحيث تبقى المساحة (2) أكبر من المساحة(1) وهي حالة ضمان التزامن.

يبين هذا المثال أن تطبيق إعادة إغلاق ناجحة في هذه الحالة تتطلب حماية وقاطعاً آلياً عاليي السرعة وزمناً ميتاً قصيراً لنظام القدرة الضعيف بينما من غير المحتمل في الأنظمة القوية فقدان التزامن من خلال فصل خط وحيد. ولمثل هذه الأنظمة فإنه يمكن تكييف بديل عن إعادة الإغلاق المتأخرة ما يسبب تأرجح الاستطاعة على النظام بسبب العطل والتي تتلاشى قبل أن يبدأ معيد الإغلاق الآلي بمحاولة إعادة الإغلاق.

11-9-3- 3 معيد الإغلاق عالي السرعة على نظم التوتر العالي جدا

المطلب الأول لتطبيق إعادة الإغلاق عالية السرعة هو معرفة زمن الخلل المسموح به للنظام بدون فقدان إلاستقرار وهذا يتطلب عادة إنجاز دراسات استقرار النظام من أجل مجموعات محددة من محددات نظام القدرة وحالات أعطال. بمعرفة خواص عمل الحماية والقاطع الآلي وأزمنة إزالة قوس العطل فإن جدوى استخدام إعادة إغلاق عالية السرعة مسألة يمكن تحديد نسبتها. سوف تناقش هذه العوامل فيما يلي:

11-9-3-3-1 خواص الحماية protection Characteristics

من المهم أن تفصل القواطع عند نهايتي الخط المعطل بأسرع ما يمكن، ولذلك فإن استخدام تجهيزات حماية عالية السرعة مثل الحماية المسافية أو دارات حماية إفرادية ذات زمن عمل أقل من 50ms هو مطلب أساسي وبالتزامن مع القواطع الآلية السريعة فإن الحماية عالية السرعة تقلل فترة استمرار قوس العطل، وبالتالي زمن اضطراب النظام الكلي.

يمثل زمن استمرار تغذية الخط من جانب واحد تخفيض ملحوظ في الزمن الميت، ومن الممكن أن تتعرض فرصة إعادة الإغلاق الناجحة للخطر. إذا حصل العطل عند إحدى نهايتي الخط فإنه يتم أخذ قياسات خاصة لضمان الفصل المتزامن عند نهايتي الخط عند استخدام حاكمة الحماية المسافية

11-9-3-3-2 إزالة قوس العطل De-Ionization of Fault Arc

من المهم معرفة الزمن الذي يجب أن يسمح به لاكتمال إزالة تأين القوس لمنعه من إعادة التشكل عند إعادة تطبيق التوتر. يعتمد زمن إزالة تأين قوس غير مسيطر عليه في الهواء على توتر الدارة والمسافة بين النواقل وتيارات العطل وفترة استمرار العطل وسرعة الرياح والترابط السعوي مع النواقل المجاورة، وتوتر الدارة هو الأكثر أهمية من بينها وكقاعدة عامة كلما ارتفع التوتر أصبح الزمن اللازم لإزالة التأين أطول . يبين الجدول (11-1) القيم النموذجية.

الجدول(1-11) زمن إزالة تأين القوس كعلاقة مع التوتر

(KV) توتر الخط	(seconds)زمن ازالة التأين
66	0.2
110	0.28
132	0.3
220	0.35
275	0.38
400	0.45
525	0.55

إذا كان الفصل على طور واحد واستخدم معيد الاغلاق الآلي فإن الترابط السعوي بين الأطوار السليمة والطور المعطل تعمل على المحافظة على القوس، ولذلك فإنه يلزم تطويل الزمن الميت، وهذه مشكلة خاصة على خطوط النقل الطويلة EHV.

11-9-4 خواص القاطع الآلي

يجب أن نأخذ بالاعتبار التاخير الزمني المفروض من القاطع الآلي في أثناء الفصل وإعادة الوصل وخاصة عند فرض إمكانية تطبيق إعادة إغلاق عالية السرعة.

أ-زمن العودة إلى الوضع للالية mechanism resting time

تفصل معظم القواطع الالية بشكل حر مما يعني أن القاطع يمكن أن يفصل في أثناء شوط الإغلاق. بعد الفصل يجب السماح لآلية الفصل الحر بزمن من رتبة 0.2 Sec للعودة إلى الوضع قبل تطبيق نبضة الإغلاق.

ب-زمن الاغلاق closing time

هو الفاصل الزمني بين تحريض آلية الاغلاق، وتغير وضعية التلامسات، وبسبب الثابت الزمني للوشيعة وعطالة الحافظة فإن آلية إغلاق الوشيعة يمكن أن تحتاج إلى زمن مقداره 0.3s للإغلاق. من ناحية أخرى فإن القاطع الذي يتم تشغيله عن طريق نابض يمكن أن يغلق باقل من 0.2s. قد تحتاج القواطع الآلية الإنفراغية الحديثة Vacuum Circuit Breakers لزمن إغلاق مقداره أقل من 0.1Sec . تفرض آلية القاطع الآلي زمن ميت بحد أدنى هو عبارة عن مجموع (أ) و (ب) أعلاه. يشرح الشكل (60-11) أداء

القواطع الآلية عالية التوتر الحديثة في هذا المجال. أما القواطع الآلية الأقدم فقد تحتاج لأزمنة أطول من تلك المبينة.



	Oil 11kV	Vacuum 15kV	Oil 132kV	Air 380kV	SF_6 132kV	SF_6 380kV
t_1	0.06	0.038	0.03	0.035	0.04	0.02
t_2	0.1	0.053	0.06	0.045	0.07	0.05
t_3	0.08	0.023	0.2	0.235	0.03	0.01
t_4	0.16	0.048	0.35	0.065	0.08	0.06
t_5	0.24	0.28	0.55	0.3	0.11	0.07
t_6	0.02	0.07	0.01	0.02	0.12	0.04

الشكل(60-11) الأزمنة النموذجية لعمليات فتح-اغلاق للقواطع الآلية

11-9-4-1 إزالة مسار العطل De-ionization of fault path

كما ذكر أعلاه تتطلب إعادة الإغلاق الناجحة السريعة قطع القوس من قبل القاطع الآلي ليتبعها فترة تأخير زمني كافية لإزالة الهواء المتأين. يعتمد هذا الزمن على توتر النظام وسبب العطل وظروف الطقس وهكذا، ولكن حتى توترات 66kV فإن زمن مقداره(0.2-0.1 S) يعتبر مناسباً، ولذلك فإن زمن إزالة العطل على أنظمة التوتر العالي أقل أهمية من التأخير الزمني للقاطع الآلي.

11-9-4-2 زمن عودة الحماية Protection Reset Time

إذا استخدمت الحماية بتأخير زمني فإن الشيء الأساسي أن عنصر التوقيت الزمني سوف يعود للوضع كليا خلال الزمن الميت بحيث يتم ضمان زمن التنسيق الصحيح بعد الإغلاق على العطل. زمن الاستعادة للحواكم الكهرميكانيكية بتاخير زمني I.D.M.T بحدود 10 Sec أو أكثر عندما تكون على التعيير الزمني الأعظمي والأزمنة الميتة تساوي على الأقل هذه القيمة.

5-9-11إعادة الإغلاق أحادي الطور Single-Phase Auto-Reclosing

تشكل أعطال طور مع الأرض غالبية أعطال الخطوط الهوائية. عندما تطبق إعادة الاغلاق ثلاثية الطور على موصلات الدارة الأحادية بين نظامي قدرة، فإن فصل الأطوار الثلاثة من الممكن أن يسبب انحرف النظامين بالطور. لايوجد تبادل للإستطاعة المتزامنة خلال الزمن الميت. إذا تم قطع الطور المعطل فقط، فإن الاستطاعة المتزامنة يمكن أن تستمر عبر الأطوار السليمة، ولذلك فإن أي انحراف بالطور بين النظامين سيكون بشكل موافق أقل، مما يؤدي إلى إنخفاض الاضطراب على النظام عند إعادة اغلاق القاطع الآلي.

من أجل معيد الاغلاق الآلي وحيد الطور فإن كل قاطع آلي يجب أن يزود بآلية الفصل والاغلاق الخاصة به ويعتبر عادياً مع قواطع النفخة الهوائية EHV وقواطع SF_6 ، ولذلك فإن دارات إعادة الاغلاق والفصل المرافقة تكون أكثر تعقيدا وقد تحتاج الحماية إضافة منطق إختيار الطور بإستثناء المسافية.

عند حدوث عطل طور- أرض فإن دارات إعادة الاغلاق أحادية الطور تفصل وتعيد إغلاق فقط القطب الموافق من القاطع الآلي. لذلك فإن لوظيفة إعادة الاغلاق الآلي في الحاكمة ثلاثة عناصر منفصلة واحدة لكل طور. إن تشغيل أي عنصر يحرَض مؤقت الزمن الميت الموافق، ،والذي بدوره يطلق نبضة الإغلاق للقطب المناسب من القاطع الآلي. وينجم عن إعادة الإغلاق الناجح بأن يعود معيد الاغلاق الآلي في نهاية زمن التهيؤ جاهزا للاستجابة لعطل آخر قادم. إذا بقي العطل مستمرا وكانت إعادة الاغلاق غير ناجحة، فإنه من الطبيعي أن يتم الفصل وقفل الأقطاب الثلاثة للقاطع الآلي.

ما ذكر اعلاه يصف فقط واحداً من عدة عوامل وهناك إمكانيات أخرى هي:

أ- فصل وقفل ثلاثي الطور من أجل أعطال طور- طور أو أعطال ثلاثية الطور أو فيما إذا كان بقية الأطوار سيطور العطل خلال الزمن الميت.

ب- استخدام مفتاح لتأمين الاختيار فيما إذا كانت عملية إعادة اغلاق أحادية أو ثلاثية.

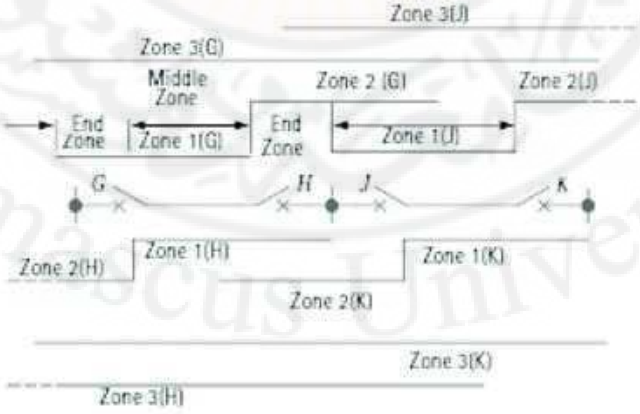
ت- إعادة إغلاق آلي مختلط أحادي وثلاثي الطور، حيث تسبب أعطال طور مع الأرض فصل وإعادة إغلاق أحادية الطور، وتحرض أعطال طور- طور آلية الفصل وإعادة إغلاق ثلاثية الطور.

6-9-11 إعادة الإغلاق الآلي السريع على الخطوط التي تستخدم حواكم حماية مسافية

High Speed Reclosing on Lines Employing Distance Scheme

تم التأكيد في الفقرات السابقة على أهمية الفصل السريع للقواطع الآلية عند كل نهاية من الخط المعطل حيث تستخدم معيدات إغلاق آلية عالية السرعة، ولكن الحماية المسافية البسيطة تمثل بعض الصعوبات في هذا المجال.

بسبب الأخطاء الناتجة عند التعيير الأومي لحواكم الحماية المسافية، فإنه من غير الممكن تعيير المنطقة الأولى Zone1 للحاكمة المسافية لتغطي 100% من الخط المحمي وتعير لتغطي %(80-85) من طول الخط ويغطى باقي الخط خلال Zone2 بتأخير زمني. يبين الشكل (61-11) دارة حماية مسافية ثلاثية المناطق تغطي خطي نقل. لذلك فإن العطل الذي يحدث عند نهاية منطقة على إحدى نهايتي المغذي سوف يتم فصله لحظيا من قبل الحماية ولكن القاطع الآلي عند النهاية الأخرى يفتح خلال Sec(0.3-0.4) أي ما يقارب زمن المنطقة الثانية.



الشكل(61-11) خواص حماية مسافية ثلاثية المناطق

سوف ينجم عن تطبيق معيد الإغلاق الآلي عالي السرعة على القواطع الآلية عند كل نهاية للمغذي إما عدم وجود زمن ميت، أو زمن ميت غير كاف ليسمح بإزالة التأين لقوس العطل. لذلك فإن الحماية سوف ترى العطل العابر على أنه عطل دائم ما ينجم عنه قفل قاطعي الدارة الآليين، وهناك طريقتان للتغلب على هذه الصعوبة:

أولهما: يمكن إستخدام إحدى دارات الفصل المتبادل أو الحجز والمبنية على استخدام إشارة القطع بين نهايتي الخط.

ثانيهما: يمكن اللجوء إلى توسع المنطقة الأولى Zone1 extension بديلاً لتحقيق الفصل الآني على كامل طول الخط.

نبين فيما يلي وصفا مختصرا حول كيفية استخدامها بالارتباط مع دارة معيد الإغلاق الآلي.

11-9-6-1 الفصل المتبادل أو دارات الحجز

يشمل الفصل المتبادل استخدام قناة إشارة بين نهايتي الخط حيث يحدث الفصل بسرعة عند كلا نهايتي الخط المعطل، وهذا يمكن من إستخدام معيد الاغلاق الآلي عالي السرعة. ينجم بعض التعقيد عند استخدم معيد إغلاق آلي أحادي الطور، حيث يجب أن تكتشف قناة الإشارة الطور الذي سوف يتم فصله، ولكن هذه المشكلة تزول فيما إذا استخدمت حاكمة حماية رقمية حديثة. وبغض النظر عن الدارة المستخدمة فان حاكمة الحماية المسافية تزود بحاكمة حجز معيد إغلاق لمنع القواطع الآلية من إعادة الإغلاق عند الأعطال التي تراها الحاكمة المسافية في المنطقتين الثانية والثالثة Zone2 و Zone3 .

11-9-6-2 توسع المنطقة الأولى Zone1 Extension

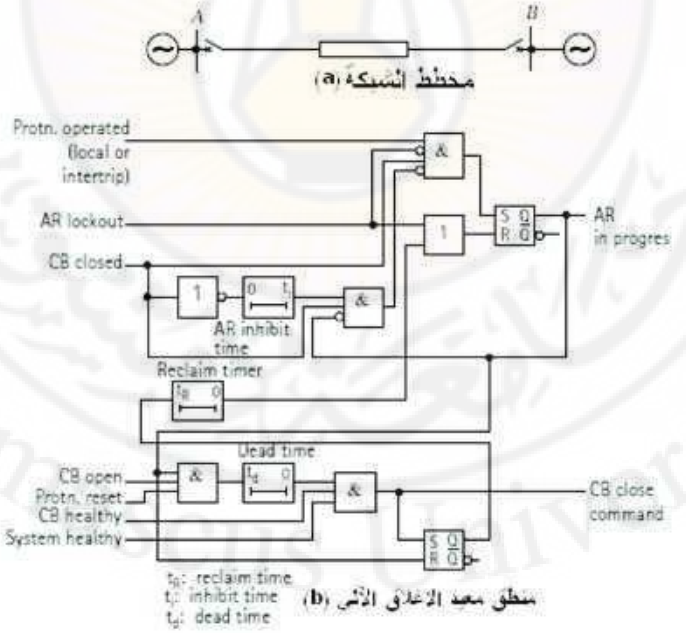
في هذه الدارة فإن وصول Zone1 يتم توسيعه طبيعيا إلى 120% من طول الخط ويتم إرجاعه إلى 80% عند استقبال أمر إعادة الاغلاق. سوف تنتج إشارة معيد الاغلاق الآلي هذه قبل تطبيق نبضة الإغلاق على القاطع الآلي وتبقى في حالة العمل حتى نهاية زمن التهيؤ.

11- 9-7 إعادة اغلاق متأخر على أنظمة EHV

يمكن إستخدام إعادة إغلاق متأخر على أنظمة النقل المتداخلة بشكل كبير، حيث إنه من غير المحتمل أن فقدان خط مفرد ذي أهمية لكي يسبب فصل قسمين من النظام وفقدان التزامن، وتستخدم بشكل شائع أزمنة ميتة في المجال Sec (6 -5) ولاتظهر أية مشكلات في أزمنة إزالة تأين قوس العطل وفي خواص عمل القاطع الآلي وفي تأرجح الاستطاعة قبل إعادة الاغلاق. بالإضافة إلى أن كافة دارات الفصل وإعادة الإغلاق يمكن أن تكون ثلاثية الطور فقط ، وهذا يبسط دارات التحكم بالمقارنة مع الدارات أحادية الطور. في الأنظمة التي يسمح بها بإعادة الاغلاق المتأخر فإن فرص إعادة إغلاق ناجحة تكون أكبر منها في حالتي إعادة الاغلاق بتأخير زمني وعالية السرعة.

11-9-7-1 عمل الدارة Scheme Operation

يمكن فهم تتابع عمليات دارة إعادة الإغلاق الآلي بتأخير زمني من خلال الشكل (62-11).



الشكل(62-11) الدارة المنطقية لإعادة الإغلاق بتأخير زمني

يبين الشكل خط نقل يصل بين قضيبي تجميع A و B من خلال قاطعين آليين A و B يفصلان عند حدوث أعطال على الخط. من غير المحتمل فقدان التزامن لنظام يستخدم إعادة إغلاق بتاخير زمني. ولكن تبادل الاستطاعة عبر بقية الخطوط tie-lines على النظام قد تسبب تغير فرق الطور بين التوترات عند قضيبي التجميع A و B. وبالنتيجة فإنه إذا عمل معيد الاغلاق الآلي فإن النظام سيتعرض إلى صدمة غير مقبولة. لذلك فإنه من الشائع عمليا أن يضمن معيد الإغلاق الآلي بحاكمة اختبار تزامن لتقرر فيما إذا حصلت إعادة الاغلاق.

بعد عملية الفصل على العطل فإنه من الطبيعي عمليا إعادة إغلاق القاطع عند نهاية واحدة أولا، وتعرف على أنها عملية " شحن قضيب تجميع حي/ خط ميت " ، وتتم إعادة الإغلاق عند النهاية الأخرى عندئذ وبوجود التحكم من خلال حاكمة مراقبة التزامن من خلال عملية " إعادة إغلاق قضيب تجميع حي/خط حي".

إذا كان القرار بشحن الخط عند قضيب التجميع A فإن الزمن الميت في حاكمة معيد الإغلاق الآلي عند A سوف يعيّر على سبيل المثال على 5Sec ، في حين أن المؤقت الزمني الموافق عند B سوف يعير على 15 Sec ، عندها فإن القاطع الآلي عند A سوف يعيد الإغلاق بعد 5Sec إضافة إلى أن حواكم مراقبة التوتر عند A تشير إلى أن قضبان التجميع حية وأن الخط ميت. بإعادة شحن الخط فإن القاطع الآلي فيB سوف يقوم بإعادة الإغلاق مع اختبار التزامن، بعد تأخير زمن مفروض مقداره 2Sec ، وذلك بسبب عنصر حاكمة اختبار التزامن. إذا فشل الخط في" شحن الخط الميت" من النهاية A لأي سبب من الأسباب فإن معيد الاغلاق الآلي عند النهاية B سوف يعمل بعد 15Sec، ويعطى القاطع الآلي في A الفرصة ليغلق مع اختبار التزامن.

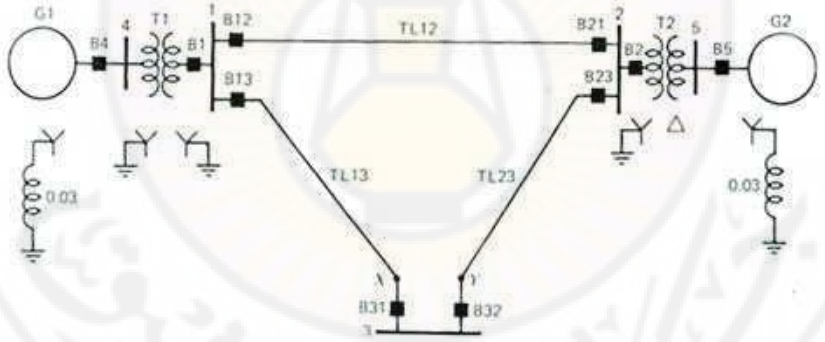
11-10 أمثلة عامة

مثال(1-10-11)

تتم حماية خطوط النقل لنظام القدرة الكهربائية المبين في الشكل(63-11) باستخدام ست حواكم حماية مسافية كهرميكانيكية وحواكم اتجاهية وعلى فرض أن وصول المناطق الثلاثة لها Zone1=80%;Zone2=120%;Zone3=250%، وأن ممانعات الخطوط الثلاثة متساوية ولها Z_l=j0.1 P.U، وأن نسب تحويل محولات التوتر (133 kV /115 V) ونسب تحويل محولات التيار A (400/5)، وأن كميات الأساس في منطقة خط النقل 230 kV;100MVA والمطلوب:

1-تحديد تعييرات Zr لكافة مراحل حواكم الحماية المسافية بالأوم

2-مناقشة عمل حواكم الحماية الست عند حدوث عطل ثلاثي الطور في النقطة X على الخط T_{11-3} والتي تبعد بمقدار 10% عن Bus3.



الشكل (63-11) نظام القدرة الكهربائية العائد للمثال(1-10-11)

الحل:

الطلب الأول: [29]

وصولات المناطق الثلاث للحاكمة:

Zone1: Zr = 0.1x80% = 0.08
Zone2: Zr = 0.1x120% =0.12
Zone3: Zr = 0.1x 250% = 0.25
$Z_{base} = V_{base}/ I_{base}$ =
$V_{base} = 230/\sqrt{3}(115/133) = 115$ kV
I= 100/ 0.230 x $\sqrt{3}$ = 251 A

$I_{base} = 251(5/400) \quad = 3.14A$
$Z_{base} = 115/ 3.14 \quad = 36.7\ \Omega$

تعييرات المناطق الثلاث:

Zone1: 0.08 x 36.7 = 2.93 Ω
Zone2: 0.12 x 36.7 = 4.40 Ω
Zone3: 0.25 x 36.7 = 9.16 Ω

الطلب الثاني:

عند حدوث عطل على النقطة X من نظام القدرة يكون أداء حواكم الحماية الست كما يلي:

B31- العطل ضمن المنطقة الأولى ينتج عن ذلك عمل آني.

B32- عنصر الاتجاه يوقف عمل الحاكمة.

B23- ترى العطل في المنطقة الثانية وستعمل بتأخير زمني ويسبقها بالاستجابة للعطل الحاكمة B31 لأنها آنية وتمنعها من العمل.

B21- عطل ضعيف لأنها تراه في المنطقة الثالثة.

B12- عنصر الإتجاه يوقف عمل الحاكمة.

B13- ترى العطل في المنطقة الثانية وتعمل بتأخير زمني

يفصل القاطعان B13 و B31 كما هو مرغوب، كما يجب أن يتم إجراء تنسيق أزمنة عمل الحاكمتين B1 و B4 مع الحاكمة عند B13 ،بحيث يتم تتابع الفصل من الأسرع إلى الأبطأ، كما يجب أن يتم التنسيق بشكل مماثل أيضا بين الحاكمتين B2 و B5 مع الحواكم عند القواطع B13 و B31 و B23 .

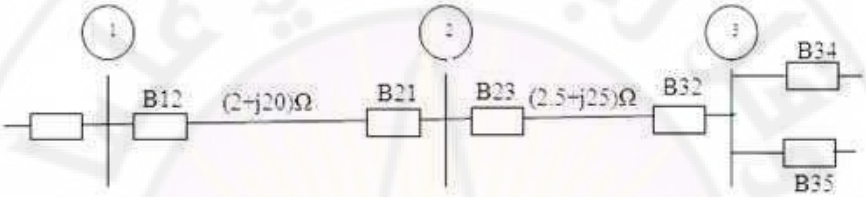
<u>مثال (2-10-11)</u>

:خط نقل يعمل تحت توتر 230 kV مكون من قسمين T_{123}, T_{112} كما هو مبين في الشكل (11-64). سوف تتم حماية الخط باستخدام حواكم الحماية المسافية الاتجاهية التي ستتغذى بالتيار والتوتر عن طريق محولات تيار بنسب تحويل n_c=250/5 A ومحولات توتر بنسب تحويل n_v=132.8 kV /69 V إذا كان الحمل الأعظمي المغذى من الخط T_{L12} 100MVA وبعامل استطاعة متأخر 0.9 والمطلوب تصميم نظام حماية مسافية ثلاثي المناطق من خلال تحديد مايلي:

1- الممانعة لكل قسم من الخط كما تراها الحاكمة

2- تعيير مناطق الحماية الثلاثة Zone3,Zone2,Zone1 لحاكمة الممانعة R_{12} المرتبطة بالقاطع الآلي B_{12} .

3- على فرض أننا استبدلنا حاكمة الممانعة R_{12} بحاكمة سماحية MHO بزاوية خواص 30° يطلب تحديد تعيير Zone1 , Zone2 لحاكمة السماحية ثم رسم خواصها لهاتين المرحلتين.



الشكل(64-11) خط نقل قدرة كهربائية مكون من قسمين

الحل:

الطلب الأول : ممانعة كل قسم من أقسام الخط

التيار الأعظمي:

$I_{max} = 100 \times 10^6 / \sqrt{3} \times 230\ 10^3 = 251$ A

التيار الأعظمي على الجانب الثانوي = $I_{max} = 251(5/250) =$ 5A

توتر الطور :

$230 \times 10^3 / \sqrt{3} =$ 132.8 kV

التوتر على الثانوي 132.8 (69/132.8) = 69 kV

$n_c / n_v = (250/5)\ A/(132.8\ kV / 69\ V) == 0.026$

$Z_{l12} = 0.026 \times (2+j20) = 0.052 + j0.5196\ \Omega$

$Z_{l23} = 0.026 \times (2.5+j25) = 0.065 + j0.65\ \Omega$

ممانعة الحمل كما تراها الحاكمة:

$Z_{load} = (69\ V/5A) \times (0.9+j0.436) = 12.37 + j\ 6\ \Omega$

الطلب الثاني:

تعييرات المناطق الثلاث لحاكمة الحماية المسافية في بداية المقطع الأول من خط النقل

Zone1: $0.80x(0.052 + j0.5196)$
$= 0.0416+j0.416\ \Omega$

Zone2: $1.20x(0.052 + j0.5196)$
$= 0.0624+j\ 0.624\ \Omega$

Zone3:

يجب أن تعير المرحلة الثالثة لتغطي خلف أطول خط موصل إلى قضيب التجميع 2

Zone1:

$Zr = 0.052 + j0.52 + 120\%(0.065+j\ 0.65)$
$= 0.13+j\ 1.3$

الطلب الثالث:

تعيير منطقة الحماية الأولى للحاكمة Zone1

$Zr = 0.0416+j0.416 = 0.4178\angle 84.3^0$

Moh relay Zone1setting $= 0.4178/\cos(84.3^0 - 30^0)$

$= 0.7157\Omega$ على الثانوي

تعيير منطقة الحماية الثانية للحاكمة Zone2

Zone2:

$Zr = 0.0624+j\ 0.624 = 0.6266\angle 84.3\ \Omega$ على الثانوي

Moh relay Zone2 setting $= 0.6266/\cos(84.3^0 - 30^0)$

$= 1.0734\ \Omega$

تعيير منطقة الحماية الثالثة للحاكمة Zone3:

$Zr = 0.130 + j1.3 = 1.3055\angle 84.3^0$

Moh relay Zone2 setting $= 1.3055 / \cos(84.3^0 - 30^0)$

$= 2.2364\ \Omega$ على الثانوي

مثال(11 -10-3):

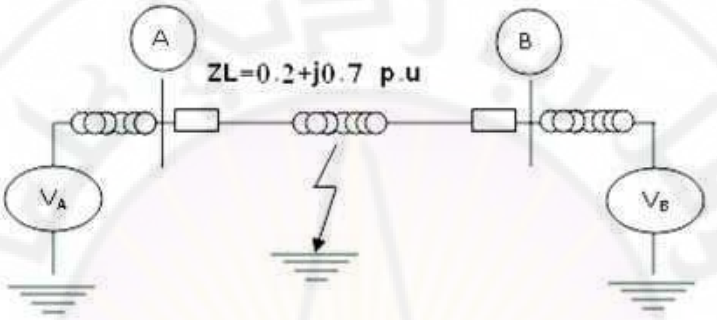
تمت حماية خط نقل القدرة المبين في الشكل (65-11) الذي ممانعته 0.2+j0.7 p.u ويعمل تحت توتر 138 kV باستخدام حاكمة مسافية MHO اتجاهية على قضيب التجميع A وذات منطقتين Zone1 و Zone2. حصل عطل من نوع L-L في النقطة F الواقعة على مسافة 0.7 pu عن قضيب التجميع A، من خلال قوس طوله 3.13944 mt وكان تيار العطل 1.2 p.u. كميات الأساس 100MVA و 138 kV والمطلوب حساب:

1.مقاومة القوس في نقطة العطل بالأوم و بالقيم الواحدية .

2.ممانعة الخط متضمنة مقاومة القوس.

3.زاوية ممانعة الخط بوجود القوس و بدونه.

4.ارسم خواص الحاكمة واستنتج هل ستفصل الحاكمة لحظياً؟



الشكل(65-11) خط نقل قدرة ممانعاته بالقيم الواحدية

الحل:

$I_{base} = 418.4$ A
$Z_{base} = 190.4\ \Omega$
I= 1.2 X 418.4= 502 A

الطلب الأول:

$$R_a = \frac{28710}{I^{1.4}} L$$

$R_{arc}=28710\ L / I^{1.4}$
$=28710 \times 3.13944 / (502)^{1.4}$
$= 14.93\ \Omega \quad = 0.0784$ pu

الطلب الثاني:

$Z_L + R_{arc} = (0.2+j\ 0.7) \times 0.7 + 0.0784$
$= 0.2184+ j0.49$ pu

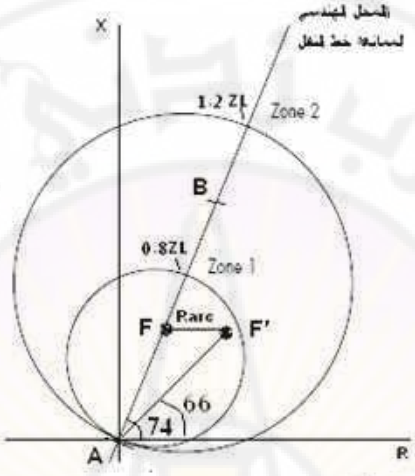
الطلب الثالث:

Without arc $\quad \text{Tan}^{-1}\ 0.49 / 0.14 = 74^0$

With arc $\quad \text{Tan}^{-1}\ 0.49 / 0.2184 = 66^0$

الطلب الرابع:

يتبين من الشكل(66-11) أنه بعد إضافة مقاومة القوس فإن نقطة العطل F تنتقل إلى النقطة 'F التي تبقى داخل المنطقة الأولى Zone1 أي أن الحاكمة سوف تفصل العطل لحظيا



الشكل(66-11) تأثير مقاومة القوس على الفصل الآني للحاكمة

الفصل الثاني عشر

12-حواكم الحماية المسافية الرقمية

Digital Distance Relays

Damascus University

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفصل الثاني عشر

12- حواكم الحماية المسافية الرقمية Digital Distance Relays

12-1 الحواكم الرقمية Digital Relays

حواكم الحماية الرقمية بشكل عام أجهزة تعمل على مبدأ المايكروبروسيسور وتتضمن الوحدات الأساسية التالية:

- وحدة المعالجة المركزية (CPU).
- وحدة التحكم Control Unit.
- ذاكرة Memory.
- الدخل-الخرج Input-Output.
- ساعة Clock.

يتم ربط مجموعة من العناصر الإلكترونية الخاصة مع بعضها البعض بحيث ينتج لدينا نظام يطلق عليه اسم الحاسبات المايكروية (micro-computer)، ويطلق على الدارة التي تعتمد هذا النظام اسم المعالج المايكروي (micro-processor)، الذي يقوم بوظيفة وحدة المعالجة المركزية ووحدة التحكم، لذلك فإن وصل المعالج المايكروي مع الذاكرة – الدخل – الخرج – الساعة يتم اعتماداً على نظام رقمي يمكن برمجته، أي نحصل على حاسب رقمي مايكروي واختصاراً حاسب مايكروي.[5]

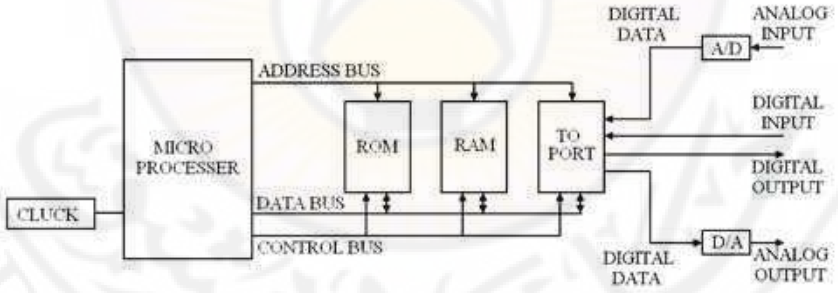
12-1-1 النظم المايكروية

وهي النظم الرقمية الموزعة حول المعالج الميكروي ومكوناتها الأساسية هي وحدة المعالجة المركزية (CPU) ووحدة التحكم إذ يتم تركيب هاتين الوحدتين مع السجلات الأخرى المختلفة على دارة واحدة لتشكيل معالج ميكروي، ونسمي هذا المعالج بالمعالج الميكروي وحيد القطعة (single-chip microprocessor). أما إذا كانت هذه الدارات موزعة بحيث إن وحدة التحكم موجودة على شكل قطعة مستقلة ووحدة الحساب والمنطق (ALU) على قطعة ثانية والسجلات على دارة أخرى فإن تجميع هذه الدارات مع بعضها يشكل ما يسمى بالمعالج الميكروي ذي الشريحة.

يقوم المعالج الميكروي من خلال برنامج خاص بتنفيذ وإجراء العمليات الحسابية والمنطقية ويولد إشارات التحكم اللازمة لوحدات الدخل- الخرج ويتم تخزين البرنامج في الذاكرة عند تشغيل النظام. تقرأ تعليمات البرنامج في الذاكرة وتنفذ أو تعالج في المعالج الميكروي، وبالتالي فإن المعالج الميكروي يمثل عنصراً فيزيائيا"(hardware-structure) مقاد عن طريق برمجيات خاصة (software program). وتهدف النظم الميكروية إلى ما يلي:

- معالجة معطيات الدخل الرقمية من العناصر الخارجية وتوليد معطيات خرج رقمية تابعة لمعطيات الدخل.

- معالجة الإشارات التمثيلية وذلك بربط عناصر تماثلية / رقمية (A/D) باعتبارها وحدات إدخال خطوط النظام الذي بدوره يولد معطيات تابعة لمعطيات الدخل، ثم إخراجها إلى عناصر رقمية/تماثلية (D/A) وذلك للحصول على إشارة خرج رقمية أو تماثلية، وذلك كما هو مبين في الشكل (1-12) الذي يمثل البنية الصندوقية للنظم المايكروية.



الشكل (1-12) البنية الصندوقية للنظم المايكروية

12-1-2 بنية الحاكمة الرقمية

تتألف حاكمة الحماية الرقمية بشكل عام من أربعة أقسام رئيسية:

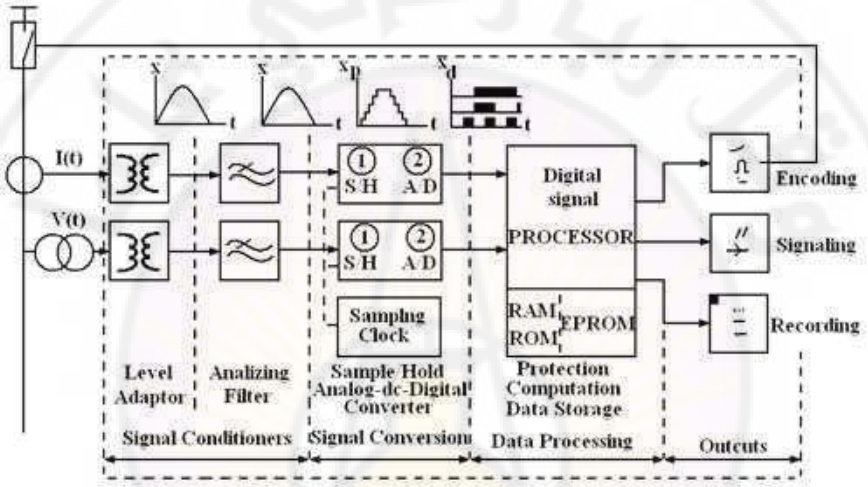
1- مكيفات الإشارة مع عناصرها الفرعية وهي تقوم بتحويل التوترات والتيارات الثانوية إلى إشارات إلكترونية قياسية وعزل هذه الإشارات عن دارة القدرة, ومرشح بهدف التخلص من كل الترددات الزائدة F_p والأعلى من ضعف التردد الإختياري (تردد أخذ العينات) Fs.

2- قسم تبديل الإشارة وذلك بأسلوب أخذ العينات (متحكم به بواسطة ساعة أخذ العينات عالية الدقة) ثم تبديل العينات التماثلية إلى إشارة رقمية مكافئة.

3- قسم معالجة المعطيات بهدف الحفظ والحساب مستخدمين المعالج الصغري.

4- وحدة الخرج لإعطاء الإشارات من أجل فصل قاطع الدارة والإنذار والتسجيل العابر.

وذلك كما هو مبين في الشكل (2-12)



الشكل (2-12) بنية الحاكمة الرقمية

تتم قيادة حاكمة الحماية الرقمية بواسطة جهاز مايكروبروسسورعن طريق برنامج مخزن في وحدة المعالجة المركزية (CPU)، كما يتم تعيير الحاكمة من خلال تخزين القيم في ذاكرة (EPROM) التي يمكن برمجتها وتعريفها لتستخدم لوظائف حماية متعددة بنفس جهاز الحماية حيث تخزن المعلومات التي تطرأ على النظام في حافظة المعلومات (RAM) التي هي عبارة عن ذاكرة لحفظ المعلومات الآنية، وتتم قراءة قيم تعيير الحمايات ومعيدات الإغلاق ومراقبة حالات التشغيل والحصول على المعلومات ومعالجتها من خلال شاشة رقمية (LCD). يقوم ناخب الإشارة S/H بتثبيت الإشارة اللحظية ليقدمها لمحول الإشارة A/D الذي يقوم بتحويل الإشارات التماثلية إلى رقمية ويقدمها للمعالج. تتخذ الحاكمة الرقمية القرار فيما إذا كانت الحالة حالة عمل طبيعية أو حالة عطل فوراً لأن الحساب ينتهي قبل أن تختبر معطيات العملية التالية.

12-1-3 مبدأ عمل الحواكم الرقمية

يعتمد عمل الأجزاء الرئيسية للحاكمة الرقمية على المبادىء والنظريات التالية:

1- مبدأ التحويل التمثيلي إلى رقمي:

يستخدم التبديل A/D أو العكس عند ربط إشارة معينة مع الحاسب ليتم معالجة هذه الإشارة وإصدار الأوامر المتعلقة فيها.

لتحويل إشارة تمثيلية إلى رقمية، لا بد أن تمر بعدة مراحل هي:

أخذ عينات من الإشارة التمثيلية (Sampling)

مسك قيم هذه العينات (holding).

تكميم العينة (Quantizing).

تشفير العينة (Encoding).

يمكن إجراء المرحلة الأولى والثانية بوحدة تدعى (Sample and hold) (S/H) أما المرحلتان الثالثة والرابعة فيمكن إجراؤهما بدارة مبدل تمثيلي/رقمي A/D.

2- نظرية أخذ العينات

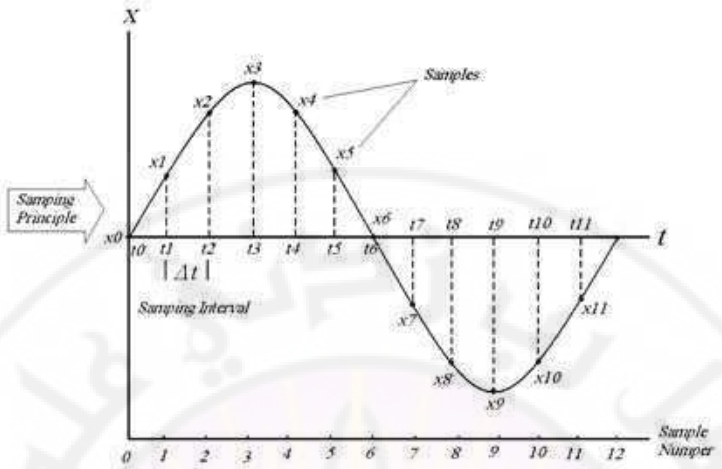
تنص النظرية على أنه إذا كان لدينا إشارة محددة الحزمة (طيف ترددي محدد) فإنه يمكن أخذ عينات من هذه الإشارة. يبين الشكل (12- 3) الأسلوب الاختباري مطبقاً على مثال لتابع (sin) دوري X(t) حيث يتم أخذ عدد محدد (N) من القيم اللحظية (عينات) خلال الدور (T).

$$\begin{aligned} X_0 &= X(t_0) \\ X_1 &= X(t_1) \\ X_N - 1 &= X(t_{N-1}) \end{aligned} \qquad (12\text{-}1)$$

الفاصل الزمنيΔt بين عينتين متتاليتين نفسه دائماً و يدعى فاصل الاختبار .

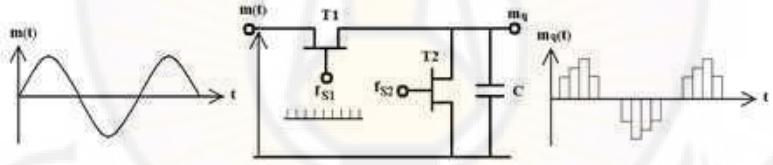
يوصف الأسلوب الاختباري أما بعدد العينات (N) خلال الدور أو بواسطة تردد الاختبار (Fs) مع علاقته المتبادلة مع (N).

$$F_s = \frac{1}{\Delta} = \frac{N}{T} \qquad (12\text{-}2)$$



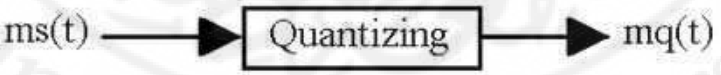
الشكل (3-12) الأسلوب الاختباري مطبقا على تابع (sin) دوري

وأبسط دارة أخذ عينات مع ماسك هي مفتاح إلكتروني يوصل إليه عنصر أخذ العينات و مكثف على الخرج فنحصل على الإشارة مقطعة في الخرج كما هو مبين في الشكل (4-12).



الشكل (4-12) دارة أخذ العينات و مسكها

خرج دارة S/H إشارة مقطعة زمنياً في حين أن العينة ذاتها مستمرة لذلك نأتي في المرحلة التالية بدارة التكميم كما هو مبين في الشكل (5-12).



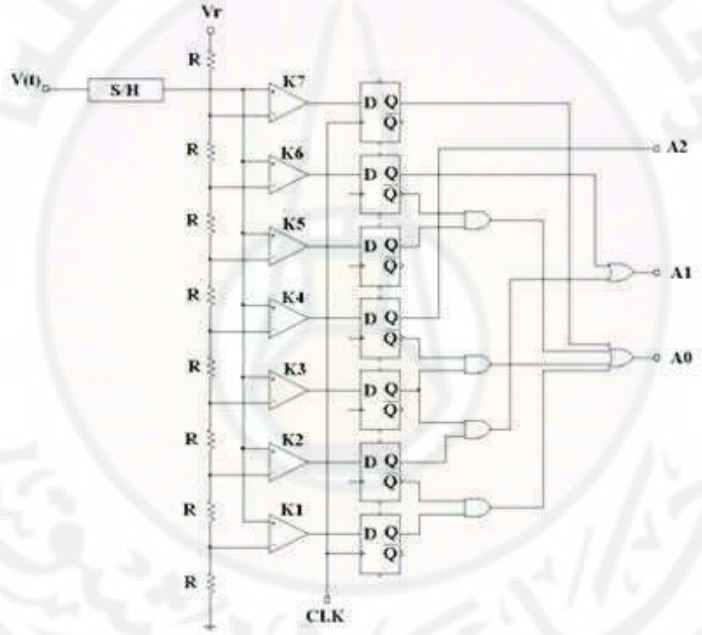
الشكل (5-12) دارة التكميم

العلاقة بين دخل المكمم وخرجه علاقة تدرجية فعند قيم قريبة من الصفر يكون خرج المكمم مساوياً الصفر وعندما تزداد قيمة الإشارة فوق قيمة معينة تأخذ الإشارة القيمة M1 و هكذا تتشكل العينات إلى مستويات ذات قيمة ثابتة تعرف بمستويات التكميم. وهناك

خطأ نتيجة تقريب الإشارة إلى مستوى التكميم يعرف بخطأ التكميم، و يمكن تصغيره بزيادة تردد أخذ العينات وزيادة مستويات التكميم.

