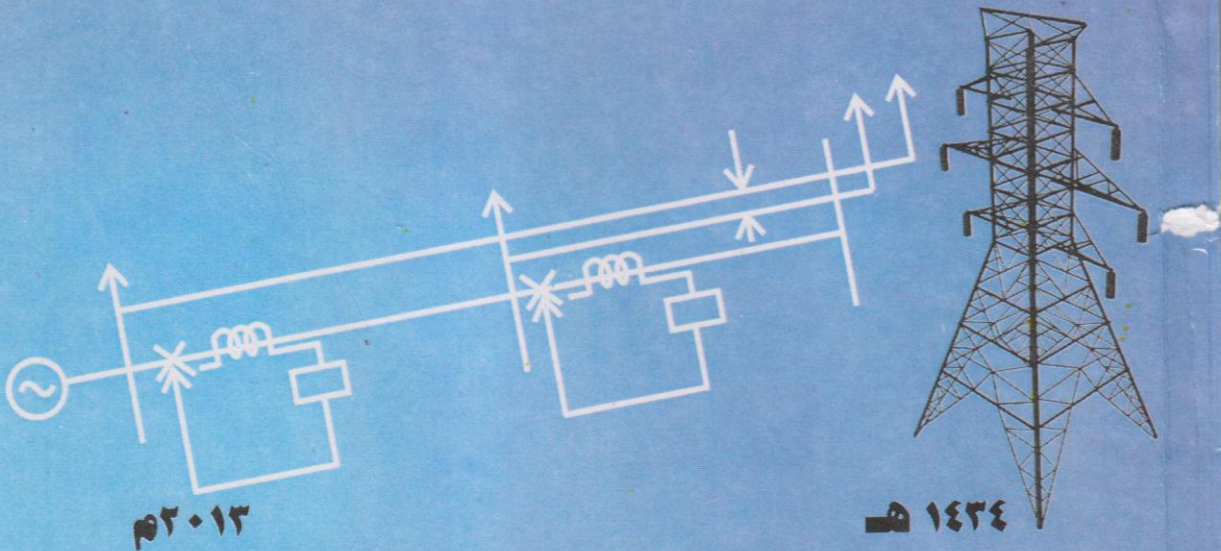




جامعة الموصل
كلية الهندسة
قسم الهندسة الكهربائية

حماية نظم القدرة الكهربائية

د. عبد الفتي عبد الرزاق عبد الغفور



جامعة الموصل
كلية الهندسة
قسم الهندسة الكهربائية

حماية نظم القدرة الكهربائية

تأليف

د. عبدالغني عبدالرزاق عبدالغفور

كانون الثاني 2013 م

ربيع الأول 1434 هـ



العنوان : حماية نظم القدرة الكهربائية

تأليف : د. عبد الغني عبد الرزاق عبد الغفور

عدد الصفحات : ٥٥٢ صفحة

قياس الصفحة : ٢٤ x ١٧ سم

عدد النسخ : ١٠٠٠ نسخة

التصميم والتنضيد الطباعي : دار ابن الاثير للطباعة والنشر
في جامعة الموصل

حقوق الطبع والنشر (ح)

محفوظة لدى دار ابن الاثير للطباعة والنشر
في جامعة الموصل ٢٠١٣

لا يجوز تصوير او نقل او اعادة طباعة مادة الكتاب
وبأية اشكال كانت من دون موافقة الناشر

رقم الايداع في دار الكتب والوثائق ببغداد
٦٨٢ لسنة ٢٠١٣

نشر وطبع وتوزيع

دار ابن الاثير للطباعة والنشر
في جامعة الموصل

الموصل - جمهورية العراق

بدالة ذات ستة خطوط ٧٦٣٢٣١

الادارة : ٧٧٢٧٨٨-٧٧٢٧٨٦

فاكس : ٧٧٢٧٨٦

Email: daribnalatheer@yahoo.com

الفهرست

ت	الموضوع	الصفحة
	المقدمة	27
	الفصل الأول الأعطال ومتطلبات الحماية	48 - 29
1-1	المقدمة	31
2-1	أنواع الأعطال	31
1-2-1	الأعطال الدائمة	32
2-2-1	الأعطال العابرة	32
3-2-1	الأعطال شبه العابرة	32
3-1	تأثير الأعطال لحل الشبكة الكهربائية	32
4-1	متطلبات الحماية	33
5-1	المواقع المناسبة لقواطع الدورة	34
6-1	أنواع الحماية	37
1-6-1	الحماية الرئيسية	37
2-6-1	الحماية الساندة	40
7-1	متطلبات الحماية عند تباين فولتية الخط	42

43	الخطوط الشعاعية والمتداخلة ومسألة الاستقرار	1-7-1
43	الأعطال والأضرار	2-7-1
44	قواطع الدورة ذات الغلق الذاتي متعدد الضربات	3-7-1
45	الاختيارية بين المرحلات المتجاورة	4-7-1
47	كلفة الحماية	5-7-1
47	التباين في متطلبات الحماية	6-7-1
48	الأسئلة	8-1
90 -49	الفصل الثاني محولات الجهد والتيار	
51	المقدمة	1-2
51	تحديد القطبية للمحولات	2-2
53	محولات التيار	3-2
53	التباين في محولات التيار بين أجهزة القياس وأجهزة الحماية	1-3-2
56	الدائرة المكافئة لمحولة التيار	2-3-2
57	أداء المحولة عند الحالة المستقرة	3-3-2
60	أداء المحولة عند الحالة العابرة للعطل	4-3-2
65	الدقة في محولات التيار	5-3-2

69	الترابطات الخاصة لمحولات التيار	6-3-2
69	محولات التيار المساعدة	1-6-3-2
71	ترابطات النجمي والدلتا	2-6-3-2
72	تيار التتابع الصفري	3-6-3-2
73	تجميع الفيض في محولة التيار	4-6-3-2
74	المزدوجات الخطية ومحولات التيار الالكترونية	7-3-2
76	أمثلة محلولة لمحولات التيار	8-3-2
83	محولات الجهد	4-2
83	المقدمة	1-4-2
84	الأداء في الحالة المستقرة	2-4-2
86	أنواع محولات الجهد	3-4-2
87	الأداء في الحالة العابرة	4-4-2
88	مثال محلول لمحولة الجهد	5-4-2
90	الأسئلة	5-2
135 -91	الفصل الثالث مبادئ عمل المرحلة	
93	المقدمة	1-3
93	الكشف عن الأعطال	2-3
94	مستوى الكشف	1-2-3
95	مقارن السعة	2-2-3

96	المقارن الفرقي	3-2-3
97	مقارنة زاوية الطور	4-2-3
98	قياس المسافة	5-2-3
98	المرحلة الناقلة	6-2-3
99	الحماية في التوافقيات	7-2-3
99	متحسسات التردد	8-2-3
100	تصاميم المرحلة	3-3
100	الفواصم	1-3-3
100	خواص الفواصم	1-1-3-3
100	أسباب عدم استخدام الفواصم	2-1-3-3
101	المرحلات الكهروميكانيكية	4-3
101	مرحلات الجذب الكهرومغناطيسي	1-4-3
108	مبدأ عمل مرحلات الجذب الكهرومغناطيسية	2-4-3
112	مرحلات الحث الكهرومغناطيسية	3-4-3
122	المرحلات الحرارية	5-3
125	المرحلات الساكنة	6-3
126	مرحلات التيار المفرط اللحظية الساكنة	1-6-3
127	مرحلات المسافة المسامحية الساكنة	2-6-3

131	المرحلات الرقمية	7-3
133	اعتبارات التصميم للمرحلات الأخرى	8-3
133	تحديد الملامسات	1-8-3
134	دائرة حماية الملامسات	2-8-3
135	الأسئلة	9-3
199 -137	الفصل الرابع مرحلات التيار المفرط	
139	المقدمة	1-4
143	مرحلات التيار المفرط ذات الزمن المحدد DTOC	2-4
146	مرحلات التيار المفرط ذات أقل زمن عكسي محدد IDMT	3-4
150	المصطلحات المعروفة للمرحلة (IDMT)	1-3-4
151	تنظيم المرحلات	2-3-4
152	مثال عددي	3-3-4
155	التنظيم الجيد لمرحلة التيار المفرط الآتية بربطها مع DTOC/IDMT	4-4
157	العطل عند الحالة العابرة	1-4-4
161	بعد المدى عند الحالة العابرة	2-4-4

162	الاختيارية بين مرحلة DTOT و IDMT حسب أطوال خطوط النقل	5-4
163	البرمجيات والتركيبات المادية لمرحلات التيار المفرط	6-4
164	مرحلة التيار المفرط الساكنة	1-6-4
165	مرحلة التيار المفرط المستندة على المعالج الدقيق	2-6-4
168	أمثلة محلولة	7-4
170	المرحلات الاتجاهية	8-4
171	مدى الحاجة للمرحلة الاتجاهية	1-8-4
172	المبادئ الأساسية للمرحلات الاتجاهية	2-8-4
174	المرحلات الاتجاهية لعطل الطور في خطوط ثلاثية الطور	3-8-4
176	الترابطات عند (30°, 60°, 90°)	1-3-8-4
177	استخدام الظواهر الكهرومغناطيسية والحالات الساكنة والرقمية للمرحلات الاتجاهية	4-8-4
178	المرحلات الاتجاهية المستندة على وحدة القدح الحثية	1-4-8-4
181	المرحلات الاتجاهية المستندة على المقارن الطوري	2-4-8-4
183	المرحلة الاتجاهية المستندة على المعدل الحلقي	3-4-8-4

185	المرحلة الاتجاهية المستندة على المعالج	4-4-8-4
187	المراحل الاتجاهية عند حدوث العطل الأرضي	5-4-8-4
188	حماية الخطوط ثلاثية الطور	9-4
188	مراحل التيار المفرط الثلاثية المجهزة من تيارات الخطوط	1-9-4
189	المعلومات المطلوبة لتنظيم المراحل المتغذية من الخطوط	1-1-9-4
191	مراحلتي تيار مفرط تجهز من تيارات الخط و مرحلة ثالثة تجهز من التيار المتبقي	2-9-4
191	المعلومات المطلوبة لمراحلتي التيار المفرط عند عطل الطورين	1-2-9-4
192	المعلومات المطلوبة لمراحلتي التيار المفرط عند العطل الأرضي	2-2-9-4
193	التنظيم القياسي لعطل الطور والعطل الأرضي لمراحلتي التيار المفرط	10-4
194	مراحلتي الإشراف ذات السيطرة الاتجاهية	11-4
194	مرحلة التيار المفرط ذات السيطرة الاتجاهية	1-11-4
194	مراحلتي التيار المفرط ذات الإشراف الاتجاهي	2-11-4
195	محددات المراحل	12-4
197	الأسئلة	13-4

217-199	الفصل الخامس المرحلات الفرقية	
201	المقدمة	1-5
201	نظام الحماية الفرقية البسيط	2-5
202	الأداء عند تيار الحمل	1-2-5
203	الأداء بوجود عطل خارجي	2-2-5
204	الأداء بوجود عطل داخلي	3-2-5
205	خواص المرحلة الفرقية	4-2-5
206	نسبة الاستقرار والمحددات	5-2-5
208	خواص العطل الداخلي	1-5-2-5
209	خواص العطل الخارجي	2-5-2-5
213	نسبة الاستقرار والمحددات	3-5-2-5
213	المرحلة الفرقية المنحازة	3-5
215	نسبة الاستقرار	1-3-5
216	المرحلة الفرقية الخطية ذات الميل المتغير	4-5
217	الأسئلة	5-5

343 - 221	الفصل السادس مرحلات حماية المسافة	
221	المقدمة	1-6
222	مبادئ الحماية المعتمدة على المسافة	2-6
225	خصائص العطل لخط على مخطط (R-X)	3-6
226	خط مغذي من جهة واحدة	1-3-6
227	خط مغذي من جهتين لحالة قبل العطل المانحة	2-3-6
229	خط مغذي من جهتين لحالة قبل العطل الساحبة	3-3-6
230	خصائص مرحلة المسافة	4-6
231	مرحلة المسافة المثالية: الشكل الرباعي (QDR)	1-4-6
232	مرحلة الممانعة البسيطة	2-4-6
232	المرحلة المفاعلية	3-4-6
233	المرحلة المسامحية	4-4-6
234	تنظيم مرحلات المسافة	5-6
235	تأثير مقاومة العطل	1-5-6
236	قطاعات الحماية	2-5-6
237	تأثير نسبة محولتي التيار	3-5-6
237	مرحلة الممانعة البسيطة	4-5-6

238	المرحلة المفاعلية	5-5-6
238	المرحلة المسامحية	6-5-6
239	تركيب المرحلات وفقاً لخصائصها	6-6
239	مرحلات المسافة الكهروميكانيكية	1-6-6
240	تركيبية العتبة المتزنة	1-1-6-6
240	تركيبية القذح الحثي	2-1-6-6
241	مرحلة الممانعة البسيطة	3-1-6-6
242	المرحلة المفاعلية	4-1-6-6
244	المرحلة المسامحية	5-1-6-6
246	مرحلة المسافة ذات الشكل الرباعي	6-1-6-6
247	مرحلات المسافة الساكنة	2-6-6
248	مقارنات السعة ذات الإدخالين	1-2-6-6
249	مقارنات الطور ذات الإدخالين	2-2-6-6
257	التوافق بين المقارن الطوري والسعوي	3-2-6-6
259	المقارنات متعددة الإدخالات	4-2-6-6
260	مرحلة الممانعة البسيطة الساكنة	5-2-6-6
262	المرحلة المفاعلية الساكنة	6-2-6-6
264	المرحلة المسامحية الساكنة	7-2-6-6

267	مرحلة المسافة ذات الشكل الرباعي الساكنة	8-2-6-6
273	مراحل المسافة المستندة على المعالج الدقيق	3-6-6
274	ربط الفولتية والتيار بالمعالج الدقيق	1-3-6-6
275	الحسابات الرقمية لقيمة جنر معدل التربيع RMS للتيار والفولتية والممانعة (القيمة والزاوية)	2-3-6-6
287	تأثير تأرجح القدرة على المراحل المسافية	7-6
287	الاستقرارية والاستقرارية لتأرجح القدرة	1-7-6
290	الممانعة المنظورة من قبل المرحلة عند تأرجح القدرة	2-7-6
292	مخططات المسافة لخطوط النقل ثلاثية الطور	8-6
294	وحدة قياس العطل الطوري	1-8-6
299	مرحلة المسافة للعطل الأرضي	2-8-6
303	مخطط المسافة اللامفتاحي	3-8-6
306	مخطط المسافة المفتاحي	4-8-6
308	مرحلة المسافة المتعددة الطور	5-8-6
308	المقارنة بين مختلف خصائص المرحلة	9-6
309	ميزة الاتجاه	1-9-6
309	قصر المدى عند أعطال القوس الكهربائي	2-9-6

311	الاستقرارية عند تأرجح القدرة	3-9-6
312	مخططات المسافة ثلاثي المراحل	10-6
313	حالة بعد المدى عن أعطال الحالة العابرة وتنظيم القطاع 1	1-10-6
316	تنظيم القطاع 2	2-10-6
317	تنظيم القطاع 3	3-10-6
318	محددات مخطط المسافة ثلاثي المراحل	11-6
318	المقدمة	1-11-6
319	حماية أطول خط نقل	2-11-6
322	مثال عددي	1-2-11-6
323	حماية أقصر خط نقل	3-11-6
327	مثال عددي	1-3-11-6
328	صعوبات الحماية للخطوط المتغذية من جهتين	4-11-6
329	حالات قبل العطل المانحة / الساحبة	1-4-11-6
329	حالات قبل العطل المانحة	2-4-11-6
331	مرحلات الخروج عن التزامن الملحقة بها وحدات الكبح والفصل	12-6
333	مرحلات الخروج عن التزامن الملحقة بها وحدات الكبح	1-12-6

335	مرحلات الخروج عن التزامن الملحقة بها وحدات الفصل	2-12-6
337	مثال عددي	3-12-6
339	الأسئلة	13-6
368 - 345	الفصل السابع المعدات الناقلة في خطوط HV و EHV	
345	المقدمة	1-7
346	الغلق الذاتي	2-7
346	نظام الغلق الذاتي متوسط الفولتية	1-2-7
346	نظام الغلق الذاتي عالي الفولتية	2-2-7
349	تأثير حالات إعادة الغلق الذاتي عالي السرعة على المرحلة وقاطع الدورة	3-7
351	الناقل المزدوج	4-7
351	المقدمة	1-4-7
351	أشكال الناقل المزدوج	2-4-7
353	الناقل بموازرة المعدات المسافية	5-7
353	المقدمة	1-5-7
354	نقل الإفلات أو الإفلات الداخلي	2-5-7
356	تعجيل الناقل	3-5-7

357	كبح الناقل للقطاع الثاني	4-5-7
359	مخططات الناقل الوحدوي	6-7
359	مخطط الناقل الوحدوي اتجاهي القدرة	1-6-7
361	معدة مقارن الطور	2-6-7
368	الأسئلة	7-7
385 -371	الفصل الثامن حماية المولدات	
372	المقدمة	1-8
372	أنواع الأعطال والكشف عنها	2-8
372	أعطال الجزء الساكن	1-2-8
372	أعطال ملفات الجزء الساكن	1-1-2-8
375	العطل الداخلي على نفس الطور	2-1-2-8
377	تيارات الجزء الساكن غير المتزنة	3-1-2-8
378	أعطال الجزء الدوار	2-2-8
379	الأعطال الأرضية	1-2-2-8
380	فقدان الإثارة أو فشل المجال	2-2-2-8
383	حماية الحمل المفرط والتسخين المفرط	3-2-8
383	الحماية من السرعة المفرطة	4-2-8

384	فقدان دخل بادئ الحركة (محرك المولدة)	5-2-8
384	حالات الخروج عن التزامن	6-2-8
385	الأسئلة	3-8
412 -389	الفصل التاسع حماية المحولات	
389	المقدمة	1-9
389	ترابطات المحولة وإزاحة الطور بين تيارات الدخل والخرج	2-9
393	الحماية التفاضلية	3-9
394	ترابطات محولة التيار لموازنة السعة والطور	1-3-9
396	الالتقاط والنسبة المئوية للميل	2-3-9
398	مثال على الأعطال الأرضية الخارجية والداخلية	3-3-9
400	مرحلة العطل الأرضي المقيدة	4-9
402	تيار الاندفاع المغناطيسي	5-9
403	تيارات المغنطة عند الحالة العابرة والمستقرة وتأثيرها على المرحلات التفاضلية	1-5-9
404	تأثير الفيض المتبقي ومنحني B-H اللاخطي	2-5-9
407	المرحلة الفرقية ذات التوافقيات المقيدة	3-5-9
408	حماية الفيض المفرط	6-9

410	مرحلة بوخهولز / مرحلة الضغط الفجائي	7-9
412	حماية وحدة المولدة / المحولة	8-9
412	الأسئلة	9-9
437- 415	الفصل العاشر حماية القضبان العمومية	
415	المقدمة	1-10
416	نسبة محولة التيار	1-1-10
419	العطل الخارجي	2-1-10
421	العطل الداخلي	3-1-10
421	المعدات الفرقية ذات الممانعة العالية	2-10
422	الدائرة المكافئة لمحولة التيار عند حدوث العطل الخارجي	1-2-10
425	الدائرة المكافئة لمحولة التيار عند حدوث العطل الداخلي	2-2-10
427	نسبة الاستقرار	3-10
428	الدائرة الإشرافية وميزات الاختبار	4-10
431	مثال عددي	5-10
437	الأسئلة	6-10

471 - 441	الفصل الحادي عشر حماية المحركات الكهربائية	
441	المقدمة	1-11
442	حماية المحرك من دوائر القصر	2-11
443	الحماية من الحمل المفرط	3-11
445	حماية البدء والتوقف	4-11
447	زمن البدء أقل من زمن التوقف الآمن	1-4-11
447	زمن البدء أكبر من أو يساوي زمن التوقف الآمن	2-4-11
448	الحماية من حالة التوقف	3-4-11
448	محددات حالات البدء	4-4-11
448	الحماية من العطل الأرضي	5-11
449	التأريض الصلد (المباشر)	1-5-11
452	التأريض المقاوم	2-5-11
454	التيارات المتبقية	1-2-5-11
455	الفولتيات المتبقية	2-2-5-11
456	التأريض باستخدام ملف بترسون	3-5-11
456	الحماية من طور التتابع السالب	6-11
459	أعطال الجزء الدوار	7-11

460	الحماية من الفولتية المنخفضة	8-11
460	الحماية من فقدان الحمل	9-11
461	الحماية من فقدان التزامني	10-11
462	الحماية من استعادة المصدر الفجائية	11-11
462	الحماية من التردد المنخفض	1-11-11
463	الحماية من القدرة الواطئة الأمامية	2-11-11
463	أمثلة في حماية المحركات	12-11
463	أمثلة في حماية محركات الفولتية العالية	1-12-11
464	الحماية من الحرارة	1-1-12-11
465	الحماية من تيار القصر	2-1-12-11
466	الحماية من العطل الأرضي	3-1-12-11
466	قفل الدوار أو حماية تجاوز زمن البدء	4-1-12-11
466	الحماية من التوقف	5-1-12-11
467	حماية تتابع الطور السالب	6-1-12-11
467	اعتبارات الحماية الأخرى	7-1-12-11
468	أمثلة في حماية المحركات واطئة الفولتية	2-12-11
469	نسبة محولة التيار	1-2-12-11
469	حماية التيار المفرط (دائرة القصر)	2-2-12-11

470	الحماية الحرارية (الحمل المفرط)	3-2-12-11
471	الحماية من التتابع السالب (حالة عدم الاتزان)	4-2-12-11
471	الحماية من فقدان أحد الأطوار	5-2-12-11
471	الأسئلة	13-11
521 - 475	الفصل الثاني عشر الحماية باستخدام السيطرة المركزية للحاسوب	
475	المقدمة	1-12
476	البنية الهيكلية	1-1-12
477	المسؤوليات ضمن مستويات السيطرة المختلفة	2-1-12
478	التشغيل الطبيعي	1-2-1-12
478	العطل	2-2-1-12
478	إعادة منظومة القدرة للعمل	3-2-1-12
478	تركيب الحاسوب في المحطات الثانوية	3-1-12
480	الميزات الخاصة للقياس الرقمي وطرائق السيطرة	4-1-12
481	تحويل الإشارات التناظرية إلى رقمية A/D	2-12
481	المقدمة	1-2-12
482	مرشح الإشارة التناظرية	2-2-12
483	متغيرات الإدخال لمحول A/D	3-2-12

484	طريقة I	1-3-2-12
486	طريقة II	2-3-2-12
488	التحقق من المعلومات	4-2-12
493	الحماية الحاسوبية	3-12
493	محاسن الحماية الحاسوبية	1-3-12
497	قائمة خوارزميات حماية خط النقل	2-3-12
497	تحليل فورير - عرض موجة واحدة (دورة واحدة)	1-2-3-12
500	تحليل والنش	2-2-3-12
500	العينة وطريقة الاشتقاق	3-2-3-12
502	طرائق أخرى	4-2-3-12
507	التراكيب المنطقية للحماية الرقمية	4-12
507	المقدمة	1-4-12
508	التراكيب المنطقية لتحديد مواصفات مرحلة المسافة	2-4-12
510	تصميم الحماية الرقمية ومعدات السيطرة	5-12
512	سريان الإشارة	1-5-12
515	بنية النظام	2-5-12
516	سيطرة المشغل	3-5-12

516	تضبيط منظومات الحماية (APS)	6-12
517	المنظومات الخبيرة (ES)	7-12
519	الأسئلة	8-12
550 -523	الفصل الثالث عشر الآفاق المستقبلية والتطور الحديث	
523	المقدمة	1-13
524	المرحلات المستندة على الموجات المتحركة	2-13
525	الموجات المتحركة القادمة من الأعطال الخارجية والداخلية	1-2-13
527	مرحلة الموجة المتحركة الاتجاهية	2-2-13
528	مبادئ التشغيل	3-2-13
531	المحصلة	4-2-13
531	المرحلات المستندة على الضوضاء الطبيعية الاستاتيكية	3-13
531	المقدمة	1-3-13
532	أسس عمل المرحلة	2-3-13
533	المرحلات الديناميكية	4-13
535	اختيار المشتقات	1-4-13
536	تطور المرحلة المسامحية MHO	2-4-13

538	المخطط الكتلي	3-4-13
539	وحدة القرار	1-3-4-13
539	معامل الوزن	2-3-4-13
540	المرحلات المكيفة	5-13
540	تنظيم المرحلة رقمياً	6-13
540	الإفلات الداخلي بدون ناقل	7-13
543	النظرة المستقبلية	8-13
543	الشبكة العصبية الاصطناعية ANN	1-8-13
546	تشوه المجال المغناطيسي والكهربائي	2-8-13
546	الدوال قائمة الزاوية السريعة حاسوبياً	3-8-13
547	العينات الدورية	4-8-13
549	محددات الترحيل	9-13
550	المصادر	

تمهيد

الكتاب الذي بين يديك عزيزي القارئ هو ثمرة جهد وعمل طويل في مجال الحماية. وقد روعي في هذا الكتاب أن يكون وفق مناهج طلبية الدراسات الأولية وفي تخصصات الهندسة الكهربائية بفرعها القدرة والمكائن والكهرباء العام، كما يمكن الاستفادة منه كمرجعاً لتوسيع الامكانيات العلمية للمهندسين والفنيين العاملين في مديريات الكهرباء والمعامل والمصانع وغيرها، هذا بالإضافة إلى طلبية المعاهد الفنية والتقنية وذوي الاختصاص.

وقد قمت بتأليف هذا الكتاب تأكيداً على المضي حثيثاً في تعريب الدراسة في التعليم العالي وحسب احتياجات التعليم سواء أكان بالترجمة أم بالتأليف. وأخيراً أن الجهد الذي بين يدي القارئ الكريم هذا لا يخلو من أخطاء وهفوات وحسبنا قول الإمام المزملي (رحمه الله):

لو عرض كتاب سبعين مرة لوجد فيه خطأ
أبى الله أن يكون كتاباً صحيحاً غير كتابه

والله ولي التوفيق

المقدمة

تزداد منظومات القدرة الكهربائية تعقيداً من خلال تكامل وتوسع الشبكات الكهربائية. وهذه الزيادة تعكس مدى التطور العلمي الحاصل للطاقة الكهربائية، وعليه فإن القطع القصير في مصدر التجهيز الكهربائي يمكن أن يقود إلى كارثة كبيرة. إن معدات المنظومات الحيوية، واستمرار العمليات الصناعية، وشبكات الحاسبة الالكترونية والاتصالات جميعها تتطلب مصدر تجهيز متواصل.

إن مهندسي حماية القدرة الكهربائية يكونوا دائماً تحت ضغط وحذر شديدين لجعل هذه المنظومات مستمرة بالعمل في أية لحظة، عند حدوث الأعطال. وهذا يتطلب وثوقية ودقة عالية لمنظومة الحماية.

إن مراحل الحماية قد تطورت من المعدات الكهروميكانيكية مع ملامسات الإفلات إلى المراحل الرقمية المستندة على المعالجات. إن تشغيل المراحل في السابق كان يستند على المقارنة بين فيضيين جيبين لغرض توليد عزم التشغيل وعزم الإعاقة.

أما اليوم فإن عمل المراحل التناظرية والساكنة يعتمد على المقارنة بين السعة أو الطور بينما المراحل التي تستند على المعالج تشمل إضافة إلى ذلك خصائص الحاسبة واتخاذ القرارات المنطقية. ولا تتحدد هذه المراحل بخصائص معينة دائماً تكون شاملة وتواكب التطورات.

تعتبر الطاقة الكهربائية واحدة من أهم مصادر الصناعة المتطورة وعليه يجب أن تكون هذه المصادر ثابتة الفولتية والتردد، وبالكمية الدقيقة المطلوبة. إن إنجاز هذا التوصيف يتطلب عناية فائقة في وضع المخططات، والتصميم والنصب وتشغيل الشبكة الكهربائية المعقدة التي تشمل المولدات والمحولات وخطوط النقل وخطوط التوزيع.

إن مبدأ عمل مراحل الحماية هو تحديد الحالات الغير طبيعية في منظومة القدرة والبدء وبسرعة عالية وقدراً الإمكان لإعادة المنظومة إلى الحالة الطبيعية مرة أخرى.

إن السرعة العالية تتطلب تحسين الاستجابة في أزمان قليلة تقاس بالمللي - ثانية، وهذه الاستجابة يمكن أن تكون ذاتية وسريعة تعمل على تقليل الخسائر في منظومة القدرة.

إن الخصائص التي يجب أن تتمتع بها مراحل الحماية هي: التشخيص الدقيق للمشكلة، وسرعة الاستجابة وتقليل الاضطرابات في منظومة القدرة - ولتحقيق هذا الهدف يجب دراسة واختبار جميع أنواع الأعطال والحالات الغير طبيعية التي تحدث في منظومة القدرة. كما يجب تحليل الاستجابة المطلوبة لكل حادثة من الحوادث الحاصلة وتصميم معدات الحماية لتجهيز الاستجابة المطلوبة. كما يجب فحص معدات الحماية بصورة مستمرة لضمان ديمومة عملها بصورة صحيحة ودقيقة.

الفصل الأول

الأعطال ومتطلبات الحماية

الفصل الأول

الأعطال ومتطلبات الحماية

1-1 المقدمة

- تتعرض منظومات القدرة الكهربائية إلى عدة أنواع من الأعطال أو دوائر القصر، وإن من أسباب العطلات التي تحدث هي:
- 1- تعرض العوازل السليمة إلى الفولتيات العابرة، والتي تستغرق فترة زمنية قصيرة وتكون إما بسبب عمليات الفتح والغلق (Switching) أو بسبب ضربات الصواعق المباشرة وغير المباشرة. وتتسبب هذه الفولتيات في تدمير وفشل العازل وذلك نتيجة لتيار العطل أو تيار القصر والذي قد تصل قيمته (20-30) مرة أكبر من تيار الحمل الكلي أو التيار المقتن.
 - 2- تقادم العوازل أو كسرها والذي قد يسبب الانهيار الكهربائي حتى في حالات القدرة الطبيعية.
 - 3- العوارض الخارجية كجنوح الأشجار والطيور والقوارض وغيرها.

2-1 أنواع الأعطال

تصنف الأعطال إلى نوعين:

- 1- الأعطال المتماثلة: وهي الأعطال التي تحدث بسبب دائرة قصر للتيار بين الأطوار الثلاثة وهي أشد أنواع الأعطال تأثيراً على المنظومة وأقلها حدوثاً.
- 2- الأعطال غير المتماثلة: وتكون على عدة أنواع مثل عطل الخط إلى الخط (L-L) وعطل الخط إلى الخط والأرضي (L-L-G) وعطل الخط إلى الأرضي (L-G) وهذه الأعطال هي الأكثر شيوعاً خصوصاً عطل الخط إلى الأرضي والذي يؤدي حدوثه إلى زيادة تيارات العطل غير المتماثلة في الأطوار الثلاثة.

كذلك يمكن تصنيف الأعطال حسب الحوادث وهي:

1-2-1 الأعطال الدائمة Permanent Faults

وهي الأعطال التي تحدث بسبب ثقب أو تكسر العازل أو تحطم الموصلات وسقوط إحداها إلى الأرض، إن نسبة حدوث هذه الأعطال قد تصل إلى حوالي 20%.

2-2-1 الأعطال العابرة Transient Faults

تحدث هذه الأعطال بسبب الفولتية العابرة التي تحدث بسبب عمليات الفتح والغلق أو ضربات الصواعق، تستغرق هذه الأعطال فترة قصيرة وتقوم المرحلات بالتحسس بها وفصل قواطع الدورة ، وبعد فترة وجيزة. يعود قاطع الدورة إلى العمل ذاتياً (Auto-Relcosing)، إن نسبة حدوث هذه الأعطال قد يصل إلى حوالي 70%.

3-2-1 الأعطال شبه العابرة Semitransient Faults

وتحدث هذه الأعطال بسبب العوارض الخارجية مثل فروع الأشجار أو القوارض ويستخدم قاطع الدورة الذاتي للعودة إلى العمل بعد زوال تأثير العارض الخارجي وكما في الأعطال العابرة.

3-1 تأثيرات الأعطال على الشبكات الكهربائية

يكون تأثيرات الأعطال على الشبكات الكهربائية كبير جداً خصوصاً الأعطال الثلاثية الطور التي تسبب تيار قصر عالي جداً. وإن تأثيرات الأعطال يمكن تلخيصها بالنقاط التالية :

1- تحطم الأجهزة والمعدات العاملة في المنظومة الكهربائية بسبب القوة الميكانيكية والحرارة العالية.

- 2- قد يسبب القوص الكهربائي حريق يؤدي إلى تدمير الأجهزة والمعدات وانتشار الحريق إلى باقي أجزاء المنظومة.
- 3- تسبب تيارات القصر العالية إلى هبوط الفولتية والتي تؤثر على الأحمال وقد تسبب في هبوط التردد وعدم استقرار المنظومة الكهربائية.
- 4- ارتفاع درجات الحرارة في الأجهزة والمعدات الكهربائية بسبب الأعطال غير المتماثلة وظهور مركبات التتابع السالب للتيار.