3- التشفير

وهي تحويل المطالات الممكنة للعينات إلى خانات ثنائية إذ تقوم دارات بعملية التكميم و التشفير تدعى المبدلات A/D ، وأهم هذه المبدلات المبدل التمثيلي الرقمي المتوازي الذي يعتمد على المقارنات, وتكمن سلبية المبدل في زيادة عدد المقارنات بالمقارنة مع عدد الخانات الثنائية وذلك كما هو مبين في الشكل(6-12).



الشكل(6-12) مبدل تمثيلي رقمي يعتمد على المقارنات

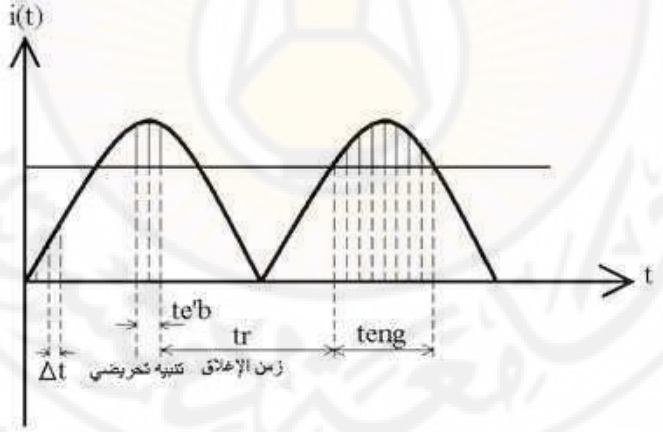
12-1-4 مزايا حواكم الحماية الرقمية

تمثل حاكمات الحماية المعتمدة على مبدأ المايكروبروسسور الجيل الجديد في حماية نظم القدرة، وهي ليست فقط نسخة عن الخصائص التقليدية، ولكنها تملك ميزات بارزة بوصفها جهازاً مؤتمتاً بشكل كامل من أجل الحماية والتحكم وتحليل الأعطال والاتصال مع الأجهزة الأخرى لشبكة التحكم إذ إن الحاكمات الرقمية تحقق نفس الميزات التي

تحققها الحاكمات الإلكترونية لكن محاسنها أكثر كما تؤكد الأبحاث النظرية و التجارب التطبيقية ومن أهم مزاياها :

1- باستخدام نفس الجهاز (hardware) مع تغيير البرنامج يصبح الجهاز قادراً على التعامل مع وظائف حماية متعددة، كما أن العناصر التي تؤلف جهاز الحماية يمكن أن تصنع على شكل متسلسل وحسب نموذج محدد لذا يصبح من السهل إصلاح أو تبديل أي قطعة من جهاز الحماية المعطل و كذلك لا تحوي عناصر كثيرة فيما بينها، لذلك تزداد وثوقيتها بشكل ملحوظ.

2- يمكن إجراء الاختبارات الذاتية لمعرفة أداء عناصرها وجاهزيتها بشكل دائم و بدون إضافة عناصر جديدة على هذه الأجهزة و يتم ذلك من خلال برنامج اختباري يعمل في الزمن الميت بين نبضتين متتاليتين بحيث يقوم بإجراء فحص سريع لعناصر أجهزة الحماية الرقمية، وفي حال وجود عطل يعطي إشارة و يحدد مكان العطل تماما. كما في الشكل (7-12). [5]



الشكل (7-12) منحني التشغيل لإحدى الحواكم الرقمية

3- يتمتع البرنامج الرقمي المجهز بكل ميزات جهاز الحماية فعندما يطرأ أي تغيير على واقع الشبكة (شكل الشبكة أو تغير في الحمل) فإن البرنامج يجري تعديلاً أوتوماتيكياً على عوامله وبالتالي يحضر الحماية لتواجه التغيرات الجديدة الحاصلة.

4- يجعل المعالج الصغري أجهزة الحماية قادرة على التعامل مع الحالات المعقدة والمتغيرة، وتتميز أجهزة الحماية الرقمية أنها تستطيع تحقيق متطلبات الأجزاء المراد حمايتها بكافة الظروف المحتملة

5- تزيد المعلومات التي تخزنها أجهزة الحماية الرقمية عن حالات الخلل المختلفة التي تطرأ على نظام القدرة كالأعطال المختلفة والنتائج المترتبة عليها من وثوقية نظام الحماية هذا.

6- يمكن الاستفادة من تطور شبكات الاتصال والربط عبر أجهزة الحاسوب عند استخدام أجهزة الحماية الرقمية أكثر منها في حال استخدام أجهزة الحماية الأخرى نظراً إلى ميزات الحماية الرقمية في تخزين المعلومات و تحليلها. يبين الشكل (8-12) إمكانية ربط الحاكمات الرقمية إلى أجهزة كمبيوتر بحيث يمكن وصل كل أجهزة الحماية الموجودة في المحطة إلى جهاز حساب واحد يحقق تبادل الاتصالات و المعلومات.



الشكل (8-12) جهاز واحد مع حاسوب

12-2 حاكمة الحماية المسافية الرقمية

Numerical Distance Relay

تستخدم في حاكمة الحماية المسافية الرقمية خوارزميات عديدة من أجل قياس الممانعة يبنى معظمها على أساس حل المعادلة التفاضلية من المرتبة الأولى للخط، وتفترض هذه الخوارزميات أن الخط مكوّن من مجموعة من المقاومات والمفاعلات التسلسلية، وأنه يتم إهمال السعات التفرعية، وتفترض أن إشارات الدخل جيبية، ولذلك من الضروري فلترة الإشارات مسبقاً بواسطة مرشح رقمي لضمان أن تتم معالجة تردد نظام القدرة وحده دون غيره ، أما الخوارزميات التي تستخدم تحويلات فوريه المتقطعة DFT (Discrete Fourier Transform) فلا تحتاج لفلترة مسبقة لأن DFT يحوي ضمناً على ميزة الفلترة.

12-2-1خواص الحماية المسافية الرقمية

تمتاز الحاكمة المسافية الرقمية بما يلي:

1-أقل حجماً من الحمايات التقليدية

2-تغذيتها الذاتية صغيرة مقارنة مع الحماية التقليدية

3-ذات عامل أمان أعلى وذلك لاستخدامها معطيات فرق الطور والمطال بوصفها إشارات دخل بدلاً من استخدام معطيات أحدهما فقط (الطور مثلاً).

4-يمكن تشكيل أي خواص مرغوبة بسهولة.

5-يمكن تشكيل مختلف مناطق الحماية المسافية بسهولة، فحالما يتم حساب ممانعة إحدى المناطق فإن المناطق الأخرى يمكن إضافتها بإجراء تعديلات بسيطة.

6-يمكن إعداد الخواص بالقيم الأومية وليس بقيم K وهذا يسهل الإستخدام.

7-القدرة على التكييف إذ يعتمد تغيير سلوك المعالج آلياًعلى الأجواء المحيطة الخارجية التي تتغير مع الزمن و يمكن أن يكون هذا التغيير على شكل بيأنات موضعية للمعالج، أويتم التغيير عن طريق إضافة خارجية مثل اتصال البيانات أو نظام الحاسب الآلي.

8-المقدرة على الفحص الذاتي في متممات الحمايات التقليدية حيث يلزم إجراء اختبارات دورية للتأكد من سلامة مكونات الحماية ومقدرتها على التصرف السليم عند حدوث العطل .

9-المقدرة على الحسابات إذ يضطر المصمم أحياناً في الحماية الكهرومغناطيسية و الستاتيكية إلى وضع قيود للحصول على الخاصية المطلوبة , أما في الحماية الرقمية فإن له الحرية الكاملة لوضع أي خصائص في حدود معرفته.

10-لاتحتاج لأي أعمال صيانة .

11-من السهل تغيير أي شريحة من مكونات الحماية.

12-2-2 العناصر المكونة للحاكمة Relay elements

تتكون الحاكمة من عناصر لكشف الأعطال بين الأطوار وأخرى لكشف الأعطال الأرضية. في حاكمة الحماية المسافية يكون لكل منطقة حماية ثلاثة عناصر لكشف

الأعطال الأرضية وثلاثة عناصر لكشف الأعطال بين الأطوار وكل من هذه العناصر يقوم بحساب ممانعة

مستقلة، وينجز تقييماً مستقلاً للعطل، والفارق بين العناصر هو في عينات التوتر والتيار المستخدمة لحساب الممانعة. ويتم تعويض المركبة الأرضية (عامل التعويض المتبقي) بإضافة نسبة من التيار المتبقي إلى تيارات الخط، ويمكن تقريب عامل التعويض المتبقي إلى قيمة عددية (لا شعاعيه) ، أو استخدام عوامل تعويض متبقّ عقدية لزيادة الدقة.

12-2-3 الإتجاهية Directionality

قد تؤدي الأعطال القريبة من موضع الحاكمة إلى انخفاض التوتر إلى قيمة قريبة من الصفر فلا تعود الحاكمة قادرة على تقدير ما إذا كان العطل بالاتجاه الأمامي أم الخلفي. ولتمكين الحاكمة من تحديد الاتجاهية بصورة دقيقة يتم حساب المفاعلة باستخدام عينات توتر ماقبل العطل وعينات تيار مابعد العطل، ويمكن تحقيق ذلك بتأخير عينات التوتر في الذاكرة لمدة تساوي عدة أدوار، وتكون المفاعلة المقاسة موجبة من أجل الأعطال الأمامية وسالبة من أجل الأعطال العكسية .

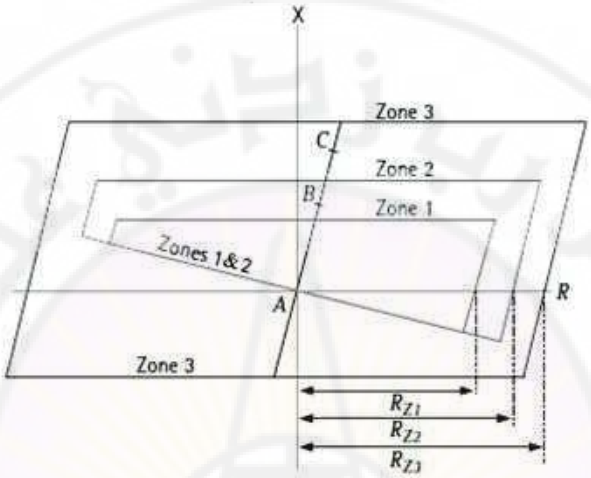
12-2-4 حواكم المقارنة الإتجاهية Directional comparison relays

تستخدم الحواكم الاتجاهية المتوضعة على جانبي خط النقل لتحديد ما إذا كان العطل داخل أم خارج الخط المحمي. وقد طورت حواكم الحماية الرقمية عمل حاكمة المقارنة الاتجاهية باستخدامها المركبات المتراكمة (superimposed components)، وميزة هذه الطريقة هي أنه يمكن اتخاذ القرارات الإتجاهية الصحيحة حتى لو كان تيار العطل الأصغري أقل من تيار الحمل الأعظمي.

12-3 الخصائص المضلعية Quadrilateral Characteristic

يبين الشكل (9-12) الخصائص المضلعية والتي تبين الإتجاه الأمامي للوصول و كذلك تعييرات قيم الوصول التي يمكن تعديلها بشكل مستقل، وهي تغطي مناطق الحماية بشكل أفضل من خصائص موه ولاسيما على الخطوط القصيرة . وهذه حقيقة من أجل ممانعات الأعطال الأرضية المقاسة، حيث إن مقاومة القوس و مقاومة العطل الأرضية

تسهم بقيم كبيرة من قيم مقاومات العطل، وبالتالي تسهم بزيادة الخطأ في دقة الوصول للعطل. وعادة نفرض قيمة مقاومة الوصول الأعظمية عند حساب ممانعة الوصول للزون، ويتم اختيار بعض القيم من الكتالوك التابع للحاكمة. [10]



الشكل (9-12) الخصائص المضلعية لحاكمة الحماية المسافية

تحدث أخطاء في العناصر المضلعية للخطوط ذات المفاعلة الصغيرة ناتجة عن مقاومة الأعطال الأرضية حيث إن الزاوية الكلية لتيار العطل تختلف عن زاوية التيار المقاسة من قبل الحاكمة . وسينحرف بهذه الحالة اتجاه التوتر في المنبعين القريب و البعيد، ويتعلق كل منهما بالآخر وبجريان الاستطاعة قبل العطل .وللتغلب على ذلك يمكن الاعتماد على تيار الطور لأجل استقطاب مفاعلة الوصول للخط، وإن الخصائص المضلعية للممانعة مرنة جداً لتغطية ممانعات العطل بين الأطوار، وكذلك الأعطال الأرضية، ولهذا السبب فإن معظم الحواكم الرقمية المسافية تعتمد على الخصائص المضلعية ويضاف هذاالعامل لعامل الكلفة المتعلق بمكونات الحواكم .

12-3-1 كيفية رسم مخطط الخواص المضلعية لحاكمة الحماية المسافية

لرسم مخطط الخواص المضلعية لحاكمة الحماية المسافية نتبع الخطوات التالية:

1-نقوم برسم المحاور الإحداثية الديكارتية الممثلة بـ R , X .

2- نقوم برسم دائرة ممانعة الخط بنصف قطر معين (بحيث تشمل هذه الدائرة كامل ممانعة الخط حتى الوصول إلى ممانعة الحمل).

3- نحدد زاوية الحمل و أعلى قيمة لزاوية الحمل هي (30^o) درجة بالحياة العملية حيث المرجع هو R كما هو مبين بالشكل(9-12) .

4- نقوم بتحديد هامش أمان لعمل حاكمة الحماية المسافية بحيث لا تتداخل ممانعات المناطق مع ممانعة الحمل و يتم ذلك من خلال رسم دائرة ممانعة نصف قطرها يتم تحديده بشكل إختياري من قبل المستثمر .

5- نرسم الدائرة بنصف قطر مقداره 1.2 Cm.

6- نرسم مفاعلة الخط المراد وضع الحماية عليه (نفترض خط 230 km) حيث تكون بالحياة العملية زاوية مفاعلة الخط بمقدار 80^o درجة , بالنسبة إلى خطوط 66 kV تكون الزاوية للمفاعلة 70^o درجة, حيث نرسم أكبر مفاعلة للخط وهي تكون ممثلة بالمرحلة الثالثة لعمل الحاكمة أي X3 (AO : مفاعلة الخط).

7- نرسم مقاومة الخط R وهي موازية للأفق وتتقاطع مع دائرة ممانعة الخط (AB: مقاومة الخط).

8- نرسم موازياً للخط AO من النقطة B نحصل على الخواص المضلعة لعمل الحاكمة بالمنطقة الثالثة Z3 .

9- النقطة C التي نحصل عليها هي (مقاومة الخط + مقاومة قوس القصر) ,

$$R_3 = r_3 + R_{arc} \qquad (12-3)$$

حيث أن :

R_{arc}: هي مقاومة القوس و r_3 مقاومة خط النقل حتى نقطة العطل .

R_{arc} مقاومة ثابتة بكافة المراحل أي عند (Z_1, Z_2, Z_3) وتتغير فقط مقاومة الخط بتغيرات طفيفة , بينما تتغير المفاعلة X بقيم كبيرة مع إختلاف المراحل كما هو مبين بالشكل .

10- نرسم الخواص المضلعة للمرحلة الثالثة (مشابهة لما سبق) وفق ما يلي:

أ-نرسم X2 للخط بزاوية مقدارها 80 درجة (ثابتة لكل المراحل) .

ب–نرسم R2 للخط وهي موازية للأفق و تختلف عن R3 فقط بتغيير مقاومة الخط وهي صغيرة وتساوي:

$$R2 = r_2 + R_{arc} \qquad (12\text{-}4)$$

وبذلك نحصل على الخواص المضلعة للمرحلة الثانية و لرسم الخواص للمرحلة الأولى نتبع نفس الخطوات السابقة، وبذلك نكون قد حصلنا على الخواص المضلعة لعمل الحاكمة بالإتجاه الموجب أي بالمراحل الثلاثة الأولى (Z1, Z2, Z3) .

11– نرسم الخواص العكسية للحاكمة كما يلي :

تعطى قيمة المقاومة العكسية والمفاعلة العكسية كعلاقة من قبل الشركة الصانعة أو المستثمر للحاكمة : ($r_r = 0.25 r_f$, $X_r = 0.25\, X_f$) حيث أن:

r_r : المقاومة للخط بالاتجاه العكسي .

X_r : المفاعلة للخط بالاتجاه العكسي .

r_f : المقاومة للخط بالاتجاه الأمامي .

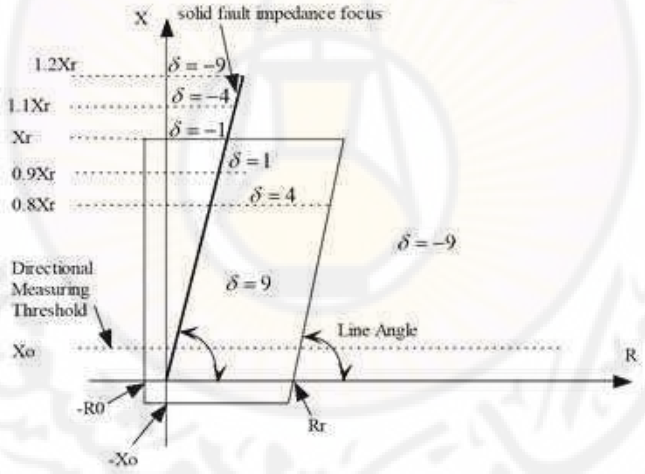
X_f : المفاعلة للخط بالاتجاه الأمامي.

من خلال العلاقتين السابقتين نحسب قيمة X_r ,r_r ثم نقوم برسم كلّ منهما على امتداد r_r , x_r على الترتيب .

12–4 تقييم العطل Fault Evaluation

للتحقق من وجود عطل على الخط أم لا يجب مقارنة الممانعة المحسوبة مع منحني ميزات الممانعة، ويظهر الشكل (10–12) مميزات مضلّعة مستخدمة لتحديد العطل ولا يشكل إنخفاض قيمة الممانعة المحسوبة خلال العطل مؤشراً كافياً على وقوع العطل لأن عملية الفلترة في الحاكمة غير مثالية. ولتأمين وثوقية عالية لتحديد العطل من قبل الحاكمة يتم تطبيق استراتيجية عد (counting) بحيث تقوم بتثقيل (weighting) عينات الممانعة بحسب قربها من نقطة وصول منطقة الحماية، لذا تضم المميزات عداداً تتم معايرته قبل العطل على القيمة صفر، وحالما تدخل أول قيمة محسوبة للممانعة إلى منحني الخواص سيكون العداد متأخراً عنها بقيمة قدرها δ تتم معايرتها تبعاً لموضع قيمة الممانعة ضمن المميزات كما يبين الشكل(10–12)، وتتم معايرة δ على القيمة 9+ من

أجل القيم الواقعة ضمن أول 80% من المميزات، وهذه أسرع قيمة يمكن عندها للعداد أن يتقدم. وعندما تصبح الممانعة بالقرب من نقطة الوصول فإن δ تتناقص حتى 4+، ثم حتى القيمة 1+ من أجل الأعطال عند 90% من ممانعة الخط المحمي. وحالما يبلغ العداد القيمة 45 تقوم الحاكمة بإصدار أمر الفصل. إن القيم الموجبة لـ δ في منطقة (zone) المميزات تصبح سالبة خارج المنطقة، أي خلف نقطة الوصول. وهذا ما يساعد على تحديد صحيح لنقطة الوصول. وتؤخذ المفاعلة فقط عند تدريج المميزات ولايتم تدريج مميزات الوصول الأومي (أي على المحور R) بنفس الطريقة لأن وجود مقاومة العطل يمكن أن يؤثر بشكل كبير على القيمة المقاسة . وتعاير δ على القيمة 9- في أي مكان خارج المميزات ماعدا المنطقة الواقعة خلف نقطة وصول المفاعلة وهنا لا يسمح العداد بالتقدم بالاتجاه السلبي.



الشكل (10-12) استخدام إستراتيجية العد في المميزات المضلعة

12-4-1 ألغوريتم دلتا في تقييم العطل

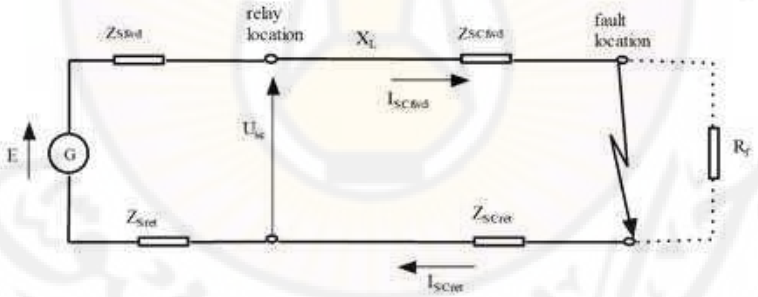
تحتاج الحاكمة المسافية لبعض الوقت لتعمل وفق الخصائص المضلعية أو أية خصائص مشابهة وتصل في بعض تصاميم الحواكم لحدود 40ms ، وللتغلب على هذا الزمن اللازم لتشغيل الحاكمة تزود الحمايات المسافية الرقمية بالألغوريتمات تجعلها تستجيب بسرعة أكبر. تعتمد هذه الألغوريتمات بالحالة العامة على تغيرات التيار

والتوتر، وتسمى الزيادة المتوقعة بهما بدلتا الألغوريتم، وبالتالي فإن الألغوريتم يحدد العطل من خلال مقارنة القيم المقاسة للتيار والتوتر مع عينات مدخلة سابقاً، فإذا كانت العينات أكبر من القيمة المقاسة فمن المفترض أن تكون حالة عطل(الدلتا). كما أنه يتوجب إحصاء عدد الأعطال الوهمية للحماية المسافية إضافة لأوامر الفصل التي تم تصديرها للقاطع. وهذا الألغوريتم يمكن أن ينفذ العملية بزمن أسرع بكثير من الألغوريتم التقليدي، وتنعكس النتيجة على زمن إعطاء أمر الفصل.

هناك بعض الحواكم التي تستخدم ألغوريتم دلتا إضافة إلى الألغوريتم التقليدي ، تحسبا من أن بعض أنواع الأعطال يمكن أن تكون ذات ممانعة مما ينتج عنه فشل ألغوريتم الدلتا في اكتشاف العطل.

12-5 الاعتبارات الأساسية في حساب ممانعة تعيير حاكمة الحماية المسافية

من خلال الشكل (11-12) يمكن تحديد عناصر الشبكة الداخلة في الحساب لأجل جميع أنواع الأعطال الأساسية.[6]



الشكل(11-12) عناصر الشبكة الداخلة في حساب الأعطال الرئيسية

يعبر الجدول (1-12) عن قيم العناصر الاساسية للشبكة المرسومة من أجل أعطال مختلفة

الجدول (1-12) العناصر الاساسية للشبكة أعلاه من أجل أعطال مختلفة

المحدد / نوع العطل	E	Isc_{fwd}	Isc_{rst}	Zs_{fwd}	Zs_{ret}	Zsc_{fwd}	Zsc_{ret}
3Ph	$1.1\frac{U_N}{\sqrt{3}}$	I_{ph}	0	Z_{S1}	0	Z_{SC1}	0
1Ph-E	$1.1\frac{U_N}{\sqrt{3}}$	I_{ph}	1E	Z_{S1}	Z_{SE}	Z_{SC1}	Z_{SCE}
Ph-Ph	$1.1U_N$	I_{ph1}	I_{ph2}	Z_{S1}	Z_{S1}	Z_{SC1}	Z_{SC1}

فمن أجل نوع محدد من الأعطال تسند القيم المقابلة في الجدول إلى عناصر الشبكة الموافقة في الشكل السابق، ويتم تحديد كل عنصر من هذه العناصر على حده.

12-5-1 ممانعة المنبع

يمكن حساب ممانعة المنبع من خلال معرفة تيار القصر عند نقطة توضع الحاكمة.

المركبة الموجبة:

$$Z_{S1} = \frac{1.1U_N}{\sqrt{3}.I_{SC(3Ph)}} \qquad (12\text{-}5)$$

المركبة الصفرية:

$$X_{SE} = \frac{1.1U_N}{\sqrt{3}.I_{SC(1Ph)}} - X_{S1} \qquad (12\text{-}6)$$

12-5-2 ممانعة القصر

تتعلق هذه القيم بمسافة العطل عن موضع الحاكمة.

المركبة الموجبة:

$$Z_{SC1} = Z_{L1} = R_{L1} + jX_{L1} \qquad (12\text{-}7)$$

المركبة الصفرية:

$$Z_{SCE} = Z_{LE} = \frac{1}{3}(Z_{L0} - Z_{L1}) \quad (12\text{-}8)$$

$$Z_{L0} = R_{L0} + jX_{L0} \quad (12\text{-}9)$$

حيث أن $R_{L1}, X_{L1}, R_{L0}, X_{L0}$ هي المقاومات والمفاعلات الموجبة والصفرية للخط، ويتم الحصول على هذه القيم بمعرفة المقاومات والممانعات الكيلومترية للخط والمسافة حتى نقطة العطل.

12-5-3 حلقة العطل

المعادلات التالية هي المعادلات النهائية المستخدمة لحساب المقاومة والمفاعلة في الحواكم المسافية الرقمية تبعا لنوع العطل كما ورد في المراجع.

أ-عطل طور- طور

تعطى المقاومة والمفاعلة في هذه الحالة من العلاقات:

$$R_{L2-L3} = \frac{U_{L2-L3}[I_{L2}.\cos(\varphi_{UL2-L3} - \varphi_{IL2}) - I_{L3}.\cos(\varphi_{UL2-L3} - \varphi_{IL3})}{I_{L2}^2 - 2.I_{L2}.I_{L3}.\cos(\varphi_{IL2} - \varphi_{IL3}) + I_{L3}^2} \quad (12\text{-}10)$$

$$X_{L2-L3} = \frac{U_{L2-L3}[I_{L2}.\sin(\varphi_{UL2-L3} - \varphi_{IL2}) - I_{L3}.\sin(\varphi_{UL2-L3} - \varphi_{IL3})}{I_{L2}^2 - 2.I_{L2}.I_{L3}.\cos(\varphi_{IL2} - \varphi_{IL3}) + I_{L3}^2} \quad (12\text{-}11)$$

في حالة الخطوط الشعاعية يمكن اختصار المعادلات السابقة لحالة عطل طور- طور إلى:

$$R_{L2-L3} = \frac{U_{LL}}{2.I_L}\cos(\varphi_{sc}) \quad (12\text{-}12)$$

$$X_{L2-L3} = \frac{U_{LL}}{2.I_L}\sin(\varphi_{sc}) \quad (12\text{-}13)$$

حيث :

$$U_{LL} = U_{L2} - U_{L3}$$
$$I_L = I_{L3} = -I_{L2} \quad (12\text{-}14)$$

ب-عطل ثلاثي الطور

تستنتج هذه الحالة من الحالة السابقة وذلك على اعتبار أن:

$$I_{L2} = -I_{L3} = I_{SC}$$

$$\varphi_{U(L2-L3)} - \varphi_{I(L2)} = \varphi_{SC} + 30^{\circ}$$

$$\varphi_{U(L2-L3)} - \varphi_{I(L3)} = \varphi_{SC} + 150$$

$$\varphi_{I(L2)} - \varphi_{I(L3)} = 120^{\circ} \qquad (12\text{-}15)$$

وبالتالي يمكن كتابة معادلات المقاومة والمفاعلة في حالة العطل الثلاثي كما يلي:

$$R_{L2-L3} = \frac{U_{LL}}{\sqrt{3}.I_{SC}} \cos(\varphi_{sc}) \qquad (12\text{-}16)$$

$$X_{L2-L3} = \frac{U_{LL}}{\sqrt{3}.I_{SC}} \sin(\varphi_{sc}) \qquad (12\text{-}17)$$

تتطلب الحسابات السابقة معرفة قيمة التوتر عند نقطة توضع الحاكمةULL ، وكذلك معرفة قيم تيارات القصر في كل حالة من حالات الأعطال المذكورة .

ت-عطل طور - أرض

تعطي المعادلات التالية قيم المقاومة والمفاعلة لمختلف حالات الأعطال الأرضية :

$$X_{ph-E} = \frac{U_{ph-E}}{I_L} \cdot \frac{\sin(\varphi_U - \varphi_L) - \frac{I_E}{I_L} \cdot \frac{R_E}{R_L} \cdot \sin(\varphi_U - \varphi_E)}{1 - \left(\frac{X_E}{X_L} + \frac{R_E}{R_L}\right) \cdot \frac{I_E}{I_L} \cdot \cos(\varphi_E - \varphi_L) + \frac{X_E}{X_L} \cdot \frac{R_E}{R_L} \cdot \left(\frac{I_E}{I_L}\right)^2} \qquad (12\text{-}18)$$

$$R_{ph-E} = \frac{U_{ph-E}}{I_L} \cdot \frac{\cos(\varphi_U - \varphi_L) - \frac{I_E}{I_L} \cdot \frac{X_E}{X_L} \cdot \cos(\varphi_U - \varphi_E)}{1 - \left(\frac{X_E}{X_L} + \frac{R_E}{R_L}\right) \cdot \frac{I_E}{I_L} \cdot \cos(\varphi_E - \varphi_L) + \frac{X_E}{X_L} \cdot \frac{R_E}{R_L} \cdot \left(\frac{I_E}{I_L}\right)^2} \qquad (12\text{-}19)$$

حيث:

U_{ph-E} : التوتر عند نقطة توضع الحاكمة في لحظة العطل (توتر القصر).

I_L : تيار القصر في الطور المعطل.

I_E : تيار القصر الأرضي.

φ_U : زاوية توتر القصر .

φ_L : زاوية تيار القصر في الطور المعطل.

φ_E : زاوية تيار القصر الأرضي.

$\left(\frac{X_E}{X_L} \quad , \quad \frac{R_E}{R_L}\right)$: قيم عوامل التعويض المتبقي

وتختصر العلاقات السابقة في حالة عطل طور مع الأرض إلى:

$$X_{ph-E} = \frac{U_{ph-E}.\sin(\varphi_U - \varphi_I)}{I_L + \frac{X_E}{X_L}.I_E} = \frac{U_{ph-E}.\sin\varphi_{SC}}{I_L + \frac{X_E}{X_L}.I_E} \qquad (12\text{-}20)$$

$$R_{ph-E} = \frac{U_{ph-E}.\cos(\varphi_U - \varphi_I)}{I_L + \frac{R_E}{R_L}.I_E} = \frac{U_{ph-E}.\cos\varphi_{SC}}{I_L + \frac{R_E}{R_L}.I_E} \qquad (12\text{-}21)$$

حيث:

φ_U : زاوية توتر القصر .

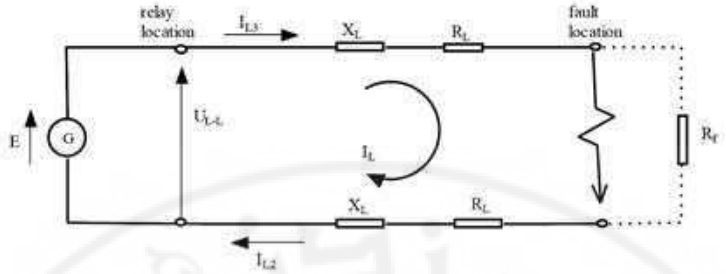
φ_I : الزاوية بين I_L و I_E.

$\varphi_{SC} = \varphi_U - \varphi_I$: زاوية القصر لحلقة العطل الأرضي.

وكذلك لابد هنا من معرفة قيم توتر القصر وتيار القصر للطور والأرضي عند نقطة توضع الحاكمة كما سبق.

12-5-4 مقاومة العطل

بالعودة إلى الشكل (11-12) يتم تحديد مقاومة العطل في نقطة حدوث العطل وذلك في حالة عطل بين طورين وحالة عطل بين طور والأرض.وتصبح هذه الدارة في حالة عطل طور- طور كما في الشكل(12-12)



الشكل(12-12) الدارة في حالة العطل بين طور – طور

يعطى توتر القصر عند موضع الحاكمة بالعلاقة:

$$U_{LL} = U_{L2} - U_{L3} = 2.(R_L.I_L + jX_L.I_L) + R_F.I_L \qquad (12\text{-}22)$$

وبما أن:

$$I_{L3} = -I_{L2} = I_L$$

$$Z_{L2-L3} = \frac{U_{L2} - U_{L3}}{I_{L2} - I_{L3}} \qquad (12\text{-}23)$$

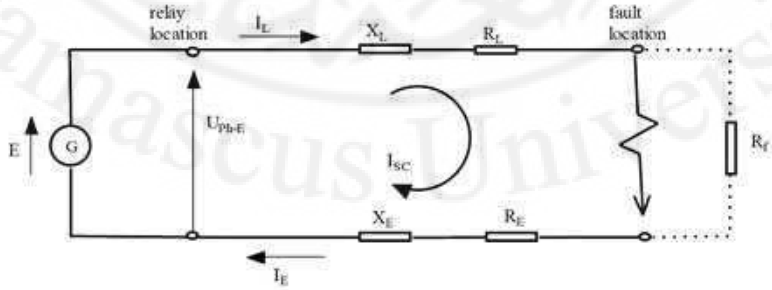
وبتعويض القيم السابقة في المعادلة الأساسية تصبح:

$$Z_{L2-L3} = \frac{2.(R_L.I_L + jX_L.I_L) + R_F.I_L}{2I_L}$$

$$Z_{L2-L3} = R_L + \frac{R_F}{2} + jX_L$$

)42-21(

وبالتالي يبدو وكان الحاكمة ترى نصف قيمة مقاومة العطل فقط و يجب أخذ ذلك بالاعتبار عند المعايرة. أما في حالة عطل طور – أرض فتصبح الدارة السابقة كما هو مبين في الشكل (12-13)



الشكل(12-13) الدارة في حالة عطل أرضي

يعطى توتر القصر عند نقطة توضع الحاكمة بالعلاقة:

$$U_{Ph-E} = I_L.(R_L + jX_L) + I_E.(R_E + jX_E) + R_F.I_L \quad (12\text{-}25)$$

وبالتعويض في المعادلتين (12-18) و(12-19) نحصل على معادلتي حساب المقاومة والمفاعلة:

$$X_{ph-E} = \frac{X_L.\left(I_L + \frac{X_E}{X_L}.I_E\right)}{I_L + \left(\frac{X_E}{X_L}\right)_{Set}.I_E} \quad (12\text{-}26)$$

$$R_{ph-E} = \frac{R_L.\left(I_L + \frac{R_E}{R_L}.I_E\right) + R_F.I_L}{I_L + \left(\frac{R_E}{R_L}\right)_{Set}.I_E} \quad (12\text{-}27)$$

حيث:

$\left(\frac{R_E}{R_L}\right)_{Set}$, $\left(\frac{X_E}{X_L}\right)_{Set}$: قيم عوامل التعويض المتبقي المعايرة في الحاكمة.

ومن خلال معايرة هذه القيم وبجعلها مساوية لقيم $\left(\frac{R_E}{R_L}\right)$, $\left(\frac{X_E}{X_L}\right)$ نحصل على :

$$X_{ph-E} = X_L \quad (12\text{-}28)$$

$$R_{ph-E} = R_L + \frac{R_F}{1 + \left(\frac{R_E}{R_L}\right)_{Set}} \quad (12\text{-}29)$$

وفي هذه الحالة لن ترى الحاكمة نصف مقاومة العطل كما في حالة العطل بين طورين بل ستكون هذه المقاومة متعلقة بالقيمة $\left(\frac{R_E}{R_L}\right)$ كما توضحه المعادلة السابقة. وتعتمد هذه النسبة على نوع الخط أو الكابل وهي تقع في المجال(0.24 – 3.42) فلو كانت هذه

النسبة مساوية لـ 3 مثلا فإن مقاومة العطل المنظورة من الحاكمة ستخفض أربع مرات(3+1) وبالتالي ستتمدد منطقة الحماية بالإتجاه R بما يوافق ذلك.

تتم معايرة مقاومة العطل الأرضي في بعض الحواكم وفقاً للعلاقة التالية :

$$R_{N1set} = R_{FN} + \frac{X_1}{\tan\phi_k} + \frac{K_{N1}.X_1}{\tan\phi_N} \qquad (12\text{-}30)$$

وتتم معايرة المقاومة للأعطال بين الأطوار كالتالي:

$$R_{1set} = R_F + \frac{X_1}{\tan\phi_k} \qquad (12\text{-}31)$$

حيث:

$$\phi_K = \frac{1}{\tan^{-1}(\frac{X_{1L}}{R_{1L}})} \qquad (12\text{-}32)$$

$$\phi_N = \frac{1}{\tan^{-1}(\frac{X_{0L} - X_{1L}}{R_{0L} - R_{1L}})} \qquad (12\text{-}33)$$

12- 5- 5 مقاومة القوس

تقوم إحدى الطرائق لتحديد مقاومة القوس على إعتبار أن توتر القوس مستقلاً عن مطال التيار وبقيمة تقع في المجال V.(2000-2500) لكل متر من طول القوس، وبالتالي فإن مقاومة القوس تعطى بالعلاقة التالية:

$$R_{arc} = \frac{2500.L_{arc}}{I_{arc}} \qquad (12\text{-}34)$$

حيث L: طول القوس بالمتر وتياره بالأمبير.

وتعتمد طريقة أخرى على علاقة وارينغتن التجريبية:

$$R_{arc} = \frac{28700.L_{arc}}{I_{arc}^{1.4}} \qquad (12\text{-}35)$$

ولمزيد من الدقة يمكن إدخال أثر الرياح وأثر زمن بقاء القوس (الأثر الديناميكي) لتحديد مقاومة القوس:

$$R_{arc}^{new} = \left(1 + \frac{5.v.t_B}{L_{arc}}\right).R_{arc} \qquad (12\text{-}36)$$

حيث:

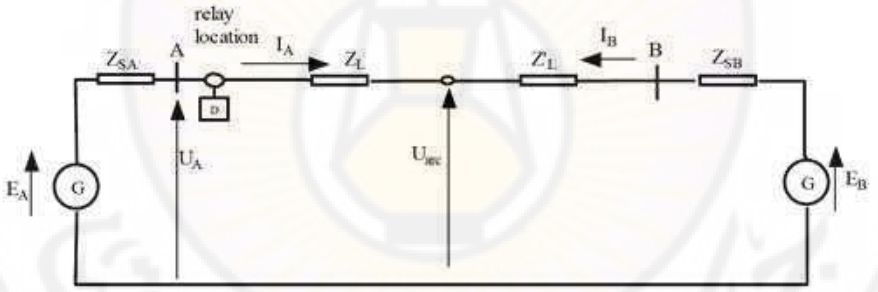
Larc: طول القوس الأصلي بالمتر ويؤخذ 12m لخطوط 400kV و8m لخطوط 230kV

v: سرعة الرياح بـ(m/s) .

t_B: زمن بقاء القوس بالثانية ويتعلق هنا بشكل أساسي بمنطقة الحماية التي يقع ضمنها العطل وبالتالي فأثره سيكون أكبر في المنطقتين الثانية والثالثة.

12-5-6 أثر مقاومة القوس في الخطوط المغذاة من الطرفين

مقاومة القوس ليست ثابتة بل تتخامد وفق النسبة $1/I_{arc}$ بحسب المعادلتين السابقتين (12-34) و(12-36) أما المقاومات الأخرى فتعتبر ثابتة. يبين الشكل (12-14) حالة خط مغذى من جانبيه :



الشكل(12-14) خط مغذى من جانبيه

وقد تمّ استبدلت المقاومة الثابتة للقوس في موضع العطل بتوتر ثابت Uarc وذلك بإهمال أثر التيار على هذا التوتر. وتكون قيمة التوتر عند موضع الحاكمة:

$$U_A = I_A.Z_L + U_{arc} \qquad (12\text{-}37)$$

وقيمة الممانعة المقاسة من الحاكمة:

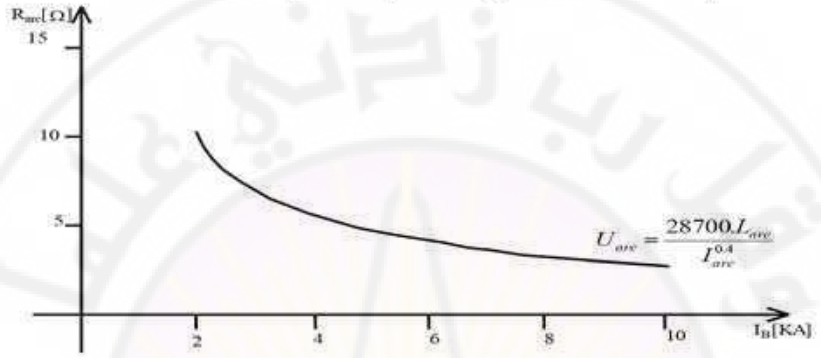
$$Z_A = \frac{U_A}{I_A} = Z_L + \frac{U_{arc}}{I_A} \qquad (12\text{-}38)$$

.

وتبين المعادلة الأخيرة أن مقاومة القوس كما تراها الحاكمة مستقلة عن التيار المغذي للعطل من الباسبار البعيد فيما تتأثر المقاومات الثابتة بفعل هذا التيار وهي تساوي:

$$R_F^{new} = (1 + \frac{I_A}{I_B}) R_F \qquad (12\text{-}39)$$

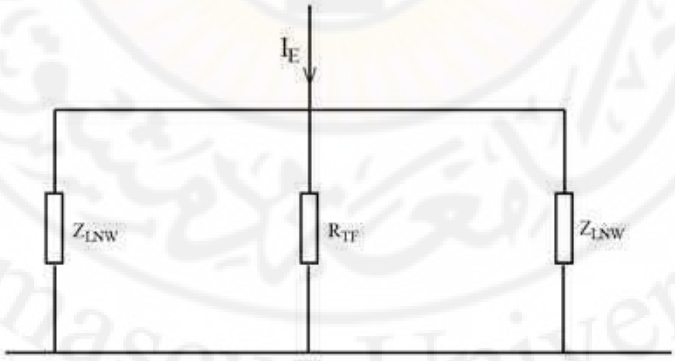
فإذا استخدمت العلاقة (12-34) فيلاحظ أن هناك انخفاضاً في قيمة المقاومة لكن بنسبة أكبر من نسبة زيادة التيار كما يوضح الشكل (15-12).



الشكل (15-12) مقاومة القوس في حالة العطل

12-5-7 المقاومة الأرضية للأبراج

بما أن معظم الأعطال تنجم عن انهيار في العازلية فإن مسار تيار العطل سيبدأ بالطور المعطل ثم العازل المنهار حيث مقاومة القوس ثم البرج المربوط مع الأرض ومع الناقل الأرضي وهنا ستظهر المقاومة الجديدة على التسلسل مع مقاومة القوس.