4-1 متطلبات الحماية

تقوم أجهزة الحماية بعملية إجراء التحسس المستمر لسير العمل في منظومة القدرة الكهربائية، وحين حدوث أي تغيير في عمل المنظومة من الحالة الطبيعية إلى الحالة غير الطبيعية، نتيجة لوقوع العطل، يكون باستطاعة أجهزة الحماية التمييز بين هاتين الحالتين. إن التغيير في عمل المنظومة مثل تغيير التيار أو الفولتية أو التردد أو زاوية القدرة وكذلك اتجاه سريان القدرة الفاعلة أو الظاهرية وغيرها يمكن أن تتحسس به أجهزة الحماية وتقوم بإصدار إشارة الإفلات Trip Signal إلى قاطع الدورة لفصل الجزء العاطل. إن أغلب المرحلات تتزود بالطاقة بواسطة محولات التيار (CTs) أو محولات الجهد (PTs) أو كليهما معاً. وتقوم مغيرات الطاقة (Transducer) هذه بتقليل قيمة التيار والفولتية إلى مستوى مناسب لعمل مرحلات الحماية فضلاً عن العزل الفيزيائي لهذه المرحلات عن الفولتيات العالية والفائقة. إن المتطلبات الأساسية لمعدات الحماية هي:

1- الوثوقية Reliability

وهي ضمان استجابة معدات الحماية للعمل بصورة مؤكدة وبشكل يعتمد عليه إلى أبعد الحدود.

2- الحساسية Sensitivity

وهي ضمان تحسس معدات الحماية لأقل تيار عطل يحدث نسبة إلى التيار المقنن أو تيار الحمل الكلي.

3- التمييزية Discrimination

وهي حصر عمل معدات الحماية داخل الشبكة المقننة عند حدوث عطل داخلي وضمان عدم عملها عند حدوث عطل خارج الشبكة المعينة وهذا يعني إمكانية التمييز بين الأعطال الخارجية والداخلية.

4- الاختيارية Selectivity

وتعني اختيار أقرب قاطع دورة عن العطل، للعمل عند حدوث العطل.

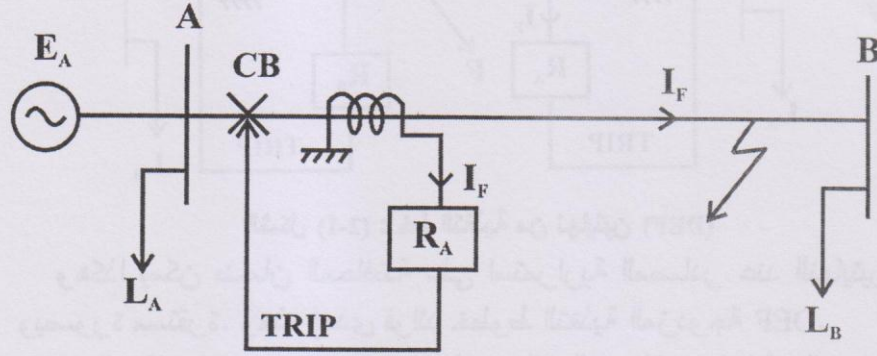
5- السرعة في الأداء Speed of Operation

سرعة الأداء تؤدي إلى تقليل الأضرار التي قد تتجم عند حدوث العطل وتلافي عرقلة عمل المنظومة.

5-1 المواقع المناسبة لقواطع الدورة

إن اختيار المواقع المناسبة لقواطع الدورة في منظومات القدرة الكهربائية، يتطلب معرفة مسبقة بالمخططات الكهربائية وأنواع الخطوط والشبكات. إن عناصر أي نظام قدرة تزود بالطاقة الكهربائية إما من نهاية واحدة (SEF) (Single End Feed)، وفي هذه الحالة، يجب وضع قاطع دورة واحد قرب مصدر التغذية، وهذا ما يوضحه الشكل (1-1)، حيث أن الخط AB يتزود بالطاقة الكهربائية من نهاية واحدة (SEF) ويوجد أحمال عند العمومي A والعمومي B هي L_B, L_A فإذا ما حصل عطل فإن المرحلة R_A تقوم بإعطاء إشارة الإقلاط إلى قاطع الدورة والذي يقوم بدوره بعزل

الجزء العاقل وعليه فإن الحمل L_B سوف يفقد التغذية بينما الحمل L_A سوف يستمر بالتزود بالطاقة الكهربائية.



الشكل (1-1) : خط التغذية من نهاية واحدة (SEF)

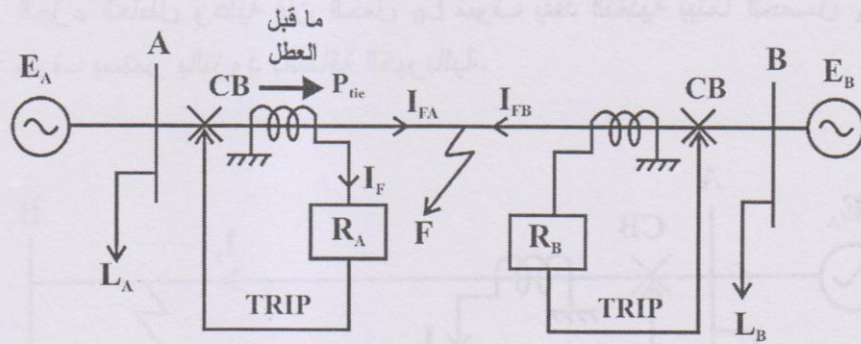
أما إذا كانت التزود بالطاقة الكهربائية من نهايتين (DEF) Double End (Feed) وكما هو موضح بالشكل (2-1) فإن تيار العطل يتزود من مصدري التغذية E_A , E_B وقواطع الدورة المطلوبة تكون عند كل نهاية لأن تيار العطل يحصل على التغذية من النهايتين، وعليه فإن المرحلتان R_A , R_B وقواطع الدورة سوف تقوم بعزل العطل عن المصدرين وعن الأحمال L_A , L_B التي تستمر بالتزود بالطاقة الكهربائية من المصادر القريبة منها ما عدا خط الربط (Tie-Line) بين الحملين فإنه سوف يفقد الموائمة بين المولد والحمل.

$$\text{End A Paccelating} = P_{\text{tie}}$$

$$\text{End B Paccelating} = P_{\text{tie}}$$

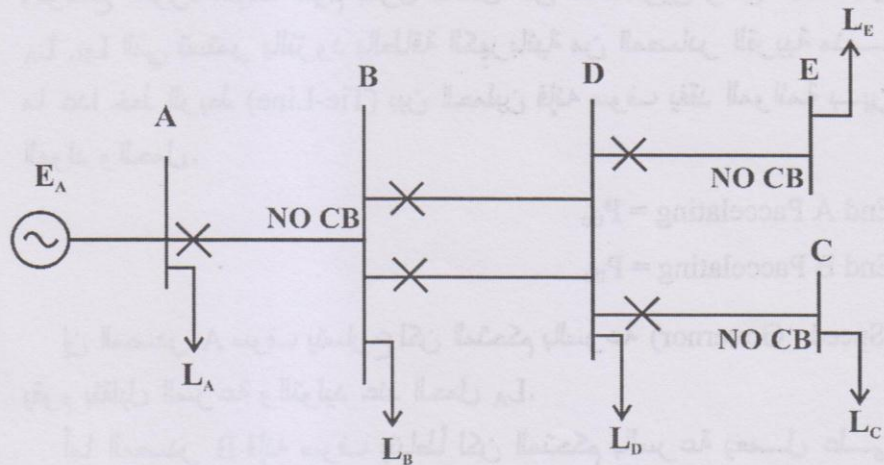
إن المصدر A سوف يتسارع لكن المتحكم بالسرعة (Speed Governor) يقوم بتقليل السرعة والتوليد عند الحمل L_A .

أما المصدر B فإنه سوف يتباطأ لكن المتحكم بالسرعة يعمل على زيادة السرعة والتوليد بالموائمة مع الحمل عند B.



الشكل (2-1) : خط التغذية من نهايتين (DEF)

وهكذا يمكن ضمان المحافظة على استمرارية المصادر عند النهايتين وبصورة مستقرة. وهذه إحدى فوائد خطوط التغذية المزدوجة DEF. إن الشكلين (1-1) و (2-1) يوضحان مواقع المرحلات وقواطع الدورة. وعليه فإن قواطع الدورة يجب أن تكون في النهايتين عندما تكون التغذية (DEF)، أو توضع في نهاية واحدة عندما تكون التغذية (SEF). إن الشبكات الكهربائية التي تمتلك أكثر من مصدرين للتغذية ومجموعة قضبان عمومية وخطوط نقل هي السائدة وعليه يجب التأكد من انسيابية عمل المنظومة الكهربائية واختيار المواقع الصحيحة لتحقيق أفضل عمل لقواطع الدورة وهذا ما يوضحه الشكل (3-1).



الشكل (3-1): المواقع المناسبة لقواطع الدورة في منظومة القدرة الكهربائية

1-6 أنواع الحماية

لضمان ديمومة عمل المنظومات الكهربائية بصورة صحيحة من الضروري استخدام أكثر من منظومة للحماية وذلك لشمول كافة المناطق بالحماية، فعند حدوث عطل في منظومة الحماية المخصصة لحماية جزء معين من المنظومة فسوف يؤدي توقفه عن العمل، فإذا ما اشتغلت منظومة الحماية بشكل جيد فسوف تحمي ذلك الجزء وعدم اشتغالها يعني حدوث كارثة مؤلمة. من هنا فإن وجود أكثر من منظومة حماية تؤدي إلى ضمان حماية المنظومة حتى ولو فشلت المنظومة الأولى في العمل، وهذا مما يؤدي إلى زيادة الثقة في منظومة الحماية وعليه يمكن تقسيم الحماية إلى قسمين هما الحماية الرئيسية Primary Protection والحماية الساندة (Back-up Protection).

1-6-1 الحماية الرئيسية Primary Protection

هي منظومة الحماية الرئيسية لذلك الجزء من الشبكة الكهربائية والتي تستند في عملها على خصائص ذلك الجزء وتوفر الحماية عند حدوث العطل وفقاً للفترة الزمنية المخصصة لها، وتكون هذه الفترة الزمنية عادة أقل ما يمكن. إن الشكل (1-4) يوضح خطين شعاعين AB, BC لهما مصدر تغذية من نهاية واحدة E_A ومرتبطة معهما الأحمال التالية L_A, L_B, L_C . عند العموميات A, B, C فإذا ما حدث عطل عند الخط BC الذي يتغذى من المصدر E_A فإن مواقع قواطع الدورة تكون صحيحة وإن تيار الإدخال للمرحلة R_b هو I_r ويكون للمرحلة هذه معيارين هما

أ- تيار الالتقاط ($I_{p.v.}$) (Pick up Current).

ب- زمن الاشتغال (T_{op}) (Operating Time) وعليه فإن المرحلة سوف تعمل على إصدار إشارة الإفلت إلى قاطع الدورة في زمن T_{op} عندما تزداد قيمة تيار المرحلة عن قيمة تيار الالتقاط.

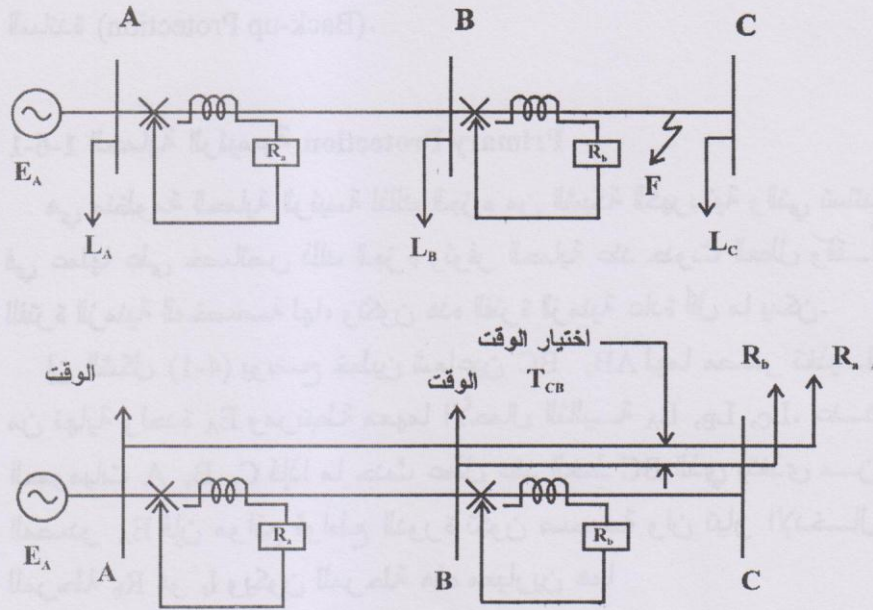
تعتبر الحماية التي تقوم بها المرحلة R_b مع قاطع الدورة هي حماية رئيسية، حيث تعمل بشكل مرضي لعزل الخط العاطل BC ونلاحظ أنه لحالة التغذية الأحادية (SEF) فإن الحمل L_c سوف يفقد ولا تتأثر بقية الأحمال. إن فترة استغراق العطل تكون مهمة جداً في حساب الزمن في الحماية الرئيسية وهي تتكون من زمنين هما:

أ- T_r وهو الزمن التنظيمي المصممة عليه المرحلة وتشمل فترة استغراق العطل لحد صدور إشارة الإقلاط.

ب- T_{CB} هي فترة عمل قاطع الدورة.

وعليه فإن فترة استغراق العطل تساوي:

$$\text{Fault Duration} = T_r + T_{CB}$$

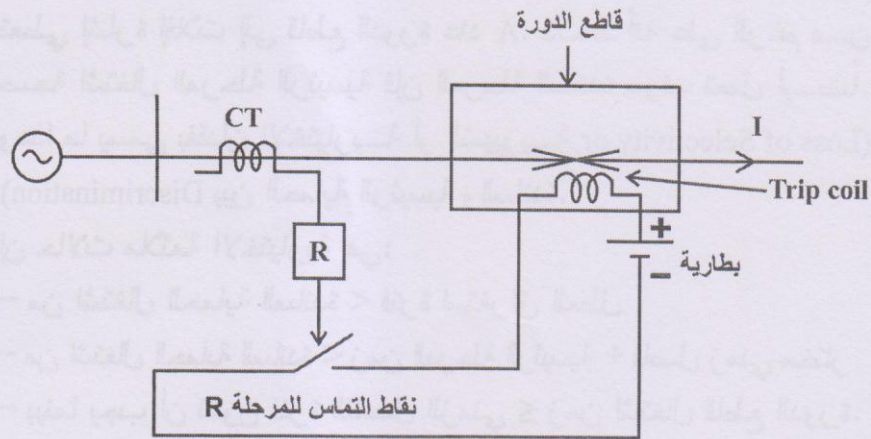


الشكل (4-1): الحماية الرئيسية لخطوط النقل

إن أهمية الحماية الرئيسية كونها الخط الدفاعي الأول تكمن في قدرتها على حماية المنظومة الكهربائية بوثوقية عالية وعليه يجب التأكيد على أهمية دراسة أسباب فشلها لغرض تجنبه.

إن الشكل (5-1) يوضح منظومة حماية نموذجية تتألف من محولة التيار والمرحلة ودائرة السيطرة على عمل قاطع الدورة وحالة فشل أي جزء من أجزاء هذه المنظومة سوف يؤدي إلى فشل الحماية الرئيسية. ويمكن تلخيص أسباب فشل الحماية الرئيسية كما يلي:

- 1- فشل في محولات التيار أو الفولتية.
- 2- فشل التوصيلات بين المرحلة ومحولات التيار أو الفولتية.
- 3- فشل عمل المرحلة في الوقت المناسب.
- 4- فشل في البطارية أو منظومة التيار المباشر DC.
- 5- فشل في دائرة الإفلات.
- 6- فشل في عمل قاطع الدورة لأسباب ميكانيكية. أو ربما في التحام الملامسات، وسببه نتيجة إعادة غلق قاطع الدورة عند حدوث العطل ذا التأثير الارتدادي.



الشكل (5-1): منظومة الحماية النموذجية

2-6-1 الحماية الساندة Back up Protection

تعتبر الحماية الساندة بمثابة الخط الدفاعي الثاني في حالة فشل الحماية الرئيسية ، وبالعودة إلى الشكل (4-1) يمكن اعتبار أن هنالك احتمالية فشل الحماية الرئيسية عند الجهة B للعطل الحاصل في الخط BC وعليه فإن تيار العطل سوف يستمر. لذا كان من الضروري استخدام حماية إضافية للخط BC تسمى بالحماية الساندة وهي على نوعين:

أ - الحماية الموقعية Local Protection.

ب - الحماية عن بعد Remote Protection.

تفضل الحماية عن بعد على الحماية الموقعية بسبب احتمال فشل الحماية الموقعية لاعتمادها على دائرة الشحن (البطارية). في المخطط الموضح بالشكل (4-1) فإن الحل المناسب لحماية الخط BC هو تجهيزه بحماية رئيسية عند B وحماية ساندة عن بعد عند القضيب العمومي A. ولكن ذلك ليس الحل الكامل.

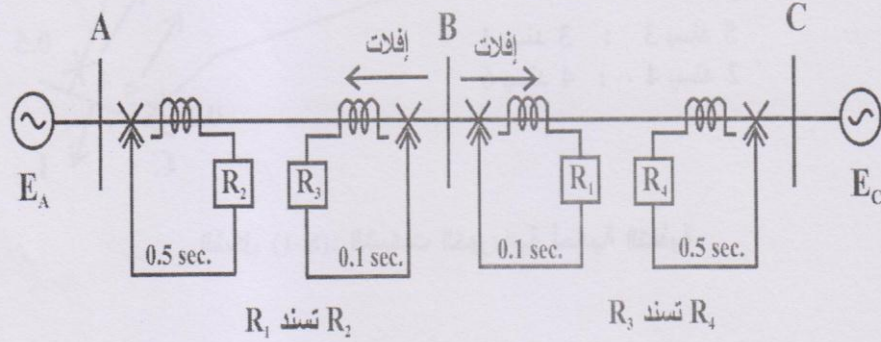
على افتراض أن الحماية الرئيسية عملت بشكل مرضي وكانت فترة استغراق العطل ($T_r + T_{CB}$) ثانية، وإذا كان زمن اشتغال المرحلة الساندة عند المحطة A أقل من فترة استغراق العطل، فإن المرحلة الساندة سوف تعطي إشارة إفلت إلى قاطع الدورة عند A. نلاحظ أنه على الرغم من صحة اشتغال المرحلة الرئيسية فإن المرحلة الساندة سوف تعمل أيضاً. وهذا ما يسمى بفقدان الاختيارية أو التمييزية (Loss of Selectivity or Discrimination) بين الحماية الرئيسية والساندة.

إن حالات ملائمة الاختيارية هي:

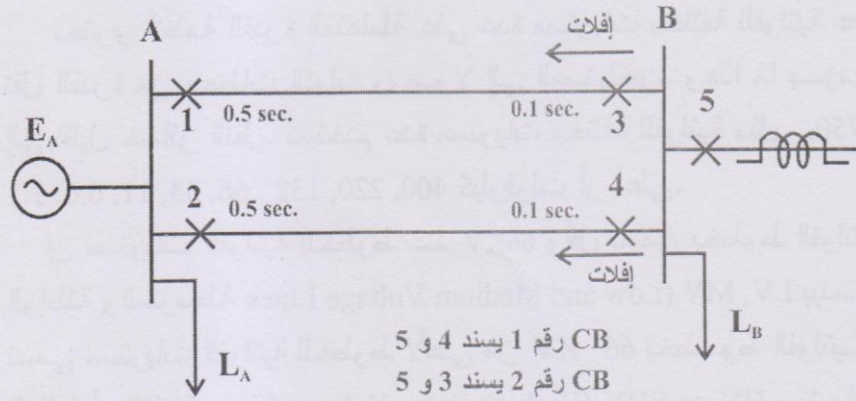
- من اشتغال الحماية الساندة < فترة استغراق العطل
- من اشتغال الحماية الساندة < زمن المرحلة الرئيسية + فاصل زمني مختار
- بينما يجب أن تكون فترة الفاصل الزمني \leq زمن اشتغال قاطع الدورة.

توضح الأشكال (6-1) ÷ (8-1) المواقع المناسبة لقواطع الدورة وأزمان الاشتغال بالاعتماد على الاختيارية لمرحلات الحماية الرئيسية والساندة للمخططات في الأشكال السابقة التي تمثل :

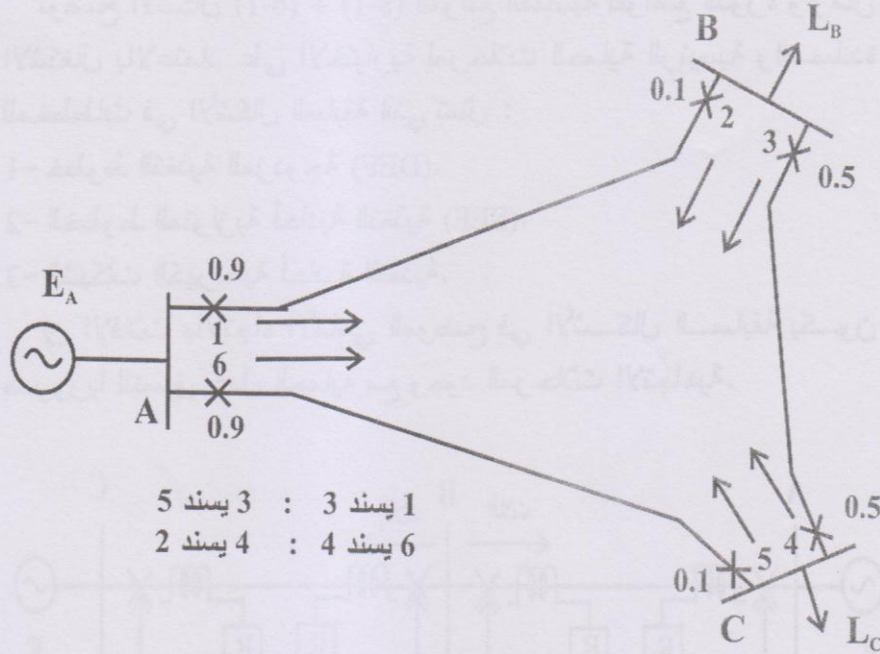
- 1- خطوط التغذية المزدوجة (DEF).
 - 2- الخطوط المتوازية أحادية التغذية (SEF).
 - 3- الشبكات الكهربائية أحادية التغذية.
- إن الإفلات بالاتجاه الأمامي الموضح في الأشكال السابقة يكون ضرورياً لتنسيق عمل الحماية مع وجود المرحلات الاتجاهية.



الشكل (6-1): خطوط التغذية المزدوجة (DEF)



الشكل (7-1): الخطوط المتوازية أحادية التغذية (SEF)



الشكل (8-1): الشبكات الكهربائية أحادية التغذية

7-1 متطلبات الحماية عند تباين فولتية الخط

تحتوي أنظمة القدرة المتكاملة على عدة مستويات مختلفة للفولتية عند نقل القدرة من محطات التوليد ووصولاً إلى المستهلكين. وهذا ما يؤدي إلى تقليل خسائر النقل. تستخدم عدة مستويات مختلفة للفولتية مثل 750, 400, 220, 132, 66, 33, 11, 6.6, 3.3 كيلو فولت أو أعلى. إن مستويات الفولتية للخطوط عند 66KV وأقل تسمى بخطوط الفولتية الواطئة والمتوسطة LV, MV (Low and Medium Voltage Lines) بينما تسمى مستويات الفولتية للخطوط لأعلى من 66 KV بخطوط الفولتية العالية أو الفائقة HV or EHV (High or Extra Voltage Lines) مستويات الفولتية هذه تختلف من قطر إلى آخر.

وبناء على ذلك أصبح هنالك تنوع واسع في مراحل الحماية اعتماداً على المستويات المختلفة للفولتية مثل حماية التيار المفرط وحماية المسافة والحماية التفاضلية وحماية الموجه الحاملة لخط القدرة (Power Line Carrier) وغيرها. كما أن الأسس لمتطلبات الحماية تختلف عند تزايد فولتية الخط، فضلاً عن أن كلفة معدات الحماية تتحدد بالعلاقة مع نوع الحماية المستخدمة مثلاً لا تطبق حماية المسافة على الخطوط ذات الفولتية 6.6 KV بسبب كلفتها العالية. وعليه يجب مراعاة مسألة تزايد الفولتية عند اختبار نوع المرحلة المستخدمة.

1-7-1 الخطوط الشعاعية والمتداخلة ومسألة الاستقرار

من المعلوم فإن خطوط الفولتية المنخفضة والمتوسطة عادة هي خطوط شعاعية وعليه فإن مسألة الاستقرار العابرة لا يكون لها تأثير واضح عليها.

أما خطوط الفولتية العالية أو الفائقة فهي أساساً متداخلة ورابطة بين محطات القدرة والشبكات الكهربائية وعليه فإن تأثير الاستقرار العابرة عليها يكون مؤثراً وفعالاً وهذا ما يجعل سرعة عمل المرحلات مطلباً أساسياً ومهماً.

2-7-1 الأعطال والأضرار

إن أعطال القدرة MVA والتيار تكون كبيرة في خطوط الفولتية العالية HV والفائقة EHV خصوصاً إذا كانت هذه الأعطال قريبة من مصادر التجهيز. أما خطوط النقل المنخفضة LV والمتوسطة MV فتكون الأعطال صغيرة كونها أيضاً بعيدة عن مصادر التجهيز وعليه فإن ممانعة العطل من المصدر إلى نقطة معينة على الخط تكون أكبر مقارنة مع خطوط HV و EHV. يمكن القول أن أعطال القدرة MVA تكون عائدة إلى الأعطال ثلاثية الطور وعليه فإنها تكون أكثر ضرراً على الأجهزة والمعدات وعليه يجب استخدام مراحل ذات سرعة استجابة عالية مع قواطع دورة لها نفس الصفات.

3-7-1 قواطع الدورة ذات الغلق الذاتي

هنالك نوعين من قواطع ذات الغلق الذاتي (Auto Recloser).

1- قاطع الدورة ذا الغلق الذاتي أحادي الضربة (Single-Shot) عالي السرعة

يفضل استخدام هذا النوع من قواطع الدورة في خطوط النقل HV و EHV وذلك لأجل تحقيق الاستقرار. ولا يفضل استخدام قاطع الدورة ذا الغلق الذاتي متعدد الضربات في HV و EHV بسبب حصول الصدمات المفاجئة التي تؤدي إلى تلف المنظومة.

2- قاطع الدورة ذا الغلق الذاتي متعدد الضربات (Multi-Shot)

الهدف من استخدام قاطع الدورة ذا الغلق الذاتي متعدد الضربات يختلف كلياً عن أحادي الضربة، وهذا يعني بالأساس تحسين الأمان وديمومة مصدر التجهيز عند حدوث الأعطال شبه العابرة. تحدث مثل هذه الأعطال بسبب خارجي مثل الطيور أو تدلي فروع أو قضبان موصلات القدرة أو القضبان العمومية. المسببات الخارجية هذه يمكن أن تحترق عند مرور تيار العطل المتكرر من خلالها ويتم المعالجة بواسطة قاطع الدورة ذا الغلق الذاتي متعدد الضربات. عادةً لايسمح لأكثر من حالتي غلق ذاتي في الحدث.

إن الهدف الأساسي من السرعة العالية والغلق الذاتي أحادي الضربة هو لتحسين الاستقرار العابرة والتأكيد على سلامة مصادر التجهيز في خطوط HV و EHV. بينما الهدف من قاطع الدورة ذا الغلق الذاتي متعدد الضربات هو لتمرير تيار العطل المتكرر خلال حجرة إزالة العطل من أجل المحافظة على استمرارية التجهيز.

4-7-1 الاختيارية بين المرحلات المتجاورة

إن الاختيارية تعتبر مهمة جداً ولا تقل أهمية عن تزايد فولتية الخط. اعتبر أن الخطين الشعاعيين AB و BC بين القضبان A, B, C بنفس الطول، وأن أحد الخطوط متوسط الفولتية MV والخط الآخر HV كما هو موضح بالشكل (9-1). افرض أن الحمل واقع على القضيب المتوسط B وهو L_{MV} على الخط MV والحمل L_{HV} على الخط HV هذا بالإضافة إلى ذلك نلاحظ بأن الخطين مختلفي الفولتية فإنه:

$$L_{HV} \gg L_{MV}$$

إن سعة قدرة النقل في الخطوط متقاربة.

$$P_{active} = \frac{V^2}{Z_0} [MW]$$

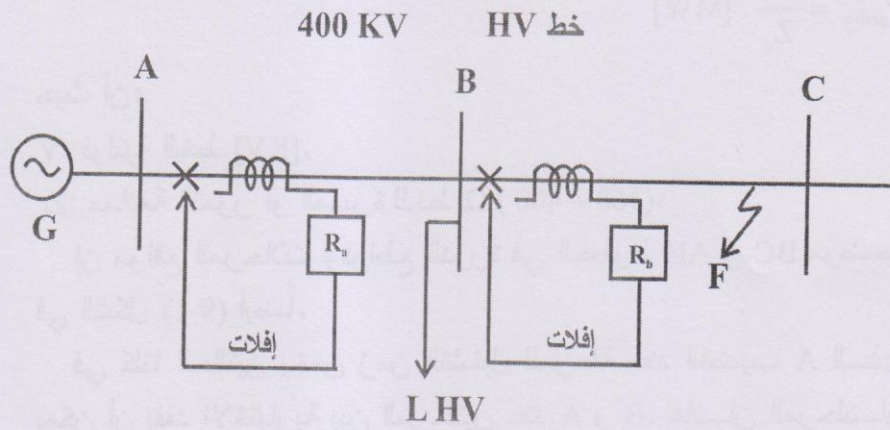
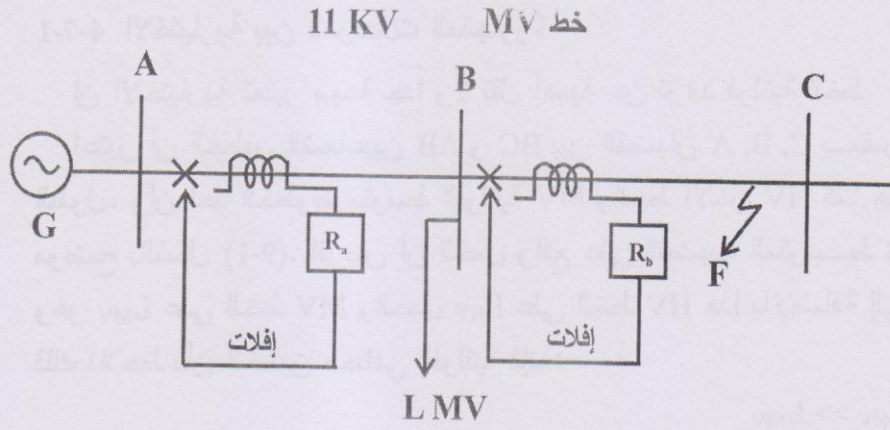
حيث أن:

V: فولتية الخط [KV].

Z_0 : ممانعة التمور أو الممیزة للخط Ω (360 ÷ 400).

إن مواقع المرحلات وقواطع الدورة في الخطوط AB و BC موضحة في الشكل (9-1) أيضاً.

في كلتا الحالتين يخمن زمن التشغيل للمرحلة عند القضيب A الذي يمكن أن يفقد الاختيارية بين المرحلتين عند A و B. هاتان المرحلتان تدعيان بمرحلتَي التجاور. فعند حدوث العطل على الخط BC، نلاحظ أنه على الرغم من ثلاث وظائف الترحيل الرئيسي (Primary)، فإن المرحلة مع قاطع الدورة عند A يكون لها سوء أداء من خلال الاختيار المناسب للفترة الزمنية وسوف تفقد الحمل L_{HV} في خطوط HV مقارنة مع L_{MV} في خطوط MV. وبما أن $L_{HV} \gg L_{MV}$ فإن الأحمال في خطوط HV سوف تخرج عن العمل وبصورة واسعة.



شكل (9-1) : الاختلاف عند قواطع الحمل في حالات

خطوط (LV و MV) وخطوط HV

5-7-1 كلفة الحماية

إن كلفة الحماية تكون عالية في خطوط النقل HV و EHV. إن النسبة المئوية لكلفة الحماية تتراوح من 10% إلى 15% من كلفة معدات وأجهزة خطوط النقل. وعليه يظهر جلياً البعد الاقتصادي وأهمية عمل معدات الحماية بوثوقية عالية.

6-7-1 التباين في متطلبات الحماية

يظهر التباين في متطلبات الحماية جلياً وبوضوح في الجدول 1-1. من خلال دراسة الجدول يمكن القول بأنه عند تزايد فولتية الخط فإن سرعة الترحيل والاختيارية المفترضة تكون مهمة ومهمة جداً. وعليه فإن اختيار مرحلات التيار المفرط اللحظية (Over Current) OC يكون مناسباً لخطوط HV و EHV. يمكن الحصول على سرعة الترحيل (اللحظية) لكن مرحلات OC ليس لها المقدرة على إبقاء الاختيارية ضمن الحدود التصميمية في حالة حدوث أعطال القدرة MVA.

جدول (1-1): التباين في متطلبات الحماية

خط HV و EHV	تباين متطلبات الحماية	خط LV و MV
تزايد	فولتية الخط	تقليل
تزايد	عطل مضر	تقليل
خط ربط	خط ربط أو شعاعي	شعاعي
تؤثر فعلاً	مسألة الاستقرار	لا تتأثر
أحادي الضربة	قاطع دورة ذا غلق ذاتي	متعدد الضربات
ليس سوء الأداء	الحماية الساندة	ربما سوء الأداء
كبير	خروج الحمل عن موقعه	صغير
(غير محتمل) يمكن	فقدان الاختيارية	(محتمل) لا يمكن

8-1 الأسئلة

- 1- لماذا تكون الحماية الساندة مطلوبة وضرورية؟
- 2- عدد أسباب فشل الحماية الرئيسية.
- 3- لماذا تفضل الحماية الساندة عن بعد على الحماية الموقعية؟
- 4- ما هي فترة استغراق العطل للحماية الرئيسية؟
- 5- ماذا نعني بالاختيارية والتمييزية ومواقع التجاور للمرحلة؟
- 6- ماذا يقصد بفقدان الاختيارية بين المرحلات المتجاورة؟
- 7- ناقش المبدأ التالي: أسباب فشل الحماية الرئيسية قد لا يسبب فشل الحماية الساندة؟

المرحلة	المرحلة	المرحلة
1	2	3
4	5	6
7	8	9
10	11	12
13	14	15
16	17	18
19	20	21
22	23	24
25	26	27
28	29	30
31	32	33
34	35	36
37	38	39
40	41	42
43	44	45
46	47	48
49	50	51
52	53	54
55	56	57
58	59	60
61	62	63
64	65	66
67	68	69
70	71	72
73	74	75
76	77	78
79	80	81
82	83	84
85	86	87
88	89	90
91	92	93
94	95	96
97	98	99
100	101	102

الفصل الثاني

محاولات الجهد والتيار

الفصل الثاني

محولات الجهد والتيار

1-2 المقدمة

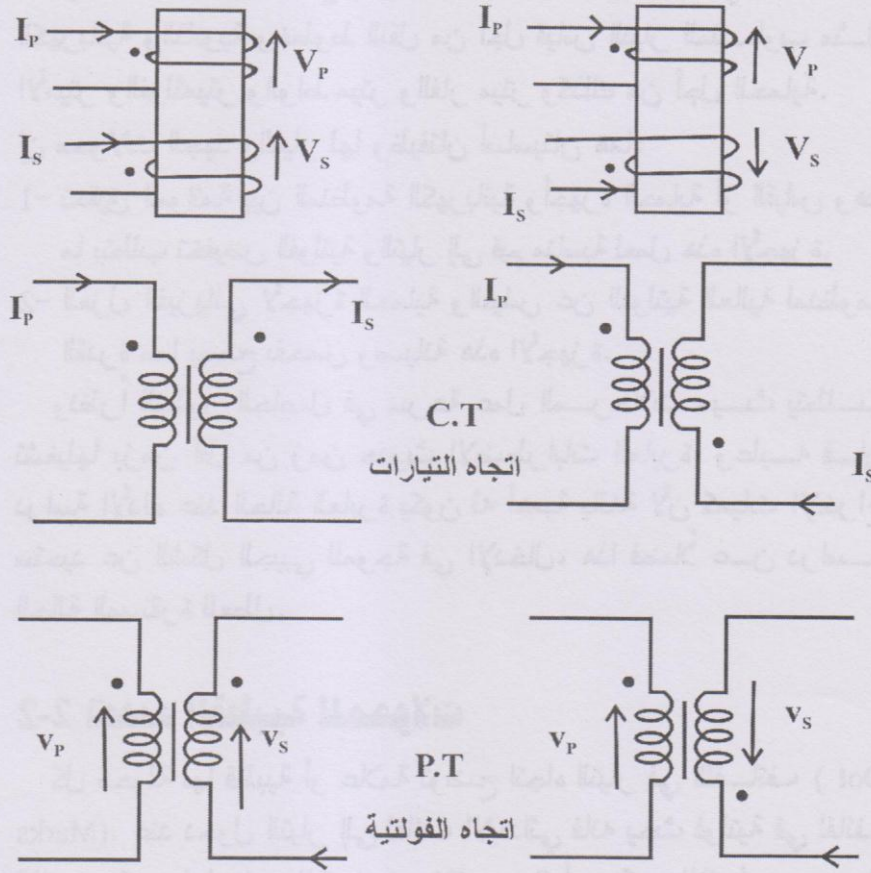
تعتبر محولات الجهد ومحولات التيار من الأجهزة المكملة لمنظومة القدرة الكهربائية حيث تستخدم بالأساس في دوائر الحماية والقياس. تربط هذه المحولات مع المرحلات وأجهزة القياس في المحطات الكهربائية والثانوية وخطوط النقل من أجل قياس التيار المتناوب مثل الأميتر والفولتميتر والواط ميتر والفار ميتر وكذلك من أجل الحماية. إن محولات الجهد والتيار لها وظيفتان أساسيتان هما:

- 1- تحقيق الموائمة بين المنظومة الكهربائية وأجهزة الحماية أو القياس وهذا ما يتطلب تخفيض الفولتية والتيار إلى قيم مناسبة لعمل هذه الأجهزة.
 - 2- العزل الفيزيائي لأجهزة الحماية والقياس عن الفولتية العالية لمنظومة القدرة مما يسمح بفحص وصيانة هذه الأجهزة.
- ونظراً للتطور الحاصل في سرعة عمل المرحلات حيث يتطلب تشغيلها بزمان أقل من زمن حدوث الاضطرابات العابرة، وعليه فإن دراسة الأداء عند الحالة العابرة يكون له أهمية بالغة لأن كميات الإخراج ستحدد عن الشكل الجيبي للموجة في الإدخال، هذا فضلاً عن دراسة الحالة المستقرة للعطل.

2-2 تحديد القطبية للمحولات

كل محولة لها قطبية أو علامة توضح اتجاه التيار في اللفائف (Dot Marks). عند دخول التيار إلى لفائف الابتدائي فإنه يحدث فولتية في لفائف الثانوي تكون إما بنفس الاتجاه Same Direct أو بعكس الاتجاه Reverse Direct وهذا يعتمد على موقع علامة القطبية.

فإذا فرضنا أن التيارات تدخل العلامة المؤشرة كما في الشكل (1-2) في لفائف الابتدائي والثانوي فإن الأمبير-لفة (Ampere Turns) في اللفائف أو الفيض الناتج من هذه اللفائف سيضاف بالتعاقب وإن اللف للابتدائي والثانوي سيكون بنفس الاتجاه، وتكون بعكس الاتجاه إذا عاكست تيارات الإدخال لللفائف الابتدائي لفائف الثانوي. إن الشكل (1-2) يبين دخول وخروج التيار والفولتية لمحولة التيار (C.T) ومحولة الجهد (PT) عند هاتين الحالتين.



شكل (1-2): علامات اتجاه القطبية لمحولات التيار والفولتية

3-2 محولات التيار Current Transfer

تمتلك محولة التيار (C.T) ملفاً ابتدائياً له عدد قليل من اللفات ويكون لها ملفاً ثانوياً. في بعض الأحيان يكون الملف الابتدائي عبارة عن لفة واحدة أو سلك موصل مفرد بشكل قضيب من النحاس أو النحاس الأصفر يرتبط على التوالي مع الحمل المراد قياس تياره، بينما يكون للملف الثانوي عدد أكثر من اللفات ويوصل إلى أجهزة القياس أو مرحلات الحماية. عندما يكون الملف الثانوي دائرة مفتوحة، يمكن أن تكون الفولتية عند الأطراف المفتوحة عالية جداً وذلك بسبب نسبة التحويل الرافعة، ويمكن أن تتلف العازل بين لفات الملف الثانوي بسهولة، لذلك يجب قصر الملف الثانوي لمحولة التيار أو توصيله بأجهزة القياس أو الحماية. إن أي خطأ في عدم اتخاذ هذه الإجراءات يمكن أن يسبب تلفاً كبيراً للمعدات وخطيراً على الأشخاص العاملين في هذا المجال.

تعطى النسبة الأسمية للمحولة على لوحة التعريف، ولا تكون هذه نسبة التحويل (لأنه لا يمكن استعمال أكثر من لفة واحدة في الابتدائي)، لكنها تبين مثلاً أن تياراً ابتدائياً مقداره (500 A) يعطي تياراً في الملف الثانوي مقداره (5 A). ضمن الحدود العملية، يتم إيجاد تيار الملف الثانوي بواسطة تيار الإثارة في الابتدائي وليس بواسطة ممانعة دائرة الثانوي. بما أن إيجاد التيار الابتدائي يكون بواسطة الحمل في نظام التيار المتناوب، فإن تيار الثانوي يساوي مقلوب نسبة التحويل تقريباً ويكون هذا صحيحاً ضمن حدود واسعة لطبيعة الحمل الثانوي.

1-3-2 التباين في محولات التيار بين أجهزة القياس وأجهزة الحماية

يربط الملف الثانوي لمحولة التيار المستخدمة في أجهزة القياس إلى ملفات التيار كالأميتر والواطميتر والفارميتر والفولت أمبير ميتر والواطميتر/ ساعة (مقياس الطاقة). إن الغرض من استخدام هذه المحولات

هو مراقبة التغيرات في منظومة القدرة في حالة التشغيل الاعتيادية، الذي يجب أن لا يتجاوز فيها التيار، تيار الحمل المقنن. ولا تستخدم هذه المحولات في حالة حدوث العطل. وعليه فالمطلوب من محولات القياس دقة ضبط الكميات المقاسة، ومن المحتمل أن تصل إلى حالة التشبع لكي لا تتسبب في توليد تيار العطل في جهة الملف الثانوي. وبالتالي تجنب تدمير أجهزة القياس.

عند حدوث العطل في منظومة القدرة، فإن التيار يتزايد والفولتية تهبط (Collapse) وتصل قيمة هذا التيار حوالي (20 إلى 30) مرة من قيمة التيار المقنن، هذا فضلاً عن احتوائه على مركبة تيار مستمر (D.C Offset). فعلى سبيل المثال إذا كان التيار الثانوي المقنن (A 5) فإن تيار العطل سوف يكون بمقدار A (100 إلى 150) وبما أن ثانوي محولة التيار تتحمل تيار متواصل مقداره (A 5) فإنه كذلك مصمم ليتحمل تيار مقداره A (100 إلى 150) ولو قُت مقنن قصير، ولذلك فإن الملف الثانوي لمحولة التيار سوف لا يتعرض للتلف أو التدمير.

أما محولة التيار المستخدمة في أجهزة الحماية فهي تقوم بالاستجابة لتيار العطل المتولد عن طريق تشغيل مرحلات الحماية بصورة جيدة ومرضية.

إن لمركبة التيار المتناوب الناجمة من تيار العطل أهمية وتأثير كبيرين على المرحلات من تلك المركبة الناجمة بسبب التيار المستمر في لفائف الابتدائي. وعليه فإنه من الممكن أن تكون محولة التيار المستخدمة في أجهزة الحماية أقل دقة من تلك المستخدمة لأجهزة القياس. لكنها يجب أن تعمل بقيمة (20 إلى 30) مرة من التيار المقنن المفروض في مركبة التيار المستمر.

يوضح الشكل (2-2) محولتي تيار متماثلتين ومربوطتين مع الحمل. نلاحظ بأن القيمة التقريبية للفولتية الماثرة في الثانوي لكلتا المحولتين هي:

$$V_{exc.} = I_{FL.max} R_b \quad [V] \quad \text{محولة القياس}$$

$$V_{exc.} = I_{fault} R_b \quad [V] \quad \text{محولة الحماية}$$

عندما يكون تيار العطل بمقدار (20 إلى 30) مرة من تيار الحمل الكلي فإنه:

$$V_{exc. pro. CT} = (20 \text{ to } 30) V_{exc. meas. CT}$$

إن المعادلة أعلاه تعني بأن الفولتية المثارة لمحوّلة الحماية تعادل (20 إلى 30) مرة من الفولتية المثارة لمحوّلة القياس، وبما أن المجال المغناطيسي يتناسب طردياً مع الفولتية أي أنه:

$$V = 4.44 f \phi N$$

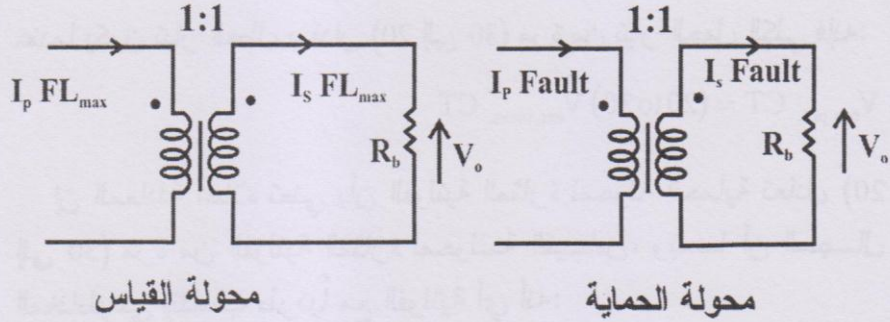
حيث أن:

f: التردد.

ϕ : الفيض المغناطيسي.

N: عدد اللفات.

عليه فإن الفيض المغناطيسي في محوّل الحماية كذلك يعادل (20 إلى 30) مرة من الفيض المطلوب لمحوّلة القياس. وتبعاً لذلك يكون حجم قلب المغنطة لمحوّلة الحماية أكبر بكثير عن حجمه في محوّلة القياس. إن محوّلة القياس تصل إلى حالة التشبع عند قيمة 1.2 من تيار الحمل الكلي بينما نلاحظ بأن محوّلة الحماية لاتصل إلى حد التشبع إلا بمقدار (20 إلى 30) مرة من تيار الحمل الكلي. وعليه يجب الأخذ بنظر الاعتبار مركبة التيار المستمر في حالة تصميم محوّلة الحماية. والشكل (2-2) يوضح تحميل محولتي الحماية والقياس عندما تكون نسبة التحويل (1:1).



الشكل (2-2): ربط الحمل في محولتي القياس والحماية

2-3-2 الدائرة المكافئة لمحولات التيار

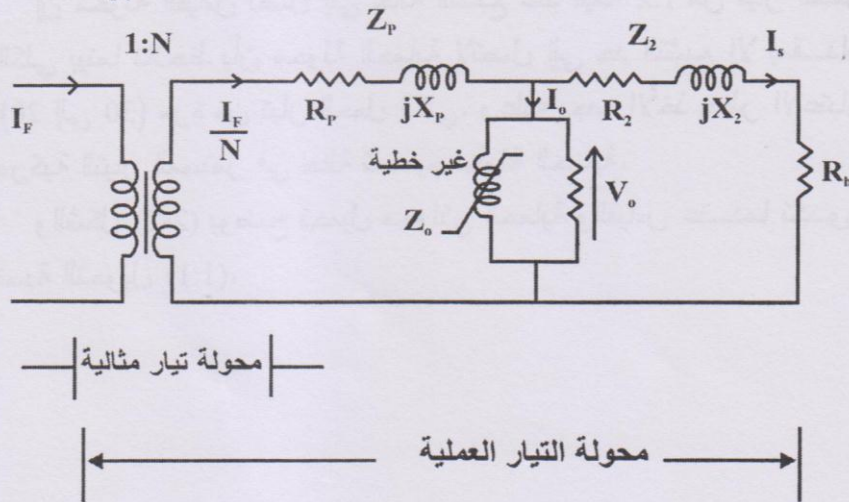
يوضح الشكل (3-2) الدائرة المكافئة لمحول التيار عندما تكون جهة الدائرة الثانوية مرجع للدائرة الابتدائية.

أ- في المحولة المثالية يكون : $I_s = I_f / N$

ب- في المحولة العملية يكون : $I_s = \frac{I_f}{N} - I_o$

ج- فولتية الاستثارة لجهة الثانوي للمحولة عند إهمال I_o تكون:

$$V_o = \frac{I_f}{N} [Z_2 + R_b]$$



الشكل (3-2): الدائرة المكافئة لمحول التيار

من الشكل (3-2) نلاحظ أن:

I_f : تيار القصر عن جهة الخط [أمبير].

$N:1$: نسبة تحويل التيار.

$I_{f/N}$: تيار ثانوي المحولة المثالية.

$R_1 + j X_1$: مقاومة ومفاعلة الملف الابتدائي.

Z_0 : ممانعة المغنطة للمحولة.

$R_2 + j X_2$: مقاومة ومفاعلة الملف الثانوي.

R_b : مقاومة الحمل (المرحلة).

V_0 : فولتية الاستثارة أو فولتية المغنطة.

I_0 : تيار المغنطة للمحولة.

I_s : تيار المحولة الثانوي المستلم من قبل المرحلة.

في محولة التيار العملية لا تكون قيمة التيار الابتدائي بالدقة المطلوبة من ناحية السعة وزاوية الطور وذلك بسبب تيار المغنطة I_0 ، وعليه فإن تيار المغنطة يكون السبب الرئيس لحدوث الأخطاء في محولة القياس أو في محولة الحماية.

3-3-2 أداء المحولة عند الحالة المستقرة

عند دراسة أداء محولة التيار عند الحالة المستقرة من الضروري ملاحظة أن التيار هو I_f تيار إدخال الابتدائي بينما قيمة التيار الثانوي هي $(I_s = I_{f/N} - I_0)$ ، كما نلاحظ أن ممانعة المغنطة Z_0 أساساً هي غير خطية بسبب التشبع الحاصل في قلب المحولة الحديدي وحسب منحنى المغنطة (B - H Curve).

إن الشكل (4-2) يبين الدائرة المكافئة والمخطط الطوري لمحولة التيار ويمكن أن نستخلص منها جميع خواص المرحلة والتي هي:

- 1- لا يعتمد تيار الثانوي على الحمل نظرياً، عدا في تيار المغنطة.
- 2- إن تيار الثانوي يجب أن لا يكون دائرة مفتوحة وعليه سوف لا يكون هنالك أمبير - لفة (Ampere-Turn) في جهة الثانوي تكافئ الأمبير - لفة في جهة الابتدائي، والفيض المتبادل الموضح في الشكل (2-5) سوف يحدث موجات فولتية عالية جداً يمكن أن تؤدي إلى تدمير جهة الثانوي.
- 3- يعتمد خطأ النسبة (Ratio Error) وخطأ زاوية الطور (Phase Angle Error) على خواص المغنطة، وتيار الإدخال والحمل. يختلف خطأ النسبة بين تيار الابتدائي وتيار الثانوي والتي يمكن تصحيحها عن طريق النسبة الاسمية لمحولة التيار. أما خطأ زاوية الطور فهي اختلاف زاوية الطور بين تيار الابتدائي والثانوي أيضاً وكما يوضحه الشكل (2-4).

حيث أن:

ϕ : الفيض المتبادل.

E_o : القوة الدافعة الكهربائية المحتثة في الثانوي.

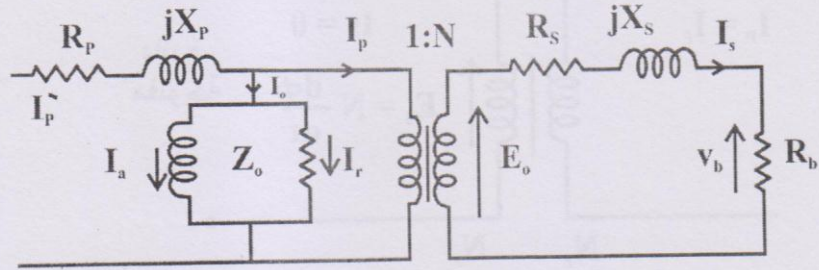
V_b : الفولتية عبر الحمل R_b (المرحلة).

I_p : التيار الابتدائي.

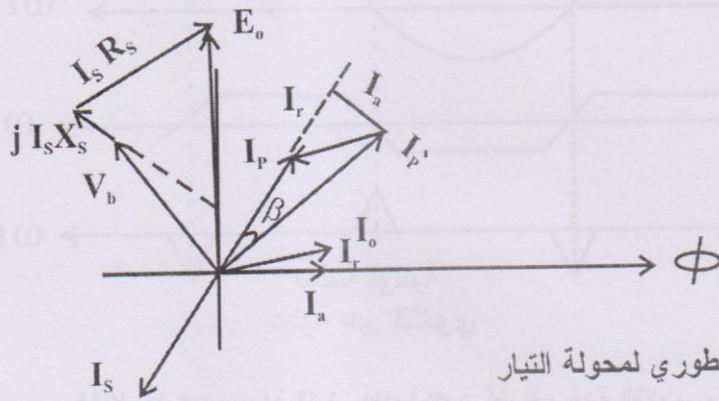
I_r : مركبة المغنطة للتيار I_o .

I_a : مركبة فقد الحديد للتيار I_o .

β : نسبة خطأ زاوية الطور بين الابتدائي والثانوي.

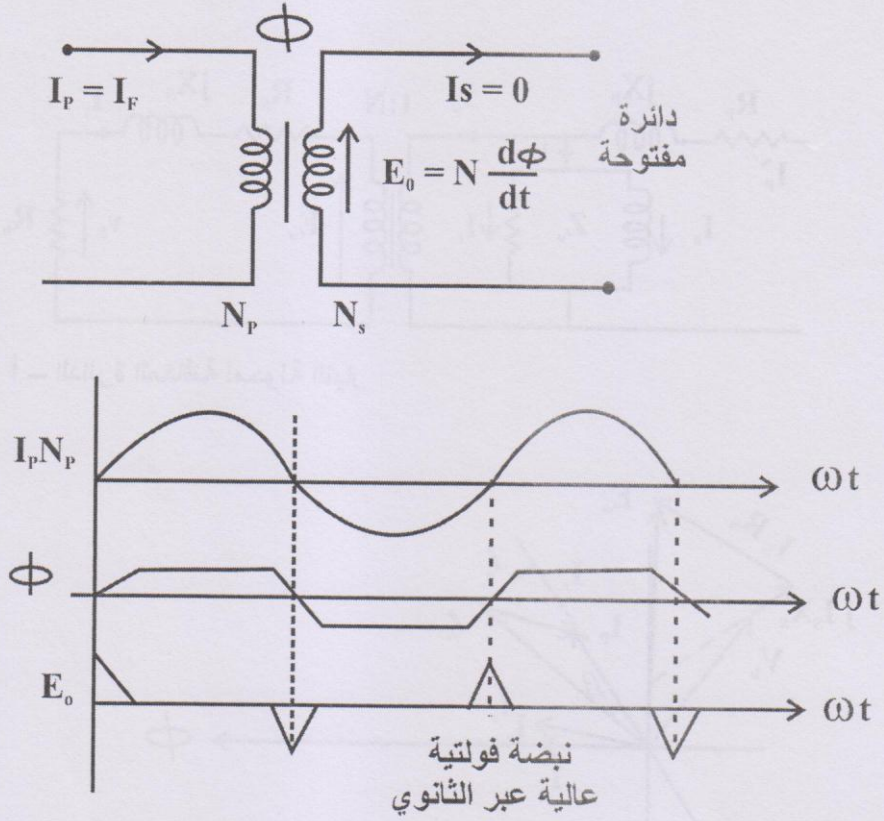


أ - الدائرة المكافئة لمحولة التيار



ب - المخطط الطوري لمحولة التيار

الشكل (4-2): الدائرة المكافئة والمخطط الطوري لمحولة التيار



الشكل (5-2): محولة التيار عندما تكون أطراف جهة الثانوي مفتوحة

4-3-2 أداء المحولة عند الحالة العابرة للعطل

عند حدوث العطل فإن تيار العطل يكون له مركبة تيار مستمر ومركبة تيار متناوب أكبر بكثير من مركبة التيار المستمر ويكون تأثيرها في ابتدائي محولة التيار هو إشباع قلب المغنطة الحديدي والذي يسببه سوف لن تستطيع محولة التيار توليد مركبة التيار المتناوب في الملف الثانوي حتى يتخلص الملف الابتدائي من حالة التشبع.

إن تشبع قلب المغنطة له تأثير كبير على أداء مراحل الحماية ذات السرعة العالية.

وإن مرحلات السرعة العالية تحتاج إلى مركبة A.C في أول دورة أو دورتين لتردد القدرة، بينما ذلك قد لا يكون مفيداً بسبب التشبع. ويمكن اختبار تأثير مركبة D.C على محولة التيار، وهذا ما يوضحه الشكل (6-2) حيث يفترض بأن قيمة مركبة D.C في تيار الابتدائي متضائل والذي يعاد توليدها في جهة الثانوي.

والآن سوف نوضح كيفية نشوء الفيض المغناطيسي ؛ إن معادلة تيار العطل مع مركبة D.C بقيمة عظمى هي:

$$i = I_m [\sin(\omega t - 90^\circ) + e^{-t/T} \sin 90^\circ]$$

افترض بأن تيار العطل الابتدائي يحدث فولتية استثارة في الثانوي وكما يلي:

$$e_s = I_m R_t [\sin(\omega t - 90^\circ) + e^{-t/T}]$$

الفيض المغناطيسي المتبادل يعطى بالمعادلة التالية:

$$e_s = N_s \left(\frac{d\phi}{dt} \right)$$

أو أن الفيض هو:

$$\phi = \frac{1}{N_s} \int e_s dt$$

حيث أن:

R_t : هي مقاومة جهة الثانوي وحمل المرحلة

$$T = \text{Time Constant} = \frac{L_L}{R_L} = \frac{X_L}{\omega R_L}$$

حيث أن:

T : ثابت الزمن لجهة الخط.

X_L : مفاعلة الخط.

R_L : مقاومة الخط.

اعتبر أن تأثير مركبة d.c Offset فقط لوحدها ، نحصل على

$$\phi_{d.c} = \frac{I_m R_t}{N_s} \int_0^t -T e^{-t/T} dt$$

$$= \frac{I_m R_t}{N_s} [-T(e^{-t/T} - 1)]$$

$$= \frac{I_m R_t}{N_s} = [T(1 - e^{-t/T})]$$

$$\phi_{d.c.max.} = \frac{R_t I_m T}{N_s} \quad \text{at } t = \infty$$

ثم أن مركبة D.C الضارة للتيار الابتدائي تنشأ كدالة أسية لتزايد الفيض ومن ثم يبقى ثابتاً عند القيمة العظمى وعليه:

$$\begin{array}{ll} \text{عندما } t = 0 & \text{فإن } \phi = 0 \\ \text{وعندما } t = \infty & \text{فإن } \phi_{max} = \frac{I_m R_t T}{N_s} \end{array}$$

إن الشكل (6-2) يوضح بأن \dot{e}_s والفيض تعتبر كدالة للزمن. إن تأثير مركبة D.C الضارة للتيار الابتدائي (ثابت الزمن $T = \frac{X_L}{R_L}$)، للعوامل على

جهة الخط في محولة التيار تنمي الفيض من الصفر إلى قيمة عظمى هي

$$\left(\frac{I_m R_t T}{N_s} \sin \theta \right), \text{ نظرياً تبقى ثابتة.}$$

الآن اعتبر أن تأثير مركبة a.c فقط لوحدها:

$$e_s = I_m R_t \sin(\omega t - 90^\circ)$$

$$\phi = \frac{1}{N_s} \int_0^t e_s dt$$

$$= \frac{I_m R_t}{N_s} [-\cos(\omega t - 90^\circ)]$$

إذاً:

$$\phi_{a.c.max.} = \frac{I_m R_L}{\omega N_s} \text{ أقصى قيمة للفيض المغناطيسي}$$

$$\frac{\phi_{d.c.max.}}{\phi_{a.c.max.}} = \frac{X_L}{R_L} \left(T = \frac{L}{R} = \frac{X_L}{R_L} \right)$$

فإذا أردنا توليد مركبة a.c من الابتدائي إلى الثانوي لفترة طويلة يجب أن يكون حجم قلب المغنطة كبير جداً للتقليل من حالة التشبع:

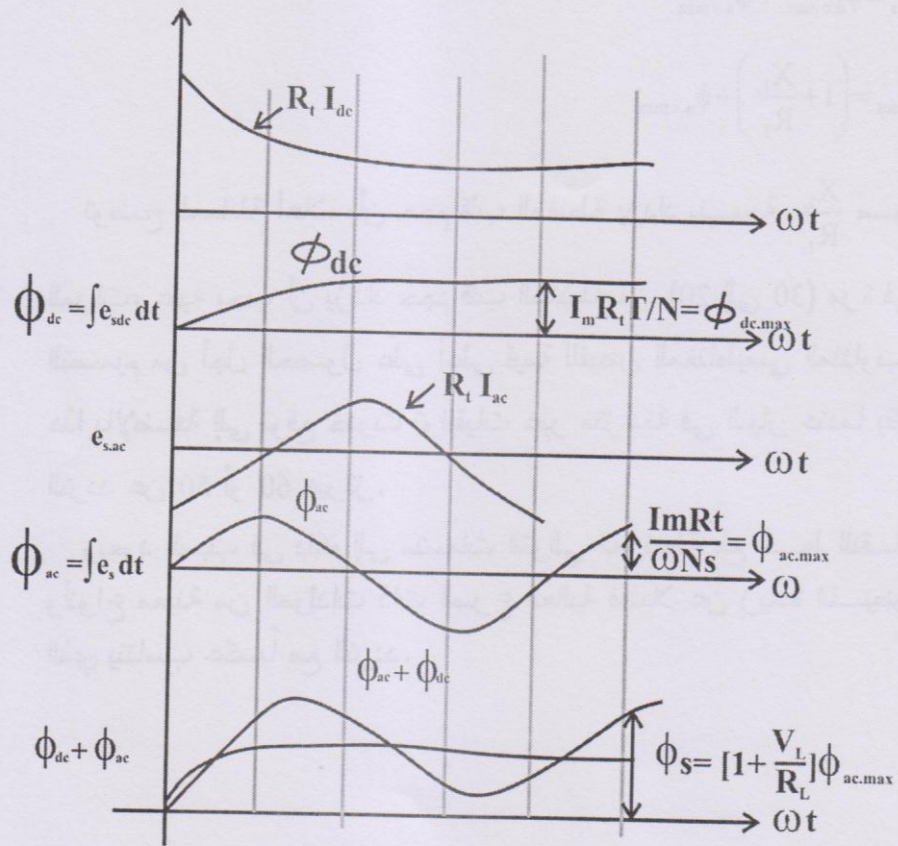
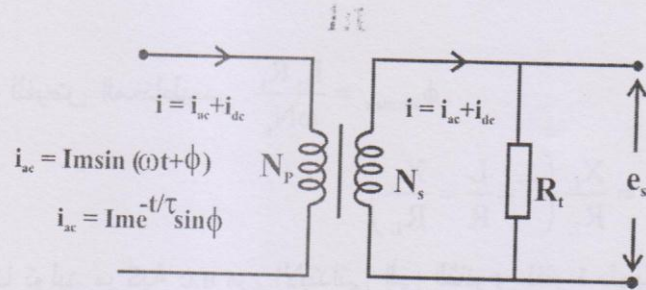
$$\phi_s = \phi_{d.c.max.} + \phi_{a.c.max.}$$

$$\phi_{sat} = \left(1 + \frac{X_L}{R_L} \right) + \phi_{a.c.max.}$$

توضح المعادلة أعلاه بأن حجم قلب المغنطة يزداد بنسبة $\frac{X_L}{R_L}$ من

المرات، عليه يجب أن يزداد حجم قلب المغنطة من (20 إلى 30) مرة في التصميم من أجل الحصول على أعلى قيمة للفيض المغناطيسي المتناوب. هذا بالإضافة إلى توقع حدوث توافقيات غير متزامنة في التيار عندما يقل التردد عن 50 أو 60 هيرتز.

ويعود السبب في ذلك إلى متسعات التوالي المرتبطة مع خط النقل وأنواع معينة من المولدات ذات السرعة العالية فضلاً عن زيادة الفيض الذي يتناسب عكسياً مع التردد.



شكل (6-2): تأثير مركبة d.c على تشبع المحولة

5-3-2 الدقة في محولات التيار

يحدد قياس الدقة لأي محولة تيار أساساً على كيفية ضبط تأثيرات تيار ثانوي المحولة على تيار إدخال الابتدائي وكما تمت الإشارة إليه سابقاً فإن هذه الأخطاء إما تكون خطأ نسبة أو خطأ زاوية طور، وتختلف الدول من حيث المواصفات، فالجدول (2-1) يبين الدقة حسب المواصفات البريطانية:

جدول (1-2) دقة القياس حسب المواصفات البريطانية

الصف	خطأ النسبة %	I_o/I_{sat} %	خطأ زاوية الطور (Deg.)
S	± 3	± 3	2
T	± 10	± 10	6
U	± 15	± 15	9

عند زيادة تيار الابتدائي فإن فولتية الاستثارة في الملف الثانوي سوف تزداد (والتي تتناسب مع تيار الثانوي مضروباً بتيار الحمل) وعليه فإن تيار المغنطة سوف يزداد أيضاً.

خصائص الاستثارة لثانوي محولة التيار يوضحها الشكل (2-7) والذي يرسم عادة العلاقة بين تيار المغنطة وفولتية الاستثارة في الثانوي.

إن أي زيادة في تيار الإدخال تعقبها زيادة فولتية الاستثارة في الثانوي وتيار المغنطة وهي زيادة خطية إلى حد ما قبل أن يصل القلب الحديدي إلى حالة التشبع، وإن أي زيادة أخرى في التيار عن القيمة السابقة توصل قلب المغنطة إلى حالة التشبع فضلاً عن حصول زيادة كبيرة جداً في تيار المغنطة. في منطقة معينة بين الحالة الخطية وحالة التشبع توجد نقطة تحذب تعرف بنقطة الركبة (Knee Point)، وهي إشارة إلى تشبع محولة التيار حيث أنه لو استمر التيار بالزيادة بعدها فإن أحد أو كلا الخطأين المؤشرين سابقاً يزداد أكبر من المسموح به. لذلك لو زادت فولتية

الاستثارة لثانوي محولة التيار بمقدار 10% أعلى من فولتية نقطة الركبة فإن تيار المغنطة عند فولتية الركبة V_{knee} وهذا ما يوضحه الشكل (7-2) وعليه فإنه في محولة التيار يجب أن لا تتجاوز فولتية الاستثارة للثانوي قيمة V_{knee} ، لأن الأخطاء بعد ذلك سوف تظهر بصورة جلية. وهكذا فإن تيار التشبع لأية محولة تيار يعرف بأنه التيار الذي يغذي الحمل المطلوب دون أن تتجاوز قيم خطأ النسبة وخطأ زاوية الطور القيم المسموح بها.