الشكل(12- 16) تمثيل مقاومة أرضي الأبراج

وبسبب وجود الناقل الأرضي فإن الحاكمة سترى مقاومتين مكافئتين موصلتين على التفرع أيضاً مع مقاومة أرضي الأبراج كما في الشكل (12-16).وبالتالي تكون قيمة الممانعة الفعالة لأرضي الأبراج كما يلي:

$$Z_{ETF} = \frac{R_{TF} \cdot \frac{1}{2} Z_{LNW}}{R_{TF} + \frac{1}{2} Z_{LNW}} \qquad (12\text{-}40)$$

حيث أن قيمة إحدى المقاومتين التفرعيتين هي:

$$Z_{LNW} = \frac{1}{2} I_{AS} + \sqrt{\frac{(Z'_{EW} . L_{AS})^2}{4} + R_{TF} . Z'_{EW} . I_{AS}} \qquad (12\text{-}41)$$

حيث: R_{TF}: هي المقاومة الوسطية للبرج

Z_{LNW} : إحدى المقاومتين المكافئتين التفرعيتين

Z'_{EW} : الممانعة الكيلومترية للناقل الأرضي

L_{AS} : المسافة الوسطية بين الأبراج بالكيلومتر.

ويمكن إهمال المقاومتين التفرعيتين على إعتبار أن محصلتهما ستكون أصغر بكثير من المقاومة RTF وبالتالي يمكن تقريب الممانعة الفعالة لأرضي الأبراج كالتالي:

$$Z_{ETF} = \frac{1}{2} \sqrt{R_{TF} . Z'_{EW} . I_{AS}} = \frac{1}{2} \sqrt{R_{TF} . |Z'_{EW}| . I_{AS}} . e^{j\frac{\varphi_{EW}}{2}} \qquad (12\text{-}42)$$

وبشكل عام فإن قيمة هذه المقاومة تبقى صغيرة ويمكن إهمالها في الحسابات وبالأخص عند وجود نواقل أرضي جيدة على الخطوط، ويمكن إضافة أثر هذه المقاومة في الحسابات للحصول على المزيد من الدقة.

12-5-8 أثر التيارات المساهمة في العطل على قضيب التجميع البعيد

يظهر هذا الأثر نتيجة اسهام المنبع البعيد بتغذية العطل الواقع ضمن المنطقة المحمية وينتج الخطأ في قياس الحاكمة للممانعة من أنها لا ترى سوى التيار المسهم بالعطل من المنبع خلف الحاكمة، بينما في الواقع فإن جزءاً من الممانعة الفعلية (على الأقل مقاومة العطل) سيمرر تياراً إضافياً هو التيار المسهم بالعطل من المنبع البعيد، وينطبق هذا

الأمر على حالة الخطوط متعددة النهايات وهي حالة خاصة، وكذلك عندما يرتبط قضيب التجميع البعيد بعدة خطوط فإنها ستسهم مع الخط المحمي بتغذية العطل الواقع خلف هذا الباسبار، سيجعل هذا الأثر الحاكمة ترى العطل أبعد مما هو في الواقع أي ستقيس ممانعة أكبر من الممانعة الحقيقية ولذا تتم معايرة المنطقة الثانية على القيمة :

$$Z_{z2} = Z_L + Z_{nf} + \frac{I_b}{I_a} Z_{nf} \qquad (12\text{-}43)$$

حيث: Z_L: ممانعة الخط المحمي

Z_{nf}: الممانعة بين الباسبار البعيد ونهاية المنطقة الثانية

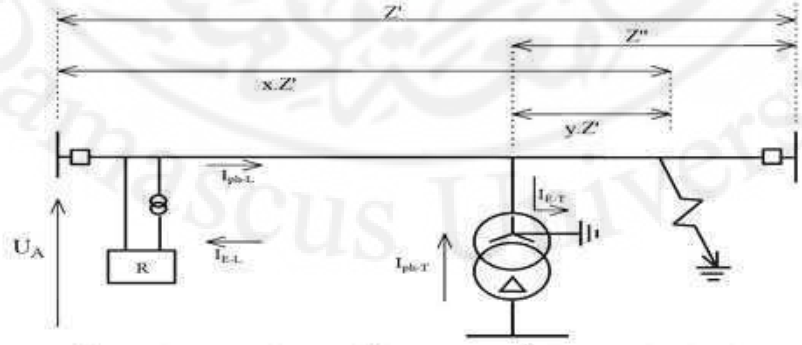
Ia: التيار المسهم بالعطل (على نهاية المنطقة) من الخط المحمي

I_b: التيار المسهم بالعطل من باقي الخطوط المربوطة على الباسبار البعيد

ويُنصح بأخذ أقل قيمة متوقعة للنسبة I_a / I_b لضمان عدم تجاوز المنطقة الثانية للمنطقة الأولى اللاحقة، وسيقدم هذا البحث حلاً لتجاوز هذا الخيار.

12-5-9 أثر محولات التأريض

في حالة الأعطال الأرضية تتصرف هذه المحولات بوصفها مغذيات متوسطة (بين الحاكمة والعطل) أي يمكن النظر إلى هذا الأثر باعتباره حالة خاصة من الحالة السابقة. إن التيار الأرضي المار في المحولة سيؤدي إلى انخفاض إضافي في توتر حلقة القصر ما يؤدي إلى زيادة في قيمة الممانعة المقاسة من الحاكمة، كما هو مبين في الشكل (12-17).



الشكل (12-17) أثر محولات التأريض على قياس الممانعة

وتبين المعادلات التالية هذا الأثر:

$$U_{ph-E} = x.Z'_{1-L}\left[I_{ph-L} + I_{E-L}\frac{Z'_{E-L}}{Z'_{1-L}}\right] + y\left[I_{ph-T}.Z''_{1-L} + I_{E-T}Z''_{E-L}\right]$$

$$Z_R = \frac{U_{ph-E}}{I_{ph-L} + k_E.I_{E-L}}$$

$$Z_R = x.Z'_1 + y.Z'_1.\frac{I_{ph-T}.Z''_{1-L} + I_{E-T}.Z''_{E-L}}{I_{ph-L}.Z''_{1-L} + I_{E-L}.Z''_{E-L}} \qquad (12\text{-}44)$$

حيث إن $Z_{1\text{-}L}$ الممانعة الأرضية للخط و $Z_{1\text{-}L}$ الممانعة الموجبة للخط. فان قيمة k_E عامل التعويض المعاير في الحاكمة تعطى بالعلاقة:

$$k_E = \frac{Z_{0-L} - Z_{1-L}}{3.Z_{1-L}} \qquad (12\text{-}45)$$

ويلاحظ أن الحد

$$\frac{I_{ph-T}.Z''_{1-L} + I_{E-T}.Z''_{E-L}}{I_{ph-L}.Z''_{1-L} + I_{E-L}.Z''_{E-L}} \qquad (12\text{-}46)$$

في المعادلة الأخيرة يمثل خطأ القياس للحاكمة ويمكن ببساطة معرفة قيمة الخطأ بحساب الممانعة المقاسة من المعادلة:

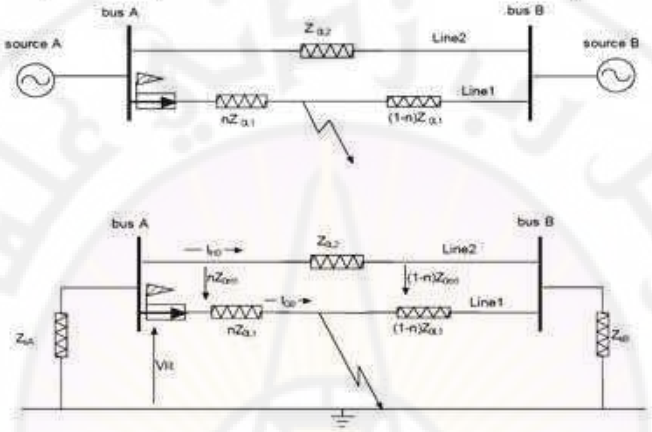
$$Z_R = \frac{U_{ph-E}}{I_{ph-L} + k_E.I_{E-L}} \qquad (12\text{-}47)$$

وحساب الممانعة بين نقطة العطل وموضع الحاكمة من خلال معرفة الممانعة الكيلومترية للخط وتحديد الفرق بينهما.

12-5-10 الممانعة التبادلية في حالة الخطوط المتوازية

يظهر هنا أثر جديد بسبب وجود الممانعة التبادلية بين الخطين المتوازيين، وتتعلق قيمة هذه الممانعة بالمسافة التي يسير فيها الخطان على التوازي، والتي قد تمتد على جزء محدود من الخط وتصل إلى حالة التوازي على طول الخطين (حالة الخط مزدوج الدارة) , وكذلك يتعلق الأمر بعدد الخطوط المتوازية وبعدد خطوط الأرضي وبالمسافة الوسطية بين نواقل الأطوار للخطين المتوازيين والمسافة بينها وبين خطوط الأرضي، وأخيراً تتعلق

بقيمة تردد الشبكة والمقاومة النوعية للأرض. عادةً تكون قيمة المركبتين الموجبة والسالبة للممانعة التبادلية صغيرة ومهملة الأثر ولاتتجاوز 5% من ممانعة الخط وينحصر الأثر الفعلي بالمركبة الصفرية، والذي يسبب خطأ بالحاكمة قد يصل إلى 50% من الممانعة التي يجب أن تراها في حالة الأعطال الأرضية, يبين الشكل (18-12) هذا الأثر.



الشكل (18-12) حالة الخطوط المتوازية

ومن هذا الشكل يمكن حساب قيمة الممانعة التي يجب أن تعاير عليها الحاكمة، وذلك لأجل العطل على بعد n من طول الخط المحمي، وتبين المعادلات التالية ذلك:

$$V_R = nZ_L I_G + n(Z_{0L} - Z_L) I_{G0} + nZ_{m0} I_{H0}$$

$$V_R = nZ_L [I_G + \frac{(Z_{0L} - Z_L)}{Z_L} I_{G0} + \frac{Z_{m0}}{Z_L} I_{H0}]$$

$$I_R = I_G + \frac{(Z_{0L} - Z_L)}{Z_L} I_{G0} + \frac{Z_{m0}}{Z_L} I_{H0} \qquad (12\text{-}48)$$

$$Z_R = \frac{V_R}{I_R} = nZ_L \left[1 + \frac{\frac{Z_{m0}}{Z_L} \cdot \frac{I_{H0}}{I_{G0}}}{\frac{I_G}{I_{G0}} + \frac{(Z_{0L} - Z_L)}{Z_L}} \right]$$

يلاحظ من العلاقة الأخيرة أن القيمة الفعلية للممانعة حتى نقطة العطل تتعلق ببعد العطل عن موضع الحاكمة أي بقيمة n، وتتعلق بقيمة المركبة الصفرية لتيارات العطل

على كلا الخطين المتوازيين.أما في حالة الخطوط الشعاعية فيمكن اختصار العلاقة السابقة لتصبح:

$$Z_R = nZ_L\left[1+\frac{\frac{Z_{m0}}{Z_L}.\frac{n}{2-n}}{3+\frac{(Z_{0L}-Z_L)}{Z_L}}\right].$$

(12-94)

أي أنها تتعلق في هذه الحالة فقط ببعد العطل عن موضع الحاكمة أي بقيمة n.وتعتمد حلول هذه المشكلة تقليدياً على استخدام عوامل تعويض جديدة للمركبة الصفرية بدلاً من العامل K_n المستخدم في الحالة الطبيعية، ويمكن التمييز هنا بين ثلاث حالات أساسية:

1.الخط الموازي مفصول ومؤرض من جانبيه:

في هذه الحالة يؤخذ عامل التعويض التالي:

$$k_N = \frac{X_0^2 - X_{mo}^2 - X_0.X_1}{3.X_0.X_1} \qquad (12\text{-}50)$$

حيث: X_1 :هي المركبة الموجبة للممانعة

X_0 :هي المركبة الصفرية للممانعة

X_{mo} :هي المركبة الصفرية للممانعة التبادلية

2.الخط الموازي مفصول لكن غير مؤرض من جانبيه

في هذه الحالة يتم تخفيض وصول منطقة الحماية وفق العامل k_1 المبين في العلاقة التالية:

$$k_1 = \frac{(1+K_{N1set})-3X_1}{3.X_1+X_0} \qquad (12\text{-}51)$$

حيث K_{N1set} هو عامل التعويض الأصلي المعاير للحاكمة.

3.الخط الموازي موضوع في الخدمة:

سيظهر هنا انخفاض إضافي في وصول منطقة الحماية يصل إلى 15% حداً أقصى في حال ضعف مساهمة قضيب التجميع البعيد بالعطل.

4. تعويض المنطقتين الثانية والثالثة:

من أجل جميع الحالات فإن أثر الممانعة التبادلية سيؤدي إلى تخفيض وصول هذه المناطق بالعامل k الذي يعطى بالعلاقة:

$$K_2 = \frac{(1 + K_{N1set}) - 3.X_1}{2.X_1 + X_0 + X_{m0}} \qquad (12\text{-}52)$$

وبالتالي يتم استبدال عامل التعويض للمنطقة الثانية بالعامل الجديد التالي:

$$K_{N2} = \frac{X_0 + X_{m0} - X_1}{3.X_1} \qquad (12\text{-}53)$$

فيما يتم استخدام عامل التعويض للمنطقة الثالثة كما لو أن الخط الموازي غير موجود كالتالي:

$$K_{N3} = K_N = \frac{X_0 - X_1}{3.X_1} \qquad (12\text{-}54)$$

وكما هو واضح فإن هذه العوامل المستخدمة لتعويض أثر الممانعة التبادلية هي صحيحة من أجل حالات حدية أي عطل على نهاية المنطقة مثلاً، وهي بلا شك ستقلل من خطأ القياس للحاكمة لكنها لا تلغيه.

12-5-11ملاحظات عامة حول المعايرة

يمكن النظر إلى النصائح والملاحظات التالية على أنها جزء من قواعد معرفة خبيرة في مجال معايرة الحاكمة المسافية:

- في حال وجود أكثر من خط مربوط مع قضيب التجميع البعيد يتم تنسيق المنطقة الثانية مع حاكمة الخط الأقصر اللاحق .
- يجب ألاّ تصل الممانعة المعايرة للمنطقة الثانية للحماية إلى حدود المنطقة الأولى للحماية اللاحقة مع هامش أمان.
- يجب ألاّ تتجاوز المنطقة الثانية للحماية مستوى التوتر بتجاوزها للممانعة المكافئة للمحولات المربوطة على التفرع عند قضيب التجميع البعيد.

• في حالة وجود خط طويل يليه خط قصير أو عدد كبير من المحولات يتم إجراء المعايرة للمنطقة الثانية بقيمة 120% من ممانعة الخط المحمي لكن مع زيادة التأخير الزمني لفصل هذه المنطقة.

• يجب ألاّ تعاير المنطقة الثانية على قيمة أقل من 120% من ممانعة الخط المحمي تحت جميع الظروف (عدا حالة كون الخط اللاحق قصير جداً) وذلك لضمان حماية كاملة للخط المحمي.

• قد يعطى عامل تعويض المركبة الصفرية بالعلاقة:

$$k_N = \frac{X_{0L} - X_{1L}}{3.X_{1L}} \qquad (12\text{-}55)$$

أي بدلالة المفاعلات فقط وليس الممانعات كما ورد سابقاً.

• يجب ألا تتجاوز قيمة المقاومة المعايرة لقيمة ممانعة الحمل الأعظمي المتوقع مع عامل أمان(30%) أو 20% وفق مراجع أخرى وتحسب الممانعة الظاهرية الأصغرية للحمل كالتالي:

$$Z_{Load} = \frac{U^2}{S} = \frac{U_{\min}}{\sqrt{3} I_{\max}} \qquad (12\text{-}56)$$

حيث U التوتر الأصغري للخط، و S الاستطاعة الظاهرية الأعظمية.

وللمحافظة على هامش الأمان المذكور (20%) يجب أن يتحقق الشرط التالي:

$$R_{Nset} \le 0.8.Z_{Load\min} \qquad (12\text{-}57)$$

وهذا الشرط يجب أن ينطبق على جميع المقاومات المعايرة لجميع مناطق الحماية .

وفي حال استخدام وظيفة إقفال تأرجح القدرة في الحاكمة فلا بد من زيادة عامل الأمان إلى حوالي 35% بالنسبة إلى المنطقة الثالثة، وذلك لأن ممانعة هذه الوظيفة تعاير تلقائياً في بعض الحواكم على 125% من Z_3.

• يجب مراعاة النسبة R/X عند إختيار قيمة عامل التدريج (Gf) فمن أجل R/X = 3 نأخذ Gf ≤ 84% ومن أجل R/X =5 تكون Gf ≤ 77% ولا نأخذ بعامل تدريج 90% إلا عندما يكون R/X <1

وتعطي بعض الحواكم النسبة R/X للأعطال الأرضية ضمن المجال (0.25÷3) وقد تتخطى هذه القيمة في حالة الخطوط القصيرة فيما تكون هذه النسبة بالنسبة إلى الأعطال بين الأطوار أصغر من الواحد.

- في حال وجود خطوط متوازية مربوطة على قضيب التجميع البعيد تكون الممانعة المقاسة أصغر من الممانعة الحقيقية، ومن الشكل(19-12) نكتب :

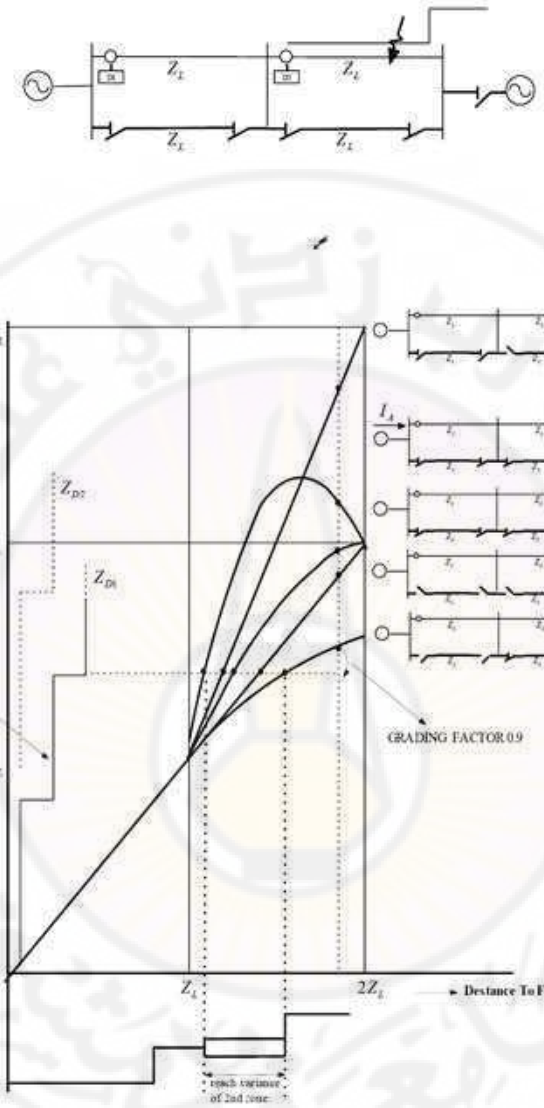
$$Z_{Dlz2} = GF_2\{Z_1 + \frac{[Z_3 + (1+GF_1)Z_2].GF_1.Z_2}{Z_2 + Z_3}\} \qquad (12\text{-}58)$$

حيث GF_1 عامل تدريج المنطقة الأولى وGF_2 عامل تدريج المنطقة الثانية وبفرض $Z_2=Z_3$ سيكون:

$$Z_{Dlz2} = GF_2.(\frac{Z_2}{2}) \qquad (12\text{-}59)$$

ويظهر الشكل(19-12) الإنخفاض الناجم في قيمة الممانعة المقاسة ،وذلك من أجل الإحتمالات المختلفة لوضع الخطوط المتوازية، وببساطة فإن الحاكمة سترى الممانعتين $Z_3 + (1-\frac{x}{l}).Z_2$ و $\frac{x}{l}Z_2$ على التفرع ولذلك، فإن معايرة المنطقة الثانية في هذه الحالة:

$$Z_{Dlz2} = GF_2.(Z_1 + \frac{Z_2}{2}) \qquad (12\text{-}60)$$



الشكل (19-12) أثر الممانعة التبادلية للخطوط المتوازية على الممانعة المقاسة

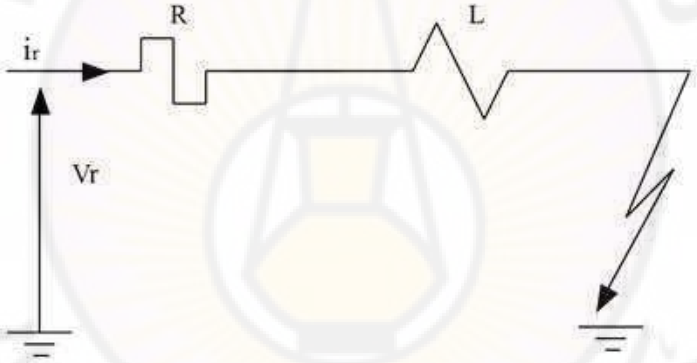
12-6 خوارزمية قياس الممانعة

إن الإتجاه الحالي في حواكم االحماية المسافية الرقمية هو إستخدام خوارزميات قياس الممانعة المعتمدة على المعادلة التفاضلية من الدرجة الأولى للخط ، و هناك الكثير من التقنيات لحل هذه المعادلة ومنها التقنية التالية:

بفرض أن خط النقل المحمي يمثل باعتباره مقاومة ومفاعلة على التسلسل (L,R) كما في الشكل (12-20) فإن معادلته التفاضلية ستكون:

$$v_r = R.i_r + L\frac{di_r}{dt} \qquad (12\text{-}61)$$

وهي معادلة تفاضلية من المرتبة الأولى حيث أن i_r و v_r توتر وتيار الحاكمة



الشكل(12-20) تمثيل الخط بمقاومة ومفاعلة على التسلسل

باختصار بمفاضلة التيار في المعادلة (12-1) نجد:

$$v_r = R.i_r + L.i'_r \quad : \quad i'_r = \frac{di_r}{dt} \qquad (12\text{-}62)$$

لحساب ممانعة الخط يجب على الحاكمة أن تحل المعادلة (12-60) من أجل R و L، ولحل هذه المعادلة ذات المجهولين نحتاج إلى معادلتين وبالتالي يجب إيجاد حلين مستقلين لها

على فرض أن لدينا مجموعتين من التوترات والتيارات ومشتقات التيار كالتالي:

$$v_{r1} = Ri_{r1} + Li'_{r1} \qquad (12\text{-}63)$$

$$v_{r2} = R.i_{r2} + L.i'_{r2} \qquad (12\text{-}64)$$

حيث استخدمت اللواحق 1 و 2 للتمييز بين الحلين ويمكن دمج هاتين المعادلتين لنحصل على:

$$R = \frac{v_{r1}.i'_{r2} - v_{r2}.i'_{r1}}{i_{r1}.i'_{r2} - i_{r2}.i'_{r1}} \qquad (12\text{-}65)$$

$$L = \frac{v_{r2}.i_{r1} - v_{r1}.i_{r2}}{i_{r1}.i'_{r2} - i_{r2}.i'_{r1}} \qquad (12\text{-}66)$$

ولتبسيطهما سنعوّض المقام في المعادلتين كما يلي:

$$D = i_{r1}i'_{r2} - i_{r2}.i'_{r1} \qquad (12\text{-}67)$$

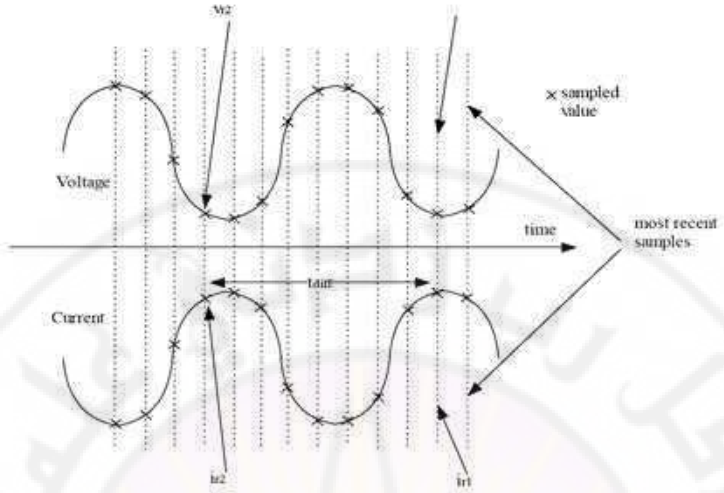
بالتالي يمكن حساب المقاومة والمفاعلة الظاهرتين المنظورتين من الحاكمة كالتالي:

$$R \times D = v_{r1}i'_{r2} - v_{r2}.i'_{r1} \qquad (12\text{-}68)$$

$$X \times D = \omega.L.D = \omega(v_{r1}i'_{r2} - v_{r2}.i'_{r1}) \qquad (12\text{-}69)$$

حيث ω تردد نظام القدرة و X هي المفاعلة.

ثم تتم مقارنة الممانعة المقاسة مع قيم الممانعة المعايرة . وذلك بضرب هذه القيم أولاً بالعامل D قبل أن تتم المقارنة. وللوصول إلى حلين للمعادلة (12-60) يمكن إستخدام طريقة توزيع الحلول على الزمنTime Spaced Solution، ويظهر الشكل(21-12) هذه الطريقة حيث تم تشكيل مشتقات v_{r1} و v_{r2} و i_{r1} و i_{r2} من عدة نقاط مختلفة على أمواج العينات المستحصلة، ويعبر الزمن t_{diff} عن الفارق الزمني الموجود بين الحلين 1 و 2.



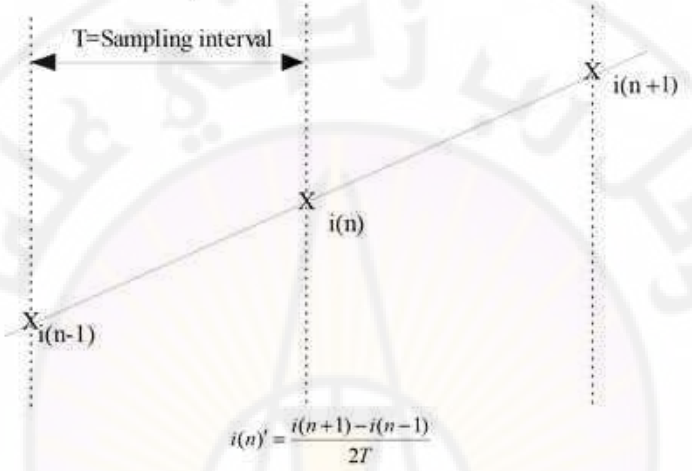
الشكل (21-12) طريقة توزيع الحلول على الزمن لحل المعادلة التفاضلية

ويتم حساب مشتقات التيار بافتراض التخطيط التجزيئي (piecewise linearity) كما هو مبين في الشكل(22-12)، وذلك يتضمن استخدام عينة متقدمة على النقطة التي ندرسها، وبالتالي فإن قيم v_{r1} و i_{r1} هي قيم عينات مأخوذة قبل لحظة أخذ العينات الأحدث.

12-7 معايرة الحماية المسافية الرقمية

اعتمادا على ماتقدمه بعض كبرى الشركات المصنّعة للحواكم لمعايرة الحواكم المسافية يتم التركيز في أثناء عرض منهجيات المعايرة على المعادلات الرياضية الحسابية من جهة وعلى قواعد المعرفة والنصائح المقدمة من جهة ثانية وخصوصاً المقترحات المقدمة لحل مشاكل أثر تغيرات الشبكة على قيم المعايرة. العطل والناجم عن أخطاء القياس لمحولات التوتر والتيار وعن أخطاء نقل المعطيات وعن عدم دقة وسيتم التركيز على تأثير ممانعة المنبع وتأثير التيارات المساهمة في العطل على قضيب التجميع البعيد على قيم معايرة الحاكمة، وبسبب عدم الدقة في قياس ممانعة الخط المدخلة التي تعتمد عادة على الحساب لا على القياس، فليس من الممكن معايرة الحماية بحيث تحمي 100% من الخط في منطقة الحماية الرئيسية (الأولى)، وبالتالي يؤخذ عامل أمان (10- 15)% من ممانعة الخط المحسوبة، وذلك لضمان عدم وصول هذه المنطقة إلى مابعد

نهاية الخط المحمي، وهذا الأمر هو من أولويات تنسيق عمل الحمايات أي أن الفصل الأسرع هو للحاكمة الأقرب من موضع العطل ما يعني عزل الخط المصاب وحده، أما الجزء المتبقي من الخط فتتم حمايته من خلال منطقة الحماية الثانية ($Zone_2$) التي يتم تأخيرها زمنياً من أجل ضمان الانتقائية. وفيما تؤمن حواكم المنطقة المغلقة.



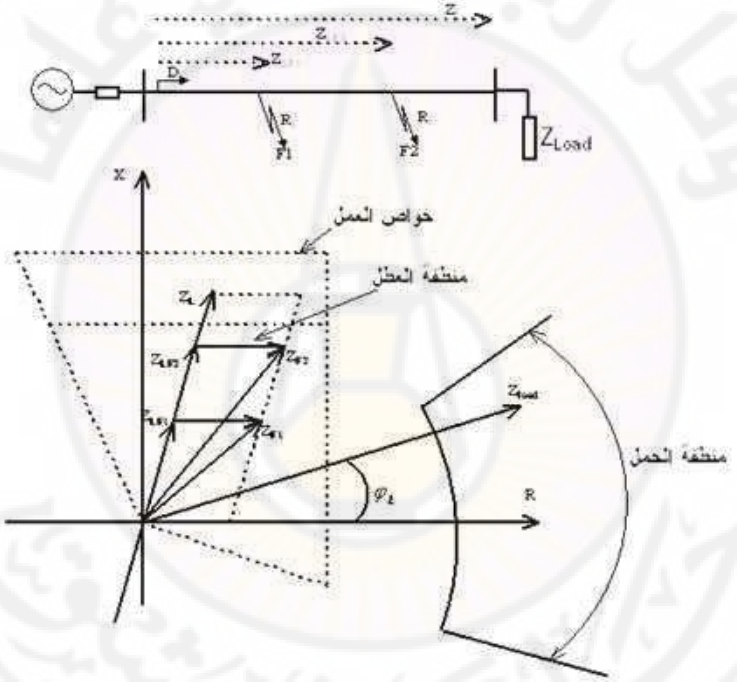
الشكل(22-12) حساب مشتق التيار

(unit protection) انتقائية كاملة تقريباً للمنطقة المحمية وهي المنطقة الواقعة بين محولات التيار بالنسبة إلى الحاكمة التفاضلية مثلاً فإن الحواكم ذات المناطق المفتوحة (non-unit protection)، مثل الحاكمة المسافية لاتؤمن انتقائية مطلقة، ولابد بالتالي من تنسيق زمني لعمل الحاكمة مع الحواكم المجاورة، وهكذا فنحن أمام أكثر من مستوى للتنسيق:

الأول: بين ممانعات مناطق الحماية للحاكمة ذاتها ومع المناطق المجاورة.

الثاني: التنسيق الزمني بين مناطق الحاكمة ذاتها وبينها وبين أزمنة الحواكم المجاورة.

ويتم إستخدام مخطط الممانعة لتوضيح تنسيق عمل الحواكم المسافية وذلك بتمثيل مميزات الحاكمة وممانعة العطل والممانعة عند الحمل الطبيعي وممانعة الخط المحمي..الخ، في المستوي (R-X)، وتقدم هذه المخططات تصوراً واضحاً وبيأنياً عن أداء الحواكم المسافية ، يبين الشكل (23-12) تمثيل عمل الحاكمة في المستوي (R-X):



الشكل(23-12) خواص الحاكمة ومناطق ممانعة العطل ومناطق ممانعة الحمل

يظهر في هذا الشكل منطقة الحمل ويتبين منها أنه كلما ازداد الحمل كلما اقتربت الممانعة من منطقة إقلاع الحاكمة، وهي المنطقة المنقطة التي تدخل فيها الممانعة منطقة العطل ، ويبين الشكل كذلك منطقة ممانعة العطل (متوازي الأضلاع الداخلي) وعندما تدخل الممانعة المقاسة هذه المنطقة تصدر الحاكمة أمراً بالفصل بعد زمن تحدده المعايرة، ويتضح ذلك من أجل عطلين على الخط المحمي في F_1 و F_2. تتطلب معايرة

الحاكمة المسافية من حيث المبدأ تحقيق حل وسط يلبي متطلبات الحساسية للأعطال والسرعة في اتخاذ القرار والانتقائية وهي متطلبات متناقضة في معظم الأحيان.

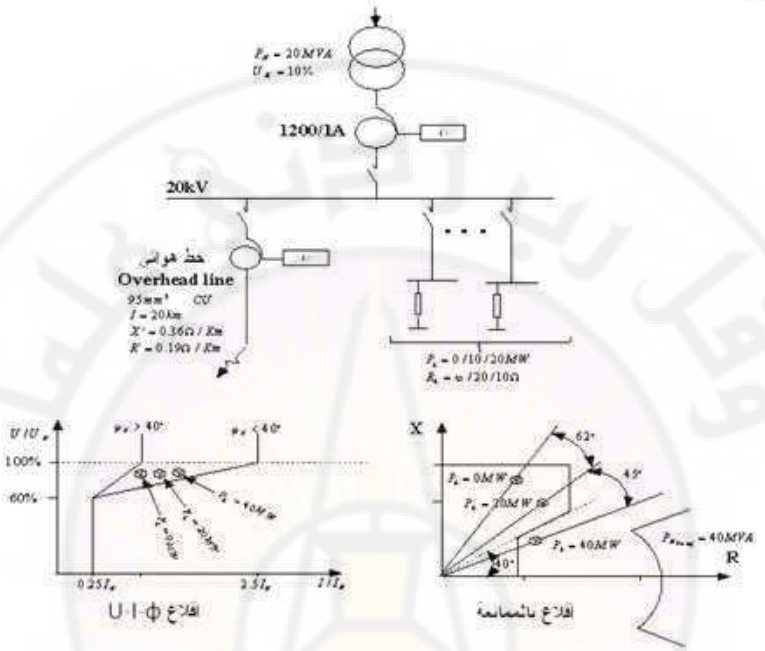
فكشف العطل يقتضي تحقيق المدى الأعظمي الممكن للحماية بدون المخاطرة باستقرار النظام أثناء الحمل والحالات العابرة، وكذلك يجب أن يكون كشف العطل انتقائياً بالطور لضمان تحديد حلقة العطل الصحيحة والفصل الصحيح للطور المعطل فقط. فيما تقتضي الدقة في كشف العطل أن تغطي منطقة الحماية الخط المحمي مع هامش أمان 20% تقريباً، وهنا لابد من الأخذ بالاعتبار أثر القيمة الأكبر للتيار المسهم في العطل على قضيب التجميع البعيد وكذلك أثر جريان الحمل على زاوية الممانعة المقاسة وذلك مبين في الشكل(24-12). حيث يبين الشكل أن زاوية ممانعة القصر ستنخفض كلما زاد الحمل(0-20-40kw) وهو مايؤدي إلى خطأ في قياس الممانعة الحقيقية للعطل، ورغم أن الحواكم الرقمية تستخدم معايير متعددة لكشف العطل كانخفاض مطال الممانعة وزيادة زاويتها إذ إن زوايا الحمل عادة ما تكون قريبة من $\pm 30°$ فيما زوايا القصر تكون أكبر من $70°$ ومع ذلك فقد تهبط زاوية القصر عند الأحمال الثقيلة وخصوصاً على الخطوط الطويلة إلى قيم قريبة من قيم زاوية الحمل ذاتها، ولهذا فلا بد من مراعاة هذا الأمر عند المعايرة.

- **معايرة المنطقة الأولى $Zone_1$**

بسبب الأخطاء المذكورة يؤخذ عند معايرة هذه المنطقة عامل أمان [10-20%]، فتتم معايرة المفاعلة بقيمة تكون عادة 0.8 في الحواكم الكهروميكانيكية و0.85 في الحواكم الرقمية ويمكن أن تصل إلى 0.9 إذا ماتمّ تحديد معطيات الخط بواسطة القياس لا بواسطة الحساب. ولا يؤخذ بأي تأخير زمني في هذه المنطقة إلا في حالات استثنائية، ولابد من مراعاة زمن تشغيل الحاكمة وهو يبلغ msec (25-80) في الحواكم الكهروميكانيكية و msec(14-35) في الحواكم الستاتيكية و msec(14-30) في الحواكم الرقمية.

تكون المنطقة الأولى بشكل عام لحظيةً أي بتأخير زمني صفر، وبالنسبة لقيم المقاومة الحدية للمنطقة الأولى $Zone_1$ ، يتم إختيار قيمة للأعطال أحادية الطور وأخرى

للأعطال متعددة الأطوار على الرغم من أن هاتين المقاومتين المحددتين بشكل عام متساويتان.



الشكل(24-12) أثر الحمل على الممانعة المقاسة من الحاكمة

•معايرة المنطقة الثانية $Zone_2$

-يجب ألا تصل منطقة الحماية الثانية إلى نهاية منطقة الحماية الأولى للحاكمة اللاحقة مع هامش أمان.

-يجب أن تغطي الحاكمة 20% من الخط المحمي خلف الباسبار البعيد وفي حالة وجود كابل قصير متبوع بخط هوائي طويل لايمكن تحقيق هذا الشرط ولابد من إبطاء زمن الفصل.

يجب أن يتيح زمن الفصل لهذه المنطقة بشكل أكيد أن تفصل الحاكمة الأقرب للعطل عبر المنطقة الأولى، وبالتالي يجب أن يكون الزمن للمنطقة الثانية أكبر من مجموع الأزمنة التالية:

$$T_{Tot} = T_{z1} + T_{CB} + T_{RR} + T_{RT} + T_{err} - T_{RS} + T_{MR} \qquad (12\text{-}70)$$

حيث:

T_{z1}: زمن التشغيل للمنطقة الأولى (المذكور أعلاه)

T_{CB}: زمن عمل القاطع الآلي (40msc)

T_{RR}: زمن إعادة تهيؤ الحاكمة وهو يقع في الجالات التالية:

(60-100msc) في الحواكم الكهروميكانيكية و (30msc) في الحواكم الستاتيكية و (20msc) في الحواكم الرقمية

T_{RT}: أخطاء المؤقتات الزمنية داخل الحاكمة (60-100msc) في الحواكم الكهروميكانيكية و (10msc) في الحواكم الستاتيكية و (10msc) في الحواكم الرقمية

T_{err}: زمن إقلاع الحاكمة المسافية بعد كشف العطل أن وجد.

T_{MR}: عامل أمان يكون عادة [(25msc) في الحواكم الكهروميكانيكية و (25msc) في الحواكم الستاتيكية و (14msc) في الحواكم الرقمية .

12-8 أمثلة

مثال 12-8-1: حاكمة الحماية المسافية الرقمية EPAC3400

يشرح هذا التطبيق طريقة التعامل مع الحماية المسافية الرقمية EPAC3400, والاختبارات المختلفة التي ستنفذ على تغذية التجهيزات بصورة خاصة والخواص الاسمية و توصيلات دخل/ خرج وطريقة التغذية وكافة الاختبارات المستخدمة لاختبار مهام التحكم الأوتوماتيكي للحاكمة.

أ- إختيار القيم الإسمية:

1- القيم الاسمية للتيار على الدارة الثانوية:

يمكن اختيار التيار الاسمي على أحد القيمتين 1A أو 5A من خلال تحريك مفتاح التوصيل.

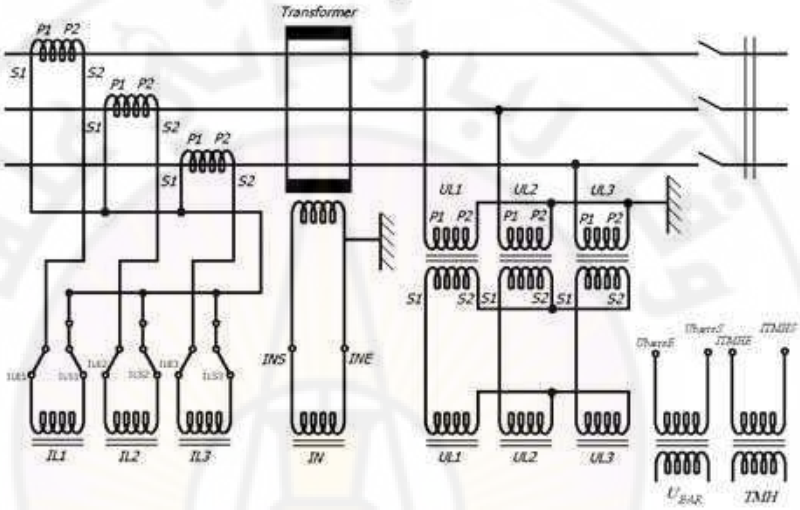
2- توتر التغذية: تؤخذ هذه القيمة متوافقة مع توتر وحدة التغذية .

3- اختبار التوصيلات:

أ- توصيلات الدخل التمثيلي Analog Input Connections يتم اختيار المداخل التمثيلية للتيار والتوتر كما هو مبين في الشكل (25-12)

ب- التأريض Earthing :يوجد أسفل يمين الحاكمة من الخلف مأخذ للتأريض.

ت- توصيلات المداخل و المخارج المنطقية Logic Input/Output Connections



الشكل (25-12) توصيلات المداخل التمثيلية للتيار والتوتر

ب- وظائف حاكمة الحماية المسافية EPAC

يمكن تقسيم الوظائف الأساسية لحاكمة الحماية المسافية الرقمية EPAC في حماية خطوط نقل القدرة الكهربائية إلى:

- وظيفة خواص الخط The Line Characteristics Function
- وظيفة الحماية عن بعد The Tele-protection Function
- وظيفة تعييرات مناطق الحماية The Zone Setting Function
- وظيفة الخط Tee The Tee Line Function
- وظيفة التغذية الضعيفة The Weak Infeed Function
- وظيفة المحددات المتنوعة The Miscellaneous Parameters Function
- فشل فيوز الحماية Fuse Failure
- وظيفة دخل / خرج The Input /Output Function

ج- محددات الخط The Line Parameters المطلوبة للحاكمة EPAC فهي

- القيمة الاسمية للمتغيرات التمثيلية كما هي مقاسة عند الدارة الثانوية.
- معاملات التخفيض لمحولات التوتر و التيار.
- طول الخط الذي ستتم حمايته بالـ km أو الميل.
- ممانعات الخط التناظرية الموجبة والصفرية.
- ممانعة التتابع الموجب Z_1 وممانعة التتابع الصفري Z_{01} للمنطقة الأولى Zone1 , وممانعة التتابع الصفري Z_{02} والمناطق الأخرى.

وتظهر شاشة الإعدادات للوظائف الأساسية بعد الاختيار والإدخال لخط ما على سبيل المثال كما في الجدول(2-12).

جدول رقم (2-12) مثال شاشة الاعدادات لحاكمة الحماية EPAC لخط نقل

Normal Frequency	50 Hz	Normal Voltage	100 V
Line Length	100.00 Km	Norma Current	1 A
Voltage Ratio	2250	Current Ratio	1500
	R1	Positive Sequence Resistance	
	X1	Positive Sequence Reactance	
	R01	Zone1 Zero Sequence Resistance	
	X01	Zone1 Zero Sequence Reactance	
	R02	Zone2 Zero Sequence Resistance	
	X02	Zone2 Zero Sequence Reactance	

ت- تعريف المحددات وأزمنة التأخير التالية في المناطق

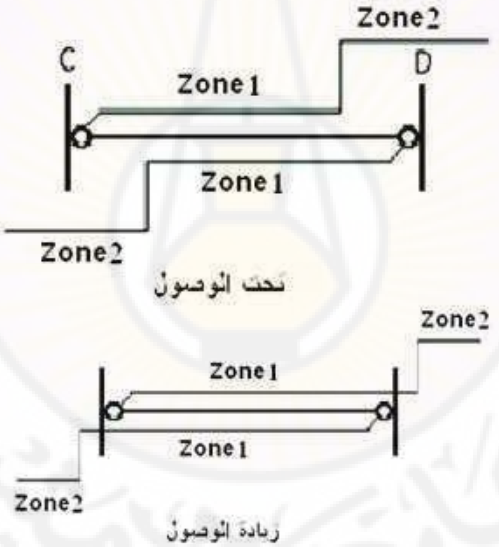
- ممانعات المناطق الخمس .
- قيم مقاومة الخطوط المتوازية.
- التأخيرات الزمنية المرافقة للمناطق الخمس.
- التأخيرات الزمنية والعتبات والإتجاهات المرافقة للإقلاع بالتيار الزائد.
- محددات المناطق Zone1,2,3,4- والمنطقة الموسعة Extended Zone1 ، إذا كانت طريقة التحكم بوصول المنطقة فعالة.
- المنطقة الخامسة Zone5 ، إذا كانت طريقة عزل قضيب التجميع في حالة حجز .