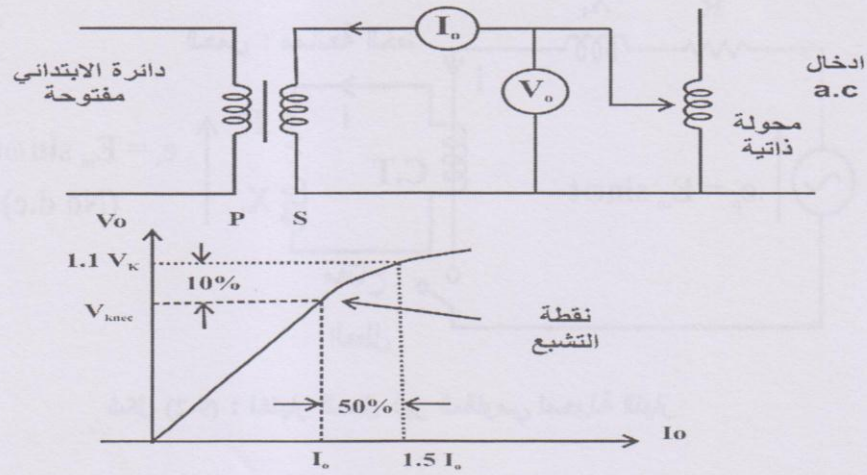
ومن الجدير بالذكر أنه يمكن فحص الدائرة المكافئة لحالتي التشبع وعدم التشبع لمحولة التيار، ففي حالة عدم التشبع (يعني أن فولتية الثانوي أقل من V_{knee}) فإن ممانعة المغنطة تكون عالية جداً وتيار المغنطة قليل جداً وتيار الثانوي يساوي:

$$I_s = \frac{I_p}{N} - I_o$$

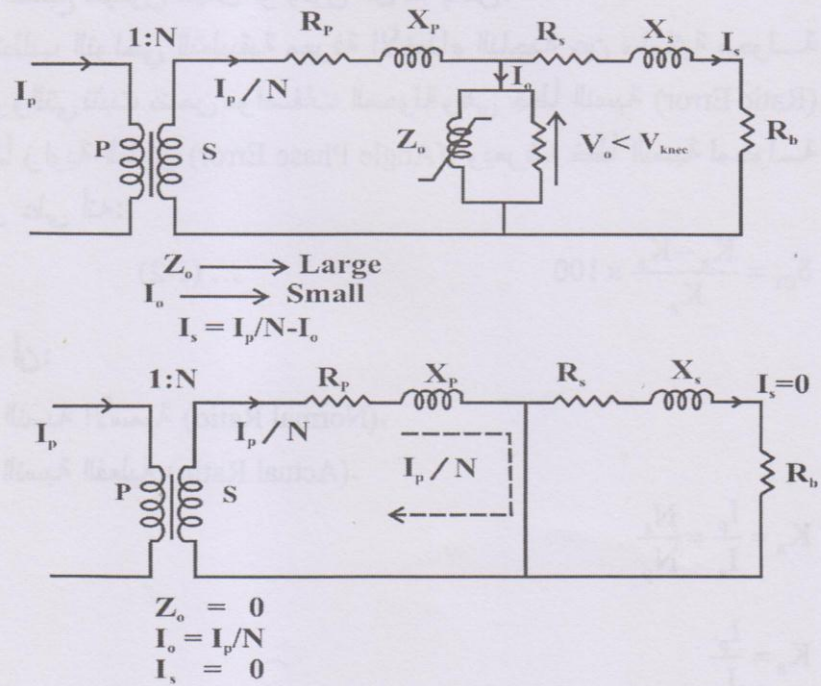
أما في حالة التشبع (يعني أن فولتية الثانوي أكبر بكثير من V_{knee}) فإن ممانعة المغنطة ستهبط إلى الصفر وإن التيار الابتدائي يمر كلياً من خلال ممانعة المغنطة، أما تيار الثانوي فإنه سوف يساوي صفراً.

يوضح الشكل (8-2): الدائرة المكافئة لمحولة التيار في حالتي التشبع وعدم التشبع. نلاحظ من الشكل أيضاً أنه في حالة التشبع فإن ممانعة المغنطة تقصر، وإن قيمة ممانعة الإدخال في جهة الثانوي هي Z_s فقط.

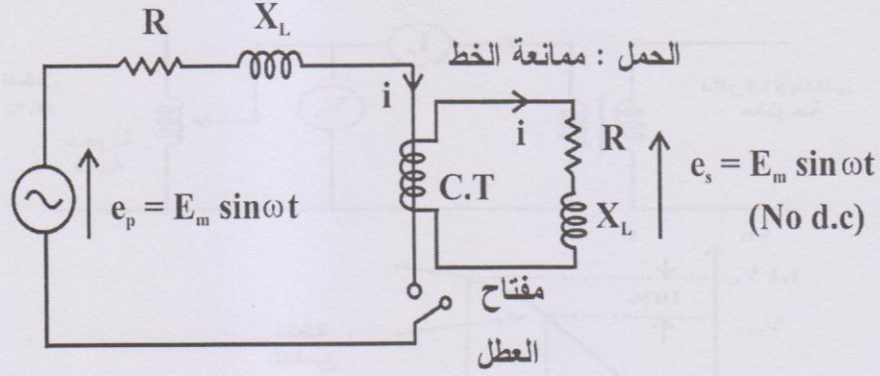
من المعروف أن حمل ثانوي محولة التيار هو حملاً ليس مقاومياً صرفاً ويمكن تفسير ما يحدث تفسيراً فيزيائياً بالاستناد إلى شكل (9-2) الذي يبين لنا عطل في خط ما وحمل محولة التيار يكون لها نفس عامل القدرة لتيار خط العطل. ويبدو واضحاً من التناظر بين الخط وثنائوي محولة التيار بأن فولتية استثارة ثانوي المحولة ستكون جيبيية خالصة تشبه فولتية المصدر في جانب الخط، حتى وإن كان لتيار الخط مركبة d.c وممانعة الحمل، هذه يطلق عليها بممانعة طبق الأصل للخط (Line Impedance Replica).



شكل (7-2): الخواص المغناطيسية لمحمولة التيار



شكل (8-2): الدائرة المكافئة لمحمولة التيار في حالتي التشبع وعدم التشبع



شكل (9-2) : اختبار الحمل غير المقاومي لمحولة التيار

لو أن الحمل الثانوي لمحولة التيار توائم مع الحمل من جانب المنظومة فإن فولتية الاستثارة في ثانوي المحولة ستكون جيبية خالصة وأن التشبع سيكون مهمل أو يكون أقل ما يمكن. تتطلب النواحي التطبيقية معرفة الأخطاء الناجمة عن سلوكية محولة التيار والتي تثبت ضمن مواصفات المحولة وهي خطأ النسبة (Ratio Error) وخطأ زاوية الطور (Angle Phase Error). ويعرف خطأ النسبة لمحولة التيار على أنه:

$$\delta_{CT} = \frac{K_n - K_a}{K_a} \times 100 \quad \dots (1-2)$$

حيث أن:

K_n : النسبة الأسمية (Normal Ratio).

K_a : النسبة الفعلية (Actual Ratio).

$$K_n = \frac{I_p}{I_s} = \frac{N_s}{N_p}$$

$$K_a = \frac{I_{p'}}{I_s}$$

في محولة التيار المثالية $K_a = K_n$
 بالتعويض في المعادلة (1-2) يكون خطأ النسبة

$$\delta_{CT} = \frac{K_n I_s - K_a I_s}{K_a I_s}$$

$$= \frac{I_p - I_{p'}}{I_{p'}}$$

تكون خطأ زاوية الطور لمحولة التيار هي الزاوية β المبينة في الشكل (4-2 ب).

يمكن تقليل خطأ النسبة بلفات تعويضية (Turns Compensation) وهو مستخدم بالتطبيقات العملية ، ويتضمن تقليل عدد اللفات (لفة واحدة أو اثنتين) في الثانوي، وهذا معناه زيادة $\frac{N_p}{N_s}$ حيث تصبح النسبة الفعلية K_a أقل من النسبة الاسمية ، حيث أن قيمة I_s تزداد بمقدار قليل ونسبة I_p / I_s تقترب قليلاً من النسبة الاسمية وبمدى واسع للتيار. إن كمية التعويض تعتمد على قيمة تيار المغنطة I_0 وبالتحديد على مركبتيه I_a و I_r .

6-3-2 الترابطات الخاصة لمحولات التيار

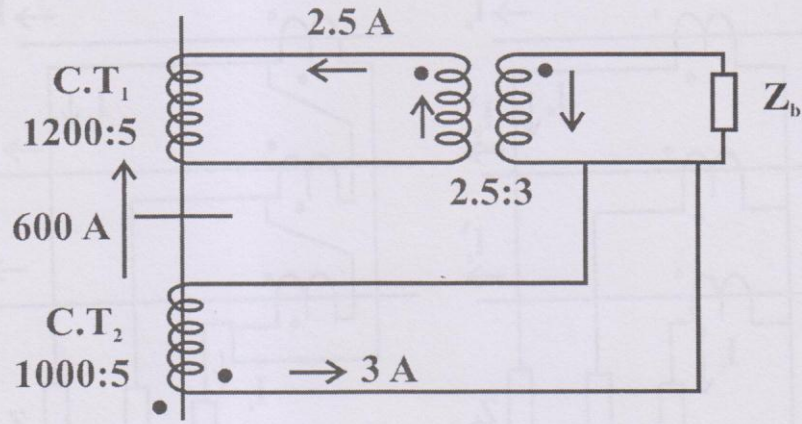
1-6-3-2 محولات التيار المساعدة

تستعمل محولات التيار المساعدة في عدة مراحل تطبيقية لتجهيز العزل الكهربائي بين ثانوي محولة التيار الرئيسية وبعض الدوائر الأخرى. كذلك تستخدم لتعديل وضبط جميع نسب التحويل للتيار. من المعروف أن نسب التحويل لمحولة التيار تكون بمواصفات قياسية وهذه المواصفات القياسية مطلوبة، إن محولات التيار المساعدة تعطي طريقة ملائمة لإنجاز نسبة التحويل المطلوبة. كما أن محولات التيار المساعدة تساهم في تقليل جميع أخطاء التحويل، كما تقوم بتجهيز نسبة لفات متغيرة

بالاعتماد على تفريعاتها حيث تكون هي متغيرة أيضاً. إن الحمل المرتبط بملفات ثانوي محولة التيار المساعدة ينعكس على ثانوي محولة التيار الرئيسية ، طبقاً للقوانين الاعتيادية للتحويل: فلو أن نسبة محولة التيار المساعدة هي $1 = n$ والحمل هو Z_b ، هذه النسبة تنعكس في ثانوي محولة التيار الرئيسية وهي Z_b / n^2 وكمثال على ذلك، اعتبر أن ربط محولة التيار كما هو موضح بالشكل (10-2) وأن نسبة لفات محولة التيار CT_1 هي 1200:5 ومحولة التيار CT_2 هي 1000:5 وأن سريان تيار الابتدائي خلال الخطين موضح بالشكل (10-2)، فإن التيار في الحمل يساوي صفراً. فإذا فرضنا أن تيار الابتدائي يساوي 600 A، عليه فإن التيار في الملفات الثانوية في CT_1 هو 2.5 A وفي CT_2 هو 3 A. وعند إضافة محولة التيار المساعدة مع نسبة لفات 3:2.5 أو 1.2:1 في دائرة الثانوي لمحولة CT_1 عليه فإن التيار في ثانوي محولة التيار المساعدة يكون 3 A، ومع ترميز القطبية كما في الشكل (10-2) فإن تيار الحمل يساوي صفراً. عليه فإن الحمل في CT_2 هو Z_b بينما الحمل في CT_1 هو:

$$Z_b (1.2)^2 = 1.44 Z_b$$

إن الحمل على محولة التيار المساعدة بالطبع Z_b ، وتستعمل ترابطات محولة التيار في عدة مخططات مختلفة من أجل الحماية، هذا في الحقيقة يفيد على فرض أنه لا يوجد محولة تيار مساعدة واصله إلى حالة التشبع، عندما يسري التيار الابتدائي بدون انقطاع (بصورة مستمرة) خلال ملفات الابتدائي للمحولتين، يبقى تيار الحمل مساوياً للصفر. بينما لو أن بعض من تيار الابتدائي استهلك في العطل بين محولتي التيار فإن تيار الحمل سوف يتناسب مع تيار العطل.



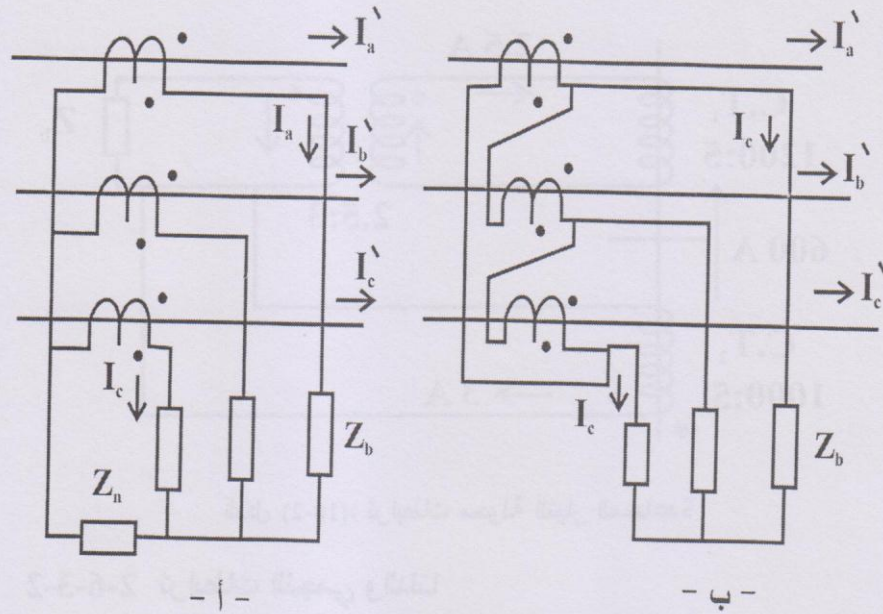
شكل (10-2): ترابطات محولة التيار المساعدة

2-6-3-2 ترابطات النجمي والدلتا

في الدوائر ثلاثية الطور من الضروري ربط ثانويات محولة التيار إما نجماً (Wye) أو دلتا (Delta) للحصول على إزاحات طورية مناسبة، وكذلك تغيرات السعة (Magnitude) بين تيارات ثانوي محولة التيار والمراحل المرتبطة مع هذه المحولات. يوضح الشكل (11-2) هذه الترابطات، حيث يوضح الشكل (11-2 أ)) الربط النجمي منتجاً تيارات تتناسب مع تيارات الطور للأحمال Z_b والتيار المتناسب مع 3I₀ في محايد الحمل Z_n. حيث لا توجد إزاحة طورية تنتج في هذا الربط. ويوضح الشكل (11-2 ب)) ربط الدلتا الذي ينتج تيارات تتناسب مع (I'_a - I'_b), (I'_b - I'_c), (I'_c - I'_a) في الأحمال الثلاثة Z_b. فإذا كانت التيارات الابتدائية مترنة فإنه:

$$(I'_a - I'_b) = \sqrt{3} |I'_a| e^{j\pi/6}$$

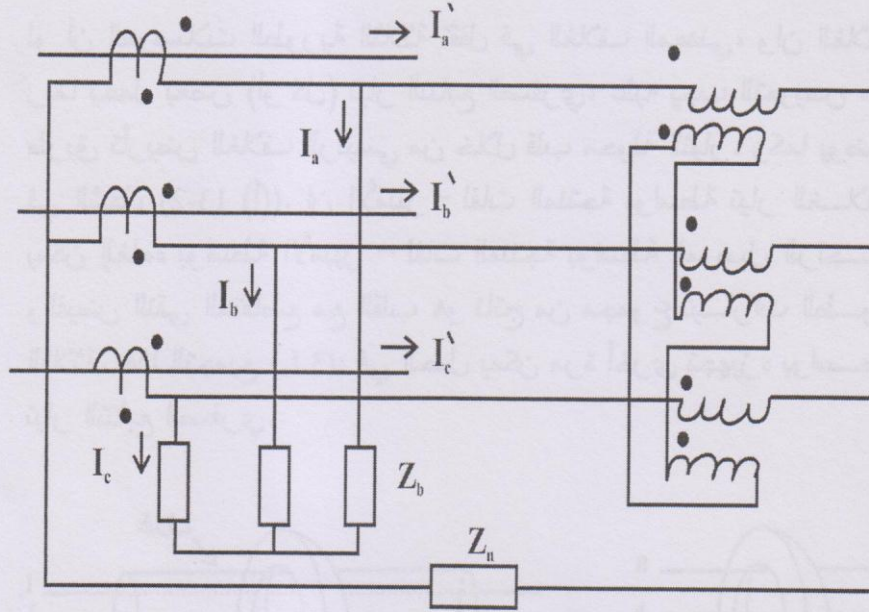
وازاحة الطور التي هي 30° تنتج بين تيارات الابتدائي والتيارات التي تجهز إلى الأحمال Z_b. ويمكن الحصول على إزاحة طورية 30° - عند عكس اتجاه ربط ملفات الدلتا. كذلك يمكن الأخذ بنظر الاعتبار العامل $\sqrt{3}$ حيث يمكن الحصول عليه بتغير السعة.



شكل (11-2): الربط النجمي والدلتا في محولة التيار

3-6-3-2 تيار التتابع الصفري

بالعودة إلى الشكل (11-2 (أ)) والذي يوضح الربط النجمي لثانويات محولة التيار، نلاحظ أن كل طور من الأحمال Z_b تحمل تيارات الطور، والتي تتضمن مركبات التتابع الموجب والسالب والصفري. في بعض الأحيان فإن تيار التتابع الصفري يمر من هذه الأحمال. وهذا يمكن إنجازه بواسطة ربط محولات التيار المساعدة، التي تؤمن مساراً متناوباً لتيار التتابع الصفري. وهذا ما يوضحه الشكل (12-2). إن محايد ثانويات محولة التيار الرئيسية لا يرتبط بمحايد الحمل. وهذا ما يجعل ربط ابتدائيات محولات التيار المساعدة بشكل نجمي وثانوياتها بشكل دلتا. يرتبط محايد محولات التيار المساعدة إلى محايد ثانويات المحولة الرئيسية من خلال محايد الحمل Z_n . إن لفائف ثانوي محولات التيار المساعدة تجهز مسلك دوراني لتيار التتابع الصفري، وبدون سريان طويل في ممانعة الأحمال الطورية Z_b .

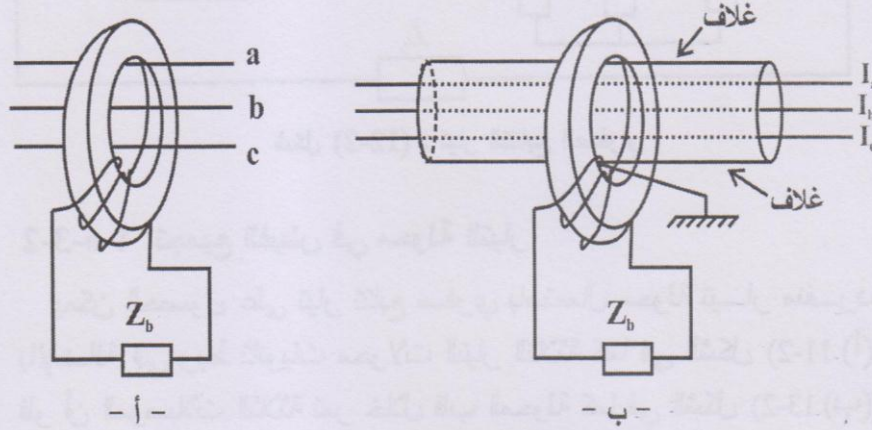


شكل (12-2) : تيار التتابع الصفري

4-6-3-2 تجميع الفيض في محولة التيار

يمكن الحصول على تيار تتابع صفري باستعمال محولة تيار منفردة، بالإضافة إلى ربط ثانويات محولات التيار الثلاثة كما في الشكل (11-2) (أ). فلو أن الموصلات الثلاثة تمر خلال قلب المحولة كما في الشكل (13-2) (ب)، فإن التيار الثانوي سوف يتناسب مع $(I_a + I_b + I_c) = 3I_0$. إن هذا التنظيم يعمل على تجميع فيض تأثيري منتج من قبل ثلاثة تيارات طورية لثانوي محولة التيار له تيار تتابع صفري حقيقي. بالرجوع للشكل (11-2) (أ) المتضمن ربط ثلاث محولات تيار، نلاحظ أنه أي عدم موافقة بين محولات التيار الثلاثة ينتج عنه خطأ في قياس تيار التتابع الصفري. وهذا يمكن تجنبه تماماً في التطبيقات الحالية. يمكن تطبيق محولة التيار في الدوائر منخفضة الفولتية، بينما في الموصلات الطورية الثلاثة ربما تعبر من خلال قلب محولة التيار ويغلق بعضها البعض الآخر بصورة تقريبية.

لو أن الموصلات الطورية الثلاثة تقفل في الغلاف المعدني، وأن الغلاف ربما يحمل بعض (أو كل) تيار التتابع الصفري، عليه يجب التعويض عن طريق تأريض الغلاف الرئيسي من خلال قلب محولة التيار. وكما يوضح في الشكل (2-13 أ)، إن الأمبير - لفات المنتجة بواسطة تيار الغلاف يمكن إلغاؤه بواسطة الأمبير - لفات المنتجة بواسطة الموصل الراجع، والفيض النقي المتقاطع مع القلب هو ناتج من مجموع تيارات الطور الثلاثة. هذا التجميع ($3 I_0$)، في الحمل يمكن مرة أخرى تجهيزه بواسطة تيار التتابع الصفري.



شكل (2-13): تجميع الفيض لمحولة التيار

7-3-2 المزدوجات الخطية ومحولات التيار الالكترونية

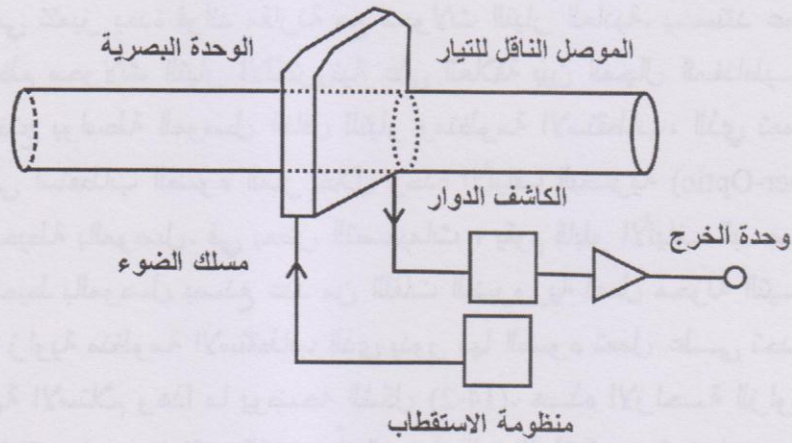
Linear Couplers and Electronic CT's

المزدوجات الخطية هي عبارة عن محولات تيار بدون قلب حديدي، والمفاعلة المغناطيسية لهذه المحولات هي خطية، وصغيرة جداً بالمقارنة مع محولة التيار ذات القلب الحديدي.

إن معظم التيار الابتدائي يحدث أيضاً تبادلياً في المزدوج الخطي واللفائف الثانوية تكون محدودة جداً في كمية التيار الذي يمكن استلامه حيث يعمل المزدوج الخطي على تحويل التيار إلى فولتية (Current-to-voltage Converters). إن الفولتية في الدائرة الثانوية تعبر بأمانه عن التيار الابتدائي ويكون تيار الثانوي صغير جداً ونسبة التحويل عملياً ثابتة. المزدوجات الخطية ليس لها تطبيقات واسعة وهي تضاف إلى محولات التيار العادية، وترتبط مع معظم المرحلات وأجهزة القياس.

إن محولات التيار الالكترونية قد تطورت كثيراً في الآونة الأخيرة، وهي تتميز بعدة فوائد مقارنة مع محولات التيار العادية. يستند عمل معظم محولات التيار الالكترونية على العلاقة بين المجال المغناطيسي المنتج بواسطة الموصل الناقل للتيار ومنظومة الاستقطاب، الذي تعمل على استقطاب الضوء المار خلال وحدة الألياف البصرية (Fiber-Optic) المحيطة بالموصل. في بعض التصميمات، يقوم قابلو الألياف البصرية المحيط بالموصل بصنع عدد من اللفات الضرورية لعمل محولة التيار. إن زاوية منظومة الاستقطاب الذي يدور بها الضوء تعمل على تحديد جهة الاستلام وهذا ما يوضحه الشكل (2-14). هذه الازاحة الزاوية (Angular Shift) تقوم الكترونياً بالتحويل إلى الفولتية، حيث تتناسب مع القيم اللحظية للقوة المغناطيسية حول الموصل الناقل للتيار، ومن ثم إلى القيم اللحظية للتيار. هذه الفولتية ربما من الملائم تكبيرها، وترشيحها للحصول على تيار ملائم في الابتدائي. كذلك فإن الفولتية ربما تؤخذ كعينات بتقنين مناسب لتجهيز عينات للتيار الابتدائي. وهذا يظهر جلياً ملائمة محولات التيار الالكترونية للعمل مع مرحلات الحماية وأجهزة القياس من حيث، الاستفادة من إشارات القدرة المنخفضة أو العينات لهذه الإشارات. وكما سنلاحظ لاحقاً فإن هذه الأنواع من محولات التيار الالكترونية ملائمة لعمل المرحلات الالكترونية والرقمية.

إن محولات التيار الالكترونية ، هي محولات خطية ولها مدى ديناميكي واسع ، حيث تستطيع قياس التيارات بكل دقة عند الأحمال الخفيفة، إضافة إلى تلك التي تعتمد على الأعطال الثقيلة جداً. كما أنها لا تحتوي على زيت كعازل وسطي وهذا ما يجنبها مخاطر الحريق. كما أنها صغيرة الحجم وتشغل حيزاً صغيراً في المحطات الثانوية ، ولكن من جهة أخرى فهي تحتاج إلى مصدر تجهيز لتشغيل مختلف الدوائر الالكترونية من أجل الدقة والحساسية وتكبير الإشارة وغيرها.



شكل (14-2) : أساس عمل محولة التيار ذات المغنطة - البصرية (MDCT)

8-3-2 أمثلة محلولة لمحولات التيار

مثال (1-2):

محولة تيار ذات قلب حلقي لها نسبة تحويل اعتيادية تساوي 500/5 والملف الابتدائي عبارة عن قضيب نحاسي، وكانت مقاومة الثانوي 0.5 أوم ومفاعلة الثانوي مهملة. وكانت قيمة التيار المغناطيسي عند مرور تيار حمل تام في الثانوي (5 A)، هو 3 A عند عامل قدرة 0.4. أحسب خطأ النسبة وخطأ زاوية الطور عند الحمل التام للمحولة. أحسب كذلك الفيض الكلي في القلب مفترضاً بأن التردد 50 Hz.

الحل:

$$\frac{I_p}{I_s} = \frac{500}{5}$$

$$I_s = I_s \angle \delta = 5 \angle 0^\circ \text{ A}$$

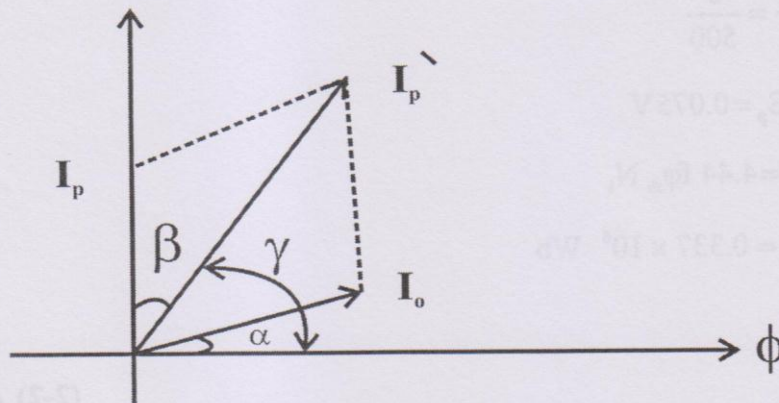
حيث أن δ تساوي صفراً لأن الحمل عبارة عن مقاومة نقيية.

$$I_o = 3 \text{ A} \text{ at } P_f = 0.4$$

$$\alpha = 90^\circ - \cos^{-1} 0.4 = 23.58^\circ$$

$$\therefore I_o = 3 \angle 23.58^\circ \text{ A}$$

وكما في المخطط الطوري الموضح بالشكل (15-2).



شكل (15-2): المخطط الطوري للمثال (1-2)

$$I_p = 500 \angle 90^\circ \text{ A}$$

$$I'_p = I_p + I_o$$

$$I'_p = 0 + j500 + 2.75 + j1.2$$

$$= 2.75 + j501.2$$

$$|I'_p| = 501.207 \text{ A}$$

$$\gamma = \tan^{-1} \frac{501.2}{2.75} = 89.68^\circ$$

خطأ زاوية الطور β

$$\beta = 90 - \gamma = 0.314^\circ$$

خطأ النسبة

$$K_a = \frac{I'_p}{I_s} = \frac{501.207}{5}$$

$$E_s = V_s = I_s (1 + 0.5) = 7.5 \text{ V}$$

$$\frac{E_p}{E_s} = \frac{5}{500}$$

$$\therefore E_p = 0.075 \text{ V}$$

$$E_p = 4.44 f \phi_m N_l$$

$$\phi_m = 0.337 \times 10^6 \text{ Wb}$$

مثال (2-2)

محولة تيار عدد لفاتها الابتدائية 5 وحمل الثانوي يتكون من مقاومة قيمتها 0.16Ω ومفاعلة حثية 0.12Ω . قيمة التيار الابتدائي 200 A ومركبة المغنطة للتيار I_0 تساوي 1.5 A، ومركبة فقد الحديد 0.4 A. أحسب عدد لفات جهة الثانوي المطلوبة لجعل نسبة تحويل التيار 100/1 وزاوية الطور عند هذه الحالة.

الحل

ممانعة الحمل: $0.16 + j0.12$

$$\therefore \delta = \tan^{-1} \frac{0.12}{0.16} = 36.86^\circ$$

$$I_a = 1.5 \text{ A} \quad I_r = 0.4$$

$$\therefore \alpha = \tan^{-1} \frac{0.4}{1.5} = 14.93^\circ$$

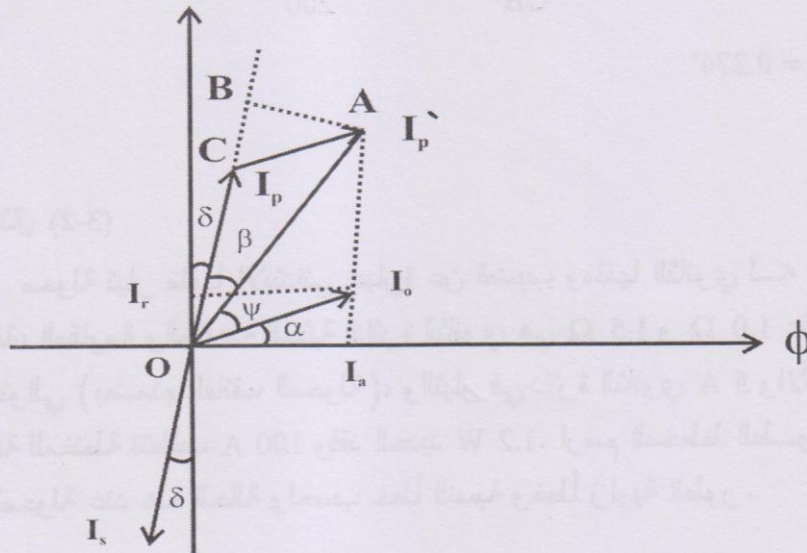
$$I_o = \sqrt{I_a^2 + I_r^2} = 1.552$$

من المخطط الطوري الموضح في الشكل (2-16) يمكن إجراء التقريب التالي:

$$\psi = 90 - \alpha - \delta$$

ولكون β صغيرة جداً ، فيمكن إهمالها في حساب قيمة Ψ .

$$\psi = 38.21^\circ$$



شکل (2-16)

$$CB = I_o \cos \psi$$

$$= 1.196$$

$$OB \approx OA = I'_p = 200 \text{ A}$$

$$I_p = OB - CB = 200 - 1.196 = 198.804 \text{ A}$$

$$\frac{I'_p}{I_s} = 100/1$$

$$\therefore I'_p = 200 \text{ A} \quad \text{and} \quad I_s = 2 \text{ A}$$

$$\frac{I_p}{I_s} = \frac{N_s}{N_p} \quad \text{where} \quad N_p = 5 \text{ turns}$$

$$N_s = \frac{I_p \cdot N_p}{I_s} = \frac{198.804 \times 5}{2} = 497 \text{ turns}$$

$$\text{Phase Angle } \beta = \tan^{-1} \frac{BA}{OB} = \tan^{-1} \frac{1.55 \sin 38.2}{200}$$

$$\therefore \beta = 0.274^\circ$$

مثال (3-2)

محوّلة تيار ملفها الابتدائي عبارة عن قضيب وملفها الثانوي له 300 لفّة، المقاومة والمفاعلة الحثية لدائرة الثانوي هي 1.5Ω و 1.0Ω على التوالي (بضمنها لفائف المحوّل)، والتيار في دائرة الثانوي 5 A والأمبير لفّة للمغنطة تتطلب 100 A وفقد الحديد 1.2 W. ارسم المخطط الطوري للمحوّلة عند هذه الحالة واحسب خطأ النسبة وخطأ زاوية الطور.

الحل

عدد اللفات الثانوية $N_s = 300$

حمل الثانوي $R_{s+j} X_s = 1.5 + j1 \Omega$

$$I_s = 5 \text{ A}$$

$$\delta = \tan^{-1} \frac{1}{1.5} = 35.69^\circ$$

$$\frac{N_p}{N_s} = \frac{V_p}{V_s}$$

$$\therefore \frac{V_p}{V_s} = \frac{1}{300}$$

$$\frac{I_p}{I_s} = \frac{N_s}{N_p}$$

$$\therefore I_p = \frac{5 \times 300}{1} = 1500 \text{ A}$$

$$Z_s = \sqrt{1.5^2 + 1^2} = 1.802 \Omega$$

$$E_s = 5.1 - 802 = 9.014 \text{ V}$$

$$\frac{E_p}{E_s} = \frac{N_p}{N_s}$$

$$\therefore E_p = 9.014 - \frac{1}{300} = 30 \text{ mV}$$

$$I_r = \frac{1.2}{30 \times 10^{-3}} = 40 \text{ A}$$

$$I_a = 100 \text{ A}$$

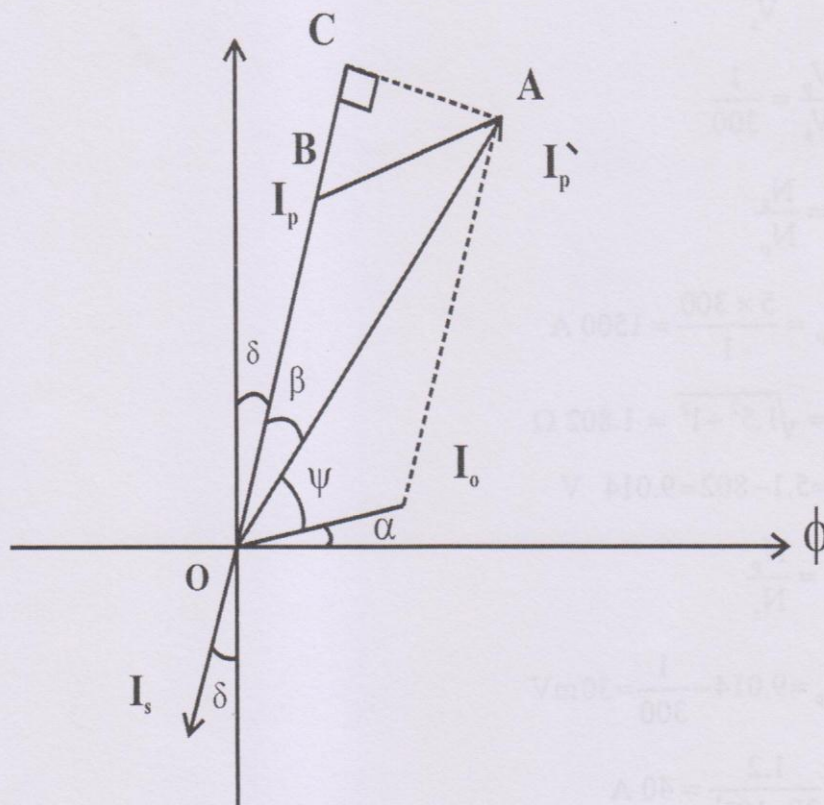
$$\alpha = \tan^{-1} \frac{40}{100} = 21.801^\circ$$

$$\therefore I_o = \sqrt{100^2 + 40^2} = 107.703 \text{ A}$$

$$\psi = 90 - \alpha - \delta = 34.51^\circ$$

$$BC = I_o \cos \psi = 88.75$$

$$CA = I_o \sin \psi = 61.02$$



شكل (17-2)

$$I'_p = \sqrt{I_p^2 + I_o^2 + 2I_o I_p \cos\psi}$$

$$= \sqrt{1500^2 + 107.7^2 + 2 \times 1500 \times 107.7 \cos 34.51}$$

$$= 1588.75 \text{ A}$$

$$\delta_{CT} = \frac{I_p - I'_p}{I'_p} + 100 = -5.58\%$$

$$\beta = \tan^{-1} \frac{CA}{OB+BC} = \frac{61.02}{1500+88.75} = 2.44^\circ$$

4-2 محولات الجهد Potential Transformers

1-4-2 المقدمة

تستعمل محولة الجهد (PT) لتحويل الفولتية العالية في خطوط النقل إلى قيم قليلة ملائمة لتشغيل أجهزة القياس أو أجهزة الحماية. يجب أن تحقق محولة الجهد متطلبات التصميم التي تتضمن دقة نسبة اللفات ومفاعلة تسرب وتيار مغنطة صغيرين وكذلك أقل هبوط في الفولتية. وبالنظر لكون الملف الابتدائي لمحولة الجهد يستقبل الجهود العالية جداً، عليه يجب أن يكون العزل بين الملفين الابتدائي والثانوي قادراً على تحمل هذه الجهود بفضل متطلبات العزل العالية. يتكون ملف الجهد العالي من رقائق دائرية معزولة لتجنب اجهادات العازل العرضية، بينما تلف ملفات الجهد الواطئ على شكل صفائح تجمع داخل ملف الجهد العالي، يتم تجفيف المجموعة كاملة وتشبع بالزيت وتثبت مجموعة الألف والقلب داخل علبة فولاذية تحمل أطراف الجهد العالي، بعدها تملأ العلبة بمادة الزيت العازل. كما ذكرنا سابقاً فإن الغرض من محولة الجهد هو العزل الفيزيائي للمرحلة عن الجهد العالي وخفض الفولتية مثلاً إلى قيمة 110V من خط إلى الخط.

وحسب المواصفات العالمية تصمم محولة الجهد بحيث تجعل فولتية دائرة الثانوي 110 V من خط إلى خط أو $110/\sqrt{3}$ من خط إلى الخط المتعادل.

2-4-2 الأداء في الحالة المستقرة

يوضح الشكل (18-2) المخطط الطوري لمحولة الجهد.

إن النسبة المئوية لخطأ النسبة (Percent Ratio Error) لمحولة الجهد تحدد كما يلي:

$$\delta_{PT} = \frac{NV_s - V'_p}{V'_p} \times 100$$

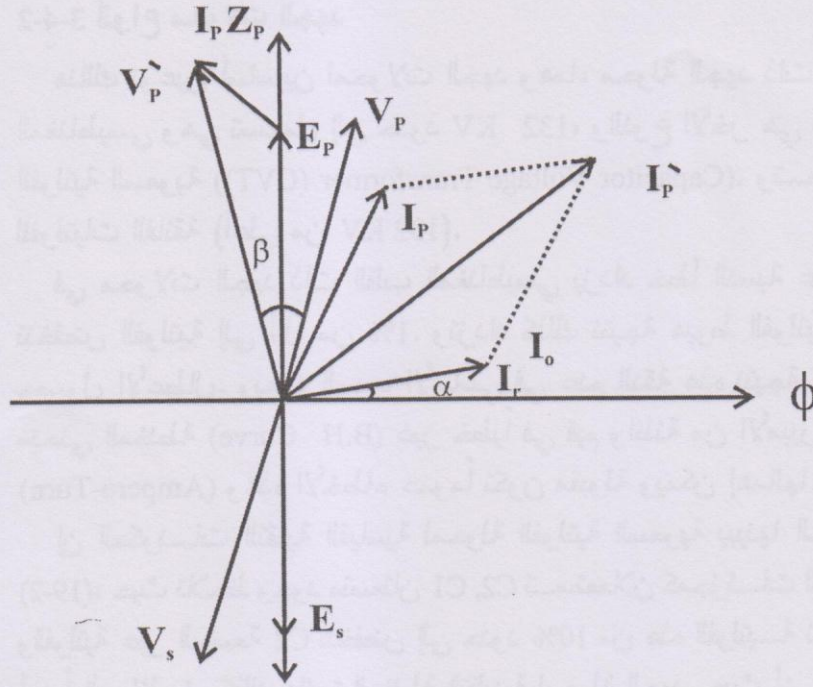
حيث أن:

N: النسبة الاسمية لمحولة الجهد وتساوي:

$$N = \frac{V_p}{V_s}$$

بينما يكون المطلوب هو النسبة $\left(\frac{V'_p}{V_s}\right)$. ويكون خطأ زاوية الطور

مساوياً للزاوية (β) المحصورة بين المتجهات (V'_p) و (V_p) وكما هو موضح بالشكل (18-2).



الشكل (2-18): المخطط الطوري لمحولة الجهد

حيث أن:

E_P : الفولتية المحتثة للابتدائي.

E_s : الفولتية المحتثة للثانوي.

I_P : تيار الابتدائي.

$I_P Z_P$: هبوط الفولتية بسبب مانعة الابتدائي.

V_P : فولتية الابتدائي المطبقة.

V_s : فولتية الثانوي.

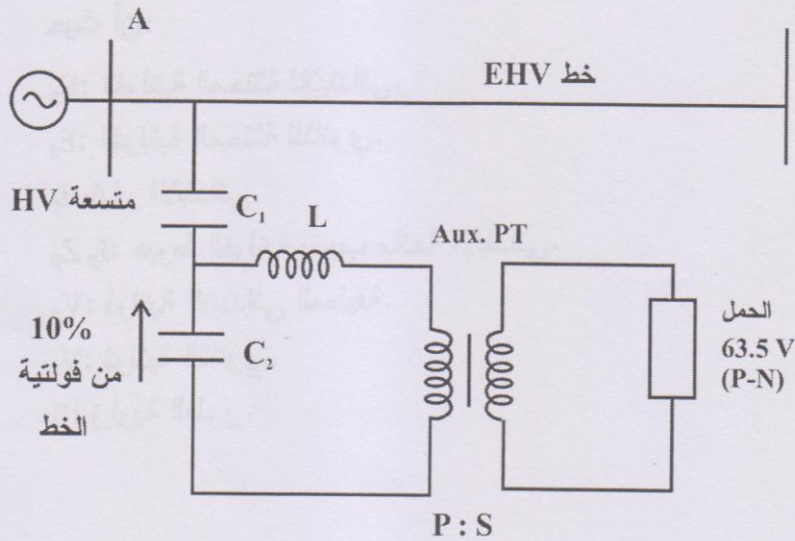
β : زاوية الطور.

3-4-2 أنواع محولات الجهد

هنالك نوعين أساسيين لمحولات الجهد وهما، محولة الجهد ذات القلب المغناطيسي وهي تستعمل إلى حدود 132 KV، والنوع الآخر هي محولة الفولتية السعوية (Capacitor Voltage Transformer (CVT)). وتستعمل للفولتيات الفائقة (أعلى من 132 KV).

في محولات الجهد ذات القلب المغناطيسي يزداد خطأ النسبة عندما تنخفض الفولتية إلى أقل من 1%. وتزداد كذلك نتيجة هبوط الفولتية عند حصول الأعطال. ويعود السبب الأساسي في عدم الدقة هذه نتيجة كون منحنى المغنطة (B.H Curve) غير خطياً في قيم واطئة من الأمبير - لفة (Ampere-Turn) وهذه الأخطاء عموماً تكون مقبولة ويمكن إهمالها.

إن المكونات التقنية القياسية لمحولة الفولتية السعوية يبينها الشكل (19-2)، حيث نلاحظ وجود متسعتان C1, C2 تستعملان كمجزئات للجهد والفولتية عبر المتسعة C2 تنخفض إلى حدود 10% من هذه الفولتية تغذي أيضاً المحاثية L وكذلك دائرة المغنطة التقليدية لمحولة الجهد. حيث أن المحاثية L تكافئ الممانعة السعوية للمصدر والمتمثلة بمتسعتي C1, C2.



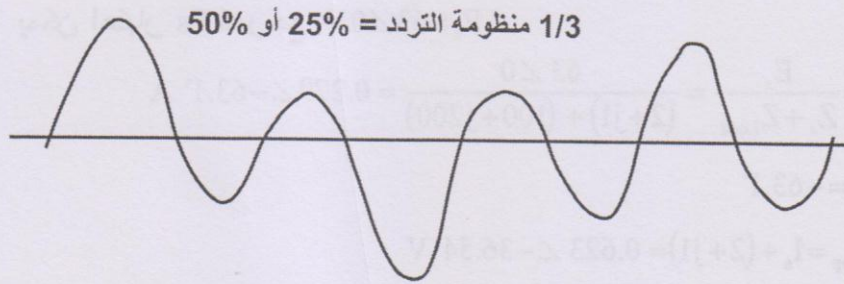
الشكل (19-2): محولة الفولتية السعوية (CVT)

4-4-2 الأداء في الحالة العابرة

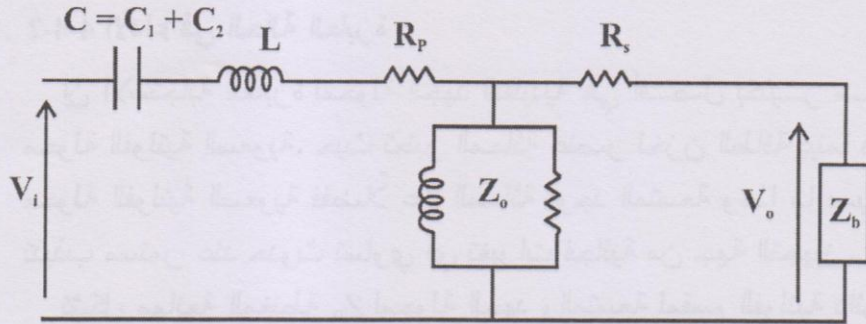
إن الاستجابة العابرة لمحولة الجهد التقليدية هي أفضل بكثير من محولة الفولتية السعوية. حيث تعتبر المحاثّة عنصر لخرن الطاقة بينما في محولة الفولتية السعوية ففضلاً عن المحاثّة توجد المتسعة وهذا ما يسبب تنذب مستمر عند حدوث تساوي أي تغيرات فجائية من جهة التجهيز. تشكل ممانعة المغنطة Z_0 لمحولة الجهد والمتسعة لمقسم الفولتية دائرة رنين، تكون في حالة تنذب طبيعي عند التردد شبه المتزامن (أقل من 50 Hz أو 60 Hz).

من خلال الاستجابة للقيمة الفعالة للتنذب شبه المتزامن الذي ربما يرتفع إلى 25% و 50% من الفولتية الطبيعية. إن شكل موجة التنذب النوعية يوضحها الشكل (20-2).

يمكن حساب الدائرة المكافئة لأداء الحالة العابرة وكما هو موضح بالشكل (21-2)، ولحد الآن لا يوجد تفسير مناسب لسلوك الحالة العابرة لمحولة الفولتية، عند حدوث سوء الأداء للمرحلة المرتبطة بها.



الشكل (20-2): التنذب شبه المتزامن للمحولة CVT



الشكل (21-2): الدائرة المكافئة للمحولة CVT

5-4-2 مثال محلول لمحولة الجهد

محولة جهد أحادية الطور لها نسبة تحويل $3810/63 \text{ V}$. فولتية جهة الثانوي الاعتيادية 63 V والمقاومة الكلية المكافئة ومفاعلة التسريب نسبة إلى جهة الثانوي هي 2Ω و 1Ω على التوالي. أحسب خطأ النسبة وخطأ زاوية الطور للمحولة عندما تجهز حملاً مقداره $100 + j200 \Omega$.

الحل

يمكن اعتبار E_s كمرجع $E_s = 63 \angle 0^\circ \text{ V}$

$$I_s = \frac{E_s}{Z_s + Z_{\text{Load}}} = \frac{63 \angle 0}{(2 + j1) + (100 + j200)} = 0.279 \angle -63.1^\circ \text{ A}$$

$$\therefore \delta = -63.1^\circ$$

$$V_{\text{drop}} = I_s (2 + j1) = 0.623 \angle -36.54^\circ \text{ V}$$

$$\therefore \gamma = -36.54^\circ$$

$$\therefore V_s = E_s - V_{\text{drop}}$$

$$= 63 + j0 - (0.501 - j0.371)$$

$$= 62.499 + j0.371$$

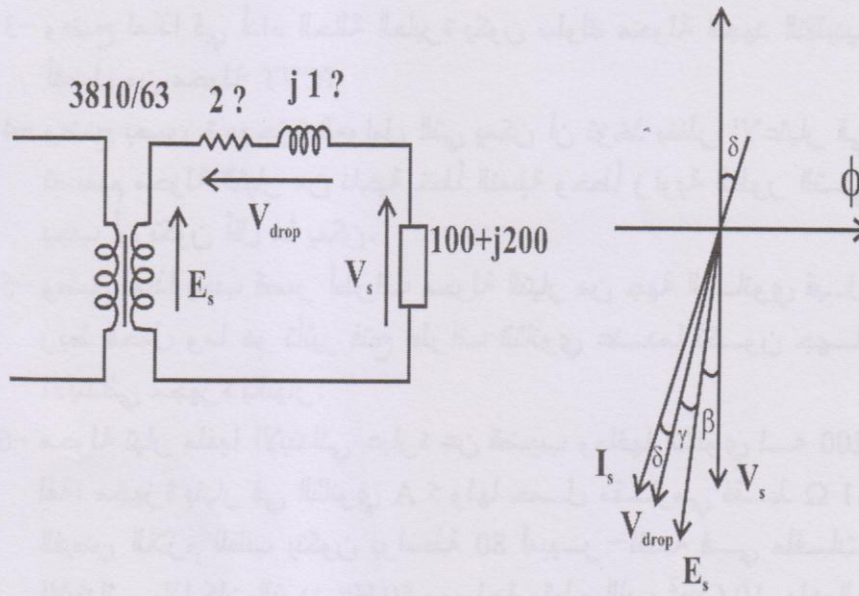
$$|V_s| = \sqrt{(62.499)^2 + (0.371)^2} = 62.5 \text{ V}$$

$$\delta_{PT} = \frac{V_s - E_s}{E} \times 100$$

$$\delta_{PT} = \frac{62.5 - 63}{63} \times 100 = -0.8\%$$

$$\beta = \tan^{-1} \frac{0.371}{62.499} = 0.339^\circ$$

تم إجراء تقريب في هذا المثال وهو إهمال تأثير I_o .



الشكل (22-2): المخطط الطوري والدائرة المكافئة للمثال (4-2)

5-2 الأسئلة

- 1- ما هو الفرق بين محولات التيار المستخدمة لأجهزة القياس والمستخدم لأجهزة الحماية من ناحية التشبع في كثافة الفيض؟
- 2- برهن أن القيمة العظمى للفيض في محولة التيار عند حدوث تيار عطل له مركبة d.c Offset ضارة وهي:

$$\text{Peak Value of Flux} = \left(1 + \frac{X_L}{R_L}\right) \times \text{Peak Value of ac Flux}$$

حيث أن:

X_L : مفاعلة الخط.

R_L : مقاومة الخط.

- 3- وضح لماذا في أداء الحالة العابرة يكون سلوك محولة الجهد التقليدية أفضل من محولة CVT؟
- 4- وضح بصورة موجزة العوامل التي يمكن أن تؤخذ بنظر الاعتبار في تصميم محولة التيار من ناحية خطأ النسبة وخطأ زاوية الطور التي يجب أن تكون أقل ما يمكن.
- 5- وضح لماذا يجب قصر أطراف محولة التيار من جهة الثانوي قبل ربط الحمل وما هو تأثير فتح أطراف الثانوي عندما تكون جهة الابتدائي مجهزة بالتيار.
- 6- محولة تيار ملفها الابتدائي عبارة عن قضيب وملفها الثانوي له 200 لفة، مجهزة بتيار في الثانوي 5 A ولها حمل مقاومي فقط 1Ω . الفيض اللازم للقلب يتكون بواسطة 80 أمبير-لفة في ملفات الابتدائي. إذا كان التردد 50 Hz ومساحة مقطع اللب 10 Cm^2 . بإهمال تأثير المغنطة وفقد الحديد والنحاس. أحسب:
 - أ- خطأ النسبة وخطأ زاوية الطور للمحولة.
 - ب- كثافة الفيض في اللب.

الفصل الثالث

مبادئ عمل المرحلة

الفصل الثالث

مبادئ عمل المرحلة

Relay Operation Principle

1-3 المقدمة

تعرف مرحلة الحماية بأنها أداة كهربائية أو إلكترونية مصممة للقيام بالتحسس المستمر لسير العمل في الشبكة الكهربائية المحمية من قبلها، لذلك تقوم هذه المرحلة بإصدار إشارة الإقلاق إلى قاطع الدورة المخصص لعزل هذه الشبكة عن المنظومة العاملة وإيقاف تجهيز العطل بالطاقة الكهربائية.

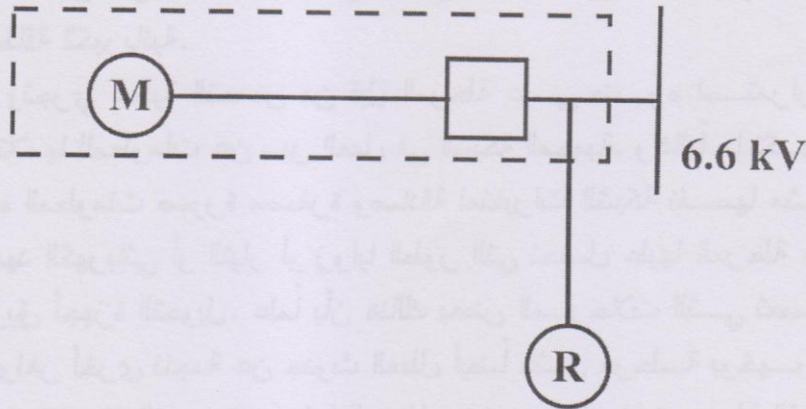
وتجري عملية التحسس من قبل المرحلة على ضوء استمرارية استلامها للمعلومات عن سير العمل في الشبكة المحمية. وغالباً ما تكون هذه المعلومات صورة مصغرة وصادقة لمتغيرات الشبكة نفسها مثل الجهد الكهربائي أو التيار أو زوايا الطور التي تحصل عليها المرحلة عن طريق أجهزة التحويل. علماً بأن هنالك بعض المرحلات التي تعمل بظواهر أخرى ناجمة عن حدوث العطل أيضاً مثل مرحلة بوخهولز (Bochholze) التي يستند عملها إلى ظاهرة تحرر غاز زيت محولة القدرة نتيجة حدوث العطل فيها.

2-3 الكشف عن الأعطال Detection of Faults

يؤدي حدوث العطل في أية منظومة كهربائية إلى زيادة في التيار وانخفاض في قيمة الفولتية، وبجانب هذا التغير ربما تحدث تغيرات أخرى مثل التغير في زوايا الطور للفولتية والتيار والمركبات التوافقية والقدرة الفاعلة والمتفاعلة والتردد... وغيرها.

1-2-3 مستوى الكشف Level Detection

من المعلوم دائماً أن قيمة تيار العطل هي أعلى بكثير من تيار العمل الطبيعي للمنظومة. ولتحديد مستوى الكشف ومن الشكل (1-3) الذي يبين محرك مجهز بفولتية 6.6 KV وتيار الحمل التام 252.5 A وسماحية سعة الحمل المفرط (Overload) الطارئة 25%، عليه فإن التيار $316.6 = 1.25 \times 252.5$ أمبير أو أقل يمثل التشغيل الطبيعي. إن أي قيمة تيار أعلى من المستوى الطبيعي (مثلاً 318 A مع نفس نسبة الأمان) تمثل حصول عطل أو ظرف غير طبيعي. إن المرحلة يجب أن تصمم للعمل وفصل قاطع الدورة إذا تجاوزت قيمة التيار أعلى من القيمة الطبيعية.

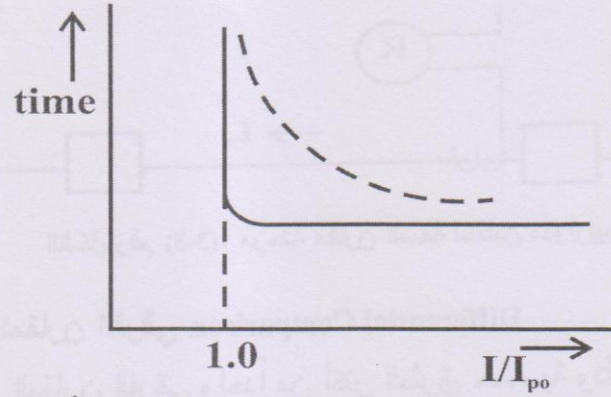


الشكل رقم (1-3): حماية المحرك من التيار المفرط

إن مستوى الكشف الأعلى الذي تعمل عنده المرحلة يسمى بتنظيم النقاط المرحلة (Pickup Setting). إن جميع التيارات الأعلى من قيم الالتقاط، سوف لا تستجيب لها المرحلة ولا تعمل. من الطبيعي أن يكون للمرحلة مدى معين للعمل عند قيم أعلى من الالتقاط وعدم العمل عند قيم أقل من الالتقاط وكمثال على ذلك مرحلات الفولتية المنخفضة (Under Voltage Relays).

إن خواص التشغيل لمرحلة التيار المفرط الموضحة في الشكل (2-3) تبين العلاقة بين زمن تشغيل المرحلة والتيار في المرحلة. إنه من الأفضل جعل التيار كنسبة للتيار الحقيقي (Actual Current) إلى تيار الالتقاط للمرحلة (I/I_{pu}). إن زمن التشغيل (الطبيعي) للتيارات أقل من (1.0) يكون ما لانهاية بينما القيم الأكبر من 1.0 فإن المرحلة سوف تعمل. إن زمن التشغيل الحقيقي يعتمد على تصميم المرحلة والذي سوف يتم مناقشته في الفصول اللاحقة.

إن مستوى الكشف المثالي للمرحلة توضحها الخصائص الموضحة بالخط المتواصل من الشكل (2-3)، ومن الناحية العملية فإن خواص المرحلة كما نراها لها منحني، موضح بالخط المنقط من الشكل نفسه.



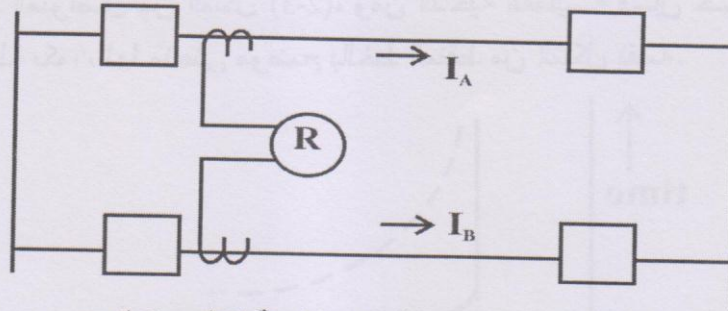
الشكل رقم (2-3): خصائص مستوى الكشف للمرحلة

2-2-3 مقارنة السعة Magnitude Comparison

يستند التشغيل الأساسي للمرحلة على المقارنة بين واحدة أو أكثر من الكميات مع بعضها البعض. على سبيل المثال مرحلة التيار المتزن يمكن أن تقارن التيار المار في دائرة مع التيار في الدائرة الأخرى، اللذان يكونان متساويين بالسعة عند ظروف التشغيل الطبيعية.

إن المرحلة سوف تعمل عندما يكونان التيارين في كلا الدائرتين مختلفين في السعة وهذا ما يوضحه الشكل (3-3)، الذي هو عبارة عن

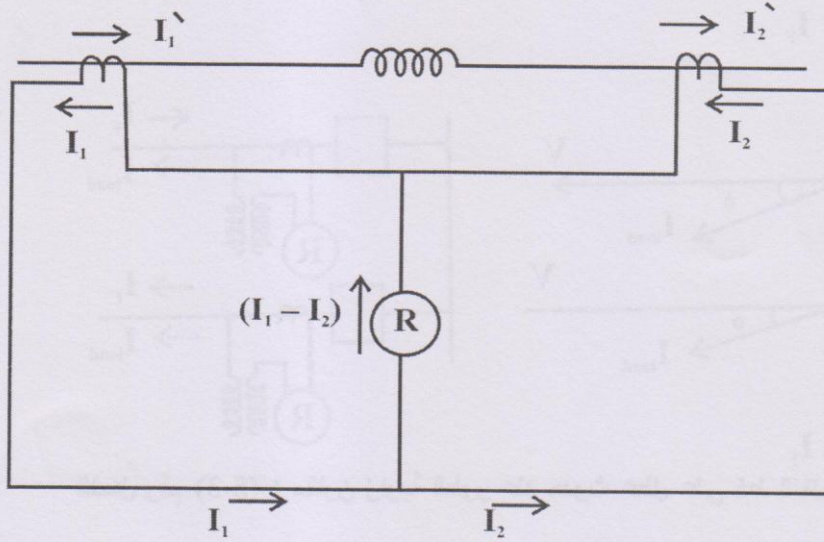
خطين متوازيين متشابهين مرتبطين إلى عمومي واحد من النهايتين ويمكن استخدام مرحلة مقارن السعة التي تعمل على المقارنة بين سعتي تيارى الخطين $|I_A|$ و $|I_B|$. إذا كان $|I_A|$ أكبر من $|I_B| + \varepsilon$ والخط B غير مفتوح، فالمرحلة سوف تشير إلى وقوع عطل في الخط A وتعمل على فصله، حيث أن ε هي مقدار السماحية المناسبة. وهذا الكلام ينطبق على الخط B الذي يفصل إذا تجاوز تياره تيار الخط A عندما يكون الخط A غير مفتوح. هذا النوع من المرحلات يمكن استخدامه في المكائن الكهربائية ذات الملفات الثانوية المتوازية عند كل طور.



الشكل رقم (3-3): مرحلة مقارن السعة لخطين متوازيين

3-2-3 المقارن الفرقى Differential Comparison

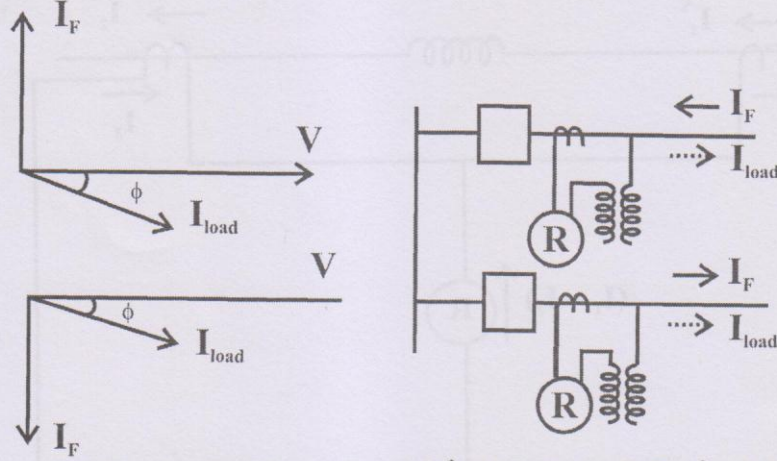
يعتبر المقارن الفرقى واحداً من أكثر الطرق حساسية وتأثيراً لتجهيز حماية ملائمة ضد الأعطال. يستند مبدأ عمل المقارن الفرقى على مفهوم بسيط يوضح بالشكل (3-4) والمتضمن لفائف مولدة يراد حمايتها، فإذا كانت التغذية مستمرة فإن التيار الداخل من إحدى النهايات I_1 يجب أن يساوي التيار المغادر من النهاية الأخرى I_2 . يمكن استخدام مقارن السعة الموصوف سابقاً لحماية الملفات. عند حدوث العطل بين النهايتين، فإن التيارين لا يكونان متساويين. وأن الفرق بينهما $|I_1 - I_2|$ سوف يدخل المرحلة التي تتحسس بالعطل، وهذا ما يطلق عليه مصطلح الحماية الفرقية تتميز الحماية الفرقية بصورة عامة بقدرتها على كشف أصغر السعات لتيارات العطل، وتعتبر حماية وحدوية.



الشكل رقم (4-3): الحماية الفرقية المطبقة لحماية لفائف مولدة

4-2-3 مقارنة زاوية الطور Phase Angle Comparison

إن هذا النوع من المرحلات يقارن زاوية الطور بين اثنين من الكميات المتناوبة. مقارنة زاوية الطور بصورة عامة يستخدم لتحديد اتجاه التيار نسبة إلى كمية مرجعية. مثلاً سريان القدرة الاعتيادية يعطى اتجاه ينتج عنه زاوية الطور بين الفولتية والتيار وهي زاوية عامل القدرة وتساوي تقريباً $\pm 30^\circ$ باتجاه معين وتصبح $180^\circ \pm 30^\circ$ بالاتجاه المعاكس. وهذا ينطبق تماماً على العطل في الاتجاه الأمامي والعكسي حيث أن زاوية الطور بين التيار والفولتية تكون $-\phi$ و $(180^\circ - \phi)$ على التوالي حيث أن ϕ هي زاوية الممانعة لدائرة العطل وهي تقترب من 90° في شبكات نقل القدرة. هذه العلاقات موضحة في خطي النقل المبينة في الشكل (5-3). هذا الاختلاف في العلاقات الطورية تتولد بواسطة العطل الذي يحدد عمل المرحلات للاستجابة لاختلاف زاوية الطور بين اثنين من الكميات الداخلة ، مثل فولتية العطل والتيار العطل كما في المثال أعلاه.



الشكل رقم (3-5) : مقارنة زوايا الطور عند حدوث عطل على خط النقل

5-2-3 قياس المسافة Distance Measurement

إن أفضل أنواع الحماية إيجابية ووثوقية هي مقارنات الحماية التي تستند على مقارنة التيار الداخل إلى دائرة معينة مع تيار مغادر منها. في خطوط النقل والمغذيات، يكون الطول والفولتية وشكل الخط ربما يجعل مبدأ المقارنة أعلاه غير اقتصادي والحل هو بدلاً من مقارنة التيار الموقعي لخط مع التيار في النهاية البعيدة للخط، فإن المرحلة تقوم بمقارنة الفولتية الموقعية إضافة إلى التيار الموقعي. وهذا في التأثير يعني قياس ممانعة الخط المنظورة من قبل المرحلة.