– اختيار الاتجاه المترافق مع المنطقة الثالثة Zone3: يمكن أن يتغير وضع المنطقة الثالثة العكسية لزيادة الانتقائية للحماية العكسية.

– قيمة الممانعة للمنطقتين الأولى والثانية.

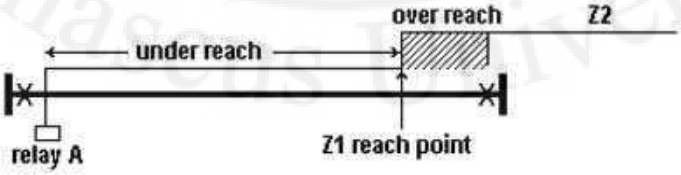
يجب أن تكون منسجمة مع طريقة التحكم عن بعد للحاكمة EPAC فإذا تم اختيار طريقة زيادة الوصول Overreach Range Mode ، فإن ممانعة الـ Zone1

يجب أن تكون أكبر من ممانعة الخط بين حمايتين. وإذا عملت EPAC بطريقة تحت الوصول Underreach Range Mode ، فإن حماية $Zone_1$ يجب أن تكون أقل من ممانعة الخط بين الحمايتين ، و ممانعة المنطقة الثانية $Zone_2$ يجب أن تكون أكبر من ممانعة الخط بين الحمايتين كما هو مبين في الشكل (26-12) .



الشكل (26-12) طريقتا زيادة الوصول وتحت الوصول

كما يبين الشكل(27-12) وصولات الحاكمة مقارنة مع وصول Z_1



الشكل(27-12) وصولات الحاكمة مقارنة مع وصول Z_1

ث- تظهر شاشة الإعدادات للوظائف الأساسية كما يلي :

Normal Frequency	50 Hz	Normal Voltage	100 V
Line Length	100.00 km	Normal Current	1A
Voltage Ratio	2250	Current Ratio	150

يجب أن تتوافق عتبات الحماية بزيادة التيار و التأخيرات الزمنية مع الشروط التالية :

يجب أن تكون أكبر من عتبة << I.

يجب أن يكون أقصر زمن تأخير Time Delay.

يترافق الاتجاه مع العتبة وهو المكافئ لتعريف العتبة على أنها حماية احتياطية في الاتجاه المختار، إذا لم يعرف أي اتجاه تطبق الحماية الاحتياطية للحماية العكسية و الأمامية .

يجب أن نحدد أولاً من خلال البرنامج WinEPAC تعييرات ممانعات الـ $Zone_1$ إلى $Zone_5$ و المقاومة و إتجاه $Zone_3$

Zone Sittings	
Zone1 Impedance	29.68 Ω LV
Zone1 Ext Impedance	44.52 Ω
Zone2 Impedance	44.52
Zone3 Impedance	55.65
Zone4 Impedance	74.19
Zone5 Impedance	18.54

Zone 3 Direction

- Forwards
- Backwards

Phase-Earth Resistance Zone1	10 Ω L
Phase-Phase Resistance Zone1	10 Ω LV
Limit Resistance For Zone2	20
Limit Resistance For Zone3	20
Resistance Limit For Other Zone	20

ج- شروط التعيير **Setting Conditions**

يمكن تعيير توسع Extend Zone1 Zone1 إذا تم إختيار Zone Reach Control في شاشة Tele-protection

تعيين التأخيرات الزمنية و خواص العتبات المترافقة مع الإقلاع بزيادة التيار

Zone Sittings Zone1 Time Delay (T1) 0 ms

Zone Sittings Zone2 Time Delay (T2)	200 ms
Zone Sittings Zone3 Time Delay (T3)	300 ms
Zone Sittings Zone4 Time Delay (T4)	400 ms
Zone Sittings Zone5 Time delay (T5)	400 ms
T >> Time Delay (T >>)	5000 ms
T > Time Delay (T >)	8000 ms

I >> Threshold Valid
I >> Threshold Valid 4In
- Forwards
- Backwards
- None

I > Thre Shold Valid
I > Thre Shold Valid 2In

I > Thre Shold direction
- Forwards
- Backwards
- None

مثال12-8-2: تعيير حاكمة الحماية المسافية

يبين الشكل(28-12) نظام قدرة كهربائية يعمل تحت توتر 132kV عند قضيب التجميع Q المغذى من شبكة 275kV عبر محولي استطاعة ذاتيين T_4,T_3 معطيات كل منهما (275\132\11kV,120MVA). تمت حماية الخطين G و H اللذين يربطان بين قضيبي التجميع P و Q ويعملان تحت توتر 132 kV بإستخدام حواكم حماية مسافية رقمية MHO ذات أربع مناطق والمطلوب: [4]

حساب تعييرات مناطق حاكمة الحماية المسافية الرقمية المركبة في بداية الخط G.

إذا علمت أن الحاكمة تغذى بالتيار والتوتر من خلال محولات تيار نسبة تحويلها 1/600 ومحولات توتر نسب تحويلها 132 kV / 275/ 110 V. تمت تجزئة قضبان تجميع المحطة عبر قاطع ربط لتحقيق المرونة في طريقة التغذية

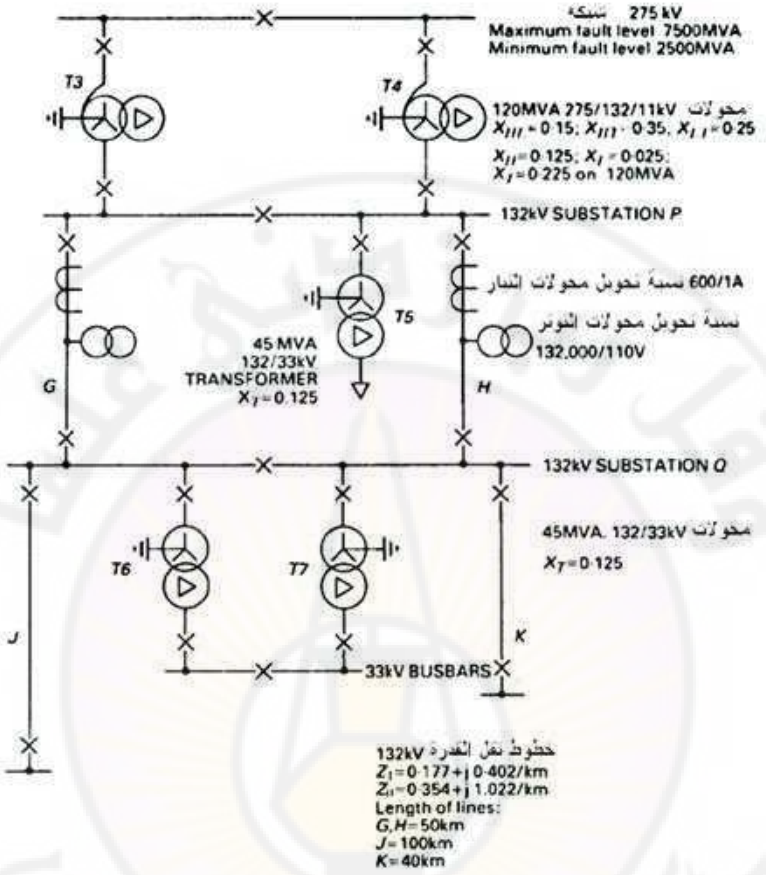
الحل:

سوف نقوم بتعيير حاكمة الحماية المسافية على الخط G وفق الخطوات التالية ويطبق نفس التعيير على حواكم الحماية على الخط الثانيH

1-الحاكمة المستخدمة

حاكمة حماية مسافية من نوع MHO ذات خواص من Cross-Polarized وهي تستخدم لحماية خطوط نقل القدرة وبصورة خاصة عندما يسمح طول الخط وممانعة المنبع بحيث أن خواص المنطقة الأولى تؤمن التغطية المطلوبة لمقاومة العطل، عند حدوث الأعطال الطورية والأرضية وهي مناسبة للنظام في مثالنا هذا. أما من أجل الخطوط القصيرة جدا عندما تكون تعييرات وصول الحاكمة المسافية منخفضة فإن خواص MHO قد لاتؤمن تغطية لمقاومة العطل الأرضي المطلوبة، وفي مثل هذه الحالات يستفاد من خواص الفصل لحاكمة العطل الأرض.

Damascus University



الشكل(28-12) حماية خطي النقل H و G بإستخدام حواكم حماية مسافية MHO

2- التعويض المتبقي Residual Compensation

عند حساب تعييرات الحاكمة المطلوبة فإنه من المهم أن نضع في أذهاننا أن الحواكم معيرة استنادا إلى الممانعة الموجبة للخط المحمي ومعبر عنها بالأوم / الثانوي، وعند حدوث الأعطال الأرضية فإن التيار في حلقة العطل لا يحدد فقط بممانعة التتابع الموجب بل أيضا بممانعة التتابع الصفري للخط وباعتبار أن النظام مؤرض مباشرة فإننا نقيس نسبة الممانعة الصفرية إلى الممانعة الموجبة للخط المحمي. ولقياس الممانعة حتى نقطة العطل نستخدم عامل تصحيح مناسب يعرف على أنه عامل التعويض المتبقي K_n

أو تعويض الحيادي وهو متوفر على الحاكمة إما كقيمة سلمية أو شعاعية ويعطى بالعلاقة التالية:

$$Kn = \frac{1}{3}((\frac{Z0}{Z1}) - 1)$$

وتتغير ممانعة الحيادي Z_n وفق العلاقة:

$Z_n = k_n * z_1$

الممانعة الموجبة لخطوط نقل 132 kV:

$Z_1 = 0.177 + j0.402$ ohms primary/km

الممانعة الصفرية لخطوط نقل 132kV:

$Z_0 = 0.354 + j1.022$ ohms primary/km

عامل التعويض المتبقي K_n يساوي إلى:

$K_n = 1/3 * \{((0.354+j1.022)/(0.177+j0.402))-1\}$
$= 1/3 * \{((0.177+j0.62)/(0.177+j0.402))\}$
$= 0.49 \angle 7.8°$

سنختار:

$K_n = 0.49$

3- زاوية خواص الحاكمة

لتحقيق دقة أعظمية لقيم زوايا Q_{ph}, Q_n فإنها تعير مساوية لزوايا Z_n, Z_s على التوالي

$Q_{ph} = 66.2$

$Q_n = 66.2 + 7.8 = 74$

تعييرات حاكمة MHO قابلة للتعيير في المجال(45-80) على خطوات كل منها 5 ويتم إختيار قيمة الخطوة الأعلى دوما، لذلك نختار القيم التالية لتعييرات الحاكمة:

$Q_{ph} = 70$
$Q_n = 75$

4- تعييرات وصول مناطق الحماية

4-1 تعييرات وصول المنطقة الأولى $zone_1$ (zone1 relay setting)

تعير المنطقة الأولى لتغطي 80% من طول الخط الذي تتم حمايته بحيث يمنع وصول المنطقة الأولى والبالغ 80% من طول الخط من الفصل اللحظي للحواكم عند حدوث

الأعطال على الخط التالي نتيجة لخطأ حواكم الحماية وخطأ محولات التيار والتوتر وعدم الدقة في معطيات الخط.

ممانعة الخط:

$$Z_{L1G} = 50 \times (0.177 + j\,0.402) \quad \text{ohms primary}$$
$$= 8.85 + j\,20.1 \quad \text{ohms primary}$$
$$\text{Zone}_1 = 0.8 \times (8.85 + j\,20.1) \quad \text{ohms primary}$$

Required Zone_1 setting in secondary ohms

$$= 0.8\,(8.85 + j\,20.1) \times \frac{600 \times 10}{132.000}$$
$$= 3.45 + J8.04 \quad \text{ohms}$$
$$= 8.78 \angle 66.24^0$$

2-4 تعييرات وصول المنطقة الثانية Zone_2

يجب أن تغطي تعييرات وصول المنطقة الثانية نهاية المنطقة الأولى Zone_1 ومقدارها 20% والتي لم تغطَّ ضمن المنطقة الأولى Zone_1 وذلك لتأمين حماية احتياطية بتأخير زمني من أجل الأعطال عند باسبار النهاية البعيدة من الخط. يمكن أن نحتاج إلى تلامسات الفصل السريع لعناصر قياس المنطقة الثانية Zone_2 للإستخدام مع تجهيزات الإشارة للحماية لتحقيق زمن فصل سريع عند حدوث الأعطال عند النهاية البعيدة من الخط، ومن المهم ضمان أن المنطقة الثانية Zone_2 سوف تغطي قضيب تجميع النهاية البعيدة، ولذلك يعير وصول Zone_2 ليغطي إما (الخط المحمي+ 50% من طول أقصر خط تالٍ محمي) أو 120% للخط المحمي أيهما أكبر.

لذلك سنختار لتعيير Zone_2 أن تغطي (الخط المحمي +50% من أقصر خط مجاور)

$$\text{Zone}_2 = ZL_{1G} + 0.5ZL_{1K}$$
$$= (8.85 + j\,20.1) + \{0.5 \times 40\,(0.177 + j0.402)\}$$
$$= 12.39 + j28.14 \quad \text{ohms primary}$$

بناء على ذلك فإن تعيير المنطقة الثانية اللازم على الجانب الثانوي بالأوم يساوي إلى:

$$= (12.39 + J28.14) * (600 * 110/132.000)$$
$$= 6.20 + J14.07 = 15.37 \angle 66.20^\circ$$

4-2-1 تأثير الخطوط المتوازية

عندما يكون الخطان H و G في الخدمة وعند حدوث عطل في المنطقتين الثانية والثالثة تتعرض حاكمة الحماية المسافية لظاهرة تحت الوصول under reach.

يتم حساب تحت الوصول الناتج عن التغذية من الخط الموازي كما يلي:

(تيار العطل للخط الموازي/ تيار العطل الكلي) *(ممانعة الخط المحمي المتضمنة في المنطقة المحمية). والنسبة المئوية لمنطقة تحت الوصول =

= %100× (تحت الوصول/وصول الريليه للمنطقة المحمية)

بما أن ممانعة الخطين G,H متساوية فإن التيار سوف يتوزع بينهما بالتساوي، وحيث أن تعيير المنطقة الثانية $Zone_2$ يتضمن 50% من ممانعة الخط المجاور فإنه ينجم عن ذلك أنه عندما يكون كلا الخطين في الخدمة فإن وصول المنطقة الثانية $Zone_2$ سوف يغطي بشكل فعال فقط الخط المحمي +25% من الخط المجاور.

يمكن أن يحدث تحت الوصول من أجل أعطال خارجية أيضا وليس هناك حاجة للسؤال فيما إذا كانت المنطقة الثانية $Zone_2$ سوف تفشل في الوصول إلى نهاية الخط المحمي نتيجة لذلك. يمكن أن يحسب تحت الوصول للمنطقة الثانية $Zone_2$ وفق ما يلي:

تحت الوصول للمنطقة الثانية $Zone_2$:

50/100(7.08+j16.08) = 8.78 ohms primary

$Zone_2$ under reach =8.78*0.5=4.39 ohms primary

تحت الوصول للمنطقة الثانية لحاكمة موهMHO على الابتدائي بالأوم:

=12.39+J28.14=30.74∟66.2°

النسبة المئوية لتحت وصول المنطقة الثانية Zon_2 :

$$= \frac{4.39}{30.74} \times 100 = 14.28\ \%$$

4-2-2 تعيير زمن المنطقة الثانية $Zone_2$

سوف يعيّر التأخير الزمني للمنطقة الثانية $Zone_2$ بحيث يتم التنسيق مع الحماية الابتدائية للأجزاء التالية من الخط متضمنة زمن الفصل للقاطع الآلي، ويعير التأخير الزمني للمنطقة الثانية Zone2 بشكل عام في المجال (0.2÷0.3)sec وهو زمن كافٍ ولكن يمكن أن نحتاج إلى أزمنة أطول إذا تطابق زمن Zone2 مع حالات أبطأ للحماية.

4-3 تعيير وصول المنطقة الثالثة Zone3

وظيفة المنطقة الثالثة Zone3 تأمين حماية احتياطية للأعطال غير المفصولة في مقاطع الخط اللاحقة. وكلما كان ممكناً فإن تعيير وصول المنطقة الثالثة Zone3 سوف يسمح لتأثير تحت الوصول المسبب بالتغذية عند النهاية البعيدة.

يعير وصول المنطقة الثالثة $Zone_3$ عادةً على 1.2 مرة من ممانعة الخط الذي تراه الحاكمة من أجل عطل على النهاية البعيدة لأطول خط مجاور .

يسبب الخط الموازي H تعرض المنطقة الثالثة Zone3 للحاكمة G لتحت الوصول بحيث إن ممانعة مقطع الخط المجاور المرئية من قبل الحاكمة تتضاعف عند حصول عطل عند نهاية الخط المجاور بناء على ذلك فإن تعيير المنطقة الثالثة $Zone_3$ المطلوب :

$$Zone_3 = 1.2 \{ 8.85 + j\ 20.1 + 2 (17.7 + j\ 40.2) \}$$
$$= 53.1 + j\ 120.6 = 131.77 \angle 66.2^\circ \quad \text{ohm Primary}$$

$$Zone_3 = (53.1 + j\ 120.6) \times \frac{600 \times 110}{132000}$$
$$= 26.55 + j\ 60.3 = 56.89 \angle 66.2^\circ \quad \text{ohm secondary}$$

4-3-1 توسع المنطقة الأولى $Zone_1$

تقع عملياً في حاكمة MHO المزاحة ضمن المنطقة الثالثة $Zone_3$ والغرض من الإزاحة أو الوصول العكسي هو تأمين حماية إحتياطية لقضبان التجميع خلف الحاكمة.

يتم تعيير المنطقة العكسية بشكل نموذجي لتغطي 25% من منطقة Zone1

$Zone_1 = 3.54 + j\ 8.04$ ohms secondary

وصول Zon_1 العكسية:

$$Zone_{1r} = 0.25 (3.54 + j\ 8.04)$$
$$= 0.885 + j\ 2.01 \quad \text{ohms secondary}$$
$$= 2.2 \angle 66.2 \quad \text{ohms secondary}$$

4-3-2 تعيير وصول المنطقة الثالثة $Zone_3$ الأمامية

قبل إختيار تعييرات زمن عمل المنطقة الثالثة Zone3 فإنه من الضروري اختبار وصول Zone3 عبر محولات المحطة Q، وإذا كان ممكناً فإن الفصل الانتقائي أو التميزي سوف ينظم بين دارات الحماية على كلا الجانبين للمحولات. سوف تصل زيادة الوصول

للمنطقة الثالثة Zone3 لأبعد من نظام 33 kV عندما يكون كلا محولي 45 MVA في الخدمة ومغذيان عبر الخط G فقط المحمي لأنه إذا كان كلا الخطين في الخدمة فإن حاكمة الحماية المسافية سوف تتعرض لتحت الوصول .

ممانعة المحولة 45 MVA على أساس 132 kV:

$$= j\,0.125 \times \frac{132^2}{45} = j\,48.4 \quad \text{ohms primary}$$

الممانعة بين الحاكمة ومنطقة العطل على الباسبار 33 kV:

$$= 8.85 + j\,20.1 + \frac{j\,48.4}{2}$$

$$= 8.85 + j44.3 = 45.18 \angle 78.7° \quad \text{ohms primary}$$
$$= 22.59 \angle 78.7° \quad \text{ohms secondary}$$

يتم تعير وصول Zone3 الأمامية على القيمة :

$$= 65.89 \angle 78.7° \quad \text{ohms secondary}$$

من أجل العطل الثلاثي فإن وصول Zone3 إلى نظام 33 kV يقع في المجال:

$$(65.89 - 22.59) = 43.3 \quad \text{ohms}$$

من المهم ملاحظة أن هذه الممانعة على الجانب الثانوي بالأوم على أساس 132kV وتحسب الممانعة بالأوم على أساس 33 kV كما يلي:

$$= 43.3 \times \frac{132000}{600 \times 110} \times \frac{33^2}{132^2} = 5.41 \quad \text{ohms}$$

4-3- 3 تعيير زمن المنطقة الثالثة Zone3

يجب أن يعير زمن هذه المرحلة بحيث يتحقق التنسيق مع أي حماية يمكن أن تتطابق عند 33kV ، وإذا كان الوصول إلى نظام 33kV غير مقبولٍ فإن تعيير Zone3 يمكن أن يخفض في الحالة التي لا يمكن فيها تأمين حماية احتياطية كاملة من أجل الأعطال في المغذيات المجاورة عندما يكون كلا الخطين في الخدمة وبشكل بديل فإن وصول Zone3 يخفّض إلى:

(ممانعة الخط المحمي + ممانعة أطول مغذي مجاور) × 1.2 إذا كان أحد الخطين المتوازيين خارج الخدمة.

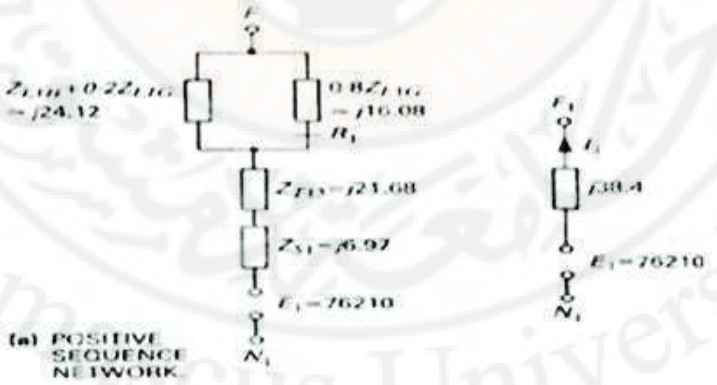
5- اختبار التوتر الأدنى عند الحاكمة من أجل الأعطال عند وصول Zon1

من المعتاد لصناع الحواكم المسافية أن يصرحوا عن التوتر الأدنى الذي يتم عنده ضمان عمل حاكمة الحماية بشكل دقيق على أساس التوتر الثانوي للأعطال عند نقطة وصول Zone1 وهذا يمكن أن يعبر عنه بشكل بديل على أساس نسبة التعيير $\frac{Zs}{Zl}$ (وأحياناً $\frac{S}{R}$) أي نسبة ممانعة المنبع إلى ممانعة الخط. يحدث التوتر الأدنى في النقطة التي تتوضع عندها الحاكمة عندما يكون الخطان G و H في الخدمة ومغذيين من محول واحد عند قضيب التجميع P باستطاعة قصر دنيا عند قضيب تجميع 275kV.

سوف نقوم بحساب التوتر الأدنى في موقع الحاكمة من أجل أعطال مختلفة كما يلي:

أ- أعطال طورية:

يبين الشكل (29-12) الدارة الموجبة المستخدمة لتحليل عطل ثلاثي الطور عند وصول المنطقة الأولى للحاكمة المسافية التي تحمي الخط G, حيث تم تجاهل المركبة الأومية لممانعة الخط بتقريب مقبول و R_1 تمثل موقع الحاكمة .



الشكل (29-12) الدارة التناظرية الموجبة لنظام القدرة

حساب ممانعات الدارة الموجبة:

ممانعة المنبع:

$$Z_{s1} = j\,\frac{275^2}{2500} = j\,30.25 \text{ Ohms at 275kV base}$$

$$= j\,30.25 \times \frac{132^2}{275^2} = 6.97 \text{ ohms at 32kV base}$$

ممانعة المحولة T_3:

$$Z_{T3} = j\,0.15 \times \frac{132^2}{120} = j\,21.78 \text{ ohms/ primary}$$

ممانعة الخطوط المتوازية G و H:

$$= \frac{0.8\,ZL1G \times (ZL1H + 0.2\,Zl1G)}{0.8ZL1G + ZL1h + 0.2ZL1G}$$

$$= \frac{j16.08 \times j24.12}{j\,16.08 + j24.12} = j\,9.65 \text{ ohm primary}$$

تيار العطل الثلاثي لمنطقة وصول $Zone_1$

$$I_1 = \frac{132000}{\sqrt{3} \times 38.4} = 1985 \text{ A}$$

توتر الخط كما تراه الحاكمة عند المحطة P:

$$= \sqrt{3} \times 1985 \times \frac{110}{132000} = 27.65 \text{ V/ secondary}$$

ب- الأعطال الأرضية:

عند حساب توتر الحاكمة الأدنى لعطل أرضي لنقطة الوصول يجب الأخذ بعين الاعتبار أن محولات التأريض على نظام القدرة موصلة Δ / Y ،وهذا سوف يؤثر على توزيع تيار المركبة الصفرية، واعتماداً على وضعها يمكن أن تزيد قيمة التوتر المقاس من قبل الحاكمة أو تخفضه.

من أجل نظام القدرة قيد الدراسة فإن التوتر الأدنى يحدث عندما يكون كلا المحولين T_6, T_7 في الخدمة والواقعين أمام الحاكمة ويكون المحول T_5 الواقع خلف الحاكمة خارج الخدمة .عند نقطة وصول Zone1 لحاكمة الحماية المسافية التي تقوم بحماية الخط G عند قضيب التجميع Q فإن:

الممانعة الكلية الموجبة:

$Z_{f1} = j\ 38.4$ ohms primary

والممانعة الكلية السالبة:

$Z_{f2} = j\ 38.4$ ohms primary

تحسب الممانعات الصفرية كما يلي:

ممانعة المنبع الصفرية Z_{s0} تكون مساوية الممانعة الموجبة Z_{s1} المحول الذاتي T_3 فإن ممانعة الملف النجمي Y الصفرية المكافئة :

$$Z_{T3T}\ (\text{tertiary}) = j\ 0.225 \times \frac{132^2}{120}$$

$$= j\ 32.67 \quad \text{ohms primary}$$

$$Z_{T3H}\ (275\text{kV}) = j\ 0.125 \times \frac{132^2}{120}$$

$$= j\ 18.15 \quad \text{ohms primary}$$

$$Z_{T3L}(132\text{kV}) = j\ 0.025 \times \frac{132^2}{120}$$

$$= j\ 3.63 \text{ ohms primary}$$

الممانعة الصفرية للخطين المتوازيين G و H:

$$Z_{LOG} = Z_{LOH} = 50 \times j\ 1.022$$

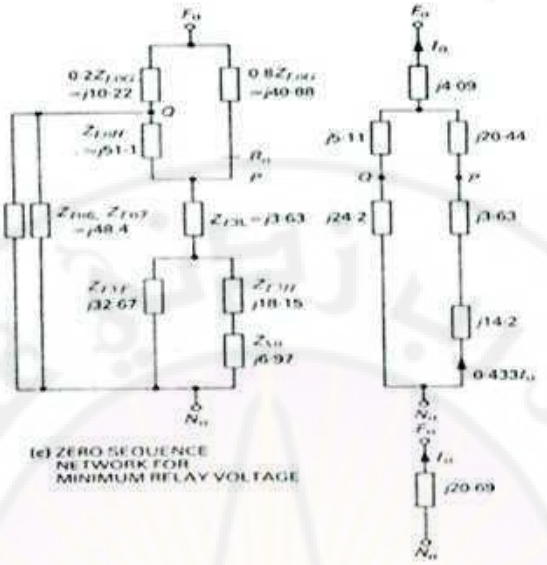
$$= j\ 51.1 \text{ ohms primary}$$

الممانعة الصفرية بين موضع الريليه ونقطة العطل:

$$= 0.08 \times j\ 51.1 = j\ 40.88 \quad \text{ohms primary}$$

ممانعة الجانب المثلثي Δ الصفرية:

Z_{LOH} , $0.8\ Z_{LOG}$, $0.2\ Z_{LOG}$ يمكن أن تحول إلى قيم نجمية Y مكافئة، وذلك لتخفيض الدارة التناظرية الصفرية إلى ممانعة وحيدة والقيم الناتجة مبينة في الشكل (30-12).



الشكل (30–12) الدارة التناظرية الصفرية لنظام القدرة

الممانعة الصفرية للمحولتين T_8 , T_7:

$$Z_{T07} = Z_{T08} = j\,0.125 \times \frac{132^2}{45}$$

$= j\,48.4$ ohms primary

الممانعة التتابعية الصفرية الكلية:

$Z_{F0} = j\,20.69$ ohms

تحسب مركبات تيار العطل التناظرية من أجل الأعطال الأرضية كما يلي :

$$I_1 = I_2 = I_0 = \frac{13200}{\sqrt{3}\ (ZF1+ZF2+ZF0)}$$

$$= \frac{13200}{\sqrt{3}\ (j\,97.49)} = 781.7 \text{ A/ primary}$$

التيار الصفري الناتج عند قضيب التجميع P :

$$= \frac{j\,24.2+j\,5.11}{j\,24.2+j\,5.11+j\,14.2+j\,3.63+j\,20.44} \times I_o$$

$$= 0.433\ I_o$$

توتر الطور – حيادي التي تراه الحاكمة على الخط G :

$$V_R = V_{R1} + V_{R2} + V_{R0}$$

$$= j\,9.65\,I1 + j\,9.65\,I2 + 0.433 \times j\,20.44\,Io + j\,4.09\,Io$$
$$= j\,32.24\,I1 = 781.7 \times 32.24$$
$$= 25200 \text{ v / primary}$$
$$= 25200 \times \frac{110}{132000} = 21 \text{ v / secondary}$$

اختبار التيار الأدنى عند الحاكمة من أجل أعطال عند وصول $Zone_1$

أ- الأعطال الطورية :

يتحقق التيار الأدنى في موقع توضع الحاكمة عندما يكون كلا الخطين G و H في الخدمة ومغذيين من محول واحد على الباسبار P وباستطاعة قصر دنيا عند الباسبار 275 kV.

تيار العطل الثلاثي الطور لنقطة وصول المنطقة الأولى $Zone_1$:

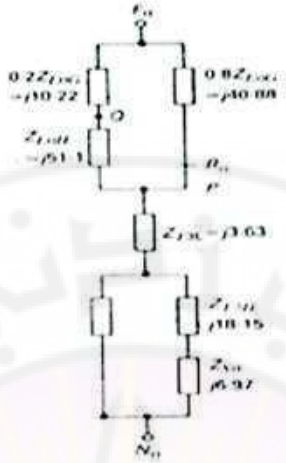
$$I_f = 1985 \text{ A / primary}$$

التيار في موقع الحاكمة R_1 :

$$= \frac{1.2}{1.2+0.8}\ 1985 = 0.6 \times 1985 = 1191 \text{ A / primary}$$
$$= 1191 \times \frac{1}{600} = 1.99 \text{ A / secondary}$$

ب- الأعطال الأرضية:

يتحقق التيار الأدنى في نقطة وجود الحاكمة عند نفس شروط الحالة السابقة (أ) مع استطاعة قصر دنيا (45 MVA) والمحول Δ / Y خارج الخدمة. الدارة الصفرية الناتجة مبينة في الشكل (12-31)



الشكل(31-12) الدارة الصفرية الناتجة

الممانعة الكلية الموجبة:

Z_1= j 38. Ohms/ primary

الممانعة الكلية السالبة:

Z_2 = j 38.4 ohms/ primary

الممانعة الكلية الصفرية:

Z_0 = j 42.36 ohms/ primary

تحسب مركبات تيار العطل في نقطة العطل كما يلي:

$$I_1 = I_2 = I_0 = \frac{132000}{\sqrt{3}\,(j\,119.18)} = 639.6 \quad \text{A/ primary}$$

مركبات التيار في موقع الحاكمة :

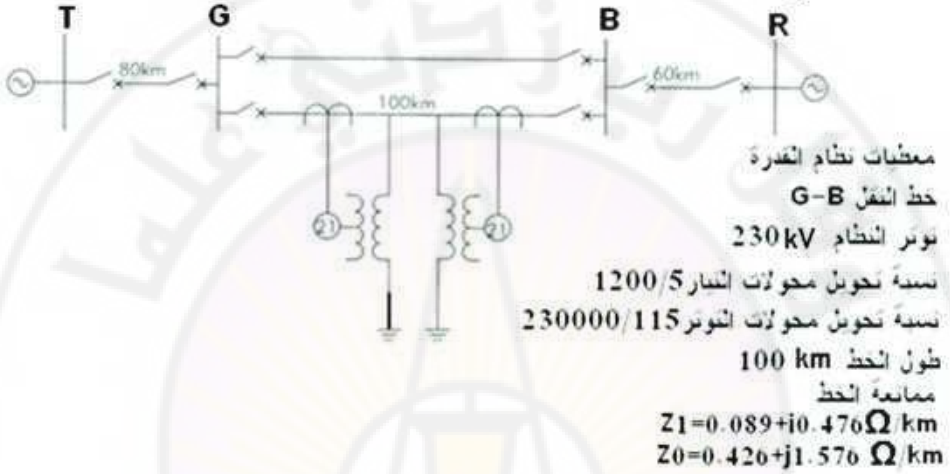
$I_{R1} = 0.6\ I1$
$I_{R2} = 0.6\ I_2$
$I_{R0} = 0.6\ I_0$

التيار في موقع الحاكمة:

$I = I_{R1} + I_{R2} + I_{R0}$
$= 0.6 \times 3 \times 639.6 = 1151$ A primary
$= 1151 \times \frac{1}{600} = 1.92$ A secondary

مثال 12-8-3:

من أجل نظام القدرة المبين في الشكل (12-32) والمكون من خط مضاعف طوله 100 km يقع بين العقدتين G, B تتم حمايته بإستخدام حواكم حماية مسافية رقمية ذات ثلاث مناطق من نوع cross-polarized "mho" characteristics.



الشكل(12-32) نظام قدرة كهربائية عائد للمثال(12-8-3)

استطاعة القصر عند العقدة G: $MVA_{max}=5000$, $MVA_{min}=2000$

استطاعة القصر عند العقدة B: $MVA_{max}=3000$, $MVA_{min}=1000$

كافة المعطيات مبينة على الشكل والنظام مؤرض مباشرة والمطلوب حساب تعييرات حاكمة الحماية المسافية المركبة عند قضيب التجميع G وعلى الخط العلوي من خلال حساب مايلي:

1- عامل التعويض المتبقي

2- زوايا خواص الحاكمة

3- تعيير وصول منطقة الحماية الأولىZone1

4- تعيير وصول منطقة الحماية الثانيةZone2

5- تاثير الخطوط المتوازية على تعيير منطقة الحماية الثانية لحاكمة الحماية المسافية

6- التاخير الزمني لمنطقة الحماية الثانية

7- تعيير وصول منطقة الحماية الثالثة للحاكمة المسافية والتأخير الزمني لها

8-اختبر قيم التوتر الأدنى والتيار الأدنى عند الحاكمة من أجل أعطال طورية وأعطال أرضية

عند وصول منطقة الحماية المسافية الأولى Zone1

الحل:

$Z_1 = 0.089+j0.476 = 0.484 \angle 79.4^0$

$Z_0 = 0.426+j1.576 = 1.632 \angle 14.8^0$

نحسب نسبة Z_0/Z_1 وذلك من أجل الحكم على نوع الأعطال الأرضية

$Z_0/Z_1 = 3.327 \angle -4.6^0$ عادة بحدود "3"

نفترض أن توسع المنطقة الأولى غير موجود وأننا نحتاج إلى ثلاث مناطق أمامية للحاكمة. يمكن انجاز التعييرات إما بكميات الجانب الابتدائي أو الثانوي ويمكن التعبير عن الممانعات إما بشكل قطبي أو عقدي. وسنعتمد حساب الكميات منسوبة إلى الجانب الثانوي.

نسبة ممانعة الثانوي إلى الابتدائي:

$(1200/5)/(230000/115) = 0.12$

بضرب كل ممانعة بهذه النسبة نحصل عليها منسوبة إلى الجانب الثانوي

ممانعة الخط المحمي = $100 * 0.484 \angle 79.4^0 * 0.12 = 5.81\ \Omega$ Secondary

تقع تعييرات زاوية الخط عادة في المجال (-90^0 to $+90^0$) ، ويتم تغييرها على خطوات كل منها (1^0) ، لذلك سنختار زاوية الخط 80^0 كأقرب قيمة إلى الزاوية 79.4^0 وبهذا فإن ممانعة الخط المحمي تساوي إلى: $5.81 \angle 80^0$.

•تعيير وصول المنطقة الأولى Zone1phase Reach Setting

يمثل وصول المنطقة الأولى 80% من ممانعة الخط G-B أي:

Required Zone1 Reach Impedance = $0.8*100*5.81 \angle 80^0$

$Z_1 = 4.46 \angle 80^0$

•تعيير وصول المنطقة الثانية Zone2 phase Reach Setting:

Required Zone2 Impedance Reach=(ممانعة الخط G-B +50% B-R)

$Z_2 = (100 + 0.5*60)\ 0.484 \angle 79.4^0 * 0.12 = 7.56 \angle 79.4^0\ \Omega$ Secondary

نختار زاوية الخط 80^0

$$Z_2 = 7.56 \angle 80^0$$

•تعيير وصول المنطقة الثالثة Zone3 phase Reach Setting:

Required Zone3 Forward Reach Impedance =

(G-B ممانعة الخط + B - R ممانعة الخط)*120%

$Z_3 = (100+60)*1.2*0.484 \angle 79.4^0 * 0.12 = 11.16 \angle 79.4^0\ \Omega$ Secondary

$Z_3 = 11.16 \angle 80^0$

•تعييرات المنطقة الرابعة Zone4 العكسية:

عادة تكون إختيارية ويتم إختيارها تبعا للحالتين التاليتين:

أ-بدون تغذية ضعيفة No weak infeed

ممانعة وصول Zone4 المطلوبة:

Required Zone4 reverse Reach Impedance =

10% Zone1 Reach = $0.1*4.46 \angle 80^0$

$= 0.446 \angle 80^0\ \Omega$ Secondary

ب-**بوجود تغذية ضعيفة with weak infeed** عندما نستخدم Zone4 لاتخاذ قرارات اتجاهية عكسية لحجز أو السماح بزيادة الوصول فإن وصول Zone4 يجب أن يغطي أبعد من Zone2 لحاكمة النهاية البعيدة وهذا يمكن أن يتحقق باستخدام المتراجحة التالية:

Zone4 > (ممانعة الخط المحمي) -(120%* البعيد Zone2 وصول)

Remote Zone4 reach = (ممانعة الخط G-B +50% G-T)

$=(100+40)\ 0.484 \angle 79.4^0 * 0.12$

$= 8.13 \angle 79.4^0\ \Omega$ Secondary

$Zone4 > (8.13 \angle 79.4^0 * 120\%) - (5.81 \angle 79.4^0)$

$= 3.95 \angle 79.4^0\ \Omega$ Secondary

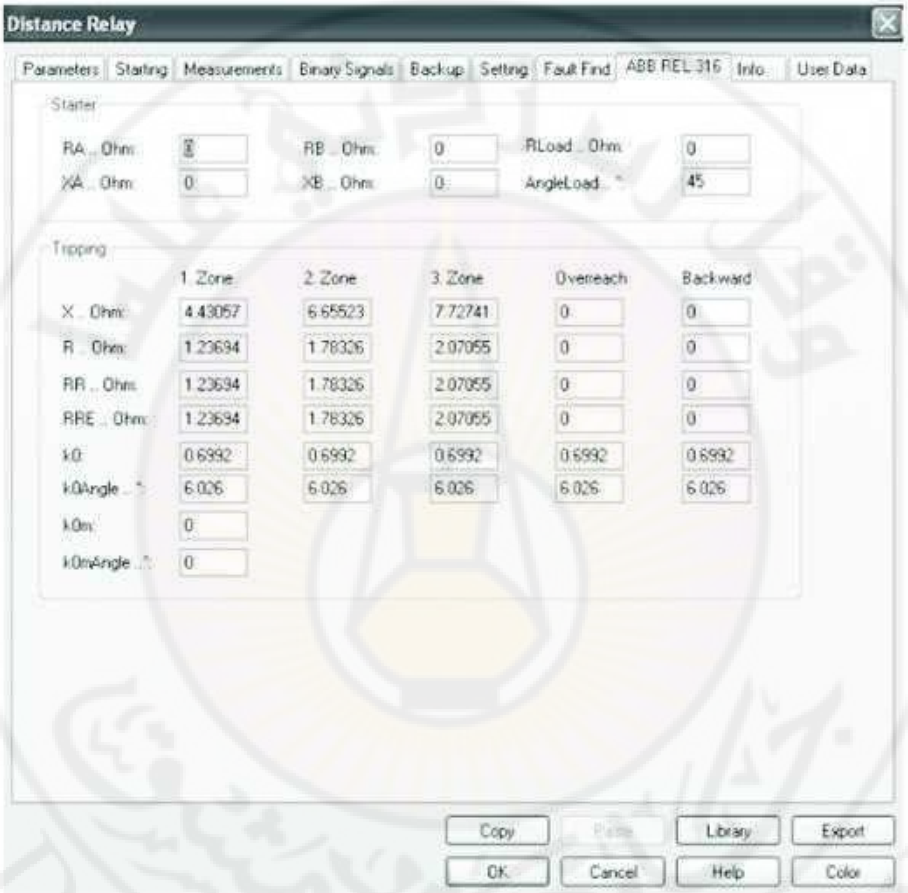
ممانعة التعيير للمنطقة الرابعة العكسية:

$$Zone4 = 3.95 \angle 80^0$$

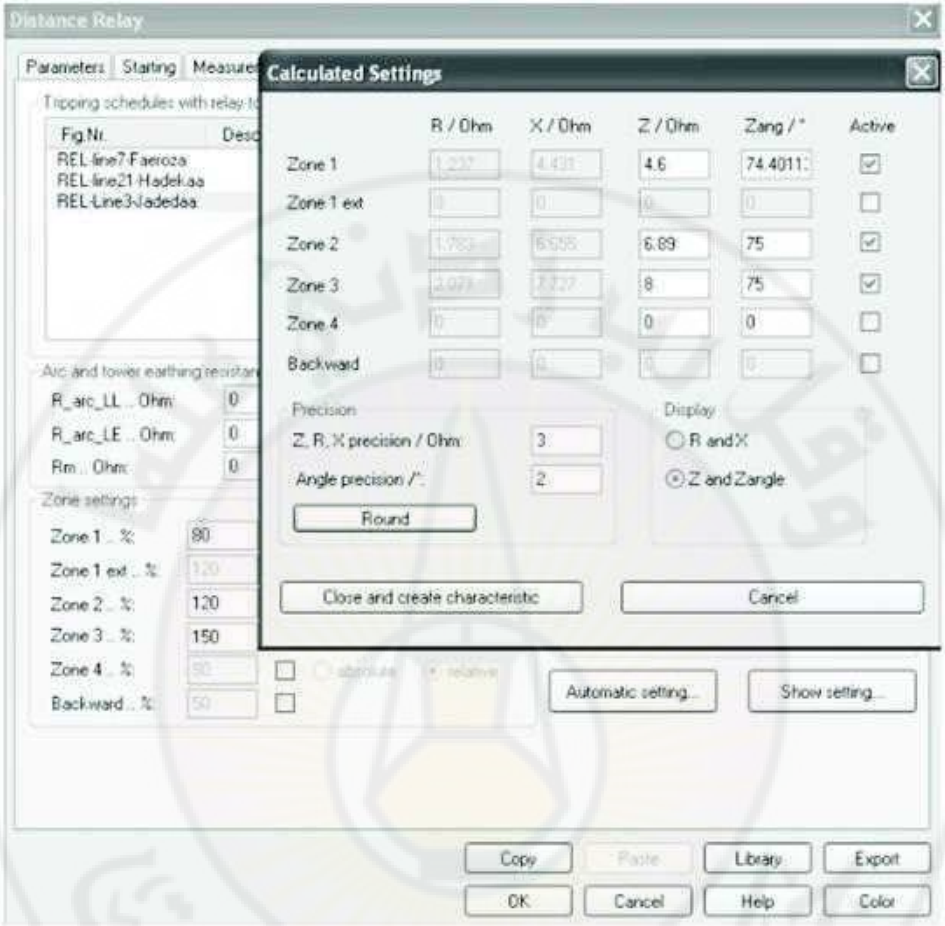
مثال12-8-4:

يبين الشكل (12-33) حاكمة مسافية من نوع (ABB REL316) مستخدمة في حماية خطوط النقل في جزء من الشبكة الكهربائية في منطقة حمص وباستخدام برنامج تمثيل الشبكة Neplan حصلنا على مجموعة من النتائج حيث يوضح الشكل (12-34) قيمة

الممانعة وزاوية التعيير لكل منطقة من مناطق الحماية المسافية الموجودة على الخط (3) من قضيب تجميع منطقة الجديدة. كما يوضح الشكل (35-12) تعييرات الزمن لمناطق الحماية المختلفة. [16]

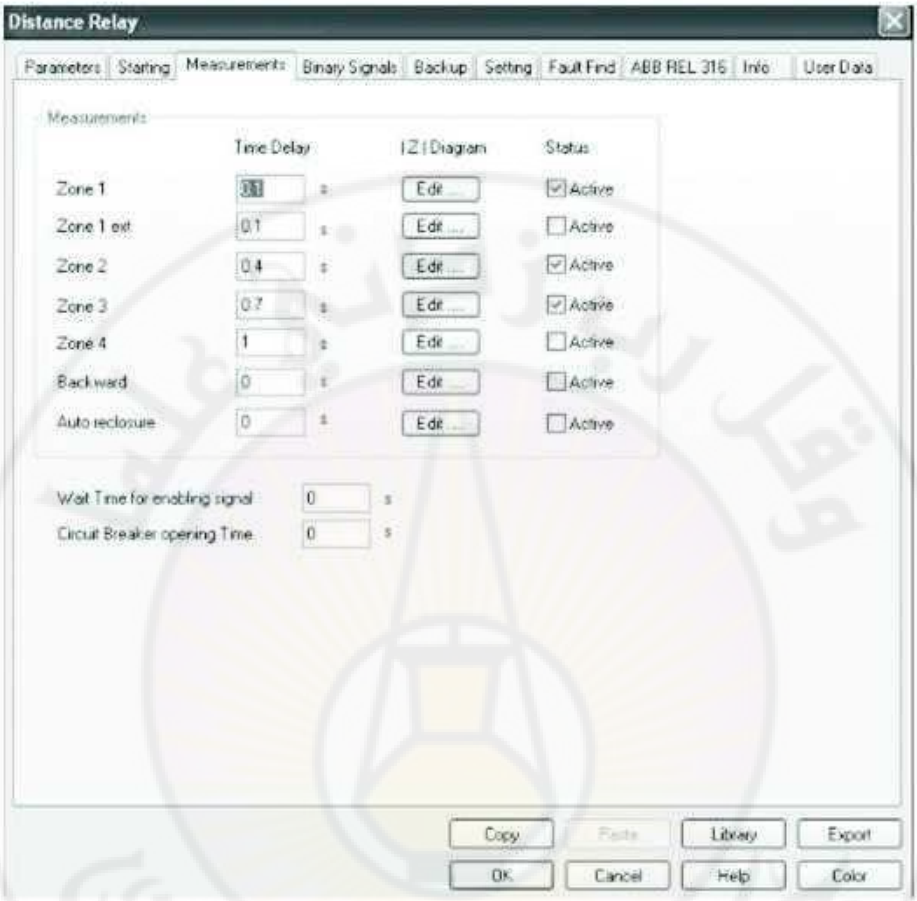


الشكل (33-12) واجهة التخاطب لحاكمة الحماية المسافية (ABB REL 316)



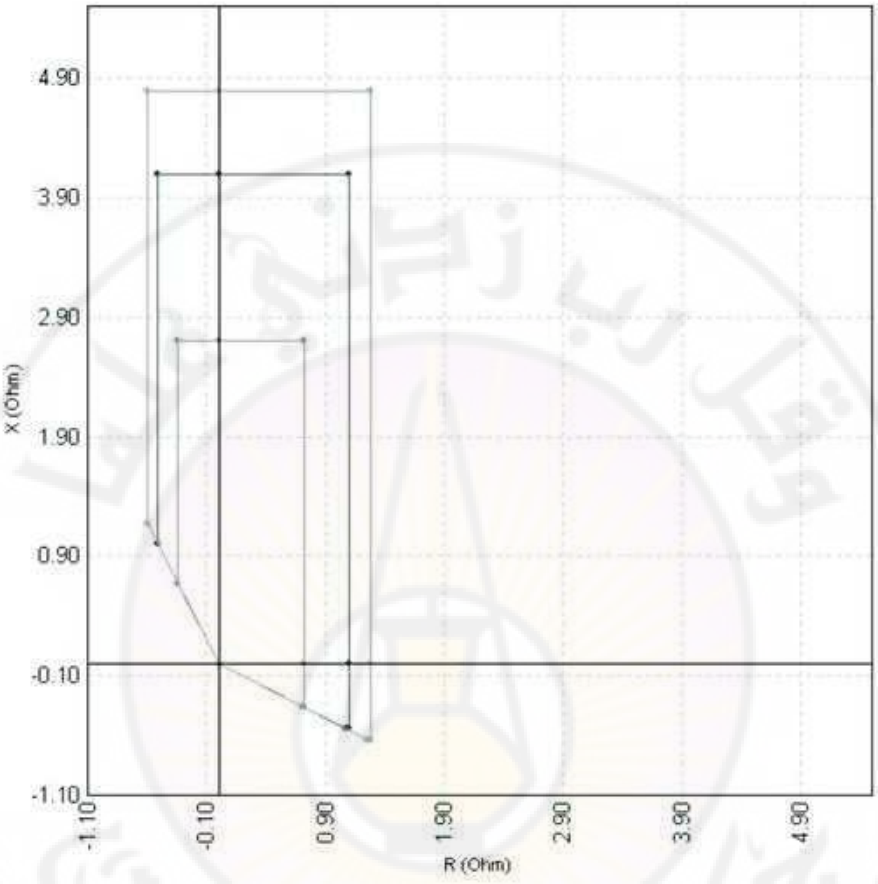
الشكل (34-12) قيمة الممانعة وزاوية التعيير للحاكمة

Damascus University



الشكل (35-12) تعييرات الزمن لمناطق الحماية المسافية

بناءً على قيمة التعييرات التي تم تحديدها فإن الخواص المضلعة لحاكمة الحماية المسافية المستخدمة موضحة بالشكل (36-12)



الشكل(36-12) الخواص المضلعة المستنتجة لحاكمة الحماية المسافية

مثال12-8-5: تعيير حاكمة الحماية المسافية الرقمية MICOM P442

1-القوانين المستخدمة في تعيير الحماية المسافية :

لدينا خط نقل قدرة كهربائية تتم حمايته باستخدام حاكمة حماية مسافية و نرغب في تعييرها، والمعطيات المتوفرة لدينا هي : Z_1 , Z_0 , CT , VT

حيث أن :

Z_1 : الممانعة الموجبة لخط النقل المحمي .

Z0 : الممانعة الصفرية لخط النقل المحمي .

CT : نسبة تحويل محولة التيار المربوطة مع الخط المحمي .

VT : نسبة تحويل محولة التوتر المربوطة مع خط النقل المحمي .

أ-حساب معدل الممانعة K :

$$K = CT / VT$$

حيث **K** معدل الممانعة لخط النقل .

ب-حساب ممانعة الخط ZL :

$$Z_L = Z_1 * L * K$$

حيث: **L** طول خط النقل المحمي و $\mathbf{Z_L}$ ممانعة خط النقل منسوبة للثانوي .

ت-حساب ممانعة الزون الأول Z_{zone1} :

$$Z_{zone1} = 0.85 * Z_L$$

حيث $\mathbf{Z_{zone1}}$: ممانعة الزون الأول.

ث-حساب ممانعة الزون الثاني Z_{zone2}:

$$Z_{zone2} = Z_L + 20\%\ Z_{L2} (\text{ for short line })$$

$\mathbf{Z_{zone2}}$: ممانعة الزون الثاني .

$\mathbf{Z_{L2}}$: ممانعة أقصر خط يلي خط النقل المحمي.

ج-حساب حساب ممانعة الزون الثالث Z_{zone3} :

$$Z_{zone3} = Z_L + 80\%\ Z_{L2} (\text{ for longest line})$$

$\mathbf{Z_{zone3}}$: ممانعة الزون الثالث.

$\mathbf{Z_{L2}}$: ممانعة أطول خط يلي خط النقل المحمي .

ح-حساب معامل التعويض لمركبات الأعطال الأرضية KZ0:

$$K_{Z0} = \frac{Z0 - Z1}{3 * Z1}$$

حيث: $\mathbf{K_{Z0}}$ معامل التعويض ويحتاجه البرنامج ويتم حسابه على شكل طويلة و زاوية .

خ-تعييرات الحماية المسافية الرقمية MICOM – P442

تطبيق: تعييرات خط فرسان- كسوة من الشبكة السورية

حساب معدل الممانعة K :

$$K = \frac{CT}{VT} = \frac{1000/1}{230000/100} = 0.434$$

حساب ممانعة خط / فرسان – الكسوة /:

بالعودة لجداول إكسل نحصل على المعطيات التالية :

L = 19.2 km

R = 1.4784 Ω X = 7.9296Ω ومنه نحصل على:

$$Z = R + JX = 1.4784 + J7.9296 = 8.06\angle 79.43\Omega$$

$$Z_L = Z * K = [\ 8.06\angle 79.42\ ] * 0.434 = 3.49\angle 79.43\Omega$$

ومنه فإن ممانعة وزاوية الخط:

Line Impedance : 3.5Ω, Line Angle : 79.43 °

حساب KZ :

$$K_Z = \frac{Z_0 - Z_1}{3Z_1} = \frac{(\ 6.566 + j23.808\ ) - (1.4784 + j7.9296)}{3(8.06\angle 79.43)} =$$

$$= \frac{16.6\angle 72.2}{24.18\angle 79.43} = 0.689\angle -7.22$$

ومنه فإن ممانعة وزاوية الخط:

K_{Z1} Rescomp = 0.68Ω , K_{Z1} angle = -7.23 °

$$K_Z = \frac{Zo - Z1}{3Z1} = \frac{(6.566 + j23.808) - (1.478 + j7.9296)}{3 * (8.06\angle 79.43)} =$$

$$= \frac{16.67\angle 72.2}{24.18\angle 79.43} = 0.689\angle -7.22\Omega$$

ومنه فإن تعييرات ممانعة وزاوية الخط:

K_{Z1} rescomp = 0.68 Ω, K_{Z1} angle = -7.23 °

- حساب تعيير المنطقة الأولى Z_1:

$Z_1 = 0.85 * ZL = 0.85 * (3.49) = 2.9\Omega$

- إن حساب تعيير Z_2 و Z_3 يعتمد على طول أقصر خط وطول أطول خط ولأجل ذلك وبالعودة لجداول إكسل الخاصة بالشبكة السورية نحصل على الخطوط التالية المتصلة بمحطة الكسوة :

خط الكسوة / ميدان1: $Z = 1.2 + j6.5 = 6.6 \angle 79.5\ \Omega$

خط الكسوة / ميدان2: $Z = 1.3 + j7.02 = 7.1 \angle 79.5\ \Omega$

خط الكسوة/ تشرين : $Z = 3.5 + j18.9 = 19.2 \angle 79.5\ \Omega$

خط الكسوة/ دير علي: $Z = 0.75 + j4.04 = 4.1 \angle 79.5\ \Omega$

خط الكسوة/ شيخ مسكين: $Z = 4.3 + j\ 23.12 = 23.5 \angle 79.5\ \Omega$

من خلال ما سبق نجد أن أقصر خط هو خط الكسوة / دير علي :

$$Z = z * k = 4.1 \angle 79.5 * 0.434 = 1.779 \angle 79.5\Omega$$

وأن أطول خط هو خط الكسوة / شيخ مسكين :

$$Z = z * k = 23.5 \angle 79.5 * 0.434 = 10.199 \angle 79.5\Omega$$

- تعيير المنطقة Z_2 :

$$Z_{zone2} = (Z\ line\ 1) + 20\%\ (Z\ short\ line\ 2)$$
$$Z_{zone2} = 3.49 + 0.2 * 1.7794 = 3.8\ \Omega$$

- تعيير المنطقة Z_3 :

$$Z_{zone3} = (Z\ line\ 1) + 80\%(Z\ longest\ line\ 2)$$
$$Z_{zone3} = 3.49 + 0.8 * 10.199 = 11.64\Omega$$

- حساب تعيير المنطقة العكسية : ويتم حسابها وفق العلاقة التالية

$$Z_{zone4} = 20\ \%\ (Z\ line1)$$
$$Z_{zone4} = 0.2 * 3.5 = 0.7\ \Omega = 700m\Omega$$

- حساب قيمة R_{1G} و R_{1Ph} : يتم ذلك بإستخدام العلاقات التالية :

$$R_{i\,ph} = 0.5R_{arc} + R_i$$
$$R_{i\,N} = R_{arc} + R_{towerfoots} + R_i$$
$$R_{arc} = \frac{27800 * L}{I^{1.4}}$$

حيث أن :

$\mathbf{R_i}$: مقاومة خط النقل، R_{arc} : المقاومة الأومية للقوس الكهربائي، L: طول الخط بالمتر.

$\mathbf{R_{towerfoots}}$: مقاومة التربة عند البرج.

I: تيار القصر الأعظمي.

وبما أننا لانعرف مقاومة التربة عند البرج ولا نعرف مقاومة القصر لذلك سوف يتم وضعها بشكل تقديري.

2-تعييرات الزمن للمناطق المختلفة

بالنسبة للزمن فإن تعييراته تتبع لتنسيق الشبكة حتى لا يصبح هناك تداخل بعمل الشبكة.

ولكن غالباً $Tz_1 = 0$ sec ويجب أن يتحقق التنسق التالي :

$$Tz_1 < Tz_2 < Tz_3$$

3-تعييرات تأرجح الاستطاعة Power Swing Settings

عادة تعيير ΔR و ΔX على قيمة بين (10-30)% من R3ph لذلك يتم عادة تعيير ΔR وتأخذΔX نفس القيمة حيث إن: $\Delta R = 0.16 * Rload$

من خلال العودة لجداول إكسل (جدول توزيع الأحمال) نلاحظ أن :

المحدد	تيار الحمل	التوتر	CosΦ	Φ
محطة الفرسان	1.7 kA	66 kV	0.9	28.8

نحسب R_{load}:

$$R_{load} = 66/1.7 = 38.82\ \Omega$$

ومنه:

$$\Delta R = 0.16 * R_{load} = 0.16 * 38.8 = 6.3\ \Omega$$

لذلك يتم تعيير : ΔR على القيمة $6.3\ \Omega$.

ΔX على القيمة $6.3\ \Omega$.

4- الحالات الخاصة في تعيير Z_2 و Z_3 بإستخدام برنامج MICOM :

عند تعير الحماية المسافية المركبة على خط / فرسان - الكسوة / فإن ذلك يستند إلى الخط نفسه بالإضافة للخطوط اللاحقة .

تظهر الحالات الخاصة هنا عند تعيير Z_2 و Z_3 لأنها تعتمد على الخطوط اللاحقة لخط الفرسان / الكسوة حيث:

Z_2 : يستند إلى أقصر خط من الخطوط التالية الموصولة إلى الباسبار بالمحطة المعنية.

Z_3: يستند إلى أطول خط من الخطوط التالية الموصولة إلى الباسبار بالمحطة المعنية.

ز- الحالات الخاصة هنا تشتمل على الحالات التي يكون فيها بعض الخطوط اللاحقة خارج الخدمة و يكون ذلك بحالة وجود صيانة دورية على أحدها (أطول خط أو أقصر خط).

س- وبالعودة إلى برنامج MICOM نجد الأيقونات التالية : Group2 , Group3 , Group4 يمكن أن تشتمل هذه المجموعات على الحالات الخاصة التالية التي قد تكون محتملة .

ش- مثلاً عند تعيير الخط و خاصة تعيير Z_2 , Z_3 اخترنا الخطوط التالية :

أقصر خط : كسوة / دير علي حيث: $Z = 4.1\ 79.5\ \Omega$

أطول خط : كسوة / شيخ مسكين حيث: $Z = 23.5\angle 79.5\ \Omega$

وفي حال كانت هذه الخطوط أو أحدها خارج الخدمة نتيجة الصيانة الدورية نقوم بتعيير Group2 بناءً على المعطيات الجديدة حيث:

على فرض أن خط كسوة / دير علي خارج الخدمة

فإننا نختار هنا أقصر خط : خط كسوة / ميدان2 حيث $Z = 7.1\angle 79.5\Omega$

و في حال كان خط الكسوة / شيخ مسكين خارج الخدمة :

فإننا نختار أطول خط : خط الكسوة / تشرين حيث $Z = 19.2\angle 79.5\ \Omega$

في حال كان أكثر من خط في الصيانة:

فإننا نختار Group3 ونعيّرها وفق المعطيات الجديدة .

و بالتالي لزيادة الأمان و الوثوقية بعمل الحاكمة يتم تعيير Group3 , Group2 .

وقل رب زدني علما
Damascus University

الفصل الثالث عشر

13-حماية المحولة ومغذي المحولة

Transformer and Transformer-Feeder Protection

Damascus University

وقل رب زدني علما
Damascus University

الفصل الثالث عشر

13-حماية المحولة و مغذي المحولة

Transformer and Transformer-Feeder Protection

مقدمة

محولة الاستطاعة هي واحدة من أهم الروابط في أنظمة نقل القدرة وتوزيعها, وتمتلك مجالاً واسعا من المميزات الخاصة المحددة التي تجعل تحقيق حماية كاملة لها أمرا صعباً، ويجب مراجعة هذه الخواص قبل اعتبار التطبيق التفصيلي للحماية، وكذلك فإن اختيار الحماية المناسبة محكوم أيضاً بالاعتبارات الاقتصادية، وبالرغم من هذا فإن العامل ليس وحيداً لمحولات الاستطاعة لكنه يبرز للواجهة عبر المجال العريض لقيم استطاعات المحولات المستخدمة في أنظمة النقل والتوزيع والتي يمكن أن تتغير من عدة kVA حتى عدة مئات MVA.

يمكن أن تستخدم الحمايات البسيطة مثل الفيوزات فقط للمحولات ذات الاستطاعة المنخفضة، بينما يجب أن نصمم للمحولات ذات الاستطاعات العالية أفضل حمايات ممكنة.

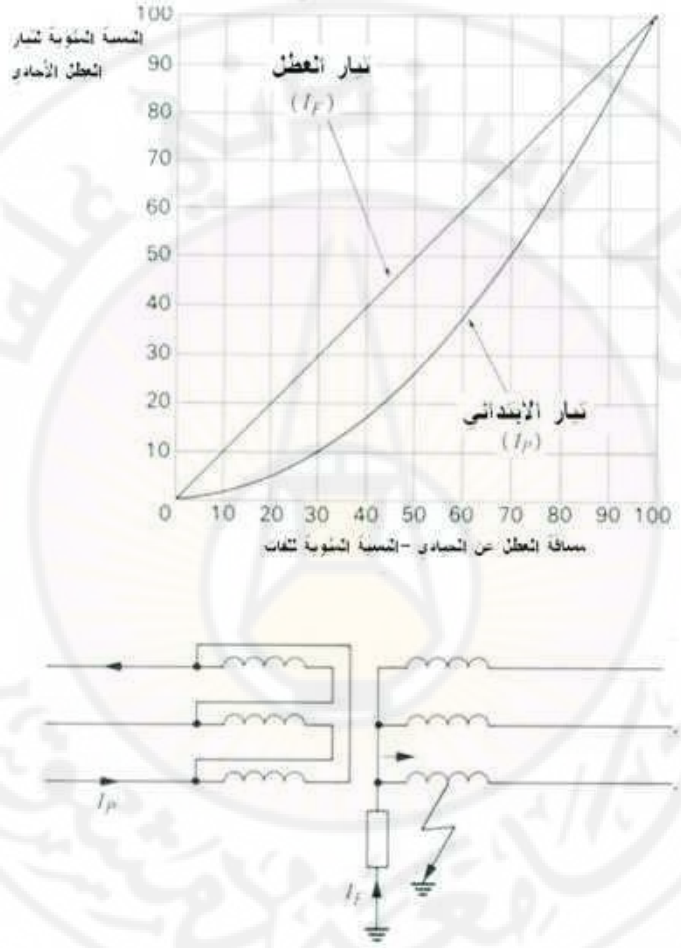
13-1 طبيعة أعطال المحولات وأثارها

يتم التحكم بالعطل على ملفات المحولة ليس فقط عبر المنبع وممانعة تأريض الحيادي بل أيضاً عبر المفاعلة التسربية للمحولة والحقيقة عمليا أن توتر العطل قد يختلف عن توتر النظام تبعاً لموضع العطل على الملفات. وتظهر عدة حالات مميزة سنناقشها فيما يلي:[4]

13-1-1 الملفات الموصلة نجمياً مع تأريض نقطة النجمة عبر ممانعة

يسبب عطل أرضي على هذه الملفات ارتفاعاً في التيار يعتمد على قيمة ممانعة التأريض، ويتناسب أيضاً مع مسافة العطل عن نقطة الحيادي طالما أن توتر العطل سيكون متناسباً مباشرة مع تلك المسافة، وكذلك فإن نسبة تحويل ملفات الابتدائي و الملفات المقصورة تتغير أيضاً مع موضع العطل بحيث إن التيار الذي يسري إلى

ابتدائي المحولة سيكون متناسباً مع مربع طول الجزء المقصور من الملفات كما هو مبين في الشكل (1-13). حيث نلاحظ أن عطلاً على أحد ملفات محولة التوتر المنخفض سوف يسبب مرور تيار صغير عبر نواقل النظام.



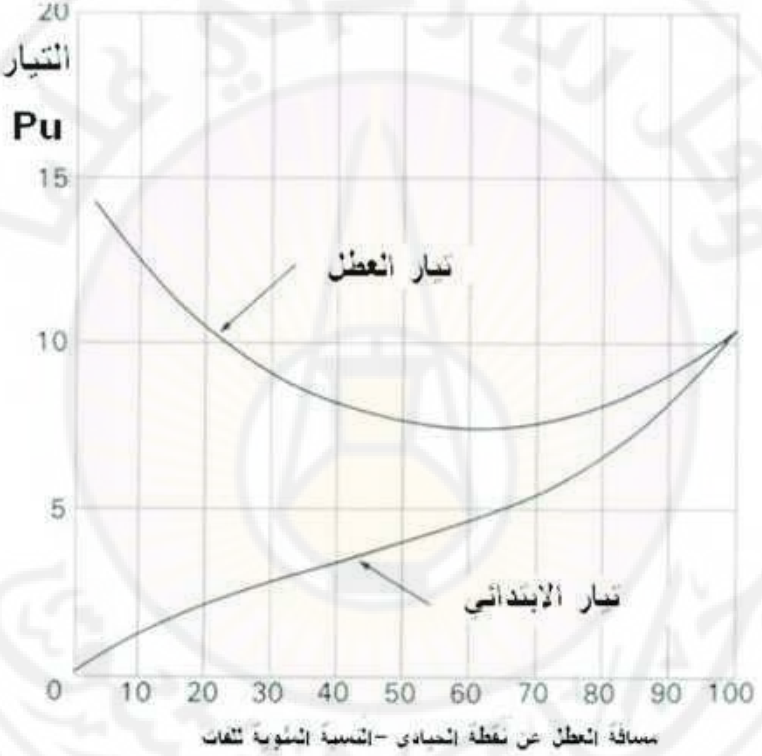
الشكل (1-13) تيار العطل الأرضي في حالة التأريض بممانعة للملفات المربوطة نجميا

13-1-2 الملفات الموصولة نجمياً مع تأريض مباشر لنقطة النجمية

تؤثر المفاعلة التسريبية للملفات في هذه الحالة على تيار العطل، وهي تتغير بطريقة معقدة مع موضع العطل، وكذلك فإن توتر نقطة العطل المتغير هو عامل مهم, كما في

حالة التأريض عبر ممانعة, لكن المفاعلة تتناقص بسرعة في النقاط القريبة من نقطة النجمة بحيث إن تيار العطل يكون عمليا بقيمة أعلى لأجل عطل قريب من نقطة النجمة للملفات.

يبين الشكل (2-13) تغير تيار العطل مع تغير موضع العطل لحالة نقطة نجمية مؤرضة مباشرة.



الشكل (2-13) تيار العطل الأرضي في حالة التأريض المباشر

يتغير تيار العطل كما في الحالة السابقة عبر نسبة التحويل المتغيرة ليعطي تيار خرج , كما أن مطال تيار العطل يبقى مرتفعاً على طول الملفات, ويبقى منحني تيار الخرج ذو مستوى عالٍ لأجل الأعطال عند أغلب النقاط على طول الملفات في غياب ممانعة التأريض الخارجية.

13-1-3 الملفات الموصلة مثلثياً (Δ)

لن يعمل أي جزء من الملفات الموصلة مثلثياً مع أقل من 50% من توتر الطور, ويكون بالتالي مجال مطال تيار العطل أقل مما هو للملفات النجمية، وستبقى القيمة الفعلية لتيار العطل معتمدة على طريقة تأريض النظام.

يجب أن نتذكر أيضاً أن ممانعة ملفات Δ تكون عالية بشكل خاص لتيارات الأعطال المارة إلى العطل المتوضع مركزيا على أحد أضلاع Δ، ويمكن أن نتوقع أن تكون الممانعة بين 25% و 50% بحسب استطاعة المحولة، وبغض النظر عن ممانعة العطل المار المتوازن العادية.

لأن قيمة التوتر مع الأرض ما قبل العطل تكون نصف توتر الطور العادي فقد لا يكون تيار العطل الأرضي أكبر من التيار الاسمي أو حتى أقل من تلك القيمة إذا كانت ممانعة تأريض النظام أو المنبع كبيرة وسيسري التيار إلى نقطة العطل من كل جانب عبر نصفي الملفات، وسينقسم بين طورين من النظام، وهكذا فقد تكون تيارات الأطوار المستقلة منخفضة نسبياً. وهذا يجب أخذه بالاعتبار عند تنسيق الحماية.

13-1-4 أعطال طور –طور Phase to Phase Faults

الأعطال بين الأطوار ضمن المحولة نادرة نسبياً، وإذا حدثت مثل هذه الأعطال فستؤدي إلى تيار كبير مقارنة مع تيارات العطل الأرضي.

13-1-5 الأعطال بين اللفات Inter-turn Faults

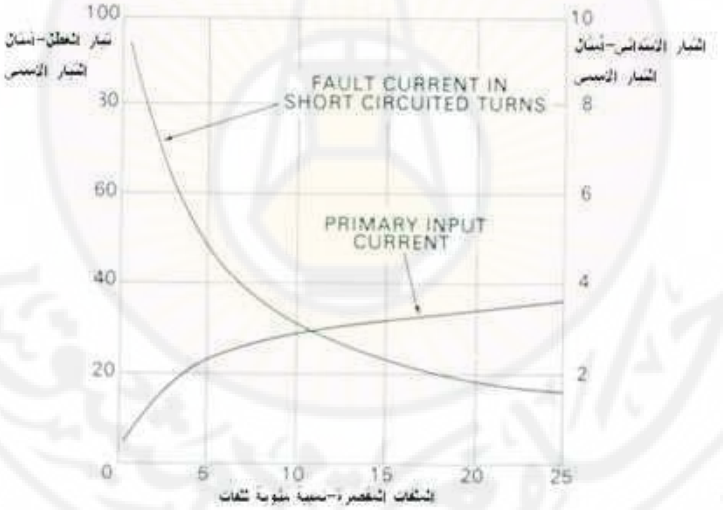
في محولات التوتر المنخفض من المستبعد حدوث إنهيار عازلية ما بين اللفات ما لم تسببه القوة الميكانيكية على الملفات نتيجة لقصر خارجي أو صدمة للعازلية, أو تسرب رطوبة إلى الزيت.

وتكون محولات التوتر العالي الموصلة إلى نظام نقل قدرة كهربائية هوائي عرضة بشكل كبير جداً لتوترات نبضية ذات جبهة حادة، وستتركز نبضة الخط التي قد تكون عدة أضعاف قيمة التوتر الاسمي على لفات النهاية الطرفية للملفات بسبب التردد المكافئ العالي لجبهة الموجة.

تدّعم عازلية مابين اللفات لأجل لفات النهاية لكن لا يمكن زيادتها بالنسبة إلى العزل مع الأرض التي تكون نسبياً عالية. وسيكون خطر الانهيار الجزئي للملفات مقارنة مع الانهيار مع الأرض عالياً نسبياً ، ويعتقد أن 80% – 70% من أعطال المحولات تظهر بسبب الأعطال بين اللفات، وقد تنهار المحولة نتيجة للتطور اللاحق للعطل إذا لم يتم كشفه في المرحلة الأولى.

سيؤدي قصر بعض لفات الملفات إلى تيار عطل كبير في الحلقة المقصورة لكن تيارات النهايات ستبقى صغيرة جداً بسبب النسبة العالية للتحويل بين الملفات ككل و اللفات المقصورة.

يبين الشكل (3–13) الربط المثلثي الموافق لمحولة مثالية ذات ممانعة مباشرة عادية قدرها 3.25% مع لفات مقصورة بشكل متناظر و متوضعة في مركز الملفات.



الشكل (3–13) تيار العطل الداخلي / عدد اللفات المقصورة

13–1–6 أعطال القلب الحديدي

تسمح النواة الحديدية للمحول والمصنوعة من رقائق من الحديد المغناطيسي بجريان تيار إعصاري كافٍ ليسبب تسخيناً له، وتكون البراغي التي تثبت رقائق النواة إلى بعضها دوماً معزولة لتجنب مشكلة التسخين هذه التي قد تصل إلى قيمة كافية للضرر بالملفات.

ولن تسبب ضياعات القلب الإضافية رغم تسببها بتسخين كلي قوي تغيراً ملحوظاً في تيار الخرج ويتم كشفها عبر الحماية الكهربائية العادية , ومع هذا فمن المرغوب به جداً أن يتم كشف الحالة قبل أن ينشأ العطل الأساسي، ولحسن الحظ إذا كان تسخين أي جزء من النواة الحديدية كافياً ليسبب التأثير على عازليه الملفات في المحولات المغمورة بالزيت، فإنه أيضاً سيسبب انهياراً جزئيا في الزيت مع نشوء غازات مرافقة تتسرب إلى الخزان وستستخدم لتشغيل حاكمة ميكانيكية.

13-1-7 أعطال جسم المحولة

إن فقدان الزيت عبر ثقوب الخزان سيؤدي في النهاية إلى حالة خطرة, إما بسبب نقص عازلية الملفات أو بسبب زيادة التسخين أثناء التحميل الناجمة عن فقدان التبريد.

يمكن أن تغلق رواسب الزيت قنوات ومجاري التبريد ما يؤدي لزيادة التسخين أثناء التحميل، وينتج أثر مشابه عند فشل أنظمة التبريد القسري المطبقة في المحولات الكبيرة.

13-1-8 الحالات المطبقة من الخارج

مصادر الإجهاد غير العادي على المحولات هي :

1- زيادة الحمل OL.
2- أعطال النظام.
3- زيادة التوتر OV.
4- نقصان تردد النظام.

13-1-8-1 زيادة الحمل Over Load (OL)

تسبب زيادة الحمل زيادة في الضياعات النحاسية وارتفاع درجة الحرارة، وبالتالي يمكن تحمل زيادة الحمل لفترات محددة تعتمد على الحرارة الأولية وشروط التبريد.

والثابت الزمني الحراري لمحولات ONAN (Oil Nature , Air Nature) يكون من مرتبة (2.5÷5) ساعة و يوجد ثوابت زمنية اقصر لأجل المحولات ذات التبريد القسري.

13-1-8-2 أعطال النظام System Faults

تسبب دارات القصر على النظام قيم عالية نسبياً لتسخين المحولات المغذية، و تتناسب زيادة الضياعات النحاسية مع مربع تيار العطل الواحدي (p.u). يبين الجدول (1-13) مدة العطل الخارجي الذي يمكن للمحولة أن تتحمله دون أن تتضرر إذا ما تم تحديد التيار عبر المفاعلة الذاتية فقط.

الجدول (1-13) درجات تحمل العطل

فترة استمرار العطل المسموحة بالثانية	تيار العطل-أمثال التيار الاسمي	مفاعلة المحول (%)
2	25	4
3	20	5
4	16.6	6
5	14.2	7

تنتج تيارات الأعطال الكبيرة إجهادات ميكانيكية قوية في المحولات ويحدث الإجهاد الأعظمي خلال الدورة الأولى لتيار العطل اللامتناظر، وهذا لا يمكن تجنبه بواسطة الفصل الآلي للدارة. والتحكم بمثل هذه الإجهادات يشكل مشكلة في تصميم المحولة.

13-1-8-3 زيادة التوتر Over Voltage (OV)

تتعرض المحولات إلى زيادة التوتر OV وهي نوعان :

1- توترات الموجة العابرة.

2- توترات ناتجة عن زيادة تردد القدرة.

تنتج زيادات التوتر العابرة عن عمليات الفصل و الوصل والصواعق ونحدّ من هذه الزيادات في التوتر عبر تفريغ نهايات التوتر العالي في الأرض, إما عبر ثغرة قضبان بسيطة والمسماة ثغرة التنسيق أو عبر مفرغة الصواعق التي تتكون من عدة ثغرات قصيرة على التسلسل مع مقاومة غير خطية. و تملك مفرغة الصواعق امكانية تمييز جريان تيار القدرة بعد تفريغ الموجة, وبهذه الطريقة نتجنب عطل النظام الذي يمكن أن يتطلب عزل المحولة الأمر الذي يحدث مع وجود ثغرة حماية بسيطة.

تسبب زيادة التوتر بزيادة تردد القدرة بنفس الوقت زيادة في الإجهاد على العازل وزيادة في الفيض, ويسبب هذا الأثر زيادة في الضياعات الحديدية وزيادة كبيرة في تيار المغنطة. تحت هذه الشروط قد تسخن البراغي بسرعة إلى درجة حرارة قد تدمر عازليتها الخاصة, وتؤذي عازلية القلب إذا استمرت هذه الظروف .

وبالنظر إلى كثافة الفيض فإن لانخفاض التردد أثراً مشابها لذاك الناجم عن زيادة التوتر مع زيادة موافقة بالتردد , لكن لا يجب أن يستمر التشغيل مع وجود تردد منخفض عند نهاية التوتر العالي. لا يمكن تحمل التشغيل عندما تكون نسبة التوتر إلى التردد (معطاة بالقيم الواحدية) أكبر من الواحد بأكثر من قيمة صغيرة مثلاً 1.1 , يجب أن يؤخذ أساس التوتر الواحدي التوتر الأعلى الذي تصمم المحولة لأجله عندما يشمل تصميم المحولة الارتفاع توتر النظام الشديد.

13-1-9 تيار الاندفاع المغناطيسي Magnetizing Inrush

إن ظاهرة اندفاع المغنطة هي حالة عابرة تحدث أساساً عند تغذية المحولة وهي ليست حالة عطل و بالتالي لا تقتضي تشغيل الحماية وعلى العكس يجب أن تبقى مستقرة أثناء فترة الاندفاع العابر وهو المتطلب الذي يشكل العامل الأساسي في تصميم أنظمة حماية المحولات .

حيث أنه عندما يهيج ملف بتوتر متناوب ثابت يتغير الفيض الذي يربط الدارة التحريضية من ذروة سالبة إلى ذروة مكافئة موجبة خلال نصف دور من موجة التوتر ويتناسب تغير الفيض بين قيمتي فيض أعظميتين مع التكامل الزمني لموجة التوتر بين نقاط العبور بالصفر. وعند الوصول إلى نقطة الصفر للموجة سيكون تغير الفيض الكلي معدوماً أثناء الدور الأول, لكن مع فيض معدوم مبدئياً فإن الفيض الأعظمي الناشئ سيكون قريبا من ضعف قيمة الذروة العادية كما هو مبين في الشكل (13-4-a). إذا كان الملف خطياً كما هو في حالة ملف ذي قلب هوائي, فإن التيار المستجر سوف يرتفع أيضاً إلى قيمة قريبة من ضعف قيمته في الحالة الثابتة وعلى كل يمكن التعامل مع ملفات ابتدائي المحولة باعتبارها ملفاً ذا قلب حديدي يكون فيه فيض الذروة العادي قريباً من قيمة التشبّع، ويوافق ارتفاع الفيض إلى قيمة تساوي ضعف الذروة لحالة تشبع

حدية وهكذا يرتفع تيار المغنطة إلى قيمة عالية جداً قد تتجاوز قيمة الحمل الكامل الإسمية، ومن هنا جاء مصطلح تيار الإندفاع ويمكن للفيض المتبقي أن يزيد التيار أكثر من ذلك إذا كان للفيض المتبقي الأساسي قيمة مغايرة للصفر كقيمة موجبة ابتدائية أي أن القيمة الابتدائية بنفس إتجاه تغير الفيض فيجب أن تبقى الإضافة في الفيض نفسها طالما أنها تتناسب مع نصف دور موجة التوتر وستكون قيمة الذروة الناتجة من مرتبة 2.8 مرة من القيمة الطبيعية مع 80% متبقي.

كثافة الفيض العالية جداً المذكورة بعيدة جداً عن مجال العمل الطبيعي, حيث تقارب النفاذية النسبية الإضافية للقلب الواحد (قيمة واحديه)، وتهبط مفاعلة الملفات إلى قيمة قريبة من تلك لمفاعلة القلب الهوائي. تزداد موجة التيار بدءاً من الصفر وبشكل بطيء في البداية, الفيض الذي يملك قيمة أعلى بقليل من قيمة العمل الطبيعية يدخل إلى الجزء عالي التشبع لمميزات المغنطة و المفاعلة تهبط ويرتفع التيار بسرعة إلى ذروة قد تصل إلى 500 ضعف تيار المغنطة للحالة الثابتة. وعندما يتم تجاوز الذروة عند التوتر الصفري التالي, يقلل نصف الدور السالب التالي لموجة التوتر من قيمة الفيض إلى القيمة الابتدائية وهذا يجعل التيار يهبط بشكل مشابه إلى الصفر, وذلك كما هو مبين في الشكل(13-4-b)، وتكون موجة التيار بالتالي متناظرة بشكل تام كما في حالة الموجة المتناظرة للملف الخطي, فإنها ستعود إلى وضع الحالة الثابتة بسبب ضياعات الدارة ويكون الثابت الزمني للحالة العابرة طويلاً نسبياً وبقيمة قد تبدأ من 0.1Sec لأجل محولات100 kVA وتصل حتى 1Sec للمحولات الكبيرة.

بما أن خواص المغنطة ليست خطية فإن تغير التيار العابر ليس تماما بالشكل المتزايد أسيا, ويمكن ملاحظة أن تيار المغنطة يستمر بالتغير حتى زمن مقداره 30min بعد الوصل.

ينتج عن الوصل أو الفصل عند لحظة أخرى من موجة التوتر قيم أخفض من التيار العابر. إذا اختيرت النقطة على الموجة بحيث يكون للفيض المتبقي نفس القيمة تحت شروط الحالة الثابتة فلن يحدث أي حالة عابرة وسيؤخذ تيار اللاحمل الثابت مباشرة.

في حالة المحولات ثلاثية الطور تختلف النقطة على الموجة عند الوصل لكل طور وتنتج تيارات اندفاع مختلفة نتيجة لذلك. وبهذه الطريقة من الممكن الوصول إلى نقطة على الموجة للتفعيل من أجل طور ما لن ينتج فيها أي اندفاع عابر وذلك وإن كان مطال تيار الاندفاع كبيراً. في هذه الحالة لن تكون موجة التيار متناظرة بالنسبة إلى محور السينات و ستكون مشوهة كما في الشكل(13-4-c)



الشكل(4-13) تيار الاندفاع للمحولة

13-1-10 التوافقيات المحتواة Harmonic Contents

تحتوي موجة تيار المغنطة للمحولة على عدد من التوافقيات التي تزداد عندما ترتفع كثافة فيض الذروة إلى حالة التشبع. وطالما أن الموجة متناظرة حول المحور الأفقي فستكون التوافقيات الفردية وحدها موجودة، وتكون الحالة النموذجية للتيارات المتناوبة العادية الجارية عبر الممانعات التي لا تملك خاصية الاستقطاب الاتجاهي.

تبرز في تيار المغنطة للمحولة التوافقية الثالثة وبشكل أصغر للتوافقية الخامسة و للتوافقيات الأعلى. إذا ازدادت درجة التشبع بشكل متصاعد فلن تزداد التوافقيات ككل وحسب بل ستزداد نسبة التوافقية الخامسة وتتجاوز التوافقية الثالثة.

تسبب تغذية المحولة ظهور تيار اندفاع متناظر , على شكل موجة غير متناظرة حول المحور الأفقي، وتكون متناظرة بإهمال الانخفاض حول مرتبة محددة. تحوي مثل هذه الموجة على توافقيات فردية و زوجية. ويحوي تيار الاندفاع النموذجي على كميات كبيرة من التوافقيات الثانية والثالثة وكميات أخفض من المراتب الأعلى , كما أن نسبة التوافقيات في موجة الحالة الثابتة تتغير مع درجة التشبع بحيث إنه عندما ينخفض تيار الإندفاع العابر العالي، ويمر الترتيب التوافقي للتيار عبر مجال من الحالات، وحتى أن تيار الإندفاع المبين في الشكل (13-4-c) غير المتناظر, فهو ليس متناظراً حول المحور الأفقي لكنه يملك تناظر حول محور ما. وهكذا فهذه الموجة تملك توافقيات زوجية وفردية.

13-2 الحماية من زيادة التسخين Over heating Protection (OH)

يعتمد تصنيف المحولات أساسا على ارتفاع درجة الحرارة فوق درجة حرارة أعظمية متوقعة و مفروضة. وتحت هذا الشرط لن يسمح عادة بأي زيادة حمل مستمرة. وعند درجة حرارة متوقعة أقل يمكن تطبيق درجة معينة من زيادة الحمل بأمان. وكذلك زيادة الحمل لفترات قصيرة مسموحة إلى حد يعتمد على شروط الحمل السابقة ولا يمكن إعطاء قاعدة دقيقة قابلة للتطبيق على كل الحالات لأنها ترتبط بالمطال ومدة استمرار زيادة الحمل الآمنة.

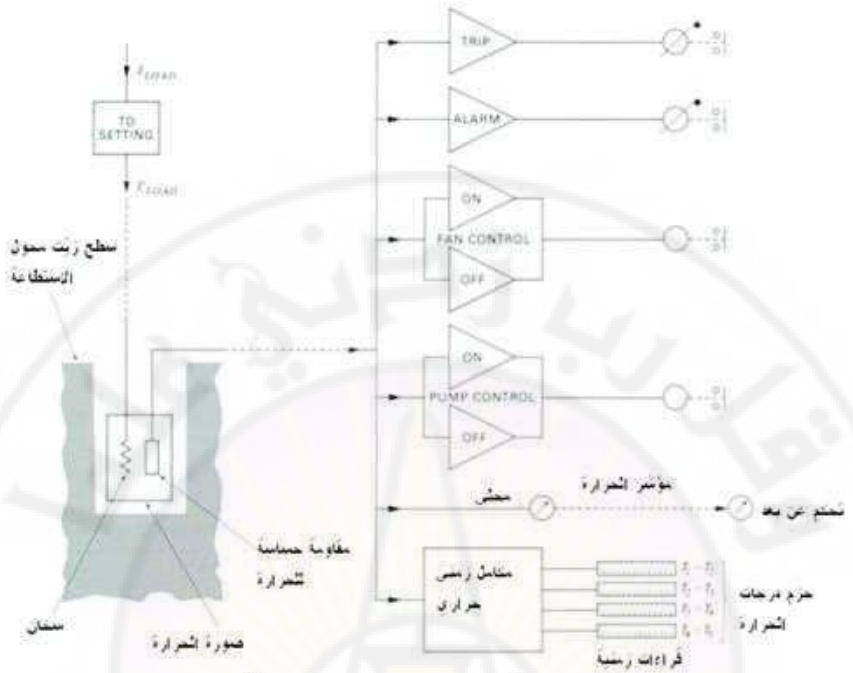
الحالة المؤكدة الوحيدة هي أنه يجب ألاّ تتعرض الملفات لزيادة تسخين وتعد حرارة حوالي 95°C كقيمة العمل الأعظمية الطبيعية, ويؤدي الارتفاع فوق هذه القيمة بمقدار (8÷10)°C إذا استمر إلى تقصير عمر المحولة إلى النصف.

تعتمد الحماية من زيادة الحمل على حرارة الملفات التي تقاس عادة عبر تقنية الصورة الحرارية، إذ يتوضع العنصر الحساس للحرارة في جيب صغير يقع قرب أعلى خزان المحولة ضمن الزيت الساخن، وكذلك يتوضع في هذا الجيب مسخن صغير يتغذى من محولة تيار في طرف التوتر المنخفض لأحد الأطوار، وينتج ارتفاع حرارة محلي مشابه لذلك الناتج عن الملفات الأساسية فوق حرارة الزيت العام، وهكذا يختبر العنصر الحساس درجة حرارة مشابهة لتلك في الملفات تحت جميع الشروط آخذا بالاعتبار آثار الحرارة المرتقبة وتاريخ التحميل السابق.

استخدمت سابقاً مقاييس حرارية ذات قرص مدرج تضم جهاز من نمط الضغط موصل عبر أنبوب إلى حوجلة في جيب الزيت وتملأ بسائل مناسب.

ويوجد نظام محسن في الريليه من نمط TTT , وهنا يكون العنصر الحساس عبارة عن مقاومة سيلوكونية حساسة للحرارة تدمج مع العنصر الحراري في كتلة حرارية للمادة المشكلة للتشكيل الكلي الحراري المطابق لملفات المحولة. يتوضع هذا التشكيل والذي يكون بشكل أسطوانة قصيرة, في جيب ضمن خزان المحولة تحت مستوى الخزان بحوالي 10 إنشات و المقدرة لتكون الطبقة الأسخن في الزيت كما هو مبين في الشكل (5-13).

تشكل المقاومة السليكونية Silistor أحد اذرع جسر المقاومات والذي يغذى من منبع dc وتفعّل إشارة الخرج اللامتوازنة أداة إشارة ويطبق توتر طرفي المقاومة السيليكونية على دارات تحسس ستاتيكية والتي تتحكم بمضخات التبريد القسري و بالمراوح وتعطي تحذيراً عن حالة زيادة الأنذار والفصل لهذه الميزة, يمكن إظهار حرارة الملفات المماثلة على جهاز dc مدرج بالدرجات المئوية ومركب محلياً أو بعيداً أو يمكن إعطاء إشارة عند كلا الموقعين.



الشكل (5-13) دارة حاكمة الحماية من زيادة الحمل على أساس حرارة الملفات

13-2-1 مكامل حرارة- زمن Temperature-Time Integrator

يتم الحصول على دقة أكبر في مراقبة المحولة عبر مكاملة الفترات التي تعرضت فيها المحولة إلى السخونة بدرجة حرارة محددة لفتح سجل عن تاريخ المحولة لأن التسخين يسبب انهيار العازلية. تستخدم في مكامل حرارة- زمن من نمط CTTT مقاييس كولوميتر (Coulometer) كهرليتية وعنصر القياس هو عبارة عن أنبوب شعري زجاجي مملوء بالزئبق. وتكون ثغرة الإشارة هي عبارة عن كهرليت. وعندما يمر تيار صغير حوالي 1μA عبر مقياس الكولومتر , ينتقل الزئبق من المصعد إلى المهبط بحيث يتحرك طرف العامود الزئبقي عبر لوحة التدريج في 10000 ساعة. تستخدم أربعة مقاييس كولوميتر والإشارة الواردة من جسر المقاومات في حاكمة الحماية من زيادة التسخين من نمط CTTT تطبق بواسطة دارات كشف مستوى مستقلة وحواكم خرج أنبوبية على الكولوميترات, ويتم ضبط الكواشف لتفصل عند درجات حرارة محددة, ويتم إستخدام إقفال متبادل موجب لضمان أن كولوميتراً واحداً فقط سيفعّل في أن واحد إذ يقيس كل كاشف

فقط في الحزمة بين قيمة المعايرة الخاصة لها وبين القيمة الأعلى اللاحقة وعادة فالحزم الحرارية المختارة هي :

100÷110 °C	10000 hours for full scale
110÷120 °C	10000 hours for full scale
120÷130 °C	1000 hours for full scale
130°C فما فوق	1000 hours for full scale

وهكذا سيدل الجهاز على الفترة التي استمرت فيها حرارة الملفات لكل حزمة من الحزم الحرارية, التي تكون كافية لتمكننا من القيام بتقدير درجة الحاجة إلى تعمير المحولة.

13-3 حماية زيادة التيار Over Current Protection

13-3-1 المنصهرات Fuses

تتم عموماً حماية محولات التوزيع الصغيرة بواسطة الفيوزات وهي الوسيلة الوحيدة للعزل الآلي, و ويجب أن تمتلك قيم عمل أعلى من تيار الحمل الأعظمي لكي تتحمل الفترات القصيرة لزيادة الحمل التي قد تحدث بسبب إقلاع المحركات مثلاً، ويجب أيضاً أن تتحمل المنصهرات تيارات اندفاع المغنطة الناتجة عند تفعيل المحولات وأكثر من ذلك فإن المنصهرات ذات سعة القطع العالية (HRC), وعلى الرغم من أنها سريعة جداً بالعمل عند تيارات الأعطال الكبيرة فإنها بطيئة جداً بالمقارنة مع تيارات أقل من ثلاثة أضعاف القيمة الإسمية وبالتالي فمثل هذه الفيوزات ستقوم بحماية منخفضة للمحولة وتستخدم فقط لحماية النظام عبر فصل المحولة المعطلة بعد أن يبلغ العطل مرحلة متقدمة. يبين الجدول (2-13) والذي يبين كمثال القيم الاسمية للمنصهرات المستخدمة لحماية المحولات ، وهناك فروق أساسية في الخواص الزمنية لمنصهرات HRC ذات الأنماط المختلفة.

جدول (2-13) المنصهرات المستخدمة لحماية المحولات

Transformer rating		Fuse	
kVA	Full load current (A)	Rated current (A)	Operating time at 3 × rating(s)
100	5.25	16	3.0
200	10.5	25	3.0
300	15.8	36	10.0
500	26.2	50	20.0
1000	52.5	90	30.0

13-3-2 حواكم زيادة التيار Over Current Relays (OC)

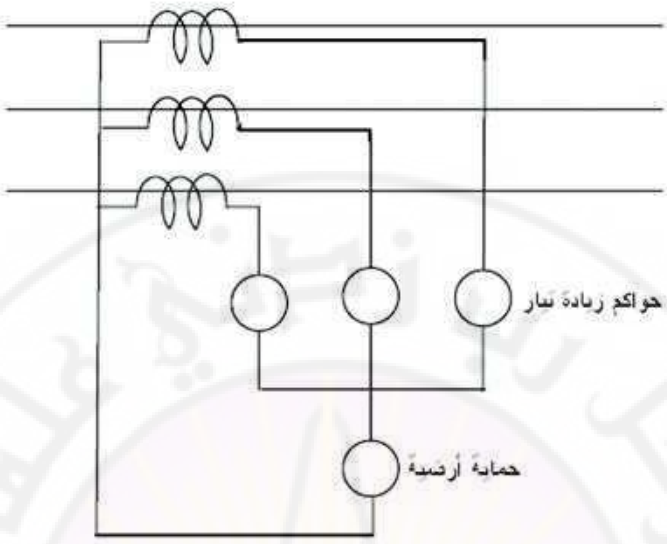
يمكن التحكم بالمحولات الأكبر ذات التوترات 100 kV وما فوق بواسطة القواطع الآلية وهي تزود بحماية من زيادة التيار OC على الأطوار الثلاثة وعلى الحيادي، وذلك كما هو مبين في الشكل(6-13) ويتم تحسين الحماية من خلال الإجراءين التاليين:

1-تجنب التأخيرات الزمنية الكبيرة للمنصهرات HRC لأجل تيارات الأعطال الأخفض، وتزود بعنصر فصل للعطل الأرضي, بالإضافة إلى خواص زيادة تيار OC

2-يجب اختيار خواص التأخير الزمني بحيث يتم التنسيق مع حماية الدارة على الجانب الثانوي ويمكن أن تضاف قواطع لحظية.

يتم اختيار معايرة التيار بحيث يتم تجنب العمل عند حدوث قصر على الطرف الثانوي , وبدلاً من ذلك يمكن أن تستخدم فيوزات HRC لتدعيم القاطع الآلي , وبما أن التنسيق الكامل مع حماية الدارة الثانوية ضروري فلا حاجة لأخذ قيمة عمل المنصهرة بالاعتبار، ومن المحتمل أن نحصل على التنسيق مع المنصهرات بقيم عمل بين 2÷6 مرات من تيار الحمل الكامل، وذلك وفقا لمفاعلة المحولة واستطاعة القصر للمنبع وحالة النظام الثانوي وحيد الدارة أم مجزأ إلى فروع عديدة لكل منها حماية مستقلة .

الوظيفة الأساسية للحماية اللحظية هي تأمين عزل دارات القصر عند النهايات بسرعة عالية, ويمكن بالتالي أن تكون الإعدادات بقيم عالية نسبياً.



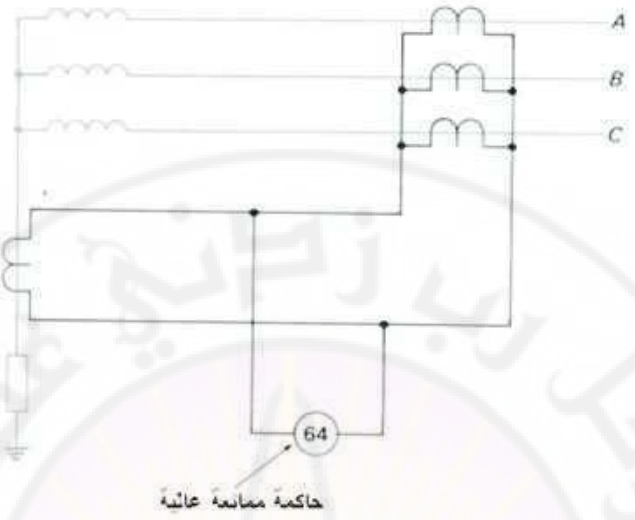
الشكل(6-13) حواكم حماية بالتيار الزائد على الأطوار الثلاثة و حاكمة على الأرضي

13-3-3 حماية العطل الأرضي المقيدة

Restricted Earth Fault Protection

لن تحقق الحماية من العطل الارضي ومن زيادة التيار OC حماية جيدة لملفات الابتدائي الموصلة نجمياً وخاصة إذا كان الحيادي مؤرضاً عبر ممانعة. وتحسّن درجة الحماية بشكل كبير عبر تطبيق نظام الوحدة التفاضلية للعطل الأرضي أو حماية عطل أرضي مقيد, كما هو مبين في الشكل (7-13) حيث يكون التيار المتبقي لمحولات التيار الثلاث للخط متوازناً ويؤخذ من ثانوي محولة تيار تركب على الناقل الحيادي والحاكمة المستخدمة من النمط عالي الممانعة، ويكون النظام فعالاً من أجل الأعطال ضمن المنطقة الواقعة بين محولات التيار, أي من أجل الأعطال على الملفات النجمية المعنية, وسيبقى النظام مستقراً من أجل جميع الأعطال خارج هذه المنطقة.

والتحسن في أداء الحماية لا يأتي فقط من إستخدام حاكمة لحظية بمعايرة منخفضة لكن أيضاً لأن تيار العطل يقاس بالكامل وليس فقط المركبة المارة في ملفات الابتدائي HV. برغم أن مستوى التيار المتوقع يتناقص عندما يقترب موضع العطل بشكل متزايد من الطرف الحيادي للملفات المحمية, فإن القانون التربيعي الذي يتحكم بتيار الخط الابتدائي



الشكل (7-13) حماية العطل الأرضي المقيدة للملفات النجمية

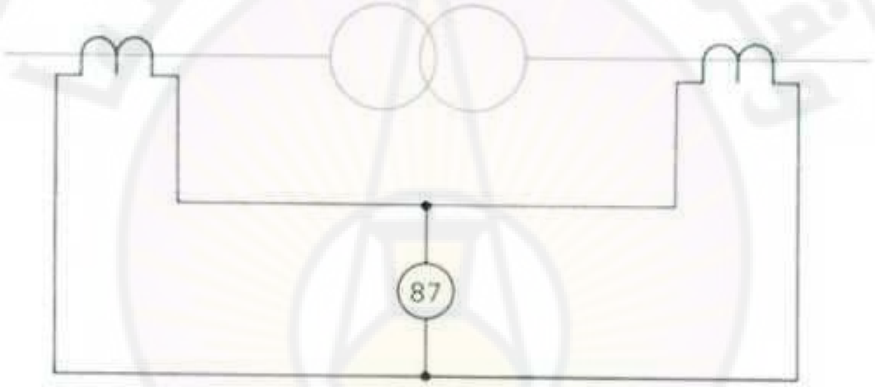
غير قابل للتطبيق, ومع وجود معايرة فعالة منخفضة يمكن تغطية نسبة جيدة من الملفات. تطبق حاكمة الحماية من العطل الأرضي المقيدة حتى عندما يكون الحيادي مؤرضاً بشكل مباشر طالما أن تيار العطل يبقى عند قيمة عالية حتى اللفة الأخيرة من الملفات (ويتم الحصول على تغطية كاملة بشكل حقيقي للأعطال الأرضية وهو ما يعد ميزة بالمقارنة مع أداء الأنظمة التي لا تقيس تيار الناقل الأرضي .

إن حماية العطل الأرضي المطبقة على الملفات الموصلة مثلثياً أونجمياً دون تأريض هي مقيدة ضمناً طالما أنه ليس هناك أي مركبة صفرية يمكن نقلها عبر المحولة إلى الجانب الثانوي. وهكذا يمكن استخدام حاكمة ممانعة عالية مؤمنة تشغيلاً سريعاً واستقراراً للأعطال الطورية.

يمكن حماية كلا ملفي المحولة بشكل مستقل باستخدام حماية عطل أرضي مقيدة بحيث تؤمن حماية عالية السرعة من الأعطال الأرضية لكامل المحولة مع استخدام تجهيزات بسيطة نسبياً .

13-4 الحماية التفاضلية Differential Protection

تعتمد أنواع العطل الأرضي المقيدة الموصوفة سابقا بشكل كلي على مبدأ كيرشوف الذي ينص على أن محصلة التيارات المارة في عقدة ما تكون معدومة, ويمكن أن يرتب النظام التفاضلي ليغطي المحولة كاملة، وهذا ممكن بسبب الكفاءة العالية لتشغيل المحولة والتساوي التام للأمبير لفة الناشئة في ملفات الابتدائي والثانوي، وذلك كما هو مبين في الشكل (8-13) ووفقا لهذا المبدأ تربط محولات التيار من الأطراف الابتدائية والثانوية لتشكل نظام تيار دائر.



الشكل(8-13) مبدأ عمل الحماية التفاضلية للمحول

13-4-1 الاعتبارات الأساسية للحماية التفاضلية للمحولة

أ- قيم العمل الأولية لمحولة تيار الخط

سنعتمد القيم الاسمية لتيارات الملفين الأولي والثانوي على الاستطاعة الاسمية MVA للمحولة وستتناسب عكسا مع التوترات الموافقة, ومن أجل المحولات ثلاثية الملفات سيعتمد التيار الاسمي على الاستطاعة الاسمية MVA للملفات الموافقة وهكذا يجب أن تملك محولات تيار الخط قيم عمل مساوية أو اعلى من التيارات الإسمية لملفات المحولة والتي تطبق عليها هذه الـCT وتكون قيم العمل الابتدائية محددة بتلك القيم القياسية لنسب تحويل الـCT .

مثلا يتم اختيار محولات تيار 1600/1A و200/1A لحماية الملفين 11kV/132kV لمحولة 30MVA .

ب- توصيلات محولات التيار

يجب أن ترتب توصيلات محولات التيار CTs حيث يكون ذلك ضروريا للتعويض عن فروق الطور على كل من جانبي محولة الاستطاعة، فإذا كانت المحولة موصلة (Δ/Y) كما هو مبين في الشكل (9-13) فإن التيار ثلاثي الطور المتوازن المار سيتعرض لفرق صفحة قدره 30° يجب تصحيحه من خلال اختيار التوصيلات المناسبة لثانويات محولات التيار .



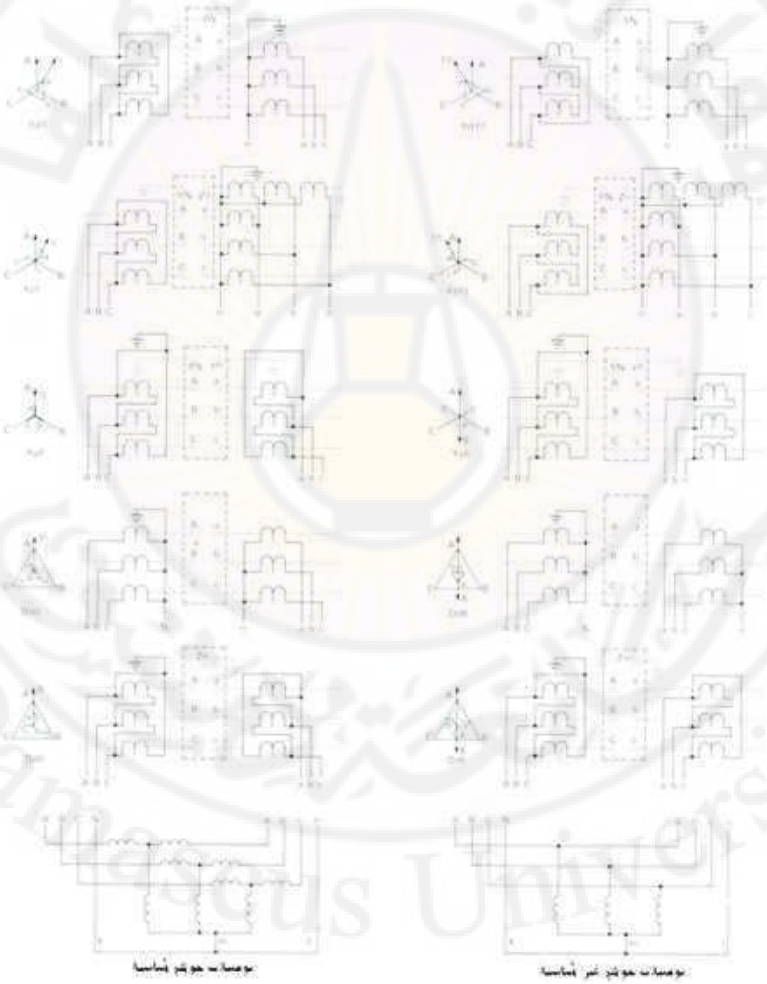
الشكل (9-13) الحماية التفاضلية لمحولة ثنائية الملفات موصولة مثلثي/نجمي

وأبعد من ذلك فإن التيار الصفري على الجانب النجمي لمحولة الاستطاعة لن ينتج تياراً خارج الدلتا في الجانب الآخر، وبالتالي يجب حذف المركبة الصفرية من الجانب النجمي بربط محولات التيار CTs مثلثيا، ومنه ينتج أن محولات التيار على الجانب المثلثي لمحولة الاستطاعة يجب أن توصل نجميا للحصول على إزاحة طورية 30° وهذه قاعدة عامة. إذا كانت المحولة مربوطة Y/Y فنحن بحاجة لربط محولات التيار على كلا الطرفين مثلثيا.

عند ما تكون محولات التيار موصلة مثلثيا يجب أن تخفض قيم عملها الثانوية بنسبة $1/\sqrt{3}$ مرة من قيمة العمل الثانوية لمحولات التيار الموصلة نجميا لكي تكون التيارات خارج الدلتا متوازنة مع التيارات الثانوية لمحولات التيار الموصلة نجميا. عندما تؤمن

نسب تحويل محولات تيار الخطCT توافقا كافيا بين التيارات المغذاة إلى الحاكمة التفاضلية تحت شروط الحمل والعطل فيمكن الحصول على الإزاحة الطورية الضرورية عبر توصيل مناسب لمحولات التيارCTs للخط. وعندما يطلب توصيل محولات التيار بشكل Δ فمن الشائع عمليا استخدام محولات تيار CT'S خط موصلة نجميا، ونحصل على توصيل Δ منها بواسطةCT محولات تيار وسيطة ذات توصيل Y/Δ،

يبين الشكل (10-13) تشكيلات محولات التيار لتوصيلات محولات استطاعة مختلفة.



الشكل (10-13) تشكيلات مختلفة لمحولات التيار لحماية محولات الاستطاعة

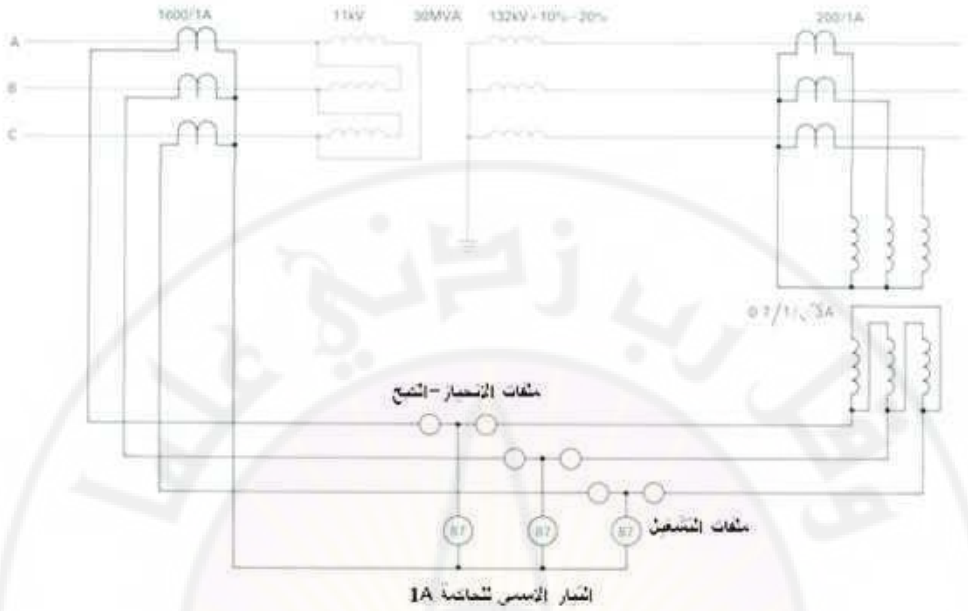
ج- محولات تيار CTs للتعويض عن عدم التوافق التام لمحولات تيار الخط

بالإضافة إلى إستخدامها للتعويض الطوري فإن الـ CT الوسيطة قد تستخدم لتوافق التيارات المغذاة إلى الحماية التفاضلية من الـCT الخط لكل ملف وكما تبين سابقا سنعتمد قيمة التوافق السيئ للـCT التي يمكن أن تسمح بها الحاكمة دون حدوث تشغيل خاطئ تحت شروط العطل المار ,على مميزات الانحياز له معلى المجال الذي يمكن أن يعمل فيه مبدل الوضعيات (T-Ch), فإذا كان التوافق السيئ الكلي الناجم عن الـCT وعن (T-Ch) فوق المستوى المقبول فعندها يمكن استخدام CT وسيطة لتحقيق توافق التيارات عند نقطة الوسط لمجال (T-Ch) من أجل محولة ثنائية الملفات, يجب أن توافق الـCT'S الوسيطة بشكل مثالي تيارات الحاكمة تحت شروط الحمل المار والموافقة لاستطاعة العمل MVA الأعظمية للمحولة.[14]

13-5 مسائل محلولة

مثال 13-5-1:

محولة استطاعة ثنائية الملفات نسبة تحويلها 11/132kV واستطاعتها 30MVA تمت حمايتها باستخدام حاكمة الحماية التفاضلية كما هو مبين في الشكل (11-13). نسب تحويل محولات التيار المستخدمة 1600A/1A و 200A/1A والمطلوب حساب تعييرات الحاكمة.



الشكل (11-13) حماية تفاضلية لمحولة ذات ملفين مع إستخدام محولة تيار وسيطة

الحل:

أولا: حسابات التيار:

تيار الحمل الكامل على جانب 11KV:

$$\frac{30\times10^6}{\sqrt{3}\times11\times10^3}=1575A$$

ويساوي هذا التيار على ثانوي محول التيار : 1575/1600 = 0.984

التيار على جانب 132KV وبوجود مبدل الوضعيات وعلى الوضعية (-5%):

$$\frac{30\times10^6}{\sqrt{3}\times0.95\times132\times10^3}=138A$$

ويساوي هذا التيار على ثانوي محول التيار : 138/200= 0.69

اذن التيارات الثانوية المكافئة كما تراها محولات تيار الخط CTs هي:

0.984A و 0.69A

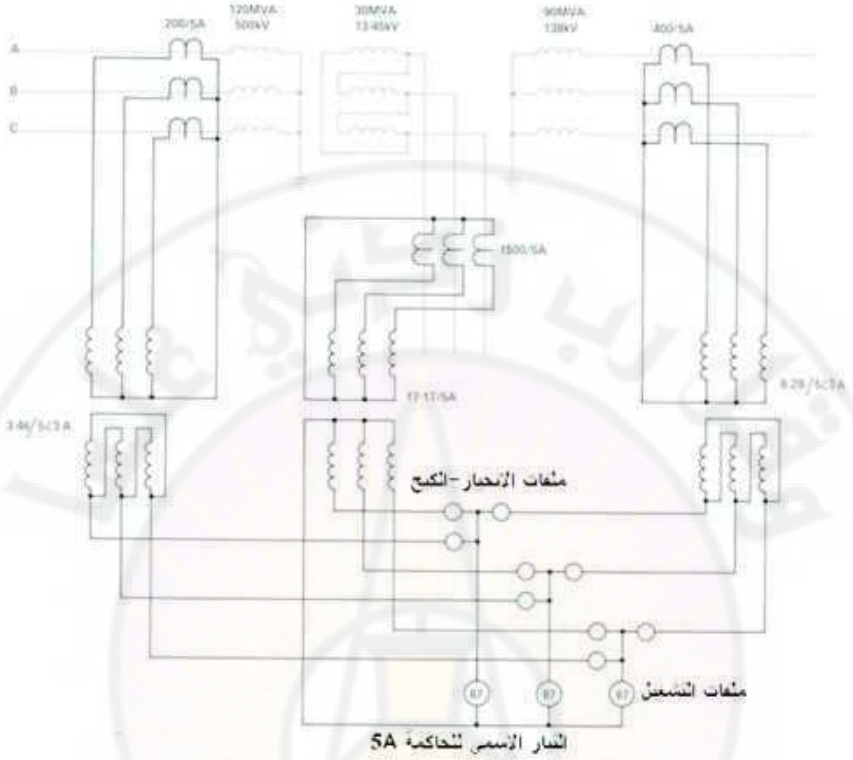
حيث نلاحظ عدم تساوي التيار المقارن على الجانبين الابتدائي والثانوي لمحول الاستطاعة ولتحقيق توافق مثالي نستخدم محولات تيار وسيطة Y/Δ ذات نسبة تحويل تعطى بالعلاقة التالية:

$$\frac{0.69}{0.984/\sqrt{3}} = \frac{0.70}{1/\sqrt{3}} or \frac{0.7}{0.577} A$$

وتزداد صعوبة حماية المحولات الثلاثية بسبب أن محول تيار الخط CT لكل ملف يعتمد على مستويات الاستطاعة MVA المختلفة، ولتحقيق توازن صحيح فمن الضروري استخدام CT وسيطة ستزود الحاكمة بتيار اسمي عندما تطبق قيم عمل أعظمية على جميع الملفات.

مثال13-5-2:

يبين الشكل (12-13) محول استطاعة ثلاثي الطور ثلاثي الملفات توصيلة ملفاته Y/Y/Δ نسبة تحويله 500/138/13.5kV واستطاعته 120 MVA ، 90MVA/30MVA/تمت حمايته باستخدام حاكمة الحماية التفاضلية والمطلوب حساب تعييرات الحماية.



الشكل (12-13)حماية تفاضلية لمحولة ذات ثلاث ملفات مع استخدام محولة مساعدة

الحل:

حسابات تيارات الملفات الثلاثة:

$$I_L(at500kV) = \frac{120\times10^6}{\sqrt{3}\times500\times10^3} = 138.6A$$

$$I_L(at138kV) = \frac{90\times10^6}{\sqrt{3}\times138\times10^3} = 376.5A$$

$$I_L(at13.5kV) = \frac{30\times10^6}{\sqrt{3}\times13.5\times10^3} = 1288A$$

ولذلك يتم اختيار نسب تحويل محولات تيار الخط المستخدمة وفق ما يلي:

عند 500 kV هي (200/5A)

عند 138 kV هي (400/5A)

عند 13.5 kV هي (1400/5A)

من أجل استطاعة 120 MVA فإن:

التيار على جانب 500 kV :

138.6 A

التيار على جانب 138 kV:

$$\frac{120\times10^{6}}{\sqrt{3}\times138\times10^{3}}=502A$$

التيار على جانب 13.5 kV:

$$\frac{120\times10^{6}}{\sqrt{3}\times13.5\times10^{3}}=5132A$$

تيار الثانوي على جانب 500 kV:

$$\frac{138\times5}{200}=3.46A$$

نسبة تحويل محولات التيارالوسيطة Y/Δ المطلوبة:

$$\frac{3.46}{5/\sqrt{3}}A=\frac{3.46}{2.89}A$$

تيار الثانوي على جانب 138 kV:

$$\frac{502\times5}{400}=6.28A$$

نسبة تحويل محولات التيار الوسيطة Y/Δ المطلوبة:

$$\frac{6.28}{5/\sqrt{3}}A=\frac{6.28}{2.89}A$$

تيار الثانوي على جانب 13.5 kV :

$$\frac{5132\times5}{1400}=18.32A$$

وبالتالي فإن نسبة تحويل محولات التيار الوسيطة Y/Y المطلوبة 18.32/5

13-6 الإنحياز لتغطية أخطاء مبدل الوضعيات وأخطاء محولات التيار CT

13-6-1 الإنحياز لمعالجة أخطاء مبدل الوضعيات

إذا كانت محولة الاستطاعة مزودة بمبدل وضعيات ذات مجال يمكنها من تغيير نسبة التحويل فيجب أخذ ذلك بالاعتبار في النظام التفاضلي، لأنه إذا تم اختيار محولات التيار لتتوازن من أجل نسبة التحويل الأساسية لمحولة الاستطاعة فإن تغيرا في نسبة التحويل عن القيمة الأساسية سيولد حالة عدم توازن متناسبة مع تغير نسبة التحويل وعند تيار عطل أعظمي فقد يكون الخرج التسربي الناتج عن النسبة الصغيرة اللاتوازنية كبيرا جدا.[5]

يجب أن تزود الحماية التفاضلية بانحياز مناسب بقيمة تتجاوز بالنتيجة انحراف نسبة التحويل الأعظمي وهذا يجعل الحماية مستقرة تحت شروط العطل العابر بينما يستمر بالسماح للنظام من أن يمتلك حساسية جيدة.

يبين الشكل (13-13) خواص الانحياز لحماية تفاضلية نموذجية ومنها نرى أن التيار المطلوب لتشغيل الحاكمة يزداد كلما ازداد تيار العطل المار.



الشكل(13-13) خواص الإنحياز

عند تطبيق حاكمة تفاضلية يجب الانتباه إلى أن مميزاتها ستمنع التشغيل الناجم عن مبدل الوضعيات والتوافق السيئ لمحولات التيار CT، وللتقليل من أثر تغير الوضعيات يتم ضبط دخول التيار إلى الحاكمة التفاضلية عند نقطة الوسط لمجال الوضعيات.

13-6-2 تغطية أخطاء الحماية التفاضلية لمحول استطاعة ثلاثي الملفات

عندما تكون محولة الاستطاعة موصلة إلى منبع تغذية عبر واحد فقط من ملفاتها الثلاثة فيما يغذي الملفان الآخران أحمالا عند توترات مختلفة ,يمكن هنا إستخدام حاكمة من نفس تصميم الحاكمة المستخدم مع محولة الملفات الثنائية وتوصل كما في الشكل (13-14-a) ويتم جمع تيارات الأحمال المستقلة في الدارات الثانوية لمحول التيار.CT وستتوازن مع تيار التغذية على جانب منبع التغذية.

عندما يكون أكثر من ملف موصلا إلى منبع فلا يمكن تحديد توزع التيار بسهولة وهناك خطر في النسق المبين في الشكل (13-14-a) من التيار الدائر بين مجموعتي محولات التيار المربوطة تفرعيا دون ظهور أي إنحياز وهكذا فمن المهم الحصول على الإنحياز بشكل مستقل عن جريان التيار في كل مجموعة من توصيلات الخط. وفي هذه الحالة تستخدم الحاكمة مع ملفات إنحياز مستقلة مرتبة بحيث أن آثارها الميكانيكية أو الكهربائية تضاف دوما بشكل عددي أي غير شعاعي لتعطي أثر إنحياز كلي وهذا مبين في الشكل (13-14- b)

ولا تطبق هذه الاعتبارات عند ما يكون الملف الثلث مربوطاً Δ داخليا دون أخذ أي توصيلات للخارج. ويجب النظر لمثل هذا الترتيب باعتباره محولة ثنائية الملفات لأجل أغراض الحماية ويمكن أن تحمى كما في الشكل (13-14-c).

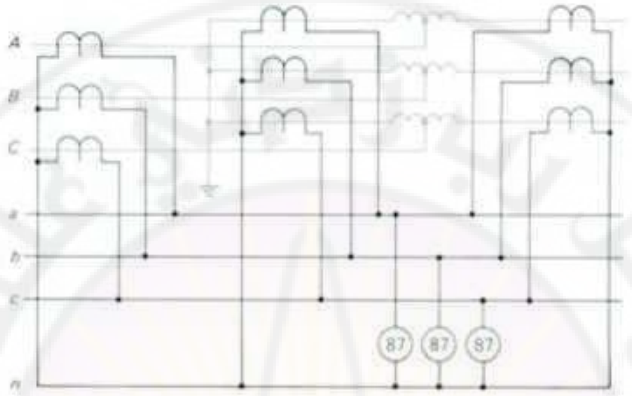


الشكل (14-13) مخطط الخط الواحد لتشكيلات الحماية التفاضلية المنحازة

13-7 حماية المحولة الذاتية Auto-Transformer Protection

تستخدم المحولات الذاتية أحياناً لربط شبكات القدرة عالية التوتر EHV إذا كانت النسبة بين توتراتها متوسطة, ويمكن استخدام الحماية التفاضلية، ولكن كبديل يمكن أن تصمم الحماية على أساس قانون كيرشوف وهو أن محصلة التيارات الخارجة إلى الشبكة صفر, وباستخدام نظام تيار دائر بين محولات ذات نسب تحويل متساوية في مجموعتي توصيلات الخط و توصيلات الحيادي واستخدام محولة تيار على الحيادي فإنها توصل مع كافة محولات التيار على الخط على التفرع مع حاكمة عنصر وحيد, ما يؤمن نظام حماية حساس للأعطال الأرضية فقط وإذا وضعت محولات تيار في كل طور عند

الطرف الحيادي للملفات واستخدمت حاكمة ثلاثية الطور فيمكن تأمين نظام تفاضلي يحقق حماية كاملة للأعطال الطورية والأرضية وذلك كما هو مبين في الشكل (15-13).



الشكل (15-13) حماية المحولة الذاتية بحاكمة تفاضلية ذات محارضة عالية

الحواكم المستخدمة في الدارة من النمط اللامنحاز اللحظي عالية الممانعة وهي مشابهه للحواكم المستخدمة لحماية العطل الأرضي المقيد. ويمكن أن تكون هذه الحماية ذات حساسية جيدة وسرعة عالية, وهي لا تتأثر بتغيرات نسبة التحويل على المحولة الناجمة عن مبدل الوضعيات وهي محمية من تأثيرات تيار اندفاع المغنطة.

من جهة أخرى فإن هذه الدارة لن تستجيب لأعطال ما بين اللفات وهو يمثل أحد المساوئ. ومثل هذه الأعطال إذا لم تعزل بطرق أخرى فإنها ستتطور إلى أعطال أرضية مما يسبب ضرراً كبيراً للمحولة، كذلك لا تستجيب هذه الدارة لأي عطل على الملف الثالثي , ولا تكون عادة الملفات الثالثية الموصلة Δ وغير المحملة محمية, و بدلاً من ذلك يمكن أن تؤرض ملفات Δ عند نقطة واحدة عبر محولة تيار تشغل حاكمة لحظية، ويجب أن يفصل النظام عن حماية الملف الأساسي, و إذا كانت أسلاك مرابط تأريض الملف الثالثي موصلة إلى حيادي الملف الأساسي عبر محولات تيار الحيادي بغرض الحصول على نظام موحد , فقد تنشأ نقاط عمياء لا تغطيها الحماية.

13-8 حماية محولة التأريض

Earthing Transformer Protection

تشير الدارات السابقة إلى محولة تأريض موصلة ضمن منطقة الحماية للمحولة الأساسية, وعندما تكون الحالة غير ذلك فإنها تتطلب أيضاً حماية خاصة وفق ما هو مبين في الشكل(16-13), حيث توصل محولات التيار والموصلة Δ إلى ثلاث حواكم تيار زائد OC من النمط IDMT والعمل الطبيعي لمحولة التأريض هو تمرير تيار المركبة الصفرية, حيث يدور التيار المار المكافئ في توصيلة Δ المشكلة من ثانويات محولات التيار CTs دون أن يشغل الحاكمات و يمكن أن تعاير هذه الحاكمات لتؤمن حماية حساسة و سريعة من الأعطال في محولة التأريض نفسها.



الشكل (16-13) حماية محولة التأريض

13-9 الحماية التفاضلية الرقمية للمحولات طراز KBCH

الحماية KBCH حماية متكاملة تحوي جميع أنواع نظم الحمايات والتحكم. التي تمكنها من حماية المحولات والمولدات وهي متوفرة بعدة نماذج لكل منها مجال استخدام مفضل:

النموذجKBCH-120 :

لهذه الحماية قاعدتا دخل لكل طور وهي خاصة لحماية محولات القدرة ذات الملفين.

النموذج KBCH-130:

لهذه الحماية ثلاث قواعد دخل لكل طور وهي خاصة لحماية محولات القدرة ذات الثلاث ملفات، أو محولات القدرة التي تحوي ملفين ثانويين لكل ملف ابتدائي.[5]

النموذج KBCH-140:

لهذه الحماية أربع قواعد دخل لكل طور وتستخدم لكل التطبيقات التي تتطلب قياس التفاضل لأربع دارات تيار.

لجميع هذه النماذج مدخل تيار أما (1A) أو (5A) ما عدا النموذجين 140-120 فيمكن أن يكون تيار الدخل (1A) من جهة التوتر العالي و تيار الدخل (5A) من جهة التوتر المنخفض، وتقوم KBCH بحماية محولات الاستطاعة أو محولات المولدات أو المحولات الذاتية ذات الملفين أو ذات الثلاثة ملفات وذلك اعتماداً على تفاضل التيار، زيادة التيار، الأعطال الأرضية الاتجاهيّة.

وهي مناسبة لكل التطبيقات التي تكون فيها الحماية التفاضلية واجبة الاستخدام وأن كل النماذج سابقة الذكر ثلاثية الأطوار وتتضمن مجموعات توصيل داخلية تقوم بعمل محولات التطابق الخارجية (Matching Transformer). ويصل عدد مداخل تيار التفاضل فيها حتى أربعة مداخل لكل طور ويمكن أن تستخدم في محولات الاستطاعة التي يزيد عدد ملفاتها عن اثنين أو التي تحوي أكثر من قاطع آلي لكل ملف كما يمكن أن تستخدم في تنظيم قضبان التجميع ذات القاطع ونصف. تيارات الدخل للحاكمة (1A) للتوتر العالي و(5A) للتوتر المنخفض وتحمي من عطل التيار الأرضي الاتجاهي، وتتضمن تغطية نسبة كبيرة من ملفات المحولات. إن الحماية التفاضلية مصممة بحيث تكبح عندما تكون الحماية بحالة زيادة حمل لذلك لن ترسل إشارة الفصل الفوري بحالة زيادة الحمل الآني. وطالما أن المحولة لا تستطيع تحمل حالة زيادة الحمل الشديد بشكل غير محدود فإن التأخير الزمني لحاكمة الحماية من زيادة الحمل ودرجة الإنذار يكونان منفصلين. يمكن أن توصل التماسات التي تراقب الوضع الراهن للنهايات

الخارجية لحماية بوخولز أو أدوات قياس درجات الحرارة بأي من المداخل الثمانية للحاكمة، وكل مدخل يوصل إلى عدد من الحواكم الخارجية عن طريق أزمنة تأخير مختلفة إذا تطلب ذلك، يمكن أن تسجّل وظائف كل من هذه المداخل المساعدة على جدول يلصق على الواجهة الأمامية للحاكمة.

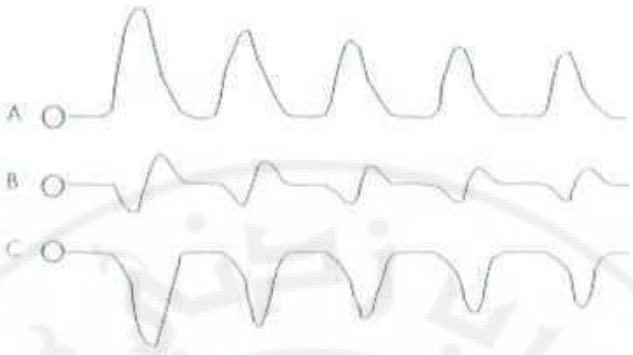
للحاكمة أيضا ثمانية مخارج قابلة للبرمجة وكل من هذه المخارج يشمل في الحماية على تماس طبيعي واحد مفتوح يمكن إعادة تعينيها من قبل المستخدم.

تزود كل حاكمة بعنصر انحراف تفاضلي أساسي لكل طور وأقل تيار تفاضلي مطلوب لعمل الحاكمة يمكن اختياره بين % (50- 10) من التيار الاسمي للمحولة الرئيسية، ولضمان تحسس العطل يسمح بزيادة عدم التوازن حتى 15% عند الحد الأقصى لوضعية منظم التوتر، بالإضافة إلى أخطاء نسبة تحويل محولات التيار.

عند تيارات أكبر من التيار الاسمي تظهر تدريجيا أخطاء نسبة التحويل بسبب تشبع محولات التيار وعندئذٍ يزداد ميل منحني الإنحراف التفاضلي حتى 80% لتعويض ذلك، كما تحتوي الحاكمة على عنصر تيار المغنطة للمحولة وعنصر زيادة الشدة الانتقائي، وهما يستخدمان لمنع الحاكمة من العمل غير المطلوب في هذه الحالات.

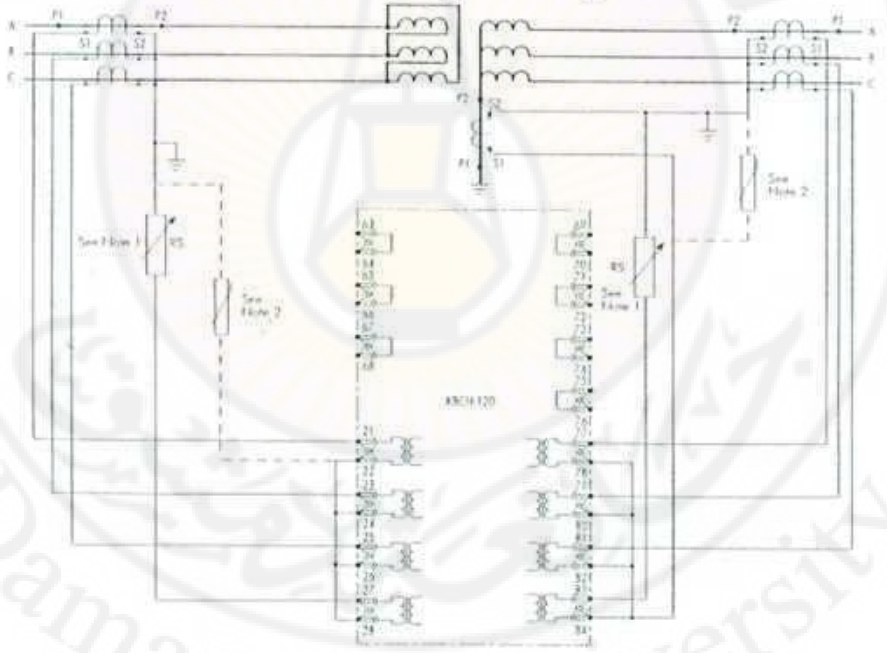
يسبب تشبع محولات التيار التابعة للمحولة الرئيسية نشوء التوافقية الثانية وإستخدامها لفرملة عمل الحاكمة عند ظهور تيار المغنطة للمحولة يمكن أن يسبب تباطؤ عمل الحاكمة عند حدوث الأعطال الداخلية الكبيرة، ومن أجل التغلب على ذلك فإن الحاكمة تستخدم تقنية على شكل الموجة الأساسية.