6-2-3 المرحلات الناقلة Pilot Relaying

يستند عمل المرحلات الناقلة على مبدأ نقل المعلومات من وإلى المرحلة ومن مناطق بعيدة. هذه المعلومات عادة وليس دائماً يمكن أن تعبر عن حالات الملامسات الكهربائية (فتح أو غلق). تُحْمَلُ خطوط نقل القدرة الكهربائية بمعلومات بواسطة قناة الاتصالات أو موجات المايكروويف أو الدوائر الهاتفية. وهذا ما يصطلح عليه بالحماية المحمولة على خط القدرة ((Power Line Carrier Protection (PLC)).

7-2-3 الحماية من التوافقيات Protection of Harmonic

التيارات والفولتيات في منظومة القدرة عادة تمتلك موجات جيبية بالتردد الأساسي للمنظومة. يحدث هنالك حياض عن الموجات الجيبية النقية مثل حصول التوافقية الثالثة للفولتيات والتيارات الناتجة من المولدات خلال ظروف التشغيل الطبيعية للمنظومة. تحدث التوافقيات الأخرى خلال ظروف التشغيل غير الطبيعية، مثل التوافقيات الفردية المتكونة بسبب تشبع المحولات أو بسبب مركبات الحالة العابرة من المحولات. إن الحالات غير الطبيعية هذه يمكن الكشف عنها بواسطة التحسس بمحتويات التوافقيات عن طريق استخدام المرشحات (Filters) في المرحلات الكهروميكانيكية والساكنة وحتى المرحلات الرقمية.

8-2-3 متحسسات التردد Frequency Sensing

تعمل منظومة القدرة الكهربائية عادة على التردد (50 Hz أو 60 Hz) وذلك اعتماداً على البلدان. إن أي حياض عن هذه القيم المحددة يشير إلى وقوع حالة غير طبيعية حيث يمكن قياس التردد باستخدام دوائر المرشح عن طريق حساب الموجات خلال وحدة الزمن أو بواسطة عينات خاصة وتقنية الحاسوب الرقمي. مرحلات متحسسات التردد يمكن استخدامها لتصحيح التشغيل وإعادة نظام التردد إلى الحالة الاعتيادية. إن الكميات المختلفة الداخلة تقوم بالكشف عن العطل حيث تستعمل إما واحدة أو أكثر من المكونات لحساب القدرة ومعامل القدرة والاتجاهات والممانعة وغيرها، وتستعمل كذلك كمرحلة لتضبيب الكميات. بعض المرحلات تصمم أيضاً للاستجابة للأجهزة الميكانيكية مثل كاشفات مستوى المائع أو متحسسات الضغط أو درجة الحرارة وغيرها. المرحلات يمكن أن تتركب من عناصر كهروميكانيكية مثل المنتج المرتكز، والأقداح الحثية والعناصر الساكنة مثل الداودات والترانزستورات أو مكبر العمليات أو المكبر المغناطيسي أو الحاسوب الرقمي الذي يستخدم المغيرات لتحويل الإشارات التناظرية إلى رقمية وكذلك المعالجات الدقيقة.

3-3 تصاميم المرحلة Relay Designs

إن الغرض من معرفة تصاميم المرحلة لبيان معرفة قابليتها وحدود عملها وتحسسها بالأعطال.

1-3-3 الفواصم Fuses

يعتبر الفاصم من أبسط وأقدم أجهزة الحماية، حيث يقوم بحماية الدائرة من الأضرار الناجمة عن مرور تيار أكبر من التيار المقنن عند حصول عطل في الدائرة، إذ يعمل على فتح الدائرة من خلال عنصر الفصم. يوضع عادة الفاصم في بداية الدائرة المراد حمايتها وأن عنصر الفصم يكون قابل للانصهار عند تزايد درجة حرارته بسبب مرور تيار العطل فيه، حيث أن زمن الانصهار يعتمد على قيمة هذا التيار. يستخدم الفاصم لمرة واحدة فقط حيث أن عنصر الفصم يدمر أثناء مرور تيار العطل فيه، وعليه فإن للفواصم وظيفتان أساسيتان هما التحسس بتيار العطل وفصل الدائرة العاطلة.

1-1-3-3 خواص الفواصم

- 1- قابليته على تحمل التيار المقنن بصورة مستمرة دون انصهار عنصر الفصم.
- 2- قابليته على العمل بمستوى الجهد الكهربائي أو أقل منه.
- 3- يجب أن يبدأ عنصر الفصم بالانصهار مباشرة بعد ازدياد مقدار التيار المار فيه إلى تيار مساوي لتيار القطع المقنن (Interrupting).
- 4- استجابة الفاصم للفصل وفقاً للفترة الزمنية المقررة.

2-1-3-3 أسباب عدم استخدام الفواصم

هنالك سببين أساسيين لعدم استخدام الفواصم:

- 1- يتطلب تبديل الفاصم بعد كل استخدام قبل إعادة التشغيل، وهذه الصفة تسمى (أحادي الاستخدام). ويمكن الحصول على فواصم متعددة الاستخدام عن طريق ربط عدد من الفواصم تستبدل أوتوماتيكياً بأخرى مكانه وهكذا.

2- في الدوائر ثلاثية الطور، عند عطل أحد الأطوار إلى الأرض ينصهر الفاصم ويسبب في فصل هذا الطور وتستمر التغذية إلى الطورين الآخرين مما يسبب الاهتزازات والتذبذبات وارتفاع درجات الحرارة وأخيراً يسبب عدم توازن فولتية التجهيز، كما يحدث في المحرك.

4-3 المرحلات الكهروميكانيكية Electromechanical Relays

في تصاميم المرحلات الحالية، يستفاد من القوة الفعلية الناتجة من الحث الكهرومغناطيسي بين التيارات والفيض كما في المحرك. كما تعتمد بعض المرحلات على ظاهرتي التمدد والتقلص التي تحدث في المعادن عند ارتفاع درجات الحرارة نتيجة مرور تيار فيها. في المرحلات الكهروميكانيكية نحصل على القوة الحقيقية عن طريق الترابط بين الإشارات الداخلة والطاقة المخزونة في النابض. يمكن أن تكون إدخالات المرحلة فردية كما في المرحلات من النوع المكبسي أو تكون الإدخالات متعددة كما في مرحلات الحث القرصية أو القذحية. يمكن تصنيف هذا النوع من المرحلات رغم اختلاف أشكالها وأنواعها وأدائها الوظيفي إلى صنفين أساسيين من حيث المبدأ وهما:

1-4-3 مرحلات الجذب الكهرومغناطيسي Electromagnetic Attraction Relays

تتألف مرحلات الجذب الكهرومغناطيسية عادة من ملف أو أكثر يسري التيار الكهربائي في الملف فقط في حالة حدوث عطل في الشبكة المحمية من قبل المرحلة وينجم عن سريان هذا التيار في الملف توليد مجال مغناطيسي قابل لجذب القطب المعدني. تؤدي حركة هذا القطب المعدني إلى غلق أو فتح ملامسات كهربائية (Contacts) والتي تقوم بدورها بإصدار إشارة الإفلت إلى قاطع الدورة. وتصنف مرحلات الجذب الكهرومغناطيسية إلى الأصناف الآتية:

1- المرحلة المكبسية Plunger Type Relays

تتألف هذه المرحلة من مكبس دائري متحرك موضوع داخل مجال مغناطيسي كما يوضحه الشكل (6-3). في الحالة الاعتيادية وعند عدم وجود عطل فإن المكبس يكون جزئياً خارج الملف بفضل قوة النابض (J_s). عندما تكون (x) هي موقع المكبس داخل الجزء العلوي المفتوح للملف. يجهز الملف بالتيار (i) ومع إهمال ظاهرة التشبع، فإن الطاقة $W(\lambda, i)$ والطاقة المتحولة $W'(i, x)$ المخزونة في المجال المغناطيسي تعطى بالمعادلة التالية:

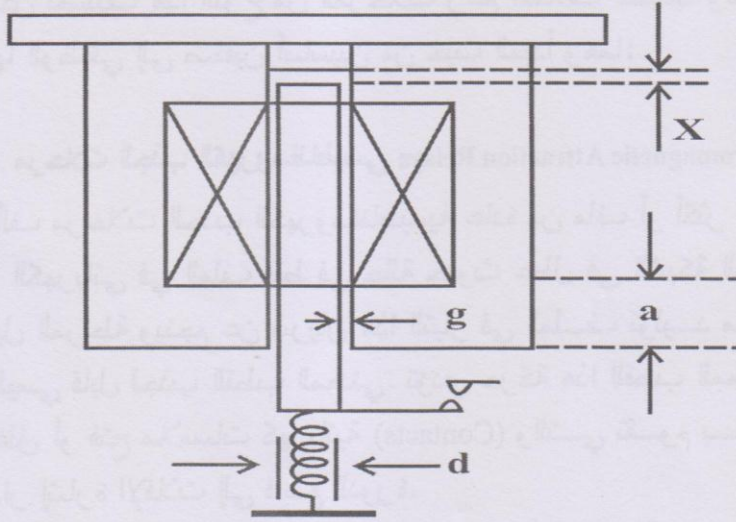
$$W(\lambda, i) = W'(i, x) = \frac{1}{2} L i^2 \quad \dots (1-3)$$

حيث أن:

L : هي محاثة الخط وتساوي.

$$L = \frac{\mu_0 \pi d^2 N^2}{4 (x + gd / 4a)}$$

λ : وصيلة التدفق (Flux Linkage) للملف.



الشكل رقم (6-3): المرحلة المكبسية

القوة التي تحاول سحب المكبس إلى داخل الملف تعطى بالمعادلة التالية:

$$J_m = \frac{\partial}{\partial x} W'(i, x) = K \frac{i^2}{(x + gd/4a)^2} \quad \dots (2-3)$$

حيث أن:

K: هو ثابت يعتمد على ثوابت الدائرة المغناطيسية.

g: سمك الفجوة الهوائية.

a: سمك القطب.

d: سمك النابض.

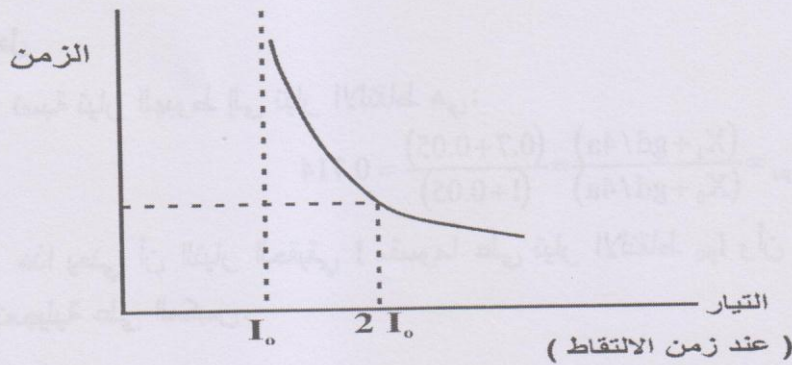
إن المكبس سوف يتحرك عندما تكون قوة (J_m) أكبر من قوة (J_s). إذا كان التيار المار بالمرحلة جيبي وقيمته جذر معدل التربيع له (Rote Means Square) هي (I) فإن معدل القوة يتناسب مع (I^2) وقيمة التيار (I_{pu}) التي تجعل المكبس على وشك البدء بالحركة (يعرف بتنظيم الالتقاط للمرحلة). يعطى بالمعادلة التالية:

$$I_{pu} = \left\{ \sqrt{J_s / K} \right\} (x_0 + gd/4a) \quad \dots (3-3)$$

حيث أن:

x_0 : موقع المكبس في حالة عدم مرور تيار في الملف.

إن زمن التشغيل للمرحلة يعتمد على كتلة المكبس، التي يمكن اختبارها بقيمة مناسبة وحسب الحاجة. إن الخصائص العامة للمرحلة الموضحة في الشكل (7-3) تبين العلاقة بأن زمن التشغيل يرسم كدالة للتيار المار في الملف.



الشكل رقم (7-3): علاقة زمن التشغيل بالتيار في المرحلة المكبسية

يتحرك المكبس من (X_0) إلى (X_1) قبل أن يغلق الملامسات الكهربائية ثم يتوقف والتيار المجهز يجب أن ينخفض إلى قيمة (I_d) ويعرف بتيار الهبوط (Drop out)، قبل أن يعود المكبس إلى موقعه الأصلي (X_0) .

حيث أن:

$$I_d = \{J_s / K\} (X_1 + gd/4a) \quad \dots (4-3)$$

فعندما تكون قيمة (X_1) أقل من قيمة (X_0) فإن التيار (I_d) يكون دائماً أقل من تيار الالتقاط (I_{pu}) للمرحلة وهذا مهم جداً ويعتبر من الخصائص المشتركة لهذا النوع من المرحلات في حقل التطبيق العملي.

مثال 1-3

مرحلة مكبسية، تيار الالتقاط I_{pu} يساوي 5A وسمك القطب 1.5 Cm، النابض يسحب المكبس مسافة 1 Cm خارج الملف عندما يكون التيار أقل من I_{pu} ، وسمك الفجوة الهوائية 0.2 Cm وأن $(gd/4a)$ تساوي 0.05. اعتبر أن قوة النابض ثابتة عند قيمة 0.001 نيوتن وأن كتلة المكبس 0.005 Kg. افرض أن المكبس يتحرك 3 mm قبل أن يصل إلى نقطة التوقف لغلق الملامسات. أحسب زمن التشغيل للمرحلة.

الحل

نسبة تيار الهبوط إلى تيار الالتقاط هي:

$$I_d / I_{pu} = \frac{(X_1 + gd/4a)}{(X_0 + gd/4a)} = \frac{(0.7 + 0.05)}{(1 + 0.05)} = 0.714$$

هذا يعني أن التيار الحقيقي I مقسوماً على تيار الالتقاط I_{pu} وأن القوة التعجيلية على المكبس.

$$J = J_m - J_s = K \frac{(I \times I_{pu})^2}{((X + gd)/4a)^2} - J_s$$

وبالتعويض عن J_s بالمعادلة (4-3) واستخدام السنتمتر في جميع الأبعاد الخطية نحصل على:

$$J = J_s \left\{ \frac{(X_0 + gd/4a)^2}{(X + gd/4a)^2} I^2 - 1 \right\}$$

$$= 0.001 \times \left\{ \frac{(1.05)^2}{(X + 0.05)^2} I^2 - 1 \right\}$$

معادلة الحركة للمكبس

$$m\ddot{X} = -J$$

حيث أن :

m : كتلة المكبس.

X : القوة الفاعلة لتقليل المسافة.

$$0.005 \ddot{X} = -0.001 \times \left\{ \frac{(1.05)^2}{(X + 0.05)^2} I^2 - 1 \right\}$$

هذه المعادلة يمكن أن تكامل مرتين للحصول على زمن التشغيل للمرحلة، وهذا يعني أن الزمن اللازم للتحرك من X_0 إلى X_1 عليه يمكن الحصول على قيم تقريبية باستخدام قوة ثابتة ومتوسطة، تؤخذ عند حركة المكبس من X_0 إلى X_1 . عندما تكون قيمة X تساوي 1 Cm فإن القوة هي:

$$J = 0.001(I^2 - 1) \quad [N]$$

وعندما X تساوي 0.7 Cm فإن القوة تساوي:

$$J = 0.001(1.96I^2 - 1) \quad [N]$$

وعليه فإن متوسط القوة (Average Force) هي:

$$J = 0.001(1.48I^2 - 1) \quad [N]$$

باستخدام هذا الاشتقاق للقوة فإن المعادلة التقريبية للحركة في المكبس هي:

$$0.05 \ddot{X} = 0.001 \times \{1.48I^2 - 1\}$$

وبالتكامل مرتين للحصول على زمن الاشتغال للمرحلة :

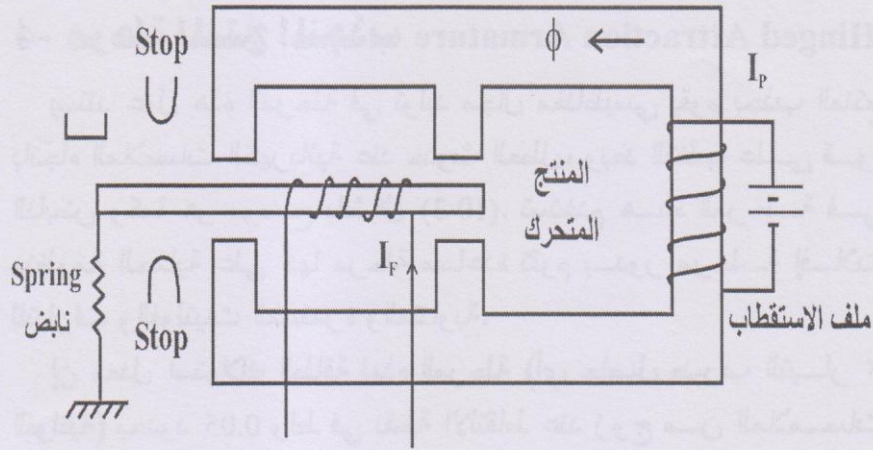
$$t = \sqrt{\frac{10(X_0 - X_1)}{(1.48I^2 - 1)}} = \sqrt{\frac{0.3}{1.48I^2 - 1}} \text{ sec.}$$

إن المعادلة أعلاه ليست دقيقة عندما $I = 1.0$ (تنظيم الالتقاط) وذلك بسبب عملية التقريب في اشتقاق القوة. حيث نلاحظ من السلوك الزمني العكسي للمرحلة عند القيم الكبيرة للتيار وهذا ما يوضحه الشكل (7-3). نلاحظ أن خصائص المرحلة الموضحة بالشكل (7-3) يمثل الاحداثي الأفقي وهي نسبة التيار الحقيقي إلى تيار الالتقاط. هذه الطريقة تكون تماماً كمرجع لتحديد خصائص التشغيل للمرحلة. معظم المرحلات لها أنواع مختلفة من اللفائف لتعديل الملف، لكي يمكن ضبط تيار الالتقاط بمدى واسع. على سبيل المثال مرحلة التيار المفرط من نوع المكبسية لها عدة أنواع من التنظيمات 1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0, 6.0, 8.0, 10.0 أمبير. على التوالي، الالتقاط يمكن السيطرة عليه بواسطة ضبط المكبس مع الملف وهكذا يمكن ضبط قيمة X في الشكل (6-3). مرحلة الجذب المكبسية سوف تعمل على تيارات (dc) فضلاً على عملها على تيارات (ac).

2- مرحلة استقطاب القضيب الحديدي المتحرك

Polarized Moving Iron Relay

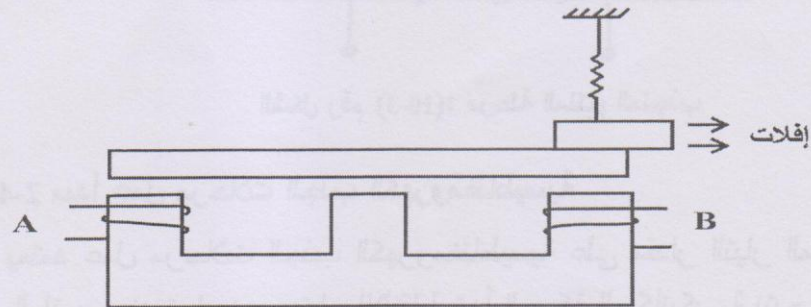
إن هذه المرحلة هي نوع من أنواع مرحلات المنتج المنجذب بعد إضافة مغناطيس ثابت له، وتحتوي هذه المرحلة على ملفين، يستخدم أحدهما لأجل القطبية وتوليد قوة الكبح (Restraining Force) والملف الثاني هو لأجل توليد مغناطيسية عند حدوث عطل أو مرور تيار العطل فيه والشكل (8-3) يوضح شكل ومبدأ عمل المرحلة.



الشكل رقم (8-3): مرحلة استقطاب القضيب الحديدي المتحرك

3- مرحلة العتبة المتزنة Balanced Beam Type

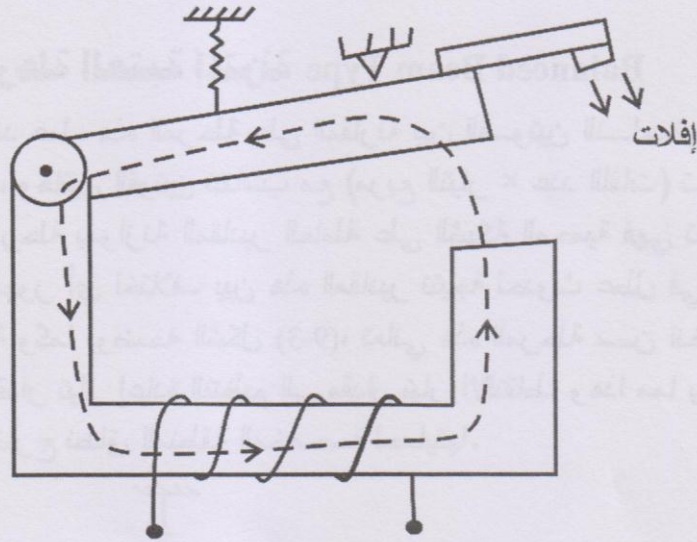
يستند عمل هذه المرحلة على المقارنة بين القوتين الناجمتين عن الملفين، وهاتين القوتين تتناسب مع (مربع التيار \times عدد اللفات) تستخدم هذه المرحلة بموازنة المقادير العاملة على الشبكة المحمية فهي تعمل في حالة ظهور أي اختلاف بين هذه المقادير نتيجة لحدوث عطل في الشبكة المحمية وكما يوضحه الشكل (9-3)، تعاني هذه المرحلة من انخفاض نسبة مقدار تيار إعادة التنظيم إلى مقدار تيار الالتقاط، وهذا مما يجعلها تعمل خارج نطاق المنطقة المخصصة لحمايتها.



الشكل رقم (9-3): مرحلة العتبة المتزنة

4- مرحلة المنتج المنجذب Hinged Attraction Armature

يستند عمل هذه المرحلة في توليد مجال مغناطيسي يقوم بجذب المنتج باتجاه الملامسات الكهربائية عند حدوث العطل، وبعد التغلب على قوة النابض وكما هو موضح بالشكل (10-3). تستخدم هذه المرحلة في منظومة الحماية على أنها مرحلة مساعدة تقوم بدور مرحلة إفلات للتيارات والفولتيات المستمرة والمتناوبة. إن معدل استهلاك الطاقة لهذه المرحلة (أي حاصل ضرب التيار \times الفولتية) بحدود 0.05 واط في نقطة الالتقاط عند زوج من الملامسات ويزداد الاستهلاك كلما ازداد عدد أزواج الملامسات لهذه المرحلة.



الشكل رقم (10-3): مرحلة المنتج المنجذب

2-4-3 مبدأ عمل مرحلات الجذب الكهرومغناطيسية

يعتمد عمل مرحلات الجذب الكهرومغناطيسية على مقدار التيار المار في الملف وعند تساويه مع تيار الالتقاط تبدأ الحركة الميكانيكية نتيجة لتزايد شدة المجال المغناطيسي وينجم عن هذه الحركة الميكانيكية فتح أو

غلق ملامسات تكون مفتاحاً لشبكة السيطرة المتحكممة بقاطع الدورة. إن القوة المغناطيسية المؤثرة على العنصر المتحرك في المرحلة يتناسب مع مربع الفيض في الفجوة الهوائية داخل المرحلة وذلك في حالة إهمال التشبع المغناطيسي، أي يتناسب التيار في الملف مع الفيض، إن عمل المرحلة يتوضح كما يلي:

$$J = KI^2 - J_s = J_e - J_s$$

حيث أن:

J : محصلة القوة المؤثرة.

K : ثابت تحويل القوة.

I : التيار في الملف المسبب للفيض (يحسب بقيمة (r.m.s)) في حالة عمل المرحلة بالتيار المتناوب.

J_e : القوة الناجمة عن الكهرومغناطيسية.

J_s : قوة الكبح والمعتمدة على النابض.

تعاني المرحلة من ظاهرة التذبذب في حالة تغذيتها بالتيار فقط. ويمكن استنتاج هذه الظاهرة عن طريق تطبيق المعادلة أعلاه، حيث أنه في اللحظة التي تكون فيها المرحلة على وشك الالتقاط تصبح محصلة القوة (J) مساوية للصفر في حين تكون J_e تساوي:

$$J_e = KI^2$$

$$= K (I_m \sin \omega t)^2$$

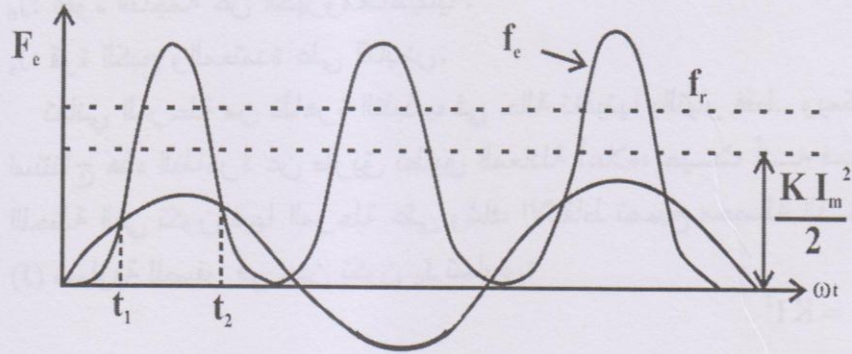
$$= \frac{KI^2 m}{2} [1 - \cos 2\omega t]$$

يلاحظ من المعادلة أعلاه بأن القوة المغناطيسية تتألف من مركبتين

إحدهما $\left(\frac{KI^2 m}{2}\right)$ ثابتة، بينما تعتمد الأخرى على الزمن وهي

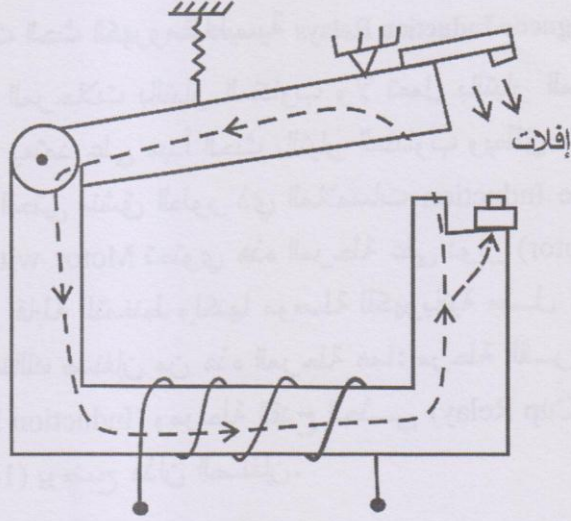
$$I \left[\frac{KI^2 m}{2} \cos 2\omega t \right] \text{ وتعمل بضعف التردد الأصلي } \left(f = \frac{\omega}{2\pi} \right) \text{ للتيار } I$$

وينتج عن هذه الحالة تذبذب القوة (J_e) والشكل (11-3) يوضح عمل المرحلة بشكل متذبذب عند ثبوت قوة الكبح (J_r) حيث يمثل الزمن t_1 حالة الالتقاط و t_2 حالة الرجوع لإعادة التنظيم، وهكذا يستمر التذبذب مؤدياً إرباك في عمل المرحلة. هذه الحالة السلبية تلحق ضرراً باللامسات الكهربائية الملحقة بالمرحلة نتيجة لتكرار عمليات الفتح والغلق لهذه اللامسات، ويمكن التغلب على هذه الحالة السلبية عن طريق تقسيم الفيض المغناطيسي إلى جزئين مختلفين في زاوية الطور، وهذا يؤدي بدوره إلى بقاء (J_e) موجبة.

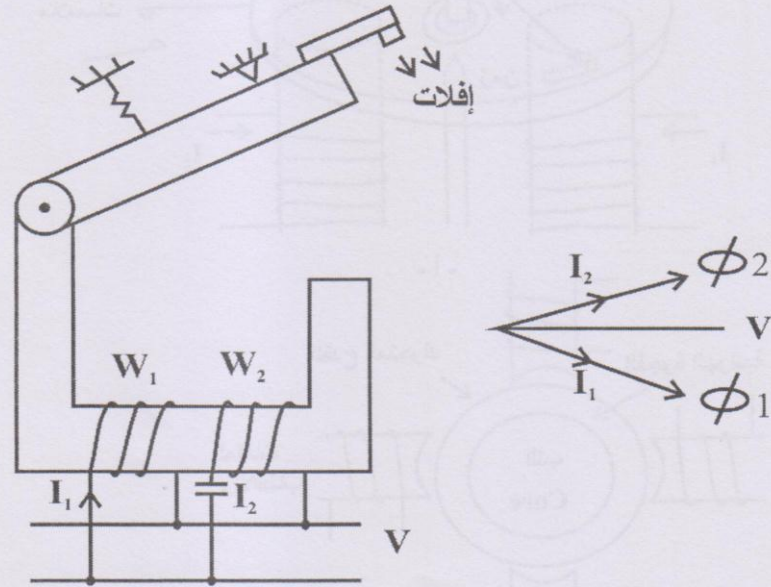


الشكل رقم (11-3) : التيار والقوى الكهرومغناطيسية العاملة لتحريك المنتج

وفي حالة كون هذه القوة ذات مقدار أكبر من قوة الكبح فسوف تعمل المرحلة بشكل منتظم بدون التذبذب. تستخدم الحلقة المظلمة (Shaded Ring) لتجزئة الفيض المغناطيسي والحصول على زاوية الطور المطلوبة وكما هو موضح بالشكل (12-3). أما الطريقة الأخرى للتغلب على ظاهرة التذبذب فهي استخدام ملفات من أجل الحصول على الفرق في الزاوية الطورية بين التيار I_1 و I_2 وكما هو موضح بالشكل (13-3).



شكل رقم (12-3): استخدام طريقة الحلقة المظلمة لتجزئة الفيض المغناطيسي



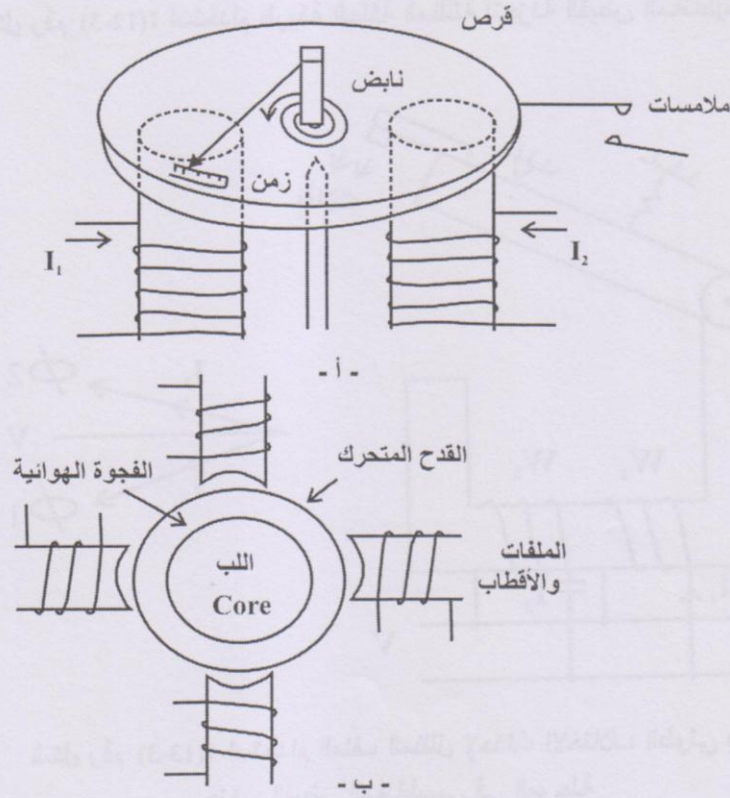
شكل رقم (13-3): استخدام الملف المظلل لإحداث الاختلاف الطولي بين

جزئي الفيض المغناطيسي في المرحلة

أ- المخطط الطوري ب- تركيب المرحلة

3-4-3 مرحلات الحث الكهرومغناطيسية Electromagnetic Induction Relays

تعمل هذه المرحلات بالتيار المتناوب ولا تعمل بالتيار المستمر وذلك لأن تصميمها يعتمد على مبدأ الحث بالتيار المتناوب ويطلق عليها أيضاً اسم المحرك الحثي منشق الطور ذي الملامسات (Split-Phase Induction Motor with Contacts) تحتوي هذه المرحلة على دوار (Rotor) مصنوع من مادة غير قابلة للتمغنط ولكنها موصلة للكهربائية مثل النحاس أو الألمنيوم. وهناك صنفان من هذه المرحلة هما: مرحلة القرص الحثي (Induction Disc Relay) ومرحلة القدر الحثي (Induction Cup Relay) والشكل (14-3) يوضح هذان الصنفان.