يبين الشكل (17-13) أمواج تيار المغنطة للمحولة التي تتصف بأن زمن الدور مطابق لنصف الدور الجيبي الأساسي وحيث إن زمن الأعطال صغير جداً فإنه يمكن تمييز حالة المغنطة بقياس زمن هذا الدور للتيار الصغير. أما الفرملة عند زيادة الشدة فهي مشروطة بوجود نسبة مئوية من تيارات التوافقية الخامسة من موجة التيار.



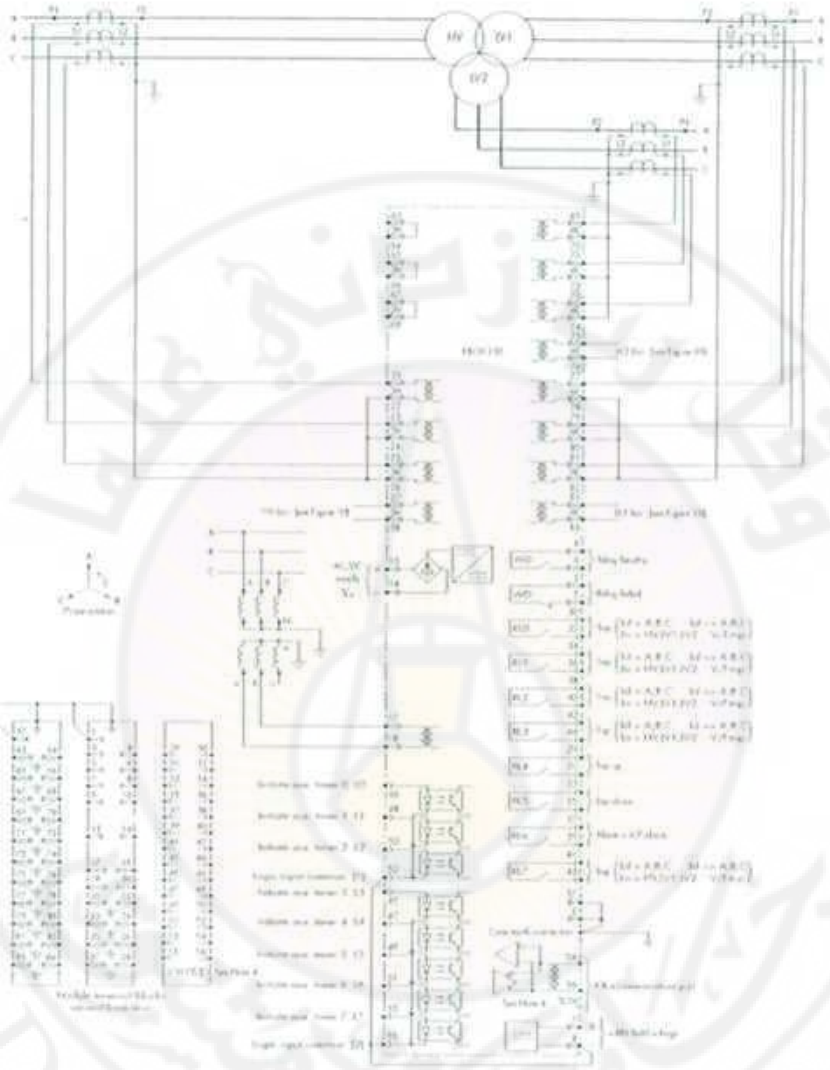
الشكل(17-13) أمواج تيار المغنطة للمحولة

يبين الشكل (18-13) مخططا نموذجيا لاستخدام حاكمة الحماية التفاضلية الرقمية KBCH لحماية محول ثلاثي الطور ثنائي الملفات من الأعطال الأرضية.



الشكل(18-13) استخدام الحماية التفاضلية الرقمية لحماية المحول ثنائي الملفات

كما يبين الشكل(19-13) استخدام الحماية التفاضلية الرقمية لحماية محول ثلاثي الطور ثلاثي الملفات



الشكل(19-13) استخدام KBCH لحماية محول ثلاثي الطور ثلاثي الملفات

مثال 13 -9-1: الحماية التفاضلية الرقمية KBCH-120

محول ثلاثي الطور ثنائي الملفات موصل Dyn1 استطاعته 20 MVA ونسبة تحويله 33/11 kV . سوف تتم حمايته باستخدام حاكمة الحماية التفاضلية KBCH مع محولات تيار على جانبي محول الاستطاعة، نسبة تحويل محولات التيار المستخدمة فيها على

جانب التوتر العالي HV CT ratio=400/1 ، ونسبة تحويل محولات التيار على جانب التوتر المنخفض LV CT ratio= 1500/1 والمطلوب ما يلي:

1-ارسم مخططاً رمزياً لدارة الحماية التفاضلية المستخدمة وبين عليها قيم التيارات على جانبي الحماية التفاضلية والبرمجيات المستخدمة لمعالجة فرق الصفحة بين الجانبين.

2-كيف تعالج فرق التيار بين جانبي المحول لكي تتمكن حاكمة الحماية التفاضلية من المقارنة الصحيحة.

الحل:

الطلب الأول

نختار توصيلة Yyo لمحولات تيار جانب التوتر العالي HV CTs وتوصيلة Yd11 لمحولات تيار جانب التوتر المنخفض، وبالتالي ستكون التيارات المارة في ابتدائيات وثانويات محولات التيار على جانبي المحول كما يلي:

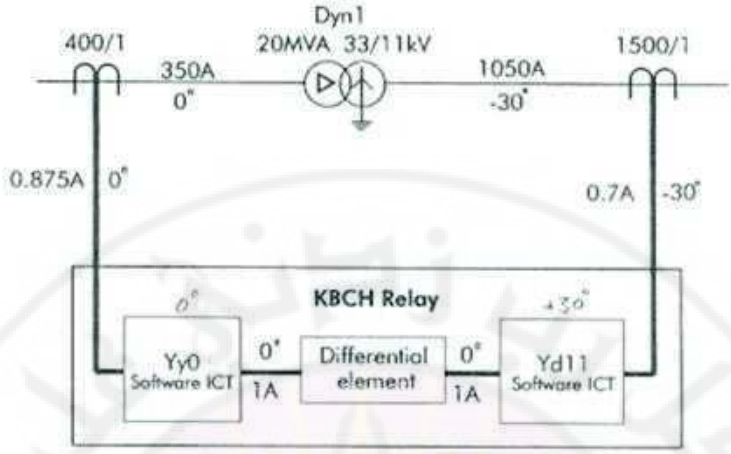
$$\text{33kV full load current} = \frac{20\ \text{MVA}}{33\text{kV}\sqrt{3}} = 350\ \text{Amps}$$

$$\text{Secondary current} = 350 \times 1/400 = 0.875\ \text{Amps}$$

$$\text{11kV full load current} = \frac{20\ \text{MVA}}{11\text{kV}\sqrt{3}} = 1050\ \text{Amps}$$

$$\text{Secondary current} = 1050 \times 1/1500 = 0.7\ \text{Amps}$$

وتظهر هذه القيم على دارة الحماية التفاضلية وذلك كما هو مبين في الشكل (20-13)



الشكل(20-13) الحماية التفاضلية الرقمية لمحول استطاعة ثلاثي الطور ثنائي الملفات

الطلب الثاني:

يتم تصحيح تياري الثانوي بالنسبة إلى التيار الاسمي للحاكمة وهو في حالتنا هذه 1A وفق مايلي:

عامل تصحيح النسبة على جانب التوتر العالي: $1/0.875 = \mathbf{1.14}$

عامل تصحيح النسبة على جانب التوتر العالي: $1/0.7 = \mathbf{1.43}$

تطبق هذه النسب النهائية على الحاكمة.

عندما تبديل توصيلة محولات التيار لتوصيلات نجمي / دلتا لانأخذ بالاعتبار العامل $\sqrt{3}$ الذي تسببه ملفات دلتا.

مثال 13-9- 2: تعويض النسبة بوجود مبدل الوضعيات

Ratio Compensation with Tap Changer

عند اختيار عوامل نسب التوصيل للعنصر التفاضلي لحاكمة الحماية التفاضلية الرقمية بوجود مبدل الوضعيات يجب اختيار التعييرات التفاضلية المثلى، ولتبسيط الموضوع يمكن اتباع الطريقة التالية:

1-احسب تيار الحمل الكامل على جانب التوتر العالي HV عند توتر منتصف المآخذ و تيار الحمل الكامل على جانب التوتر المنخفض LV .

2- اختر تعيير تعويض النسبة من أجل التيار الاسمي للحاكمة I_n والمبدل على وضع الوسط.

3- احسب تيار الحمل الكامل على جانب التوتر العالي HV عند النهايتين الحديتين للمبدل.

4- احسب التيار التفاضلي I_{diff}عند النهايتين الحديتين للمبدل (تصحيح وضع الوسط)

5- احسب تيار الانحياز I_{bias} عند النهايتين الحديتين للمبدل (مع تصحيح وضع الوسط)

$I_{bias}= (I_{RHV} + I_{RLV})/2$

حيث يمثل I_R تيار الحاكمة بعد تطبيق تعويض النسبة.

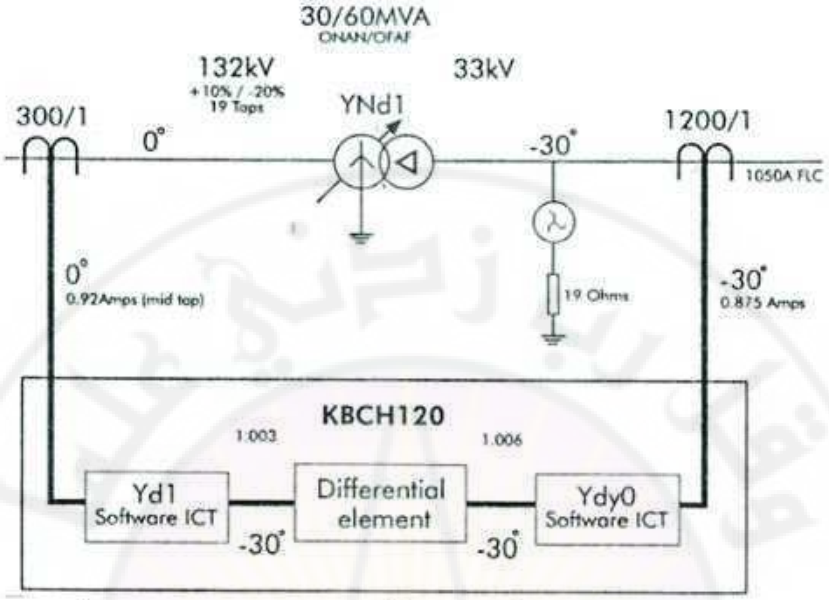
6- أحسب تيار تشغيل الحاكمة I_{op}:

$I_{op} = I_s + 0.2\ I_{bias}\ (I_{bias} < In\ )$

7- اختبر أن $I_{diff} < I_{op}$ بهامش 10% عند كل نهاية حدية وعيّر عندما يكون ضروريا.

مثال 13 -9-3: تعيير الحماية التفاضلية الرقمية بوجود مبدل الوضعيات

محول قدرة كهربائية موصل YNd1 استطاعته ONAN/ONAF 30/60 MVA مزود بمبدل وضعيات ذات / 19/ وضعية مجاله (20% -/ 10%+) على جانب التوتر العالي 132kV مزود بملف موصل ZIG-ZAG على جانب دلتا لمحول الاستطاعة تمت حمايته باستخدام حاكمة حماية تفاضلية مغذاة عن طريق محول تيار على جانب التوتر العالي نسبة تحويله (300/1) ومحول تيار على جانب التوتر المنخفض نسبة تحويله 1200/1، وذلك كما هو مبين في الشكل (21-13) والمطلوب تعيير تيار عنصر التفاضل للحاكمة آخذا بالاعتبار تأثير مبدل الوضعيات.



الشكل(21-13) الحماية التفاضلية لمحول قدرة مزود بمبدل مآخذ

الحل:

19 Tap position = 18 Tap increments; Tap 1 = +10%,
Tap 19 = - 20%

زيادة المأخذ الواحد = (10% - (20%))/18 = 1.67%

مجال المأخذ الأوسط = 132 kV x [100 + (10-20)/2]/100 = 95% of 132 kV
= 125.4 kV = (Tap No. 10)

الخطوة الأولى:

سوف نقوم بحساب تيار الحمل الكامل على جانب التوتر العالي HV عند توتر منتصف المآخذ و تيار الحمل الكامل على جانب التوتر المنخفض LV، تيار الحمل الكامل على جانب التوتر العالي:

$$\text{HV FLC on Tap 10} = \frac{60 \times 10^3}{125.4 \times \sqrt{3}} = 276\text{A Primary}$$

$$= 276 \times 1/300\text{A Secondary}$$

$$= 0.92\text{A secondary}$$

تيار الحمل الكامل على جانب التوتر المنخفض:

$$\text{LV FLC} = \frac{60 \times 10^3}{33 \times \sqrt{3}} = 1050\text{A Primary}$$
$$= 1050 \times 1/1200\text{A Secondary}$$
$$= 0.875\text{A secondary}$$

الخطوة الثانية:

سوف نقوم بتعيير تعويض النسبة من أجل التيار الاسمي للحاكمة I_n والمبدل على وضع الوسط. وبالتالي فان عامل تعويض نسبة تحويل جانب التوتر العالي HV المطلوبة هي:

1/0.92

الخطوة الثالثة:

سوف نقوم بحساب تيار الحمل الكامل على جانب التوتر العالي HV عند النهايتين الحديتين:

$$\text{HV Full load current on tap 1 (10\%)} = \frac{60 \times 10^3}{132 \times 1.1 \times \sqrt{3}} = 293\text{A Primary}$$
$$= 239 \times 1/300 \text{ Amp secondary}$$
$$= 0.797\text{A secondary}$$
$$\text{HV corrected current on tap 1} = 1.09 \times 0.797 = 0.869 \text{ Amps}$$
$$\text{HV Full load current on tap 19 (–20\%)} = \frac{60 \times 10^3}{132 \times 0.8 \sqrt{3}} = 328\text{A Primary}$$
$$= 328 \times 1/300 \text{ Amp secondary}$$

الخطوة الرابعة:

حساب التيار التفاضلي I_{diff}عند النهايتين الحديتين للمبدل (مع تصحيح وضع الوسط)

تيار جانب التوتر المنخفض = $0.875 \times 1.15 = 1.006$ Amper

I_{diff} at tap 1 $= 1.006 - 0.869 = 0.137$ A

I_{diff} at tap 19 $= 1.191 - 1.006 = 0.185$ A

الخطوة الخامسة:

حساب تيار الانحياز I_{bias} عند النهايتين الحديتين للمبدل (مع تصحيح وضع الوسط)

$$I_{bias} = (I_{RHV} + I_{RLV})/2$$

تيار الإنحياز عند Tap_1 $= (0.869 + 1.006)/2 = 0.9375$ Amps

تيار الإنحياز عند Tap_{19} = (1.191 + 1.006)/2 = 1.0985 Amps

الخطوة السادسة:

حساب تيار تشغيل الحاكمة I_{op} :

تيار العمل عند Tap_1 وعند تيار إنحياز 0.9375 Amps و Is=0.2

$I_{op} = I_s + 0.2\ I_{bias} = 0.2 + 0.2 \times 0.9375 = 0.3875$ A

تيار العمل عند Tap_{19} وعند تيار إنحياز 1.0985 Amps و Is=0.2

$I_{op} = Is + 0.2 + (I_{bias} - 1.0) \times 0.8 =$

$= 0.2 + 0.2 + (1.0985 - 1) \times 0.8 = 0.4788$

الخطوة السابعة:

اختبار أن $I_{diff} < I_{op}$ بهامش 10% عند كل نهاية حدية وعير عندما يكون ضروريا.

Tap1= Since I_{diff} = 0.137 A and 0.9 I_{op} at tap1

= 0.9 x 0.3875 = 0.349 A

لذلك هناك أمان كاف عندما تكون Is = 0.2

Tap19= Since I_{diff} = 0.185 A and 0.9 I_{op} at tap1

= 0.9 x 0.4788 = 0.431 A

لذلك هناك أمان كاف عندما تكون Is = 0.2

13-10حمايات أخرى لمحولات الاستطاعة

13-10-1 عنصر تعيير تيار القطع التفاضلي

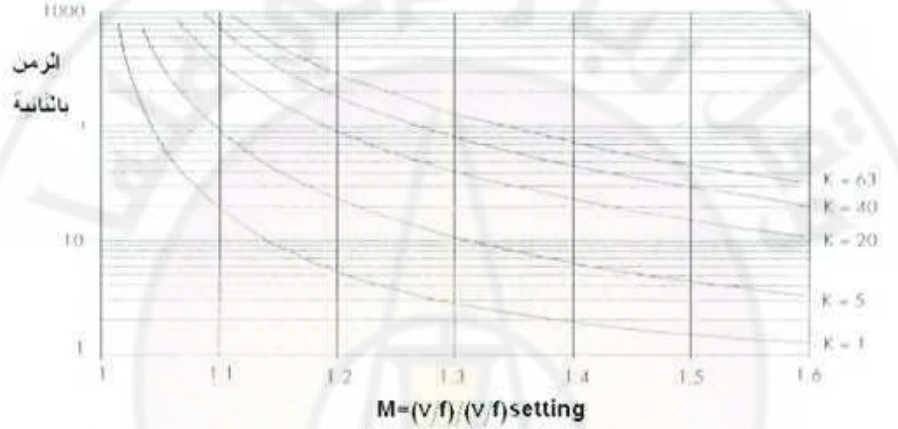
يتم تزويد الحاكمة بعنصر تعيير تيار القطع التفاضلي الآني من أجل الفصل السريع للأعطال الشديدة، ويستخدم بشكل أساسي لقياس مطالات الذروة من أجل ضمان العمل السريع للحاكمة عند الأعطال الداخلية عندما تكون محولات التيار مشبعة.

13-10-2 حماية العطل الأرضي الإتجاهي

يمكن الحصول على حساسية عالية للأعطال الأرضية من خلال حماية العطل الأرضي الاتجاهي للحماية من القصر مع الأرض وعملية فصل كل ملف على حده، ويتم ذلك من خلال ربط مقاومة تثبيت خارجية محمولة خارج الحاكمة.

13-10-3 حماية من زيادة المغنطة (إنذار وفصل)

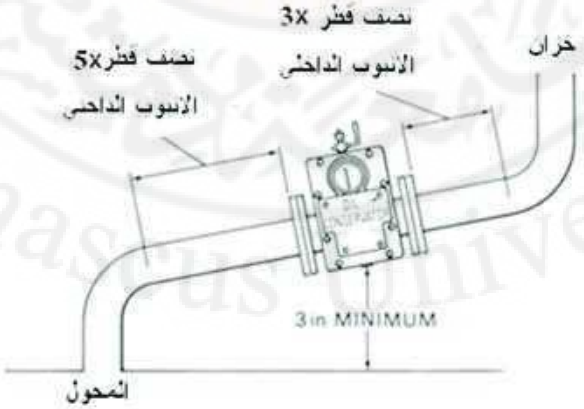
تزود الحاكمة بمدخل للتوتر من أجل كشف زيادة الاستطاعة، وكذلك بمنحنيات الإنذار والفصل المبنية على قياس نسبة التوتر/ التردد، وتتم عملية الأنذار بتأخير زمني محدد بينما يمكن إختيار زمن الفصل آنيا أومن منحنيات الزمن العكسية كما هو مبين في الشكل(22-14).



الشكل(22-13) خواص الزمن العكسية لتشبع السيالة المغناطيسية

13-10-4 حماية بوخولز Bucholz Protection

توضع حاكمة بوخولز في علبة مسبوكة و تربط هذه العلبة في الأنبوب المؤدي إلى الخزان كما في الشكل (23-13).



الشكل (23-13) حاكمة بوخولز

تحتوي حاكمة بوخولز النموذجية على فواشتين من الألمنيوم كل منهما تتوازن بحيث إنه مع كون الجهاز مملوءاً بالزيت تماما، فإن الفواشتين سيكون لهما الوضعية العليا وكل فواشة تتصل بمفتاح زئبقي، حيث تكون العلبة ممتلئة بالزيت في الحالة الطبيعية وتطفو الفواشة على سطح الزيت، و تكون المفاتيح الزئبقية مفتوحة. عند ارتفاع درجة الحرارة يتبخر الزيت وبالتالي سينخفض منسوبه وتنخفض الفواشة بحيث تغلق التماس الزئبقي الأول في دارة الإنذار ويحدث تشغيل مشابه إذا أدى وجود شق في جسم المحولة إلى انخفاض في مستوى الزيت و عندها ستعطي التجهيزات إنذاراً ، وكذلك الأمر بالنسبة لحالات العطل التالية:

1- بقع ساخنة على القلب الناجمة عن قصر في العازلية.

2- فشل عازلية البراغي للقلب.

3- الوصلات معطلة.

4- أعطال ما بين اللفات أو أعطال الملفات الأخرى المتضمنة تغذية استطاعة منخفضة فقط.

5- فقدان الزيت الناجم عن التسريب.

عند حدوث عطل كبير في الملفات يتبخر الزيت بكمية أكبر، ويؤثر على الفواشة الثانية التي تعمل على عزل المحولة، ويتم هذا الفعل من أجل:

1-كل الأعطال المباشرة للملفات إما مع الأرض أو بين الأطوار.

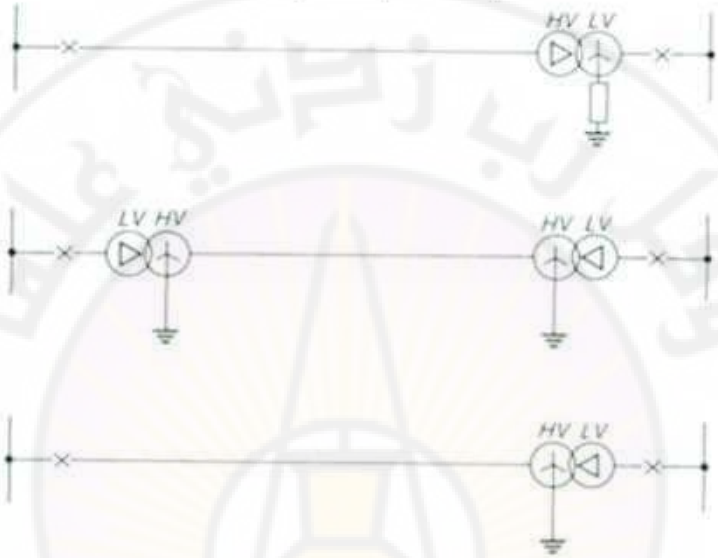
2-فقدان الزيت إذا سمح له باستمراره لدرجة خطيرة.

تزود الحاكمة عادة بنافذة معاينة على أي طرف من فراغ تجميع الغاز التي عبرها يمكن مراقبة مستوى الزيت , و قد يساعد ذلك على تحليل العطل , فمثلاً إذا كان لون الغاز أبيض أو أصفر فإن العازلية تكون قد حرقت أما إذا كان لونه رمادياً أو أسود فهذا يعني انهيار الزيت، ويكون الغاز بهذه الحالة سريع الاشتعال إذا لم يتم إطلاقه بالهواء لذلك تزود الحماية بعلبة يتم فيها تجميع الغاز و سحبه من أجل التحليل باستخدام قطعة من المطاط الأنبوبي مثبتة فوق فوهة الإطلاق. عندما تركب الحاكمة فمن الضروري التأكد من أن الغاز سيعبر بحرية إلى الأنبوبة، وكذلك التأكد من اتجاه السهم على العلبة بحيث

يشير في الأنبوب الذي يجب أن يميل للأعلى عن المحولة إلى الخزان بزاوية قدرها خمس درجات و لتجنب الاضطرابات التي قد تحصل الأمر الذي يغير من الحساسية الفعالة بدلالة معدل سرعة الزيت , و يجب أن يكون الأنبوب مستقيما على الأقل لمسافة تساوي خمسة أضعاف قطر الأنبوب على جانب المحولة وعلى الأقل ثلاثة أضعاف قطر الأنبوب على جانب الخزان , و بشكل خاص مع وجود محولات ضخمة ذات مبردات مستقلة و دوران قسري , وهذا يتسبب بضغط الزيت وإجهاد المضخات لتمدد في أنابيب المشع وهذا يقود إلى جريان الزيت في أنبوب الخزان , و يجب ألا تعمل حاكمة بوخولز في هذه الحالة عندما يتم تنظيف الزيت عبر تدويره بجهاز طرد مركزي أو فلترة كجزء من الصيانة الدورية فستحدث تهوية مع ما ينتج عنها من كون الهواء سينطلق و يتجمع في حاكمة بوخولز , وهكذا فمن الضروري فصل دارة الفصل مع ترك دارة الإنذار فقط بينما يتم التعامل مع الزيت لفترة 48 ساعة بعد ذلك , و خلال هذه الفترة يجب استخدام الحكمة عند التعامل مع إشارات الأنذار. و بسبب الاستجابة الشاملة للأعطال ضمن المحولة التي ستكون بعضها صعبة الكشف بوسائط أخرى فإن حاكمة بوخولز لا تقدر بثمن , إلا إذا ما نظر إليها باعتبارها حماية أساسية أو متممة لحماية أخرى , يتم تنفيذ الاختبارات مع شروط عمل مشابهة أي افتراض قوس ذي توتر عالٍ في جسم المحولة المملوء بالزيت , و ذلك ما يظهر أن التشغيل يكون ممكناً في مجال زمني قدره 0.15 - 0.05 ثانية، وتستخدم كذلك الحماية الكهربائية عموماً أما للحصول على تشغيل أسرع من أجل الأعطال الثقيلة , أو لأن حاكمات بوخولز تمنع من الفصل أثناء فترات صيانة الزيت , و مع ذلك فإن حاكمات بوخولز تكون متضمنة في أنظمة الحماية لكل المحولات المركبة مع خزانات في التطبيقات العملية في بريطانيا و أوروبا، ولا يمكن تزويد المحولات التي لا تملك خزانات بوخولز (هذه المحولات عادة ذات استطاعة أقل من 1000 kVA).

13-11 حماية مغذي المحولة Transformer-Feeder Protection

يشتمل مغذي المحولة على محولة مربوطة مباشرة إلى دارة نقل بدون تدخل تجهيزات المحطة, وذلك كما هو مبين في الشكل (24-13) .



الشكل(24-13) تشكيلات مختلفة لمغذي المحولة

يعدّل التوفير في تجهيزات القطع بزيادة التعقيد في الحمايات الضرورية والمطلب الأساسي هو الفصل المتبادل، حيث إن حماية المغذي البعيدة عن المحولة لن تستجيب لشروط عطل بتيار منخفض يمكن كشفها عبر حواكم حماية العطل الأرضي المقيد و حماية بوخولز, و يمكن تطبيق حماية غير مقيدة أومقيدة, وأكثر من ذلك يمكن حماية مغذي المحولة في المنطقة أو يمكن أن يزود بحمايات مستقلة للمغذي وللمحولة.و في هذه الحالة يمكن أن تكون الحمايات مستقلة عن أنظمة الوحدة، وبدلاً من ذلك يمكن دمج حماية الوحدة للمحولة مع نظام غير مقيد لحماية المغذي بالإضافة إلى ميزة الفصل المتبادل وهو ما يكون كافياً عادة.

13-11-1 دارات الوحدة المستقلة

13-11-1-1 أعطال المغذي الطورية و الأرضية

Feeder Phase and Earth Faults

يمكن تأمين حماية عالية السرعة من الأعطال الطورية والأرضية باستخدام حواكم حماية مسافية تتوضع على جانب المغذي البعيد عن المحولة، حيث تعبر المنطقة الأولى لها ضمن المجال % (82 – 80) من طول المغذي, وذلك لتغطية أخطاء القياس وحيث إن للمحولة ممانعة كبيرة فمن الممكن معايرة الحاكمة المسافية لتغطي كامل المغذي وأن تغطي جزئياً ممانعة المحولة, و بالتالي يمكن للمنطقة الأولى للحماية أن تغطي كامل المغذي مع اليقين بعدم وجود خطر من زيادة الوصول Over Reaching لعطل على جانب التوتر المنخفض.[5]

وعلى الرغم أن المنطقة المسافية توصف باعتبارها مجموعة فلا يجب الاعتقاد بأن نصف ملفات المحولة سيتم حمايتها , والتغييرات في الممانعة الفعالة لملفات المحولة الذاتية مع موضع العطل تمنع ذلك مما يجعل كمية الملفات خلف المرابط المحمية صغيرة جداً, وتعتمد قيمة النظام على المغذي والذي يتطلب حماية عالية السرعة.

13-11-1 -2 الأعطال الطورية للمغذي Feeder Phase Faults

لا تتأثر الحماية المسافية بمستويات الأعطال المتغيرة على قضبان تجميع التوتر العالي وهي الحماية الأفضل إذا كان مستوى العطل قابلاً للتغيير بشكل واسع. وفي الحالات التي يكون فيها مستوى العطل ثابتاً يمكن إستخدام حواكم حماية بالتيار الزائد لحظية عالية المعايرة بشرط أن يكون لها زيادة وصول عابر منخفض، وتعرف زيادة الوصول العابرة بالعلاقة:

$$\frac{I_S - I_F}{I_F} \times 100\% \qquad (13\text{-}1)$$

حيث :

I_S : تيار المعايرة أي القيمة الفعالة لتيار الحالة الثابتة و المطلوب لتشغيل الحاكمة.

I_F: القيمة الفعالة للحالة الثابتة لتيار العطل والذي سيشغل الحاكمة عند التوازن الكامل.

يجب أن تعاير حاكمات OC اللحظية بدون وجود خطر من عملها لأجل الأعطال على النهاية البعيدة للمحولة و بالرجوع إلى الشكل(25-13) فالمعايرة المطلوبة لضمان أن الحاكمة لن تعمل لأجل عطل التوازن الكامل I_{f2} تعطى بالعلاقة:

$$I_S = 1.2(1+t)I_{F2} \qquad (13\text{-}2)$$

حيث أن:

$\mathbf{I_{F2}}$: تيار العطل تحت شروط المنبع الأعظمية أي عندما Zs أصغرية.

العامل 1.2 : يغطي الأخطاء المحتملة في ممانعة نظام القدرة المستخدمة لحساب I_{F2} إضافة إلى أخطاء الحاكمة ومحولات التيار CTs.

و كما أنه من المرغوب فيه لحاكمة الحماية من زيادة التيار اللحظية أن تعزل كل الأعطال الطورية في أي نقطة على المغذي تحت شروط العمل المتغيرة للنظام فإنه من الضروري أن تكون معايرة الحاكمة أقل من I_{F1} لضمان تشغيل سريع وموثوق. تعطى نسبة التعيير الناتجة عن معايرة I_S بالعلاقة :

$$r = \frac{I_S}{I_{F1}} \qquad (13\text{-}3)$$

وبالتالي فإن :

$$\begin{aligned} r.I_f &= 1.2(1+t)I_{F2} \\ r &= 1.2(1+t)\frac{Z_S + Z_L}{Z_S + Z_L + Z_r} \\ r &= 1.2(1+t)\frac{Z_S + Z_L}{(1+X)(Z_S + Z_L)} \\ r &= \frac{1.2(1+t)}{1+X} \end{aligned} \qquad (13\text{-}4)$$

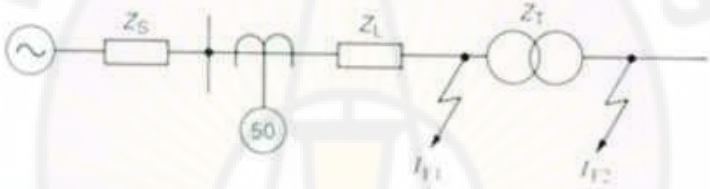
تعاير نسب المعايرة للحاكمات ذات خواص زيادة الوصول العابر المختلفة بحيث أنها لا تعمل من أجل I_{F2} , وقد تمت الجدولة في الشكل السابق من أجل قيم ممانعة محولة Z_T مختلفة وفق النسبة:

$$X = \frac{Z_T}{Z_S + Z_L} \qquad (13\text{-}5)$$

و يمكن أن نرى أنه لأجل حجم محولة معطاة فإنه سيتم الحصول على الحماية الأكثر حساسية للخط باستخدام حواكم مع زيادة الوصول العابر الأخفض, و يجب ملاحظة أنه عندما تكون r أكبر من 1 فإن الحماية لن تغطي كامل الخط , وكذلك فإن أي زيادة في ممانعة المنبع فوق القيمة الأصغرية ستزيد نسب المعايرة الفعالة فوق تلك القيم المعتمدة.

سوف تؤمن الحواكم ذات زيادة الوصول العابر المنخفض مثل الأنماط CAG19 , CAG17 على سبيل المثال تغطية أكثر للمغذي ومعايرة أفضل للحواكم التي لا تملك حصانة عابرة .

تستخدم الحماية اللحظية عادة مع حاكمة الحماية بالتيار الزائد بتأخير زمني و ذات معايرة تيار منخفض, مما يحقق تغطية للأعطال على المحولة.



	نسبة التعيير $r = \frac{I_S}{I_{F1}}$			
زيادة الوصول العابر% ◀	5	25	50	100
$X=ZT/(Zs+ZL)$ 0.25	1.01	1.20	1.44	1.92
0.5	0.84	1.00	1.20	1.60
1.0	0.63	0.75	0.90	1.20
2.0	0.42	0.50	0.60	0.80
4.0	0.25	0.30	0.36	0.48
8.0	0.14	0.17	0.20	0.27

$$I_S = 1.2(1+t)I_{F2}$$

زيادة الوصول العابر بالوحدة t

الشكل (25-13) اعتبارات زيادة الوصول في حماية مغذي المحول

عندما تجري الاستطاعة في مغذي المحولة في كلا الاتجاهين فإنه يلزم أن تزود حواكم زيادة التيار عند كلا الطرفين، وفي حالة المغذيات الموصلة مع بعضها على التوازي فمن الطبيعي أن تكون حواكم زيادة التيار على جانب التوتر المنخفض اتجاهية , وتعمل فقط لأجل تيارات الأعطال المغذاة إلى مغذي المحولة وهذا ضروري لأنه سيكون للحواكم في كلا الدارتين نفس الزمن و نفس إعدادات التيار و هكذا سيعمل كلاهما لأجل عطل في إحدى الدارات ما لم يكن التحكم الاتجاهي مستخدماً و تشكل حالة المغذي المتوازي حالة خاصة من الحالة الحلقية.

13-11-1 -3 الأعطال الأرضية Earth Faults

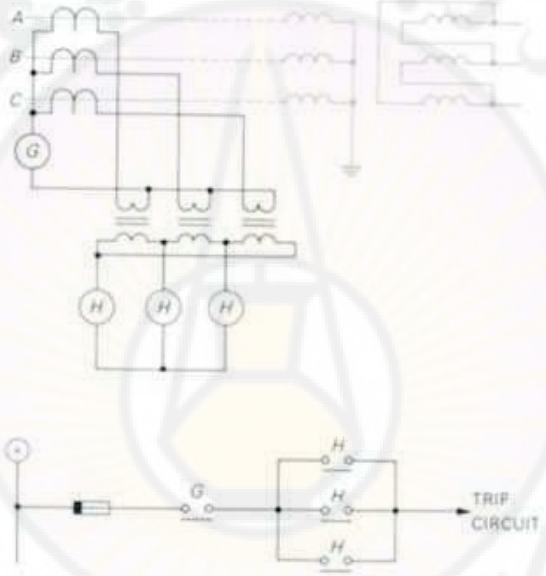
ستخدم عادة حماية الأعطال الأرضية المقيدة اللحظية. عندما يكون المغذي مرتبطا مع ملفات التوتر العالي وكانت موصلة مثلثياً، فإن الحاكمة تؤمن حماية عطل أرضي للمغذي و لملفات المحولة المثلثية الربط التي تكون غير قادرة على نقل المركبة الصفرية لتيار العطل الأرضي المار. عندما يكون المغذي مرتبطاً مع ملفات موصلة نجمياً فإن حماية العطل الأرضي المقيد العادية غير قابلة للتطبيق بسبب بعدها عن حيادي المحولة. ويمكن استخدام الحماية المقيدة باستخدام حاكمة إتجاهية لعطل أرضي, ويمكن استخدام حاكمة عالية السرعة ذات حساسية بسيطة، لكن إذا قمنا بذلك فيجب إعطاء الكثير من الانتباه إلى الاستقرار العابر للعنصر.

يمكن استخدام حاكمة IDMT اتجاهية بديلاً و يكون عامل ضرب الزمن ذا معايرة منخفضة، و سيضمن التأخير الزمني العكسي بشكل ضئيل ولن يشكل التشغيل العابر غير المرغوب فيه مشكلة. عندما يكون منبع التغذية موجوداً على الطرف النجمي ذي التوتر العالي فيمكن استخدام نظام بديل لا يتطلب محولة توتر , وذلك كما هو مبين في الشكل (13-26) وحتى يفصل الـ CB فيجب أن تعمل كلا الحاكمتين H و G الأمر الذي سيحدث لأجل الأعطال الأرضية على المغذي أو على ملفات المحولة .

تسبب الأعطال الأرضية الخارجية مرور تياراً صفريّ فقط إلى المحولة. والذي سيدور في المثلث المغلق للملفات الثانوية لمحولات التيار المساعدة الثلاثة , ولن يتوفر أي خرج

لحواكم الحماية H وسوف تشغل الأعطال الطورية المارة واحدة أو أكثر من الحواكم H ولكنها لن تشغل الحاكمة المتبقية G لذا فلن يسبب أي عطل مار للتشغيل .

يجب أن تعير الحاكمة H على قيم أعلى من قيمة تيار الحمل الأعظمي، وكما أنه يحتمل أن يكون تأريض الحيادي عند نقطة الاستقبال مباشراً ، وبالتالي سيكون تيار العطل الأرضي مماثلاً لتيار العطل الطوري فإن الإعدادات العالية لن تشكل محدداً مهماً.



الشكل (26-13) الحماية الأنية لمغذي المحولة

وسيتم تأمين حماية العطل الأرضي لملفات التوتر المنخفض بواسطة نظام عطل أرضي مقيد يستخدم ثلاثة أو أربعة محولات تيار تبعاً لطريقة توصيل الملفات فيما إذا كانت موصلة مثلثياً أم نجمياً .

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

المراجع العلمية

أ- المراجع العربية

1-"تحليل نظم القدرة الكهربائية"، منشورات جامعة دمشق ، د. علي حمزة ، د. خالد زيدان، 2007 – 2008.

2- "تطوير خوارزمية وبرنامج لنظام حماية متكيف ASPR لملاحقة أثر التغيرات الطارئة في الشبكة على قيم معايرة حاكمة الحماية المسافية"، مجلة جامعة دمشق للعلوم الهندسية، د. سميح الجابي، د. خالد زيدان – 2009.

3-"تطوير خوارزمية وبرنامج Security3 لتحليل الأحداث المحتملة على نظام القدرة الكهربائية باستخدام مصفوفة ممانعات العقد Zbus" ، مجلة جامعة دمشق للعلوم الهندسية، د.علي حمزة ، د.خالد زيدان – 2009.

ت-المراجع الأجنبية

1-*Alstom,* Network Protection & Automation Guide, *Edition 2011.*

2-*G. Ziegler,* Numerical Distance Protection, *Siemens, Edition 1999.*

3-*P. M. Anderson,* Power System Protection, *Edition 1998.*

4-*Siemens,* Power System Protection.

5-*Jim Wilks*, Developments in Power System Protection, *Annual Conference of Electric Energy Association of Australia, Canberra ACT 9&10th August 2002.*

6-*M. Jonsson,* Line Protection and Power System Collapse, *2001.*

7-*M. Kezunovic,* Fundamental of Power System Protection, *2005* .

8-*ABB*, Distance Protection, *Version 1.21, 1997.*

9- *Dr. Samih Aljabi,* Digital Protection System for high Voltage Electric Networks, *Research Survey,*

10-*GE Power Management,* Advancements in Adaptive Algorithms for Secure High-Speed Distance Protection.

11-*M. Kezunovic,* Coordination Fuzzy ART Neural Network to Improve Transmission Line Fault Detection And Classification, *2004.*

12-*M.M. Saha, E. Rosolowski, J. Izykowski,* 'Artificial Intelligent Application to Power System Protection', *2000.*

13-*Demetrios A. Tziouvaras,* Protection of High-Voltage AC Cables.