الشكل رقم (14-3): مرحلتا الحث القرصية والقدرية

يحدث دوران القرص أو القذح نتيجة لتوليد العزم الميكانيكي بتأثير الفيض المغناطيسي المنبعث من قطبين مغناطيسيين يقومان بحث تيار دوامي (Eddy Current) في القرص أو القذح. وتتولد نتيجة ذلك قوة كهرومغناطيسية داخل جسم الدوار مسببة عزم دوراني. هذا مع العلم انه لا يحصل الدوران إذا لم يحصل اختلاف في زاوية الطور بالنسبة للفيضين المغناطيسيين ويكون اشتقاق العزم على النحو الآتي:
نفرض أن تيارتي الملفات للمرحلة i_1 و i_2 هما جيبيين حيث:

$$i_1(t) = I_{m1} \cos wt \text{ and } i_2(t) = I_{m2} \cos(wt + \theta)$$

يتولد كل من الفيضين نتيجة مرور تيار كهربائي متناوب في الملف للمرحلة القذحية أو مرور تيارين في ملفي المرحلة القذحية.
لنفرض أن L_m هي المحاثة التبادلية بين كل ملف والجزء الدوار وأن كل تيار سوف ينتج فيض في الدوار.

$$\phi_1(t) = L_m I_{m1} \cos(wt)$$

$$\phi_2(t) = L_m I_{m2} \cos(wt + \theta) \quad \dots (5-3)$$

كل من هذين الفيضين يكون فولتية محتثة في الجزء الدوار، ربما أن الجزء الدوار ذو تركيب معدني يمتلك محاثة قليلة فإن التيار في الجزء الدوار يكون بنفس الطور مع الفولتية المحتثة.

$$e_1 \propto \frac{d\phi_1}{dt}$$

$$e_2 \propto \frac{d\phi_2}{dt}$$

لتكن المقاومة المكافئة لجزء الدوار R_r .

$$i_{r1}(t) = \frac{1}{R_r} \frac{d\phi_1}{dt}$$

$$i_{r2}(t) = \frac{1}{R_r} \frac{d\phi_2}{dt}$$

$$i_{r1}(t) = -\frac{\omega L_m I_{m1}}{R_r} \sin \omega t$$

$$i_{r2}(t) = -\frac{\omega L_m I_{m2}}{R_r} \sin(\omega t + \theta) \quad \dots (6-3)$$

في كل من هذه التيارات المحتثة أعلاه في الجزء الدوار تتولد القوة المغناطيسية داخل الجزء الدوار نتيجة تقاطع التيار المحتث في أحد الملفين مع الفيض الناشيء من الملف الآخر.

تنتج القوة المغناطيسية J_1 نتيجة تقاطع i_{r2} مع الفيض ϕ_1 وهكذا تنتج القوة المغناطيسية J_2 نتيجة تقاطع i_{r1} مع ϕ_2 حيث تكونان هاتان القوتان متعاكستى الاتجاه وتسبب محصلتيهما عزم الدوران حول محور القرص أو القدرح. حيث أن العزم (T) يعطى بالمعادلة التالية:

$$T \propto \phi_1 i_{r2} - \phi_2 i_{r1} \quad \dots (7-3)$$

بالتعويض عن وصيلة الفيض والتيارات الدوار من المعادلة (5-3) وخلال المعادلة (6-3) وتوحيد جميع الثوابت بثابت واحد K ينتج:

$$T = K I_{m1} I_{m2} \{ \cos \omega t \sin(\omega t + \phi) - \cos(\omega t + \phi) \sin \omega t \} \quad \dots (8-3)$$

وباستخدام القاعدة المثلثية:

$$T = K I_{m1} I_{m2} \sin \theta \quad \dots (9-3)$$

إن اتجاه العزم يكون من الملف الذي يحمل تيار متقدم إلى الآخر الذي يحمل تيار متأخر.

نلاحظ بأن معادلة العزم لا تعتمد على التغير في الزمن حيث يكون ثابت، وفي حالة كون زاوية الطور بين التيارين في الملفين تساوي صفر فسوف لا ينتج عزم وهذا يماثل نظرية المحركات الحثية أحادية الطور.

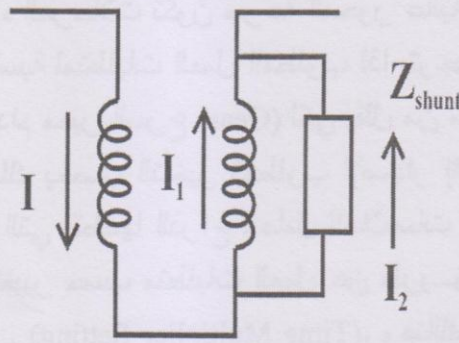
يمكن الحصول على فرق طور بين التيار الذي يحمل بواسطة أحد الملفات مع التيار الأصلي ويتم تحقيق ذلك بسهولة بواسطة ربط ممانعة على التوازي مع أحد الملفات بقيمة تختلف عن ممانعة الملف وكما هو موضح بالشكل (15-3) حيث أن التيار في الملف الأول I_1 وفي الثاني I_2 يمتلك طور مختلف عن الآخر وبهذا سوف ينتج عزم. وبما أن التيارين يتناسبان مع التيار I فإن العزم يساوي:

$$T = K_1 I^2$$

حيث أن:

K_1 : هو ثابت يتم اختيارية بصورة مناسبة بحيث يضم القيمة $\sin\theta$ الذي يكون ثابت أيضاً في المرحلة.

النابض سوف يمنع القرص من الدوران ولكن عندما يكون العزم الناتج من التيار (التيار الملتقط من قبل المرحلة) على وشك أن يعبر قيمة عزم النابض (T_s) فإن القرص سوف يبدأ بالدوران وبذلك فإن المرحلة سوف تغلق ملامساتها الكهربائية لإصدار إشارة الإقلاط.



الشكل رقم (15-3): العزم الناتج عن الإزاحة الطورية

وتصنف مرحلات الحث الكهرومغناطيسي إلى:

أ- مرحلات الحث القرصية وتكون على نوعين:

1- مرحلة القطب المظلل Shaded-Pole Type

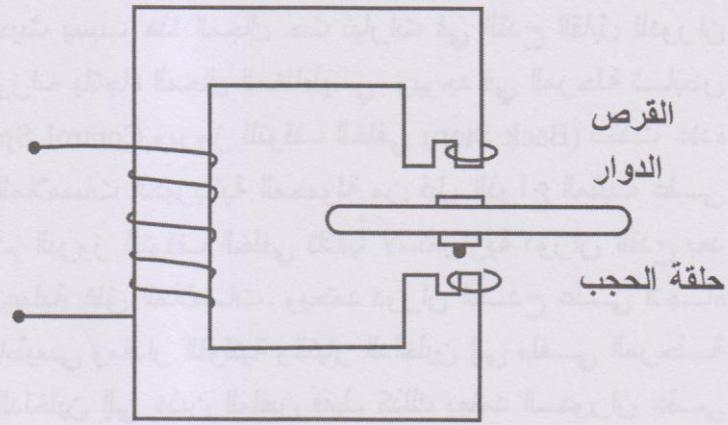
يوضح الشكل (3-16 أ) مرحلة القطب المظلل، حيث يتم تجزئة الفيض الرئيسي إلى جزئين متباعدين بالمسافة ومختلفين في زاوية الطور وذلك لوجود حلقة التظليل. ويكون الفيض الساري خلال فجوة الأقطاب المظلمة متأخراً بالنسبة للفيض الآخر الساري في فجوة الأقطاب غير المظلمة.

2- مرحلة الحث الواطمترية

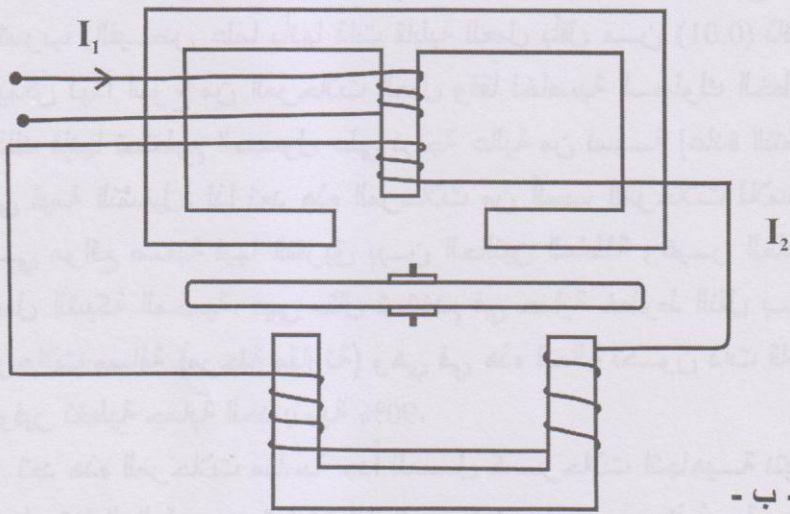
يوضح الشكل (3-16 ب) مرحلة الحث الواطمترية التي تتكون من مغناطيسين ينتجان فيضين مختلفين في الطور، ويرجع الاختلاف في طوريهما إلى اختلاف ممانعة الملفين أو استخدام مصدرين مختلفين في الطور. وتثبت الملامسات الكهربائية لهذا الصنف من المرحلات على ذراع محمول من قبل المحور الدوار علماً بأنه لا يحدث دوران في المحور إلا عند اشتغال المرحلة (حالة وقوع العطل). ويؤدي هذا الدوران إلى فتح أو غلق ملامسات مسببة إصدار إشارة الإقلاط. إلا أنه في بعض استخدامات هذه المرحلات تكون سرعة المحور عالية. وقد تكون هذه الحالة غير مناسبة لمتطلبات العمل المطلوب لذا يتوجب إجراء التأخير في السرعة باستخدام مغير السرعة (Gear) لكي يقلل من سرعة الذراع الحامل للملامسات وبذلك يحصل التأخير المطلوب لإصدار إشارة الإقلاط.

إن المسافة التي يقطعها الذراع الحامل للملامسات أثناء دوران المحور الدوار قابلة للتغيير حسب متطلبات العمل عن طريق استخدام منظم مضاعف الزمن (Time Multiplier Setting). وهناك منظم آخر لتغيير التيار من نقاط التفريع لربط الملف بالتيار الداخل إلى المرحلة. ويطلق على نقاط التفريع هذه بمنظم التيار Current Multiplier Setting ويوجد مغناطيس ثابت على شكل حذاء الفرس لغرض إيقاف استمرارية دوران القرص في حالة توقف التيار ويحتضن هذا المغناطيس القرص بدون تلامس ويطلق عليه أحياناً اسم الكابح (Brake). إن فائدة هذا

المغناطيس تمكن من تلافي إصدار إشارة الإفلات حين زوال المؤثر الخارجي الذي سبب الدوران.



- أ -



- ب -

الشكل رقم (3-16): المرحلات الحثية

1- مرحلة القطب المظلل 2- مرحلة الحث الواطنمية

ب- مراحل الحث القذحية Induction Cup Relays

تعمل هذه المرحلات بقاعدة عمل المحركات الحثية نفسها حيث يتولد المجال المغناطيسي بواسطة زوجين من الملفات كما هو مبين بالشكل (3-14 ب). حيث يسبب هذا المجال حث تيارات في القذح القابل للدوران مؤدية إلى دورانه باتجاه المجال المغناطيسي. ويوجد في المرحلة نابض سيطرة Control Spring وبروز للتوقف الخلفي (Back Stop) تحدث عنه عملية غلق الملامسات الكهربائية المحمولة من قبل الذراع المثبت على القذح. يستخدم البروز للتوقف الخلفي تلافياً لاستمرارية دوران القذح بعد الانتهاء من عملية غلق الملامسات. ويعتمد دوران القذح على اتجاه المجال المغناطيسي ومقدار الفولتية والتيار الداخلين إلى ملفي المرحلة أو التيارين الداخلين إلى هذين الملفين فقط. كذلك يعتمد الدوران على الزاوية الطورية بين المقدارين الداخلين إلى المرحلة. تمتاز مراحل الحث القذحية بكونها سريعة جداً في العمل بسبب قلة وزن القذح وقلة التسرب بالفيض علماً بأنها ذات قابلية للعمل بأقل من (0.01) ثانية. ويمكن لهذا النوع من المرحلات العمل وفقاً لخاصية السلوك الخطي. كذلك فإنها تستطيع الحصول على درجة عالية من نسبة إعادة التنظيم إلى قيمة التشغيل. لذا تعد هذه المرحلات من أنسب المرحلات للاستخدام في مواقع صعبة فيها التفريق بين الحالتين العاطلة وغير العاطلة لعمل الشبكة المحمية. فهي مثال تستخدم في حماية خطوط النقل بصفة مرحلات مسافة (مرحلة مقارنة) وهي في هذه الحالة تكون ذات قابلية لتوفير تغطية حماية الحد بنسبة 90%.

تعد هذه المرحلات مناسبة جداً للعمل كمراحل اتجاهية نتيجة حساسيتها العالية وسرعتها إضافة إلى كونها غير متذبذبة وذلك لاستقرارية حركة العزم فيها.

مثال (2-3)

مرحلة كهرومغناطيسية من نوع القرص الحثي صممت لتمثل كمرحلة تيار مفرط. فإذا كان عزم النابض 0.001 Nm وتيار الالتقاط للمرحلة يساوي 10 A ، والثابت K_1 يعطي كما يلي:

$$K_1 = 0.001/10^2 = 10^{-5}$$

وعندما يكون التيار الاعتيادي (أزمان الالتقاط) I فإن العزم المغناطيسي يعطي كما يلي:

$$T_m = 10^{-5} \times (10I)^2 = 10^{-3} I^2$$

احسب زمن تشغيل المرحلة عندما يكون عزم القصور الذاتي $J = 10^{-4} \text{ Kg.m}^2$.

الحل

إن عزم التعجيل المدور للقرص هو الفرق بين العزم المغناطيسي وعزم النابض وكما يلي:

$$T_a = T_m - T_s = 10^{-3} I^2 - 10^{-3} \\ = 10^{-3} (I^2 - 1)$$

معادلة الحركة للقرص هي زاوية الدوران للقرص التي تبدأ من الصفر إلى الزاوية φ عندما تغلق المرحلة ملامساتها هي :

$$10^{-4} \ddot{\theta} = T_a = 10^{-3} (I^2 - 1)$$

وعلى فرض أن $\varphi = 2^\circ$ أو 0.035 rad وبتكامل معادلة الحركة مرتين نحصل على زمن تشغيل المرحلة.

$$\theta = 5(I^2 - 1)t^2$$

$$\therefore t = \sqrt{\frac{0.035}{5(I^2 - 1)}} \text{ [Sec]}$$

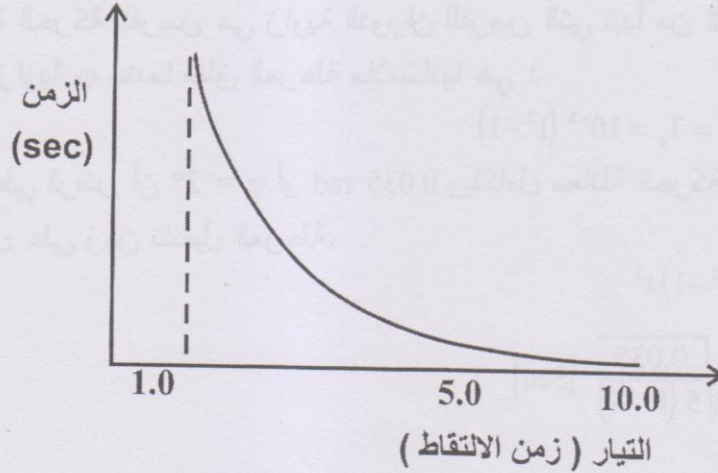
كما أن مميزات عمل المرحلة يوضحه الشكل (17-3) وهي خصائص الزمن العكسي لمرحلة التيار المفرط من نوع القرصية. إن المرحلات الحثية (القرصية أو القذحية) يمكن أن يجهز من مصادر فولتية للحصول على مرحلات الفولتية المنخفضة أو الفولتيات المفرطة. ويمكن تجهيز أحد الملفات بالتيار بينما يجهز الملف الآخر بالفولتية، عندئذ يمكن للمرحلة أن تستجيب لإدخالات التيار والفولتية. وهكذا يمكن الحصول على معادلة العزم بسبب زاوية الطور بين ملفي التيار والفولتية. التيار في ملف الفولتية يتأخر عن الفولتية بزاوية تساوي زاوية الممانعة لملف الفولتية بينما يكون التيار في ملف التيار يمثل التيار الحقيقي الداخل. إذا كانت الزاوية بين الفولتية والتيار في ملف الفولتية هي ϕ - فإن العزم سوف يعطى بالمعادلة التالية:

$$T \propto VI \sin(\theta + \phi)$$

أما عزم التعجيل فيعطى بالمعادلة التالية:

$$T = T_m - T_s = K_1 I^2 + K_2 V^2 + K_3 IV \sin(\theta + \phi) - T_s \dots (10-3)$$

هذه المعادلة تعتبر عامة وباستخدام قيم مناسبة للثوابت يمكن الحصول على عدة أنواع من المرحلات وكما في المثال اللاحق.



الشكل رقم (17-3): خصائص الزمن العكسي لمرحلة التيار المفرط القرصية

مثال (3-3)

باستخدام المعادلة (7-3) هل يمكن الحصول على خواص متنوعة مثل خواص معادلة دائرة أو خط مستقيم أو هل يمكن الحصول على معادلة دائرة يمر قطرها بنقطة الأصل؟

الحل

من المعادلة (10-3) إذا كانت $K_3 = 0$ وإهمال عزم النابض فالمرحلة تكون في نقطة التوازن أي ($T_a = 0$) والفولتية تنتج عزم معاكس للعزم الناتج من التيار أي أن K_2 تكون سالبة فتصبح المعادلة عندئذ كما يلي:

$$\frac{V}{I} = \sqrt{\frac{K_1}{K_2}} = Z$$

وهذه تمثل معادلة مركزها نقطة الأصل وكما يوضحه الشكل (18-3 أ) وهذا ما يعرف بمرحلات الممانعة، حيث العزم يكون أكبر من عزم الالتقاط عندما تقع هذه الممانعة Z داخل دائرة التشغيل.

نفرض أن K_1 و K_2 و T_s تساوي صفر في المعادلة (10-3) ينتج:

$$VI \sin(\theta - \phi) = 0$$

بالقسمة على I^2 نحصل على:

$$Z \sin(\theta - \phi) = 0$$

وهذه المعادلة الأخيرة تمثل خط مستقيم يمر بنقطة الأصل وبزاوية ϕ مع المحور R في المستوى $R - X$ وكما يوضحه الشكل (18-3 ب) وهذه المرحلات تمثل مرحلات اتجاهية.

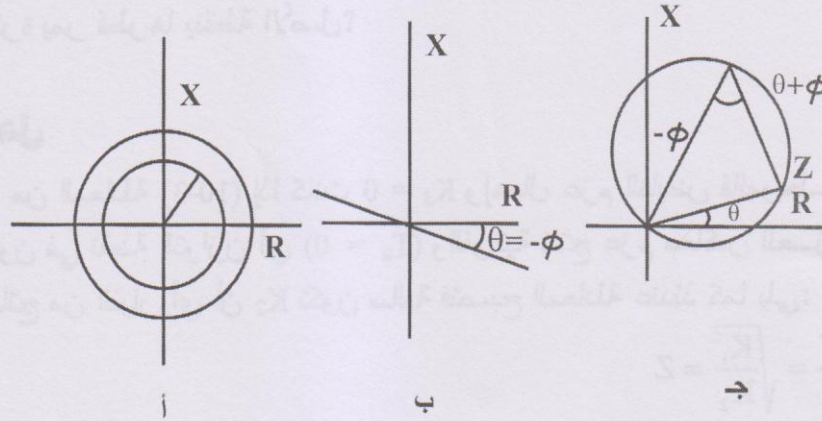
وأخيراً عند اختيار قيمة K_1 و T_s تساوي صفر مع عكس إشارة العزم المتولد من الجزء VI فإن المعادلة تصبح:

$$K_2 V^2 - K_3 VI \sin(\theta + \phi) = 0$$

وبالقسمة على I^2 وعلى افتراض أن I لا تساوي صفر.

$$Z = \frac{K_3}{K_2} \sin(\theta + \phi)$$

وهذه المعادلة الأخيرة تمثل معادلة دائرة يمر قطرها بنقطة الأصل ويصنع زاوية لأعظم عزم بقيمة ϕ - مع الاحداثي X وكما مبين بالشكل ((18-3 ج)) وتسمى هذه المرحلات بالمرحلات المسامحية (Mho Relays).



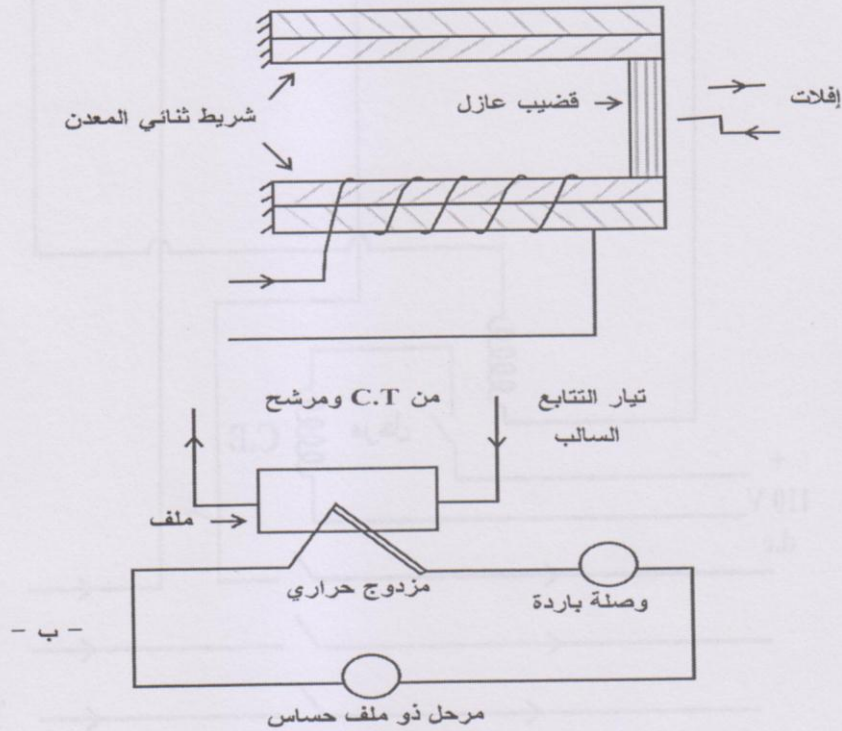
الشكل (18-3) : الخصائص الحاصلة من المعادلة العامة للمرحلة
أ - مرحلة الممانعة ب - المرحلة الاتجاهية ج - المرحلة المسامحية

5-3 المرحلات الحرارية Thermal Relays

يقصد بالمرحلات الحرارية بأنها تلك التي تقيس التأثير الحراري للتيار ويكون القياس بطريقة غير مباشرة. إن أبسط أنواع المرحلات الحرارية هي تلك التي تستخدم الشريط ثنائي المعدن (Bi-Metal Strip) وملف التسخين الذي يلف حول الشريط مسبباً انحرافه عند مرور تيار خلال الملف، ويمكن ضبط مقدار الانحراف. يتكون الشريط من معدنين بنفس الطول ومساحة المقطع ولكنه يختلف في معامل التمدد الحراري فعند التسخين فإن أحد المعدنين سوف يتمدد أكثر من الآخر أي يكون أكثر طولاً فينحني الشريط مسبباً غلق الملامسات الكهربائية وبالتالي يمكن إصدار إشارة الإفلات. ولمعالجة الاختلاف في درجات الحرارة التي تحدث في فصلي الصيف والشتاء يستخدم شريط آخر من نفس المعدنين للشريط الأول ويوضع بصورة معكوسة عن الأول

ويعزل عنه حرارياً ولا يلف عليه ملف التيار وكما هو موضح بالشكل (19-3 أ). إن الشريطان يتأثران بدرجة حرارة الجو بصورة متساوية ولكن شريط الملف يضاف إليه التأثير الحراري للملف الذي يمر فيه تيار الخط المراد حمايته.

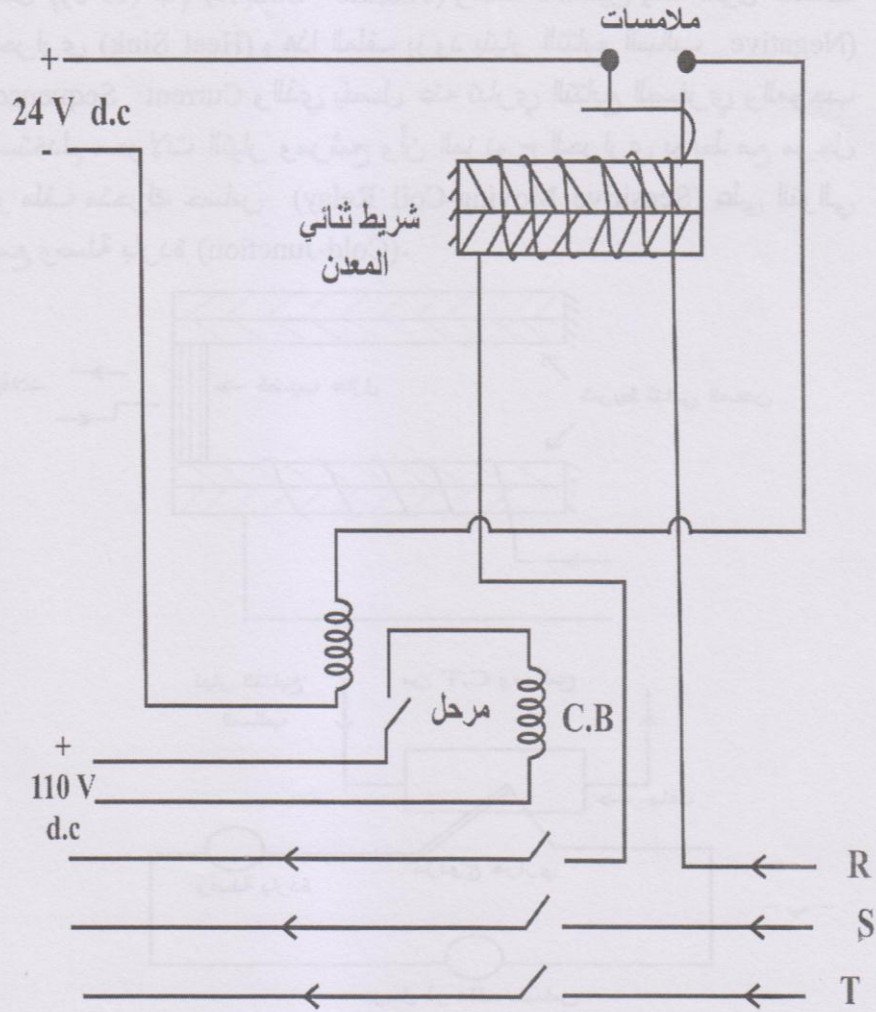
ويمكن استخدام مبدأ آخر للعمل وذلك باستخدام المزدوج الحراري شكل (19-3 ب) (Thermo Couple) وملف التسخين يلف حول المشتت الحراري (Heat Sink) وهذا الملف يزود بتيار التتابع السالب (Negative Current Sequence) والذي يفصل عنه تيار التتابع الصفري والموجب باستخدام محولات التيار ومرشح وأن المزدوج الحراري يربط مع مرحل ذو ملف متحرك حساس (Sensitive Moving-Coil Relay) على التوالي ومع وصلة باردة (Cold-Junction).



الشكل رقم (19-3):

- أ- المرحلة الحرارية التي تستخدم القطعة الثنائية المعدل
ب- المرحلة الحرارية التي تستخدم المزدوج الحراري

وكما هو موضح بالشكل (20-3) حيث يمثل مرحلة حماية حرارية لطور واحد. وإذا أردنا حماية لثلاثة أطوار فيمكن استخدام ثلاث شرائط ثنائية المعدن بحيث أن خرجها يدخل إلى بوابة OR بعد تحويلها إلى إشارة رقمية ، إن إخراج هذه البوابة يدخل إلى مرحلة ساكنة تعطي إشارة إفلت إلى قاطع الدورة لفصل الأطوار الثلاثة عن المصدر.



الشكل رقم (20-3) : الحماية الحرارية لطور واحد من المنظومة

6-3 المرحلات الساكنة Solid-State Relays

إن التوسع والتطور في أنظمة القدرة الحديثة، دعت الحاجة إلى مرحلات ذات مستويات عالية لغرض الحماية، وقد أصبح ذلك ممكناً فعلاً بعد التطور الكبير الحاصل في أشباه الموصلات والتي يمكن أن تستخدم في صناعة المرحلات التي تسمى بالمرحلات الساكنة.

إن العلاقات الرياضية من الدوال أو المعادلات المستخدمة في المرحلات الكهروميكانيكية يمكن أن تستخدم في مرحلات الحالة الصلبة أو الساكنة بشكل عناصر أو دوائر متكاملة. تستخدم هذه المرحلات القدرة الواطئة ولها قابلية لتحمل درجات الحرارة العالية في حالات الفولتية المفرطة والتيار المفرط. إن التصاميم المبكرة للمرحلات الساكنة تعرضت لبعض الإخفاقات أدى إلى إبعادها عن التطبيقات العملية وذلك بسبب قلة الخبرة النظرية والعملية لأشباه الموصلات وصعوبة الربط والتقارب بين خصائص المرحلات الكهروميكانيكية وخصائص المرحلات الساكنة.

إلا أن ظهور الدوائر الالكترونية المتكاملة واستخدامها بصورة واسعة في تصميم وتركيب المرحلات الساكنة أعطت ثقة عالية ودقة كبيرة مما جعلها مرغوبة من الناحيتين الاقتصادية والفنية.

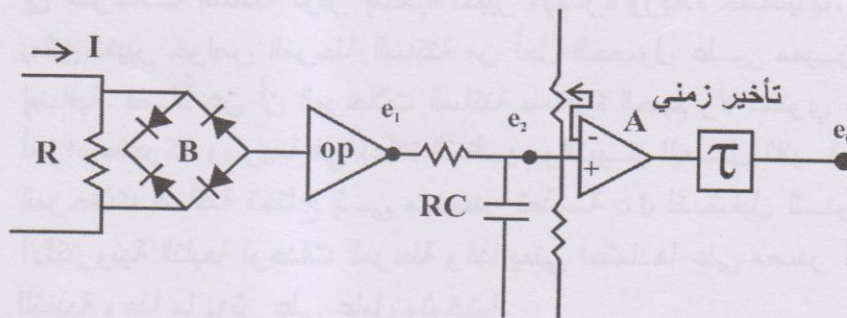
إن المميزات الأساسية التي فضلت المرحلات الساكنة عن المرحلات الكهروميكانيكية كثيرة منها هي أن عمل المرحلات الساكنة لا تؤدي إلى زيادة في حمل محولات التيار والجهد. كما أن المرحلات الساكنة لا تحتوي على أجزاء متحركة وبذلك يجنبها حدوث الأعطال الميكانيكية. إن المرحلات الساكنة توفر إمكانية تكبير الإشارة وزيادة حساسيتها. كما يمكن تغيير خواص المرحلة الساكنة من أجل الحصول على مميزات إضافية. فضلاً عن أن المرحلات الساكنة صغيرة الحجم ولا تحتوي على أجزاء متحركة وسريعة في إعادة التنظيم والتهيؤ للعمل ثانية. إن المرحلات الساكنة تحتاج إلى مصدر تغذية d.c لتشغيل الدوائر الالكترونية التابعة لوحدات المرحلة وهذا يعني اعتمادها على مصدر آخر للتغذية وهذا ما يؤثر على عامل وثوقيتها.

يمكن تصنيف المرحلات الساكنة إلى صنفين هما دوائر القياس أو دوائر التحسس بالعطل، والدوائر المنطقية الرقمية والتي تعمل بالتغيرات المنطقية. حيث يحصل هنا تغيرات كبيرة في تنظيم الدوائر من أجل الحصول على خصائص المرحلة. وسنقوم بسررد بعض الأمثلة للدوائر الالكترونية التي تعطي خصائص المرحلة.

1-6-3 مرحلات التيار المفرط اللحظية الساكنة

Solid-State Instantaneous Over Current Relays

يوضح الشكل (21-3) دائرة الكترونية تمثل مرحلة التيار المفرط حيث أن تيار الإدخال I يمر خلال مقاومة التوازي R ومقوم كامل الموجة عبارة عن قنطرة تقويم ومرشح لإزالة التوافقيات RC ومكبر عمليات OP له كسب عالي والإدخال الآخر يسلط إلى مكبر الجمع وهو عبارة عن فولتية مرجع ثابتة θ_r . فعندما يتجاوز الإدخال الموجب للمكبر المرجع فإن إخراج المكبر يصبح عالياً وتؤثر هذه الخطوة بدائرة تأخير للتأمين من الإشارات العابرة غير المنطقية في دوائر الإدخال. يمكن ملاحظة الموجات الخارجة في نقاط مختلفة في الشكل (22-3). وعلى فرض أن سعة تيار العطل الداخلي أعلى من تنظيم الانتقال θ_r للمرحلة فإنها تعمل لحظياً، وبضبط دائرة التأخير الزمني بتأخير زمني معين يعتمد على تيار الإدخال يمكن الحصول على مميزات مرحلة التيار المفرط ذات التأخير الزمني.



الشكل رقم (21-3): مرحلة التيار المفرط اللحظية الساكنة

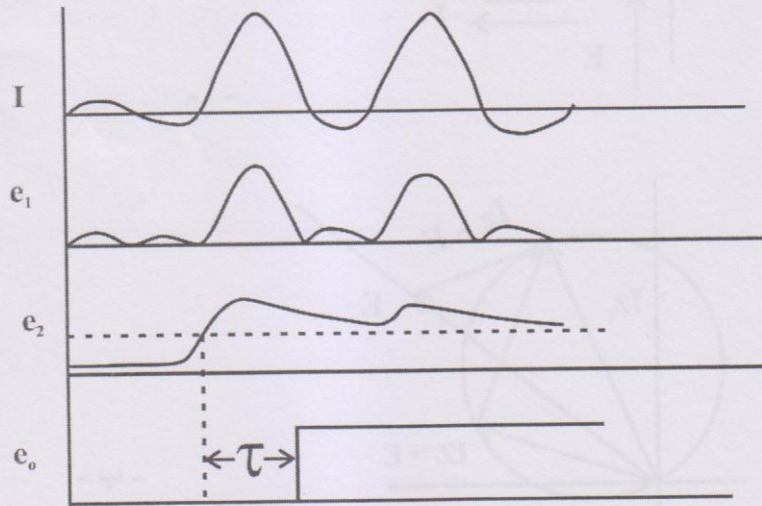
2-6-3 مرحلات المسافة المسامحية الساكنة

Solid-State Distance (mho) Relays

عند مراجعة المثال (3-3) الذي يوضح خصائص المرحلة المسامحية وهي:

$$Z = \left(\frac{K_3}{K_2} \right) \sin (\theta + \phi)$$

حيث أن :



الشكل رقم (22-3): أشكال الموجات لمرحلة التيار المفرطة اللحظية الساكنة

$\frac{K_3}{K_2}$: هي ثوابت لتصميم المرحلة وتساوي Z_r .