14-*D. V. Coury, J. S. Thorp, K. M. Hopkinson, K. P. Birman,* Agent Technology Applied to Adaptive Relay Setting for Multi-Terminal Lines, *IEEE, 2000.*

15-*T. Manokaran and v.karpagam,* Performance of Distance Relay Estimation in Transmission Line with UPFC, *2010.*

16-*P.K. Dash, A.K. Pradhan, G. Panda,* Distance protection in the presence of unified power flow controller, *Elsevier Science S.A, 2000.*

17- *X.Y Zhou, H.F Wang, R.K. Aggarwal, P. Beaumont,* The Impact Of STATCOM On Distance Relay, *15th PSCC, Liege, 2005*

18-*M. Khederzadeh,* Power Quality Impacts of Series and Shunt Compensated Lines on Digital Protective Relays, *IPST 2003 in New Orleans, USA.*

19-*K.P. Brand, W. Wimmer,* Modeling interoperable protection and control devices for substation automation according to IEC 61850,*2003.*

20-*R. Moore, R. Midence,* IEC 61850 Substation LAN - Issues to Consider when Designing and Deploying Ethernet Networks, *2007.*

21-*IEC 61850*: Communication networks and systems in substations, *IEC.*

22-*A. K. Pradhan, G'Eza Jo'Os,* Adaptive Distance Relay Setting for Lines Connecting Wind Farms, *IEEE Transactions On Energy Conversion, 2007*

23-- *J. Wilks,* Development in Power System Protection, *Annual Conference of Electric Energy Association of Australia, Canberra ACT 9&10th August 2002.*

24-*EPAC 3100/EPAC 3500,* Numerical Distance Relay, *Versions V5E-V6-V6E.*

25-*J. G. Andrichak, G.E. Alexander* , Distance Relays Fundamentals , *GE Power Management.*

26-Power System Protection, Digital protection and signaling, *The Institution of Electrical Engineers*

27-*Abhijit C, Sunita H.* " Power System Analysis Operation and Control", *third edition ,PHI Learning Private Limited, 2010*

28-*Yongan Deng.* " Reactive Power Compensation of Transmission Lines", *Concordia University. 2007*

29-*Zellagui M, Chaghi A* , "Impact of GCSC on Measured Impedance by Distance Relay in the Presence of Single Phase to Earth Fault" , *LSP-IE Research Laboratory, 2012*

30-*Manokaran T, karpagam V.* "Performance of Distance Relay Estimation in Transmission Line with UPFC". *International Journal of Computer and Electrical Engineering, 2010*

31-*Zhou X.Y, Wang H.F, Aggarwal R.K, Beaumont P.* "The Impact Of STATCOM On Distance Relay". *15th PSCC, 2005*

32-*Dash P.K, Pradhan A.K, Panda G.* "Distance Protection in the Presence of UPFC", *Electric Power Systems Research ,1999*

33-*Maturu S, Shenoy U.J* . "Impact of STATCOM and SSSC Based Compensation on Transmission Line Protection". *16th NATIONAL POWER SYSTEMS CONFERENCE, 2010*

34-ABB Relays , REL100 Series, Manual Setting instruction

35-*Ching-Shan Chen & Air Jiang*, "A New Adaptive PMU Based Protection Scheme for Transposed/Untransposed Parallel Transmission Lines" , *IEEE transactions on power delivery, vol. 17, no. 2, april 2002.*

36-*Sardjan Skok, Ante Marusic*, "MLP Applied to Distance protection Of a Double-Circuit Line", *PSP2000.*

37-*Dash P.K, Pradhan A.K ,Panda G, Liew A.C* "Digital Protection of Power Transmission Lines in the Presence of Series Connected Facts Devices" *IEEE, 2000.*

38- *Zhang W.H, Lee S.J, Choi M.S,* "Setting Considerations of Distance Relay for Transmission Line with STATCOM" *Journal of Electrical Engineering & Technology Vol. 5, No. 4, pp. 522~529, 2010*

39- *McDonald M, Tziouvaras D.* "power swing and out-of-step considerations on transmission lines", *IEEE, 2005.*

40- *Gers J.M., Ariza J.* "Operation Simulation Of Out Of Step Relays Using COMTRADE Files And Transient Stability Analysis". *GERS USA 2008*

41- *S. A. Soman, B. Nguyen, M. A. Pai,* "Analysis of Angle Stability Problems: A Transmission Protection Systems Perspective", *IEEE, 2004.*

42- *A. F. Bin Abidin, A. Mohamed, H.,Shareef,* "A New Power Swing Detection Scheme for Distance Relay Operations", *international journal of energy, issue 1, vol. 3, 2009*

43- *V. Centeno, J. De La Reel, A.G. Phadke, G. Michelz, J. Murphy, R. Burnett*, "Adaptive Out-of-Step Relaying Using Phasor Measurement Techniques", *IEEE,1993.*

44- *H. Hashim, I.Z. Abidin, H.A.A. Rashid, N.Z. Zulkapli, S.H. Ibrahim,Sheik Kamar, Nik SofizanAn,* "Out-of-Step Detection Based on Transient Stability Index", *Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 7(4): 353-365, 2013*

45- *U. N. Khan, Lu Yan*, "Power Swing Phenomena and its Detection and Prevention", *Wroclaw University, 2007*

46-*Ford J.J, Bevrani H, Ledwich G.* "Adaptive load shedding and regional protection", *Electrical Power and Energy Systems 2009*

47- *D.A. Tziouvaras, D. Hou,* "Out-Of-Step Protection Fundamentals And Advancements", *SEL 2003*

48- *B. Chuco P,* "Electrical Software Tools Overview" ,*IEEE, 2005*

49- *H. M. Tran, H. Akyea,* " Numerical Distance Protection Relay Commissioning and Testing", *Thesis for the Degree of Master of Science, October 2005, Göteborg, Sweden.*

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

فهرس الأشكال

الفصل الأول: المفاهيم الأساسية في أنظمة الحماية الكهربائية

الشكل(1– 1) قصر في النقطة K لنظام القدرة
الشكل(1– 2) اتجاه جريان التيار
الشكل(1– 3) المخطط الشعاعي للتيار والتوتر في حالة التشغيل النظامية
الشكل(1– 4) مبدأ عمل الحماية التفاضلية
الشكل(1– 5) الحاكمة الكهرومغناطيسية
الشكل(1– 6) الحاكمة التحريضية ذات القرص المتحرك
الشكل(1– 7) بنية حاكمة كهرومغناطيسية قطبية
الشكل(1– 8) البنية الأساسية للحاكمة الكهروديناميكية ذات القلب الدوار
الشكل(1 – 9) البنية الأساسية للحاكمة الماغنوكهربائية
الشكل(1 –10) البنية الأساسية للحاكمة الكهروديناميكية ذات القلب الاسطواني
الشكل(1– 11) البنية الأساسية للحاكمة الالكترونية
الشكل(1– 12) الدارة الأساسية للحاكمة الرقمية الالكترونية التفاضلية
الشكل(1– 13) صورة للحاكمة الرقمية التفاضلية
الشكل(1– 14) منحني خواص العمل

الفصل الثاني: محطات التحويل ومراكز التحويل الكهربائية

الشكل(2– 1) محطة تحويل أفاميا في سورية 66 kV/ 20 kV خافضة للجهد
الشكل(2– 2) قسم التوتر العالي من محطة تحويل من النوع الخارجي
الشكل(2 –3) محطة تحويل رافعة للجهد مركبة قرب محطة توليد
الشكل(2 –4) محطة تحويل داخلية 66/20 KV بغاز SF6
الشكل(2 –5) محطة تحويل محجوبة أحادية الطور
الشكل(2– 6) محطة تحويل محجوبة ثلاثية الأطوار
الشكل(2 –7) مركز تحويل من النوع الخارجي

الشكل(2 –8) المخطط الكهربائي لتوضع التجهيزات في المحطة
الشكل(2 –9) المخطط الرمزي لخلية خط 66 kV
الشكل(2 –10) مقطع طولي في خلية خط 66 kV
الشكل(2 –11) مخطط رمزي لخلية محولة 66 /20 kV
الشكل(2 –12) مقطع طولي في خلية محولة 66 /20 kV
الشكل(2 –13) مفرغة الشحنات من النوع الطارد
الشكل(2 –14) مفرغة الشحنات من النوع ذي الصمام
الشكل(2– 14– آ) رسم لمحول تيار 66 KV
الشكل(14– 2 – ب) محول تيار 230 KV
الشكل(2 –15) محولات توتر 230 kV
الشكل(2 – 16) نموذجاً لقاطع سكين 66 kV
الشكل(2 – 17) قاطع آلي 230 kV خارجي
الشكل(2 – 18) المواصفات الفنية الأساسية للقواطع الآلية 230 kV
الشكل(2 – 19) محولات استطاعة المستخدمة في شبكات الارتباط الكهربائية
الشكل(2 – 20) المخطط الرمزي لخلية توتر متوسط 20 kV
الشكل(21–2) توضع الخلايا في قسم التوتر المتوسط في محطة التحويل 20 kV

الفصل الثالث: الأعطال وحالات التشغيل غير النظامية في نظم القدرة الكهربائية

الشكل(3 –1) شبكة كهربائية ثلاثية الأطوار حدث عليها عطل أحادي
الشكل(3– 2) طريقة ربط المفاعلات الردية الصفرية للمحولات ثنائية الملفات وثلاثية الأطوار في الدارة الصفرية المكافئة للشبكة الكهربائية
الشكل(3– 3) طريقة ربط المفاعلات الردية الصفرية للمحولات ثلاثية الملفات ثلاثية الطور في الدارة الصفرية المكافئة للشبكة الكهربائية

الشكل(4 – 1) الدارة الكهربائية الرمزية لجهاز إزالة التهييج الآلي السريع ADR
الشكل(4 –2) المخطط الكهربائي لنظام الحماية
الشكل(4 – 3) حماية تيار أعظمي ضد الأعطال الخارجية مطور
الشكل(4 – 4) نظام حماية زيادة التيار الأعظمي للمولدات أكثر من 50MW
الشكل(4 – 5) حماية المولدات أصغر من 3 ميغاوات من زيادة التيارات الناتجة عن الأعطال الخارجية
الشكل(4 –6) تحقيق الانتقائية في عمل الحمايتين من خلال تعيير زمن اقلاع الحماية1
الشكل(4 – 7) تيار اقلاع نظام الحماية أكبر من تيار العطل ISC IK
الشكل(4 – 8) عامل توزيع تيارات القصر على العناصر أصغر من الواحد
الشكل(4 – 9) عامل توزيع تيارات القصر أكبر أو أصغر أو يساوي الواحد
الشكل(4 – 10) تيارات الحمل الكهربائي الكبيرة
الشكل(4 – 11) الحماية التفاضلية للمولد على طور واحد
الشكل(4 – 12) الملف الأولي لمحولة الاشباع المغناطيسي السريع
الشكل(4 – 13) منحني المغنطة للقلب المغناطيسي لمحولة الاشباع المغناطيسي
الشكل (4 – 14) نظام الحماية التفاضلية للمولدات الكهربائية في محطات التوليد المائية مع استخدام محولة اشباع مغناطيسي سريع TSR
الشكل(4 – 15) الحماية التفاضلية للمولدات في محطات التوليد الحرارية حتى 50MW
الشكل(4 – 16) الحماية التفاضلية ثنائية الأطوار للمحولات حتى 10 MW
الشكل(4 – 7) حماية تقسيم التيار
الشكل(4 – 18) حماية المولدات ضد الأعطال بين لفات الوشيعة الواحدة
الشكل(4 – 19) نظام الحماية التفاضلية العرضانية للمولدات الكهربائية في

محطات التوليد الحرارية أكبر من 50 MW
الشكل(4– 20) الحماية التفاضلية العرضانية للمولدات باستخدام محولة قياس
الشكل(4– 21) تشكيل نقطة حيادية اصطناعية بواسطة أولي محولات التوتر TT
الشكل(4– 22) دارة معدلة للحماية التفاضلية
الشكل(4– 23) الحماية من تيارات القصر بين لفات الوشيعة الواحدة لأحد الأطوار
الشكل(4– 24) مرشحات المركبة المتناظرة الصفرية للتيار
الشكل(4– 25) بنية محولات المركبة الصفرية
الشكل(4– 26) نظام حماية المولدات الكهربائية من الأعطال الأحادية في الجزء الثابت
الشكل(4– 27) الحماية من الأعطال الأحادية مع الأرض في الجزء الثابت للمولدة عندما تكون نقطتها النجمية مؤرضة
الشكل(4– 28) حماية المولدات من الأعطال الأحادية في الجزء الثابت
الشكل(4– 29) حماية المولدات التي تعمل بنقطة حيادية معزولة
الشكل(4– 30) حماية المولدات ذات نقطة حيادية مؤرضة عن طريق وشيعة إخماد أومية
الشكل(4– 31) الحماية من تيارات قصر الدارة الأحادية مع الأرض
الشكل(4– 32) انتقائية الحماية الاتجاهية عند تشغيل المولدة على التفرع
الشكل(4– 33) حماية المولدات الكهربائية من العطل الأول في دارة التهييج
الشكل(4– 34) حماية المولدات الكهربائية من الأعطال في نقطتين
الشكل(4– 35) حماية المولدات الكهربائية من زيادة التوتر
الشكل(4– 36) الدارة الكهربائية الكاملة لجملة الحمايات المستخدمة لمولدة كهربائية تديرها عنفة بخارية
الشكل(4– 37) الدارة الكهربائية الرمزية الكاملة لجملة الحمايات التي تستخدم للمولدات الكهربائية ذات الاستطاعة المتوسطة أو الكبيرة

الشكل(5 – 1) المخطط الرمزي المبسط لمحطة تحويل رافعة أو خافضة للتوتر
الشكل(5 – 3) محطة تحويل كهربائية خافضة للتوتر مع محولات ذاتية كهربائية ثلاثية الملفات وثلاثية الأطوار
الشكل(5 – 3) محطة تحويل كهربائية خافضة للتوتر أو رافعة للتوتر مع محولات ثنائية الملفات وثلاثية الأطوار
الشكل(5 – 4) محطة تحويل كهربائية خافضة للتوتر تفرعيه
الشكل(5 – 5) حماية زيادة التيارمن أعطال دارة القصر الخارجية للمحولة وحالات زيادة الحمولة الكهربائية
الشكل(5 –6) مخطط الخط الواحد للحماية من زيادة التيار بدون إقفال هبوط التوتر
الشكل(5– 7) حماية زيادة التيار من تيارات قصر الدارة الخارجية مع إقفال هبوط توتر
الشكل(5– 8) مخطط وحيد الخط لدارة حماية زيادة التيار من تيارات قصر الدارة الخارجية الثلاثية المتناظرة مع إقفال هبوط توتر
الشكل(5– 9) محولات الكهربائية التي تعمل مع بعضها على التوازي
الشكل(5– 10) حماية التيارالأعظمي للمحولات الكهربائية باستخدام محولات تيار
الشكل(5 –11) نظام حماية التيار الأعظمي للمحولات الكهربائية باستخدام ثلاث حواكم تيار مع محولتي تيار فقط مركبتين على طورين
الشكل(5–12) منع التشغيل الخاطئ للحماية في حالة ظهور قصر دارة أحادي الطور في النقطة K
الشكل(5– 13) زيادة التيار لمحولة كهربائية ثلاثية الملفات وثلاثية الأطوار

الشكل(5 –14) مخطط الخط الواحد للحماية من زيادة التيار لمحولة ثلاثية الملفات وثلاثية الأطوار
الشكل(5– 15) الحماية من زيادة التيار لمحولة كهربائية ثلاثية الملفات وثلاثية الأطوار موصلة إلى مصدرين للتغذية الكهربائية
الشكل(5 – 16) التيارات الثانوية لمحولات القياس على طرفي المنطقة المحمية
الشكل(5 – 17) ربط المحولة الذاتية لتحقيق توازن التيارات في الحماية التفاضلية
الشكل(5 – 18) الحماية التفاضلية الطولانية للمحولة الكهربائية لطور واحد باستخدام طريقة ربط محولة إشباع مغناطيسي سريع TSR
الشكل(5– 19) تعويض قيمة فرق الصفحة باستخدام طريقة ربط محولات التيار
الشكل(5 – 20) الحماية التفاضلية باستخدام حاكمات التيار بشكل مباشر
الشكل(5 – 21) حماية تفاضلية تستخدم تتضمن خمسة محولات تيار وحاكمتين
الشكل(5 – 22) عمل الحاكمة المزودة بملف فرملة
الشكل(5 – 23) ربط المحولات الى الشبكة الكهربائية عن طريق أربعة قواطع آلية
الشكل(5 –24) الحماية التفاضلية لمحولة كهربائية ثلاثية الملفات وثلاثية الأطوار
الشكل(5 – 25) دارة الحماية بتقطيع التيار
الشكل(5 – 26) مخطط الدارة الفعلية
الشكل (5– 27) مكان تركيب الحاكمة
الشكل(5 – 28) الأجزاء الرئيسية للحاكمة الغازية
الشكل(5 – 29) دارة الحماية بالحاكمة الغازية للمحولات
الشكل(5 – 30) مخطط دارة مطورة للحماية الغازية

الشكل(5 – 31) حماية غازية معدلة حيث يتم استخدام حاكمة مساعدة مزودة بثلاث وشائع
الشكل(5 – 32) دارة الحماية من تيارات القصر الأحادية
الشكل(5– 33) الحماية من تيارات القصر الأحادي باستخدام المرشح الصفري للتوتر
الشكل(5 – 34) حماية تسمى حماية التماس الى جسم المحولة
الشكل(5– 35) نظام الحماية من تيارات القصر الأحادي المستخدم في المحولات الذاتية
الشكل(5– 36) عنصري تنظيم توتر هما محولة ذاتية ATR ومحولة مساعدة TS
الشكل(5– 37) محولة تنظيم RT ملفها الأولي موصل على التفرع مع أحد ملفات المحولة الرئيسية ذات الاستطاعة الكبيرة
الشكل(5 – 38) تنفيذ أنظمة الحماية من الصنف الأول
الشكل(5– 39) تركيب محولة اضافية TC3 لتحديد منطقة عمل الحماية التفاضلية
الشكل(5– 40) حماية محولة التنظيم المساعدة ATR
الشكل(5– 41) تغذية وشيعة تشغيل الحاكمة من محولة القياس TC1 وملف الفرملة من محولة القياس TC2
الشكل(5– 42) حماية تفاضلية خاصة بالملف الثانوي لمحولة التنظيم TR
الشكل(5– 43) تغذية وشيعة تشغيل الحاكمة من محولة القياس وتغذية ملف الفرملة من محولة القياس الموصولة في دارة المحولة الرئيسية.
الشكل(5– 44) نظام الحماية المستخدمة للمحولة الرئيسية TP والمحولة المساعدة TR المستخدمة لتنظيم التوتر.
الشكل(5– 45) الحماية الكاملة لمحولة كهربائية رافعة للتوتر ذات استطاعة أكبر من4MVA

الشكل(5– 46) حماية محولة خافضة للتوتر ثلاثية الملفات وثلاثية الأطوار
الشكل(5– 47) الدارة الكهربائية الكاملة لأنظمة الحماية المستخدمة لمحولة كهربائية ذاتية ثلاثية الملفات وثلاثية الأطوار.

الفصل السادس: أنظمة حماية مجموعات المولدة – المحولة الكهربائية

الشكل(6 – 1) حماية زيادة تيار واحدة لكامل مجموعة مولد– محول
الشكل(6 – 2) مجموعة مولدة – محولة التي تؤمن التغذية الذاتية
الشكل(6 – 3) التأخير الزمني على مرحلتين لعمل نظام الحماية
الشكل(6 – 4) المحولة الكهربائية ثلاثية الملفات وثلاثية الأطوار
الشكل(6 – 5) حماية تيار أعظمية على أطراف التوتر العالي و النقطة الحيادية للمولدة
الشكل(6 – 6) حالة مولدتين مع محولة كهربائية واحدة
الشكل(6 – 7) مخطط الخط اللواحد للحماية التفاضلية لمجموعة مولد – محول
الشكل(6 – 8) مخطط الخط الواحد للحماية التفاضلية لمجموعة مولدة – محولة مع حماية تفاضلية خاصة بالمولدة
الشكل(6 – 9) مخطط الخط الواحد للحماية التفاضلية لمجموعة مولدة – محولة ذات ثلاثة ملفات مع قاطع آلي مركب بين المولد والمحولة
الشكل(6 – 10) حماية من زيادة التوتر الصفري الأعظمية
الشكل(6 – 11) مراقبة انزياح النقطة الحيادية للمولدة
الشكل(6 – 12) ربط النقطة الحيادية عن طريق وشيعة إخماد
الشكل(6 – 13) الحماية من القصر الأحادي مع الأرض في ملفات الجزء الثابت
الشكل(6 – 14) حقن تيار متناوب لتحقيق الإزاحة لكمون النقطة الحيادية للمولدة
الشكل(6 – 15) مخطط نظام الحماية الكامل لمجموعة مولدة – محولة

الفصل السابع: حماية قضبان التجميع في محطات التحويل الكهربائية

الشكل(7– 1) مبدأ تحقيق الحماية التفاضلية الكاملة لقضبان التجميع الكهربائية
الشكل(7– 2) مخطط الخط الواحد لنظام الحماية التفاضلية لقضبان تجميع مضاعفة 220kV
الشكل(7– 3) مخطط الخط الواحد للحماية التفاضلية لقضبان التجميع المضاعفة
الشكل(7– 4) نظامي حماية تفاضلية واحدة لكل مجموعة من قضبان التجميع
الشكل(7– 5) المخطط الكهربائي لنظام الحماية التفاضلية غير الكاملة لمجموعة قضبان (II)
الشكل(7– 6) مخطط الخط الواحد لنظام الحماية باستخدام حاكمة الممانعة ولطور واحد من أطوار الشبكة الكهربائية

الفصل الثامن: حماية المحركات الكهربائية

الشكل(8– 1) مخطط الخط الواحد لنظام الحماية التفاضلية للمحرك التحريضي
الشكل(8– 2) مخطط الخط الواحد لنظام الحماية التفاضلية باستخدام محولتي وحاكمتي تيار
الشكل(8– 3) نظام الحماية من الأعطال الأحادية مع الأرض
الشكل(8– 4) الحماية من انخفاض التوتر لمجموعة مؤلفة من 4 محركات تحريضية
الشكل(8– 5) مخطط الخط الواحد لنظام الحماية من زيادة الحمولة
الشكل(8 – 6) مخطط الخط الواحد لنظام الحماية من زيادة الحمولة باستعمال محولتي تيار وحاكمتي تيار
الشكل(8– 7) مخطط الخط الواحد لنظام حماية المحرك التزامني
الشكل(8– 8) مخطط الخط الواحد لنظام حماية المحرك التزامني من الخروج عن التزامن

الشكل(1-9) الحماية بالتيار الزائد على الخطوط الشعاعية
الشكل(2-9) طريقة تغذية الحماية بالتيار الزائد الأعظمي
الشكل(3-9) أزمنة تشغيل متزايدة باتجاه منبع التغذية لشبكة شعاعية
الشكل(4-9) دارة الحماية بالتيار الزائد الأعظمي الزمنية أحادية الطور
الشكل(5-9) خواص حاكمة الحماية بالتيار الزائد التابعة للزمن(a) والمستقلة (b)
الشكل(6-9) خيارات موضع حاكمة الحماية بالتيار الزائد
الشكل(7-9) تنسيق حواكم التيار الزائد على شبكة تغذية كهربائية
الشكل(8-9) حماية نظام قدرة كهربائية باستخدام حواكم الحماية بالتيار الزائد
الشكل(9-9) دارة الحماية بالتيار الزائد ثلاثية الطور
الشكل(10-9) دارة الحماية بالتيار الزائد ثنائية الطور
الشكل(11-9) الدارات ثنائية الأطوار لتغذية حواكم الحماية بالتيار الزائد بالتيار الأعظمي
الشكل(12-9) تحليل نظام الحماية لنظام القدرة
الشكل(13-9) دارة الحماية بالتيار الزائد من القصر الأحادي الطور لشبكة نجمية مؤرضة
الشكل(14-9) علاقة تيار القصر مع المسافة
الشكل(15-9) منطقة عمل حماية القطع بالتيار الزائد
الشكل(16-9) عمل حاكمة الحماية بالتيار الزائد مع حماية القطع
الشكل(17-9) توضع محولي تيارالتغذية للحماية التفاضلية الطولانية للخطوط الشعاعية
الشكل(18-9) عناصر حاكمة الحماية التفاضلية وأدائها عند حالات عمل مختلفة
الشكل(19-9) مبدأ تنسيق حواكم الحماية بالتيار الزائد بالزمن

الشكل(20–9) نظام شعاعي بتنسيق بالتيار
الشكل(21–9) خواص حاكمة التيار الزائد العكسية العادية والحادة والعكسية جدا
الشكل(22–9) خواص حاكمة الحماية بالتيار الزائد العكسية بزمن طويل
الشكل (23–9) تنسيق الخواص العكسية لحواكم الحماية بالتيار الزائد لنظام القدرة
الشكل(24–9) تنسيق خواص حوا كم تيار – زمن عند قضبان تجميع النظام
الشكل(25–9) نظام قدرة محمي باستخدام حواكم حماية بالتيار الزائد نوع Co-7
الشكل(26–9) دارة الحماية بالتيار الزائد ثلاثية الطور مع القاطع الآلي
الشكل(27–9) منحنيات الخواص العكسية لحاكمة الحماية بالتيار الزائد نوع Co-7
الشكل(28–9) مخطط الخط الواحد لنظام قدرة شعاعي
الشكل(29–9) حاكمة الحماية بالتيار الزائد الحاكمة 7SJ600
الشكل(30–9) بنية الحاكمة الرقمية 7SJ600
الشكل (31–9) المداخل والمخارج للحاكمة الرقمية 7SJ600
الشكل(32–9) استخدام الحاكمة الرقمية 7SJ600
الشكل(33–9) المراحل المختلفة للخواص العكسية بالتيار
الشكل(34–9) نظام قدرة كهربائية شعاعي مزود بحواكم الحماية A، B، C
الشكل(35–9) منحني تيار الاقلاع مع الزمن

الفصل العاشر: حماية الخطوط المغذاة من الطرفين

الشكل(1–10) تعييرات حواكم التيار الزائد على الشبكات الحلقية
الشكل(2–10) مبدأ عمل العنصر الاتجاهي
الشكل(3–10) حالتي الاستطاعة الموجبة والسالبة اعتمادا على فرق φ
الشكل(4–10) مبدأ عمل الحاكمة
الشكل(5–10) شبكة حلقية بسيطة

الشكل(6-10) تأثير تماس عنصر الاتجاه على أمر الفصل للقاطع الآلي
الشكل(7-10) حمايات بالتيار الزائد اتجاهية لشبكة حلقية
الشكل(8-10) شبكة المثال مفرودة
الشكل(9-10) شبكة المثال مغذاة من جانب قضيب التجميع A فقط
الشكل(10-10) أزمنة الحواكم عند التغذية من الجانب الأيمن فقط
الشكل(11-10) تعيير الحواكم استنادا الى دمج الحالتين السابقتين
الشكل(12-10) التعييرات النهائية لحواكم الحماية بالتيار الزائد للشبكة
الشكل(13-10) دراسة تنسيق حواكم الحماية لنظام قدرة حلقي
الشكل(14-10) نظام قدرة حلقي مغذاة من منبع واحد
الشكل(15-10) تغذية شعاعية من اليسار الى اليمين
الشكل(16-10) تغذية شعاعية من اليمين الى اليسار
الشكل(17-10) التدرج الزمني لشبكة شعاعية حلقية مغذاة من منبع واحد
الشكل(18-10) نظام قدرة حلقي مغذى من نقطة واحدة وخواص الحواكم المستخدمة
الشكل(19-10) الدارة المكافئة لنظام القدرة
الشكل(20-10) مناطق عمل حاكمة الحماية الاتجاهية
الشكل(21-10) الدارة المبسطة للحماية الاتجاهية
الشكل(22-10) الحماية بالتيار الاتجاهية بالاقلاع بالتيار مع دارة حجز التوتر الأصغري
الشكل(23-10) دارة الحماية بالتيار الزائد من القصر الأحادي الطور
الشكل(10- 24) الحماية من الأعطال الأحادية باستخدام حاكمة إتجاهية ومرشح الصفري
الشكل(25-10) حاكمة القطع بالتيار الزائد الاتجاهية
الشكل(26-10) تمثيل شبكة معطلة باستخدام طريقة التراكم

الشكل(27-10) تراكم أمواج ماقبل العطل ومابعده
الشكل(28-10) استخدام المقارنة الاتجاهية بالاتجاه الأمامي
الشكل(29-10) نظام المقارنة الاتجاهية
الشكل(30-10) مخطط وظيفي لخط قدرة حامل
الشكل (31-10) نظام الحماية بالمقارنة الاتجاهية باستخدام قناة خط الاستطاعة الحامل
الشكل(10- 32) مبدأ حواكم مقارنة الطور
الشكل(33-10) دارة التوصيل المبسط لحواكم HCB
الشكل(34-10) الحماية التفاضلية الطولية
الشكل(35-10) دارة التيار الدائر للحماية التفاضلية للحالات a و b و c
الشكل(36-10) مخطط وظيفي لدارة الفصل المنتقل بتحت الوصول بشكل مباشر

الفصل الحادي عشر: الحماية المسافية

الشكل(1-11) خواص الحماية المسافية مقارنة مع التيار الزائد
الشكل(2-11) مبدأعمل حاكمة الحماية المسافية
الشكل(3-11) العلاقة بين زمن تشغيل الحاكمة والممانعة
الشكل(4-11) الحاكمة ذات الذراع المتوازن
الشكل(5-11) مبدأ جسر الموازنة والحاكمة التحريضية
الشكل(6-11) عناصر الحماية المسافية ومخطط توصيلها الى نظام القدرة
الشكل(7-11) مبدأ القياس في الحاكمة الكهروستاتيكية
الشكل(8-11) خصائص دقة وصول الممانعة النموذجية للمنطقة الأولى
الشكل(9-11) أزمنة العمل النموذجية للمنطقة الأولى لأعطال طور مع الأرض
الشكل(10-11) أزمنة العمل النموذجية للمنطقة الأولى لأعطال طور مع طور
الشكل(11- 11) زمن عمل المنطقة الأولى عند أعطال ثلاثية الطور مع

الأرض
الشكل(12-11) مخططات أزمنة العمل النموذجية
الشكل(13-11) المخطط الصندوقي لدارة الحاكمة المسافية الالكترونية
الشكل(14-11) المخطط الصندوقي لنظام الاستقطاب المتزامن للحاكمة
الشكل(15-11) منحني العلاقة بين ZS/ZL وتوتر الحاكمة
الشكل(16-11) عطل على خط نقل مغذى من طرفيه
الشكل(17-11) أثر مقاومة العطل وحمل ماقبل العطل على الممانعة المقاسة
الشكل(18-11) خط مغذى من نهايتيه حصل عليه عطلSLG
الشكل (19-11) الممانعة المنظورة لعطل غير متوازن
الشكل(20-11) دارة كشف أعطال SLG باستخدام حواكم العطل الأرضي
الشكل(21-11) دارة كشف أعطال من نوع L-L باستخدام حواكم الطور
الشكل (22-11) خواص مسافة / زمن للحماية المسافية ثلاثية المناطق
الشكل(23-11) خواص حاكمة الممانعة مع عنصر اتجاهي
الشكل (24-11) خواص حاكمة الممانعة البسيطة
الشكل(25-11) منطقتا العمل واللاعمل للحاكمة
الشكل(26-11) أداء الحاكمة عند حالة عطل بالاتجاه الأمامي
الشكل(27-11) أداء الحاكمة عند حالة عطل بالاتجاه العكسي
الشكل(28-11) حاكمة بخواص ممانعة واتجاه مشتركة
الشكل(29-11) حاكمة حماية مسافية بثلاث مراحل مع عنصر اتجاه
الشكل (30-11) منطقة العمل لحاكمة مسافية ثلاثية المناطق ذات محدد للاتجاه
الشكل(31-11) مميزات حاكمة السماحية
الشكل(32-11) خواص حاكمة موه
الشكل(33-11) تأثير مقاومة القوس على الممانعة التي تقيسها الحاكمة

الشكل(34-11) حاكمة MHO المعدلة ثلاثية المناطق
الشكل(35-11) مميزات حاكمة MHO المعوضة
الشكل(36-11) مناطق الحماية مع إظهار منطقة الإقلاع ومنطقة إقفال تأرجح الاستطاعة
الشكل(37-11) أداء حاكمة موه في حالة العمل الطبيعي
الشكل(38-11) أداء حاكمة موه بدلالة التوترات بدلا من الممانعات
الشكل(39-11) الممانعة المنظورة من الحاكمة في حالة العطل
الشكل(40-11) خواص حاكمة الممانعة في المستويZ
الشكل (41-11) خواص الممانعة الدائرية المزاحة MHO
الشكل(42-11) مناطق العمل لحاكمة MHO مع التغطية العكسية للمنطقة الثالثة
الشكل(43-11) تطبيقات نموذجية لحاكمة موه المزاحة
الشكل(44-11) ممانعة الحمل الدنيا بالخواص العدسية موه المزاحة
الشكل(45-11) مناطق العمل الثلاث مع خواص عدسية للمنطقة الثالثة Zone3
الشكل (46-11) خواص حاكمة موه ذات الاستقطاب الكامل مع تغيرات / ZS ZL
الشكل(47-11) تحسن التغطية الأومية للحاكمة ذات الاستقطاب الكامل
الشكل(48-11) خاصية الاستقطاب الجزئي ذات الشكل المحجب
الشكل(49-11) مميزات حاكمة المفاعلة
الشكل(50-11) أثر المركبة الأومية على الممانعة المقاسة
الشكل(51-11) التوتر U في حالة العمل الطبيعي
الشكل(52-11) التوتر U في حالة العطل
الشكل(53-11) فصل الحاكمة
الشكل (54-11) زاوية تيار العطل متأخرة عن تيار الخط

الشكل(55-11) تاثير القوس على حاكمة المفاعلة
الشكل(11- 56) الخواص المضلعة للحاكمة المسافية
الشكل(57-11) إعادة إغلاق أحادية المحاولة ناجحة لحالة عطل عابر
الشكل(58-11) إعادة اغلاق أحادية المحاولة غير ناجحة لحالة عطل دائم
الشكل(59-11) تأثير معيد الاغلاق الآلي ثلاثي الطور عالي السرعة على استقرار النظام لحالة نظام ضعيف
الشكل(60-11) الأزمنة النموذجية لعمليات فتح-اغلاق للقواطع الآلية
الشكل(61-11) خواص حماية مسافية ثلاثية المناطق
الشكل(62-11) منطق دارة إعادة الإغلاق بتأخير زمني
الشكل (63-11) نظام القدرة الكهربائية العائد للمثال(1-9-11)
الشكل(64-11) خط نقل قدرة كهربائية مكون من قسمين
الشكل(65-11) خط نقل قدرة ممانعاته بالقيم الواحدية
الشكل(66-11) تأثير مقاومة القوس على الفصل الآني للحاكمة

الفصل الثاني عشر: حواكم الحماية المسافية الرقمية

الشكل(1-12) البنية الصندوقية للنظم المايكروية
الشكل(2-12) بنية الحاكمة الرقمية
الشكل(3-12) الأسلوب الاختباري مطبقا على تابع (sin) دوري
الشكل(4-12) دارة أخذ العينات و مسكها
الشكل(5-12) دارة التكميم
الشكل(6-12) مبدل تمثيلي رقمي يعتمد على المقارنات
الشكل (7-12) منحني التشغيل لإحدى الحواكم الرقمية
الشكل(8-12) جهاز واحد مع حاسوب
الشكل (9-12) الخصائص المضلعية لحاكمة الحماية المسافية
الشكل(10-12) إستخدام إستراتيجية العد في المميزات المضلعة

الشكل(11-12) عناصر الشبكة الداخلة في حساب الأعطال الرئيسية
الشكل(12-12) الدارة في حالة العطل بين طور- طور
الشكل(13-12) الدارة في حالة عطل أرضي
الشكل(14-12) خط مغذى من جانبيه
الشكل (15-12) مقاومة القوس في حالة العطل
الشكل(12- 16) تمثيل مقاومة أرضي الأبراج
الشكل (17-12) أثر محولات التأريض على قياس الممانعة
الشكل(18-12) حالة الخطوط المتوازية
الشكل(19-12) أثر الممانعة التبادلية للخطوط المتوازية على الممانعة المقاسة
الشكل(20-12) تمثيل الخط بمقاومة ومفاعلة على التسلسل
الشكل (21-12) طريقة توزيع الحلول على الزمن لحل المعادلة التفاضلية
الشكل(22-12) حساب مشتق التيار
الشكل(23-12) خواص الحاكمة ومناطق ممانعة العطل ومناطق ممانعة الحمل
الشكل(24-12) أثر الحمل على الممانعة المقاسة من الحاكمة
الشكل(25-12) توصيلات المداخل التمثيلية للتيار والتوتر
الشكل (26-12) طريقتي زيادة الوصول وتحت الوصول
الشكل(27-12) وصولات الحاكمة مقارنة مع وصول Z1
الشكل(28-12) حماية خطي النقل H و G بإستخدام حواكم مسافية MHO
الشكل(29-12) الدارة التناظرية الموجبة لنظام القدرة
الشكل (30-12) الدارة التناظرية الصفرية لنظام القدرة
الشكل(31-12) الدارة الصفرية الناتجة
الشكل(32-12) نظام قدرة كهربائية عائد للمثال(3-8-12)
الشكل(33-12) واجهة التخاطب لحاكمة الحماية المسافية (ABB REL 316)
الشكل(34-12) قيمة الممانعة وزاوية التعيير للحاكمة

الشكل(35-12) تعييرات الزمن لمناطق الحماية المسافية
الشكل(36-12) الخواص المضلعة المستنتجة لحاكمة الحماية المسافية

الفصل الثالث عشر: حماية المحولة و مغذي المحولة

الشكل(1-13) تيار العطل الأرضي في حالة التأريض بممانعة للملفات المربوطة نجميا
الشكل(2-13) تيار العطل الأرضي في حالة التأريض المباشر
الشكل(3-13) تيار العطل الداخلي / عدد اللفات المقصورة
الشكل(4-13) تيار الاندفاع للمحولة
الشكل (5-13) مخطط دارة حاكمة الحماية من زيادة الحمل على أساس حرارة الملفات
الشكل(6-13) حواكم حماية بالتيار الزائد على الأطوار الثلاثة مع حاكمة على الأرضي
الشكل(7-13) حماية العطل الأرضي المقيد للملفات النجمية
الشكل(8-13) مبدأ عمل الحماية التفاضلية للمحول
الشكل(9-13) الحماية التفاضلية لمحولة ثنائية الملفات موصولة مثلثي/نجمي
الشكل(10-13) تشكيلات مختلفة لمحولات التيار لحماية محولات الاستطاعة
الشكل(11-13) حماية تفاضلية لمحولة ذات ملفين مع إستخدام محولة تيار وسيطة
الشكل(12-13) حماية تفاضلية لمحولة ذات ثلاث ملفات مع إستخدام محولة مساعدة
الشكل(13-13) خواص الإنحياز
الشكل(14-13) مخطط الخط الواحد لتشكيلات الحماية التفاضلية المنحازة
الشكل(15-13) حماية المحولة الذاتية بحاكمة تفاضلية ذات محارضة عالية
الشكل(16-13) حماية محولة التأريض

الشكل(17-13) أمواج تيار المغنطة للمحولة
الشكل(18-13) إستخدام الحماية التفاضلية الرقمية لحماية المحول ثنائي الملفات
الشكل(19-13) إستخدام KBCH لحماية محول ثلاثي الطور ثلاثي الملفات
الشكل(20-13) الحماية التفاضلية الرقمية لمحول استطاعة ثلاثي الطور ثنائي الملفات
الشكل(21-13) الحماية التفاضلية لمحول قدرة مزود بمبدل مآخذ
الشكل(22-13) خواص الزمن العكسية لتشبع السيالة المغناطيسية
الشكل (23-13) حاكمة بوخولز
الشكل(24-13) تشكيلات مختلفة لمغذي المحولة
الشكل (25-13) إعتبارات زيادة الوصول في حماية مغذي المحول
الشكل(26-13) الحماية الآنية لمغذي المحولة

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

المصطلحات العلمية

Air Blast Circuit Breakers	قواطع النفخة الهوائية
Amplitude Comparison	مقارنة المطال
Amplitude and Phase	المطال والطور
Arcing Time	زمن القوس
Anti-Pumping	مضاد للإنفجار
Auto-Reclosing	معيد الاغلاق الآلي
Auto-Transformer Protection	حماية المحولة الذاتية
Bay	خلية
Bucholz Protection	حماية بوخولز
Bus – Bars	قضبان التجميع
Back-up protection	الاحتياطية لقضيب التجميع
Carrier starting unit	وحدة الاقلاع بالنقل
Circuit Breakers	القواطع الآلية
Consumption Centers	مراكز الاستهلاك
Core Faults	أعطال القلب الحديدي
Current Protection	حماية بالتيار
Current Sectionalizing	تقطيع التيار
Closing Impulse Time	زمن إغلاق قسري
Delayed Reclosing	إعادة إغلاق بتأخير زمني
De-ionization of fault path	إزالة مسار العطل
De-Ionization of Fault Arc	ازالة قوس العطل
Digital Relays	حاكمات رقمية
Distribution Substations	محطات توزيع

Dead Zone	منطقة ميتة
Digital Relays	الحواكم الرقمية
Discrimination by time	التنسيق بالزمن
Discrimination by current	التنسيق بالتيار
Directional Comparison	مقارنة إتجاهية
Directional Protection	الحماية الاتجاهية
Differential Protection	الحماية التفاضلية
Distance Protection	الحماية المسافية
Double Bus-bar Substation	محطة بقضبان تجميع مضاعفة
Earthing Transformer Protection	حماية محولة التأريض
Electrical Lines	الخطوط الكهربائية
Electromagnetic Compatibility	التوافق الالكترومغناطيسي
Electromechanical Distance Relays	الحماية المسافية الكهروميكانيكية
Expulsion Type Arrestors	مفرغات الشحنات من النوع الطارد
Feeder Phase Faults	أعطال المغذي الطورية
Fuses	منصهرات
Fully Cross-Polarized MHO	موه بالاستقطاب الكامل
Fiber Optic Link	وصلة ليف ضوئ
Generator – Transformer Block	مجموعة مولدة – محولة
Harmonic	توافقيات
High Speed Reclosing Scheme	آلية إعادة الوصل عالية السرعة
Indoor Substations	محطات تحويل داخلية
Inverse Time –Lag Relay	حاكمة بتأخير زمني عكسي
Interconnection Substations	محطات تحويل للربط الكهربائي

Inter-turn Faults	الأعطال الداخلية بين اللفات
Lenticular characteristic	خصائص العدسية
Lightning Arrestors	مانعات الصواعق
Longitudinal Differential	تفاضلية طولانية
Manual Closing	الاغلاق اليدوي
Magnetizing Inrush	تيار المغنطة
MHO Characteristic	خواص حاكمة موه
Microwave Channel	قناة مايكروية
Multi shot reclosing	إعادة إغلاق متعددة المحاولات
Nominal Voltage	التوتر الإسمي
Numerical Distance Relay	الحماية المسافية الرقمية
Number of shots	عدد المحاولات
Offset Mho/ Lenticular	موه MHO الدائرية المزاحة
Oil Circuit Breakers	القواطع الآلية الزيتية
Operation Counter	عداد العمل
Opening Time	زمن الفتح
Operation Counter	عداد العمل
Outdoor Substations	محطات تحويل خارجية
Over Voltage (OV)	زيادة التوتر
Over heating Protection (OH)	حماية من زيادة التسخين
Over Current Protection	حماية زيادة التيار
Over-Current Directional Relay	حاكمة الحماية بالتيار الزائد الاتجاهية
Overload Protection	الحماية من زيادة الحمل
Over reach	زيادة الوصول

Partially Cross-Polarized Mho	موه المستقطبة جزئيا
Pilot Protection	حماية دليلية
Power Swing	تأرجح الإستطاعة
Phase Comparison	مقارنة بالطور
Plain Impedance Relay	حاكمة الممانعة البسيطة
Post Transformers	مراكز التحويل
Power Line Carrier	خط القدرة الحامل
Pressurized head circuit breaker	القواطع الآلية ذات الرأس المضغوط
Persistent Fault	عطل دائم
Prime Relays	حاكمات أولية
Protection Using Filters	حماية باستخدام المرشحات
Protection Reset Time	زمن عودة الحماية
Quadrilateral Relay	حاكمة ذات خواص مضلعة
Remote Tripping	الفصل عن بعد
Relay Response	استجابة حاكمة
Reactance Relay	حاكمة المفاعلة
Reach Point	نقطة الوصول
Reclaim time	زمن التهيؤ
Reclosing Impulse	نبضة اعادة الاغلاق
Restricted Earth Fault Protection	حماية العطل الأرضي المقيدة
Reliability	الوثوقية
Reclaim time	زمن التهيؤ
Reverse Reach Zone	منطقة وصول عكسي
Selectivity	الانتقائية

Self-Polarized MHO Relay	حاكمة MHO ذاتية الاستقطاب
Sensitivity	الحساسية
Secondary Relays	حاكمات ثانوية
Signal Relays	حاكمات الاشارة
Single-Phase Auto-Reclosing	اعادة الاغلاق أحادي الطور
Static Relays	حاكمات ساكنة أوالكترونية
Smart Relays	حاكمات ذكية
Spring Winding Time	زمن لف النابض
SF6 Circuit Breaker	قاطع آلي بسادس فلور الكبريت
Surge Arrestors	مفرغات الشحنات
Synchronism Check Relays	حواكم اختبار التزامن
Tap Changer	مبدل الوضعيات
Tank Faults	أعطال جسم المحولة
Transient fault	عطل عابر
Transversal Differential Protection	الحماية التفاضلية العرضانية
Time Relays	الحاكمات الزمنية
Transformer-Feeder Protection	حماية مغذي المحولة
Thermal Protection	الحماية الحرارية
Temperature-Time Integrator	مكامل حرارة- زمن
Transformer-Feeder Protection	حماية مغذي المحولة
Up Rising Substations	محطات تحويل رافعة التوتر
Unbalanced Faults	الأعطال غير المتوازنة
Under reach	تحت الوصول
Valve arrestor	مفرغات الشحنات ذات الصمام

Voltage Protection	حماية التوتر
Voltage Limit	حد التوتر
Zone1 Extension	توسع المنطقة الأولى

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

المدققون العلميون:

الأستاذ الدكتور المهندس: محمد هاشم ابوالخير

الأستاذ الدكتور المهندس: نديم مخول

الأستاذ الدكتور المهندس: حسان سويدان

المدقق اللغوي:

الدكتور علي كردي

حقوق الطبع والترجمة والنشر محفوظة لمديرية الكتب والمطبوعات-جامعة دمشق

وقل رب زدني علما
Damascus University