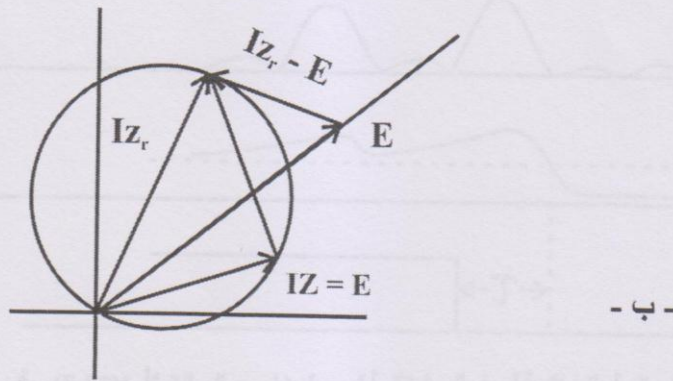
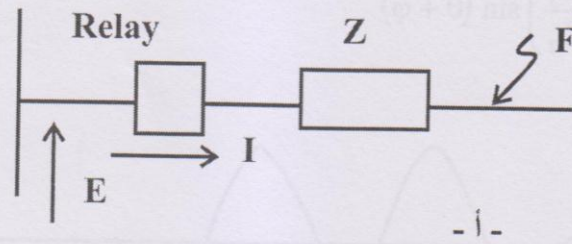
فإن المعادلة تصبح:

$$Z = Z_r \sin (\theta + \phi)$$

وبضرب طرفي المعادلة بتيار الإدخال I وتعويض IZ بـ E الشكل (24-3 أ) وهي تمثل الفولتية في المرحلة فإن المعادلة تكتب كما يلي:

$$E - IZ_r \sin (\theta + \phi) = 0$$

حيث تمثل المعادلة الأخيرة مميزات المرحلة وهي عبارة عن محيط دائرة، تحدث إشارة الفصل للنقاط داخل الدائرة، بينما النقاط خارج الدائرة لا تؤدي إلى حدوث أي إشارة فصل.



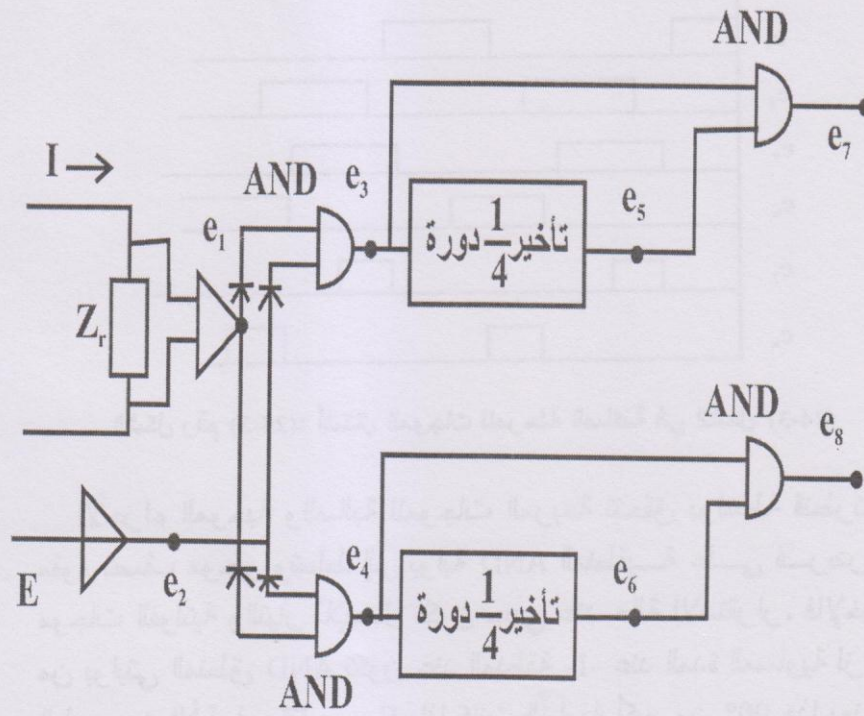
الشكل رقم (23-3): حماية المسافة

أ- مخطط لحماية خط النقل

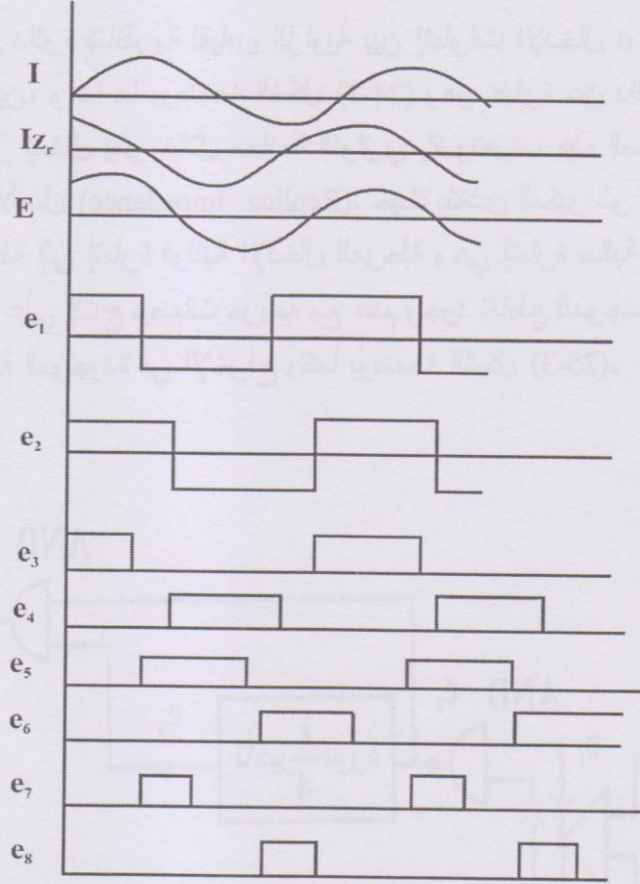
ب- المخطط الطوري للمرحلة المساحية

نلاحظ أن زاوية الطور خارج الزاوية بين الطور E والطور $(I Z_r - E)$ هي أكبر من 90° ، بينما النقاط داخل الدائرة تكون الزاوية بين الطورين أقل من 90° وكما يوضحه الشكل (23-3 ب) وعليه إذا كانت الزاوية بين E و $(E - I Z_r)$ أكبر من 90° فإن العطل يقع ضمن منطقة المرحلة وإذا كانت هذه الزاوية أقل من 90° فإن العطل يقع خارج منطقة المرحلة. يمكن

تصميم دائرة تناظرية لقياس الزاوية بين إشارات الإدخال نسبة إلى هذين الطورين، وهذا ما يوضحه الشكل (24-3) وهو عبارة عن دائرة الكترونية لها تيار إدخال يمر خلال ممانعة التوازي Z_r وتعرف هذه الممانعة بممانعة طبق الأصل (Replica Impedance). حيث يتغذى المكبر ذو الكسب العالي بالإضافة إلى إشارة فولتية الإدخال للمرحلة وهي إشارة سالبة، ويساعد هذا المكبر على إنتاج نبضات مربعة مع عدم وجود تقاطع للموجات الجيبية الأصلية الموجودة في الإخراج وكما يوضحه الشكل (25-3).



الشكل رقم (24-3): مكونات الدائرة التي تمثل مرحلة المسافة الساكنة



الشكل رقم (3-25): أشكال الموجات للمرحلة الساكنة في الشكل (3-24)

الأجزاء الموجبة والسالبة للموجات المربعة تتحقق بواسطة قنطرتي مقوم نصف موجي وتسلط إلى بوابة AND المنطقية على فرض أن موجات الفولتية والتيار للإدخال تكون جيبي عند حالة الاستقرار. فالإخراج من بوابتي المنطق AND تكون عند المنطقة 1- عند المدة المساوية لزاوية الطور بين الأطوار $-I_{Zr}$ و E . إذا كانت الزاوية أكبر من 90° هذا يعني أن الزمن لإخراج هاتين البوابتين هو أكبر من 4.16 mSec (عند أنظمة القدرة ذات التردد 60 Hz) فإن المرحلة يجب أن تعمل. وهذه الحالة يمكن أن تفحص باستخدام مؤقت إشارة قرح بزم 4.16 mSec ويفحص فيما

إذا كانت قيمة الإدخال والإخراج للمؤقت عند مستوى منطقي (1) معاً في وقت واحد. وباستخدام بوابة AND في إشارات الإدخال والإخراج للمؤقت فإن الإخراج 1 لهذه البوابة يؤثر حدوث عطل داخلي بينما العطل الخارجي سوف يكون صفراً. إن الموجات للنقاط المختلفة لهذه الدائرة الالكترونية يوضحها الشكل (3-25).

7-3 المرحلات الرقمية Digital Relays

يتضح مما سبق بأن عمل المرحلة عبارة عن حاسوب تناظري يستقبل إشارات الإدخال ويعالجها كهروميكانيكياً أو إلكترونياً لتوليد عزم أو إخراج منطقي للحصول على قرار في إغلاق الملامسات الكهربائية. وعليه فإنه من الواضح أن الحاسوب الرقمي يمكن أن يؤدي نفس الوظيفة لكون إدخال المرحلة عادة تتضمن فولتيات والتيارات منظومة القدرة، لذا فإنه من الضروري الحصول على تمثيل رقمي لهذه الكميات وهذا يحدث بواسطة نمذجة أو أخذ نموذج للإشارات التناظرية واستخدام بعض الحسابات في الحاسبة لإيجاد تمثيلات رقمية مناسبة لهذه الإشارات، وهذا يحدث بواسطة آلية المرشح الرقمي. يوضح الشكل (3-26) مجموعة من الدوال المنطقية لتمثيل المرحلات الرقمية.

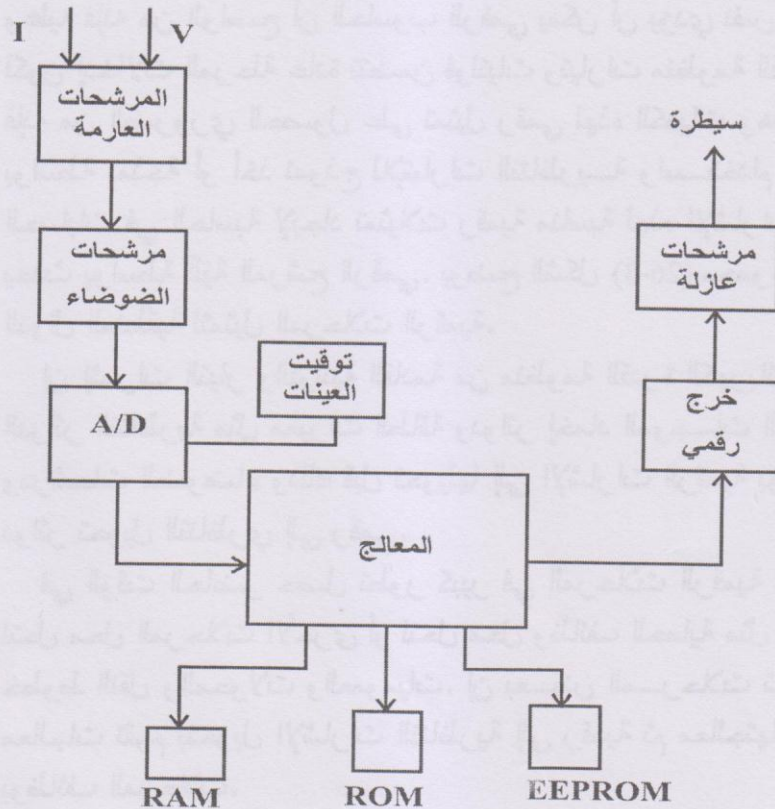
إن إشارات التيار والفولتية القادمة من منظومة القدرة الكهربائية تعالج الدوائر التناظرية مثل مغيرات الطاقة ودوائر إخماد الموجات العارمة ومرشحات الضوضاء وذلك قبل تحويلها إلى الإشارات الرقمية بواسطة دوائر تحويل التناظري إلى رقمي.

في الوقت الحاضر حصل تطور كبير في المرحلات الرقمية وأهلها لتحل محل المرحلات الأخرى أو لتحل محل وظائف الحماية مثل حماية خطوط النقل والمحولات والعموميات. إن بعض المرحلات تستخدم معالجات تقوم بتحويل الإشارات التناظرية إلى رقمية ثم معالجتها لتقوم بوظائف المرحلات.

إن أهم المميزات الكبيرة للمرحلة الرقمية هي قابليتها على التحسس وتشخيص العطل وسرعة إعطاء إشارة الإفلات وبساطتها التصميمية وقلة كلفتها، كما يمكن أن تعطي إشارة إرسال للتحذير وتشخيص الأعطال عن بعد وغيرها.

هذه المميزات تجعل المرحلات الرقمية مفضلة عن الحماية الأخرى في المستقبل، حيث أنه يجب حل بعض المشاكل قبل استخدام هذه المرحلات مثل التأثير الناتج عن الربط بين المرحلات الرقمية والتناظرية خلال نظام حماية مشترك.

إن المرحلات الرقمية تعطي المجال الفعال للبحث والتطوير في أنظمة الحماية والسيطرة.



الشكل رقم (26-3): المخطط الكتلي للمرحلة الرقمية

8-3 اعتبارات التصميم للمراحل الأخرى

1-8-3 تحديد الملامسات Contacts Definition

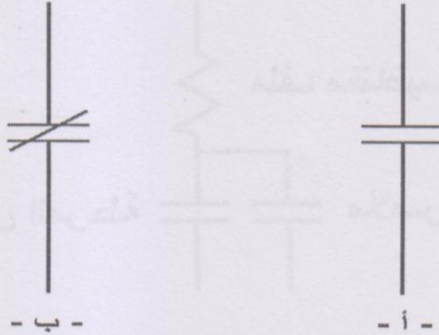
تعتمد ميكانيكية العمل في المراحل الكهروميكانيكية على الحركة الفيزيائية لفتح وغلق الملامسات، حيث أن المرحلة يمكن أن تعمل على فتح وغلق الملامسات اعتماداً على وضع المرحلة. تمتلك معظم المراحل نابض أو تستخدم قوة جذب لتغيير حالات أو وضعية هذه الملامسات. تزود المراحل عادة بزوج أو أكثر من الملامسات الكهربائية، وعندما تزود المرحلة بأكثر من زوج من الملامسات فهي عندئذ لاكتفي بإصدار إشارة الإقلاط فقط وإنما تصدر إشارات أخرى في الوقت نفسه مثل إشارة التحذير بوقوع العطل أو إعطاء إشارة إلى دائرة كهربائية أخرى ذات علاقة لإعلامها بالحادث وهناك نوعان من الملامسات الكهربائية وكما يوضحه الشكل (27-3) وهما:

أ- الملامسات المفتوحة في الوضع الطبيعي

أي أنها تكون في حالة فتح في الوضع الطبيعي وعند حدوث العطل تغلق هذه الملامسات، علماً بأن غلق هذه الملامسات يعني إطلاق إشارة إقلاط.

ب- الملامسات المغلقة في الوضع الطبيعي

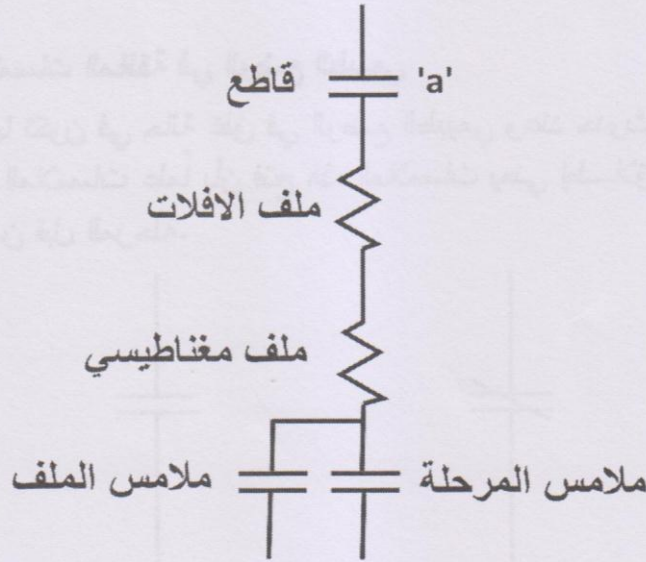
أي أنها تكون في حالة غلق في الوضع الطبيعي وعند حدوث العطل تفتح هذه الملامسات علماً بأن فتح هذه الملامسات يعني إطلاق إشارة الإقلاط من قبل المرحلة.



الشكل رقم (27-3) : حالة الملامسات المفتوحة والمغلقة

2-8-3 دائرة حماية الملامسات Seal-in Circuit

تعتبر ملامسات المرحلات الكهروميكانيكية جزءاً مكملاً لتصميم المرحلة التي يكون لها كتلة تحدد حجم هذه الملامسات. ويكون تصميم هذه الملامسات بحيث لا تتقاطع أو تعترض إفلات قاطع الدورة، ومن أجل حماية ملامسات المرحلة من الأضرار فإن بعض المرحلات الكهروميكانيكية تكون مجهزة ببعض التصاميم الميكانيكية والتي هي عبارة عن دائرة كهرومغناطيسية صغيرة يكون ملفها على التوالي مع الملامسات الكهربائية للمرحلة، أما ملامسات الدائرة فتكون على التوازي مع ملامسات المرحلة. عندما يحدث المغناطيس الكهربائي سوف يغلق ملامساته التي تكون متوازية مع ملامسات المرحلة حالما يكون ملف الإفلات قد عمل على فتح قاطع الدورة. وهذا ما يمكن قاطع الدورة 'a' من إعادة التجهيز وتشغيل ملفات الإفلات وملفات الدائرة وكما هو موضح بالشكل (28-3).



الشكل رقم (28-3): دائرة حماية الملامسات

9-3 الأسئلة

- 1- ما هي مبادئ عمل المرحلة.
- 2- ما هي خصائص مستوى الكشف المثالي للمرحلة؟
- 3- كيف يستخدم مقارن زاوية الطور لتحديد اتجاه التيار. وضح ذلك؟
- 4- عدد خواص الفواصم؟
- 5- ماهو مبدأ عمل المرحلات الحثية؟
- 6- ماهو مبدأ عمل مرحلات الجذب الكهرومغناطيسية؟
- 7- ماهي المميزات الأساسية التي فضلت المرحلات الساكنة على المرحلات الكهروميكانيكية؟
- 8- ماهي المميزات التي تجعل المرحلات الرقمية مفضلة عن الحمايات الأخرى؟
- 9- اشتق المعادلة (2-3) وأحسب قيمة الثابت K من مكونات المرحلة الموضحة بالشكل (6-3). يمكن أن تفرض بأن القلب الحديدي للمغناطيس الكهربائي له إنفاذية غير محددة (متناهية Infinite Permeability). اشتق المعادلة للملف ثم استعمل المعادلة (1-3) لاشتقاق النتائج المطلوبة.
- 10- ابدأ من المعادلة (8-3) اشتق المعادلة (9-3) عند الحالات التي يساوي فيها العزم المنتج في المرحلة، صفراً.
- 11- أثبت أن المعادلة:

$$|Z + K_4| = \sqrt{K_1/K_2}$$

في المثال (3-3) الموصوف بدائرة على مخطط R-X. أين نقاط الأصل لهذه الدائرة. ماهي أنصاف الأقطار لهذه الدائرة. هذه الخصائص تعرف مرحلة Offset-Impedance.

الفصل الرابع

مراحل التيار المفرط

الفصل الرابع

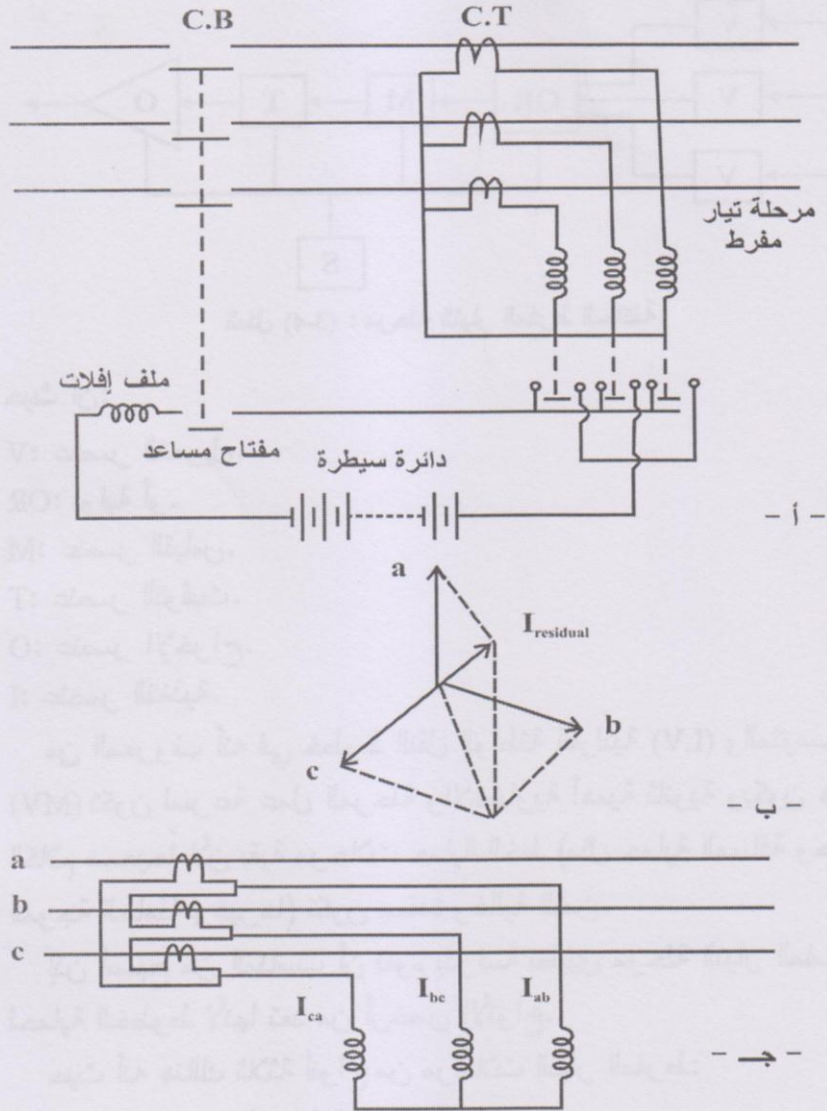
مرحلات التيار المفرط

Over Current Relays

1-4 المقدمة

تعتمد مرحلات التيار المفرط (O.C Relays) على مقدار تزايد التيار عند حصول العطل وهي بذلك تشبه في عملها الفاصم، ولهذا النوع من الحماية تطبيقات واسعة فهي شائعة الاستخدام بوصفها حماية رئيسية في المغذيات ذات الجهد الواطئ (33 KV) كذلك تستخدم بصورة عامة كحماية سائدة لكل من المولدات والمحولات وخطوط النقل العاملة بجهد 132 KV وأعلى.

تستخدم مرحلات حماية التيار المفرط لحماية المغذيات والشكل (1-4 أ) يوضح حماية مغذي شعاعي مبيناً الوقت التشغيلي لكل مرحلة (R) وتحسب مواقع القضبان العمومية B.B من المصدر. ويكون ارتباط مرحلة الحماية بمنظومة القدرة حسبما موضح في الشكل (1-4 ب) والذي يمثل الحماية لأحد الأطوار الثلاثة للمغذي باستخدام مرحلة الحث القرصية. وتستخدم في الربط مع المنظومة محولات التيار للأطوار الثلاثة حيث ترتبط إما بشكل نجمي (λ) أو مثلثي (Δ) وكما مبين بالشكل (2-4) وقد تستخدم المرحلة الساكنة كي تحل محل المرحلة الكهرومغناطيسية ويجري تغذيتها بالتيارات حسبما مبين في الشكل (3-4).

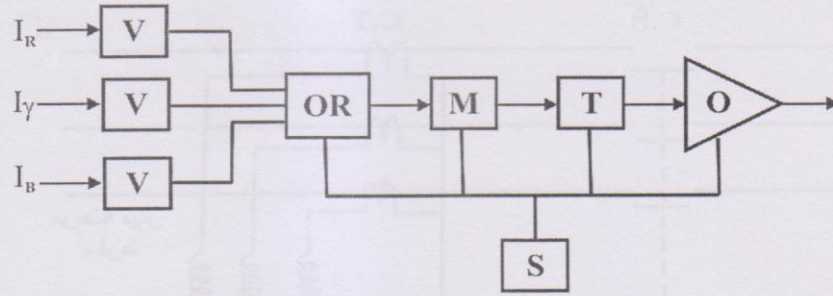


شكل (2-4) : مخطط لإيضاح حماية التيار المفرط حيث أن :

أ- ربط محولات التيار CTs بشكل نجمي.

ب- المخطط الطوري لتيارات المرحلة.

ج- ربط محولات التيار المثلثي Δ.



شكل (3-4) : مرحلة التيار المفرط الساكنة

حيث أن:

V: عنصر التحويل.

OR: بوابة أو.

M: عنصر القياس.

T: عنصر التوقيت.

O: عنصر الإخراج.

I: عنصر التغذية.

من المعروف أنه في خطوط النقل الواطئة الفولتية (LV) والمتوسطة (MV) تكون لسرعة عمل المرحلة والاختيارية أهمية ثانوية ويكون هذا الكلام صحيحاً لأن بقية مراحل حماية الخط (مثل حماية المسافة وحماية الموجة الحاملة وغيرها) تكون معقدة وغالية الثمن.

إن أصبح من المناسب أن نقوم بدراسة تطبيق مرحلة التيار المفرط لحماية الخطوط لأنها تعد من أرخص الأنواع.

حيث أنه هنالك ثلاثة أنواع من مراحل التيار المفرط:

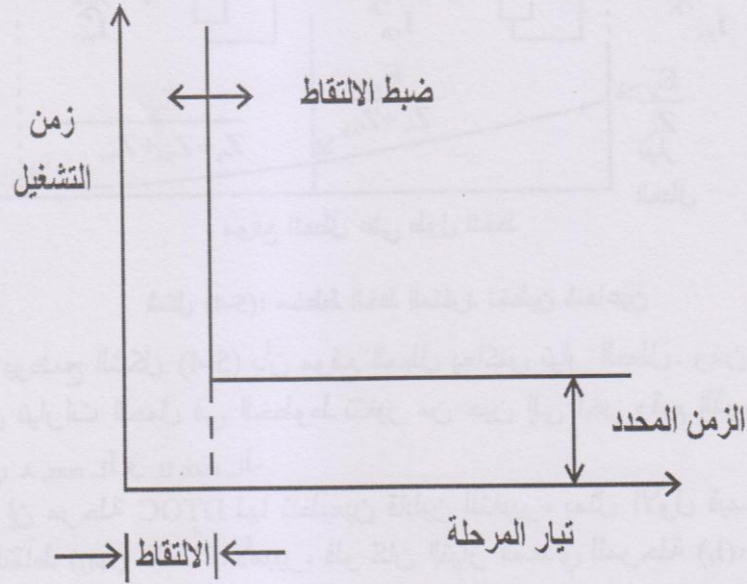
1- مراحل التيار المفرط ذات الزمن المحدد.
Definite Time OC Relays DTOC.

2- مراحل التيار المفرط ذات أقل زمن عكسي محدد.
Inverse Definite Minimum Time OC Relays (IDMT).

3- مراحل التيار المفرط الآنية.
Instantaneous OC Relays.

2-4 مراحل التيار المفرط ذات الزمن المحدد (DTOC)

إن مرحلة التيار المفرط DTOC هي مرحلة ذات إدخال واحد. وإن تيار إدخال الخط يغذي ملف التيار للمرحلة من خلال محوطة التيار CT، ويمثل خرج هذه المرحلة نقاط تلامس مفتوحة بالوضع الطبيعي ((Normally Open (NO))، حيث تربط هذه النقاط لتكون مهياة لفصل قاطع الدورة عند حدوث العطل. نلاحظ بأن زمن عمل المرحلة يعاكس تيار الإدخال للمرحلة وهذا ما يوضحه الشكل (4-4).



شكل (4-4): خواص مرحلة DTOC

إن ربط المرحلة مبين في الشكل (5-4) حيث أن E_g تمثل فولتية المولد و Z_s هي ممانعة المصدر والتي ربما تتغير حسب متطلبات التوليد و Z_{BC} و Z_{AB} - تمثل ممانعات الخط AB و BC، لذا فإن تيارات العطل على العموميات تساوي:

$$I_{FA} = \frac{E_g}{Z_s}$$

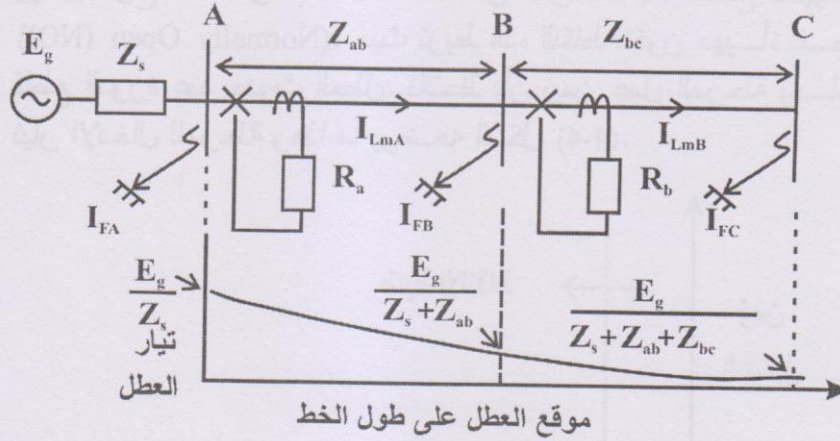
تيار العطل في العمومي A

$$I_{FB} = \frac{E_g}{Z_s + Z_{AB}}$$

تيار العطل في العمومي B

$$I_{FC} = \frac{E_g}{Z_s + Z_{AB} + Z_{BC}}$$

تيار العطل في العمومي C



شكل (5-4): مخطط الخط المنفرد لخطين شعاعين

يوضح الشكل (5-4) بأن موقع العطل يعاكس تيار العطل. ومن المعلوم بأن تيارات الحمل في الخطوط تتغير من حين إلى آخر وقيم الذروة لها هي $I_{L, max, A}$ و $I_{L, max, B}$.

إن مرحلة DTOC لها تنظيمين قابلين للتغيير، يمثل الأول قيمة تيار الالتقاط (I_{PU}) مقاساً بالأمبير، فلو كان التيار المغذي للمرحلة (I_r)، أقل من قيمة تيار الالتقاط سوف لا تعطي المرحلة إشارة إفلات لقاطع الدورة وتسمى قيمة الالتقاط هذه بتنظيم المأخذ (PS) (Plug Setting) لذلك فإن قيمة الالتقاط تساوي تقريباً تنظيم المأخذ.

أما التنظيم الآخر للمرحلة فهو زمن التشغيل المحدد، حيث نلاحظ من خواصها أن زمن التشغيل يعاكس تيار الإدخال، وأن المرحلة تعطي إشارة إفلات فقط عندما يتجاوز التيار قيمة الالتقاط بعد زمن تأخير يسمى زمن تشغيل المرحلة، وعليه يمكن أن نستنتج ما يلي:

1- لا تشتغل المرحلة إذا كان ($I_r < I_{PU}$).

2- زمن التشغيل = كمية ثابتة، إذا كان ($I_r > I_{PU}$).

ولغرض دراسة تنظيم المرحلة ، نأخذ المثال الموضح بالشكل (4-6) الذي يمثل خطين شعاعين لهما مصدر تغذية واحد. وهما AB و BC ويقعان بين العموميات A, B, C وأن مواقع المرحلات وقواطع الدورة مبينة في الشكل أيضاً.

تمثل المرحلة B حماية رئيسية للخط BC. فلو حدث عطل على الخط BC، فإن المرحلة B سوف تعطي إشارة إفلات إلى قاطع الدورة CB. إن وقوع الخط BC في أبعد نقطة في الشبكة تصبح مسألة الاختيارية غير مهمة مع مرحلة أخرى وذلك لعدم وجود خط مجاور آخر، وعليه فإن المرحلة عند الطرف البعيد للشبكة يجب أن تكون سريعة في التشغيل أو أنية وهذا يعني أن زمن التشغيل هو زمن ذا تأخير غير تعدي، وفي التجارب العملية وجد أنه يساوي (0.1) ثانية، مع الأخذ بنظر الاعتبار احتمالية سوء الأداء للمرحلة كنتيجة لصدمة ميكانيكية أو الاهتزازات. وعند اختيار القيمة الملتقطة للمرحلة R_A التي يجب أن تعمل عند حدوث العطل من موقع المرحلة وإلى نهاية آخر خط ترتبط به (بمعنى آخر من العمومي A إلى B إلى C) وعليه فإن قيمة الالتقاط تكون محددة بالمعادلة التالية:

$$I_{Lmax} < I_{PU} < I_{Fmin bus C}$$

وهذا التحديد يضمن عدم عمل المرحلة لأعظم تيار حمل عند موقع المرحلة، وكذلك ضمان عملها بصورة صحيحة، لأقل تيار عطل عند نهاية الخط BC وهكذا تجهز حماية سائدة للخط المجاور BC. وبالاستمرار مع العطل في الخط BC، وعلى فرض أن الحماية الرئيسية تعمل بشكل مرضي فإنه:

فترة استغراق العطل = زمن تشغيل المرحلة B + زمن عمل قاطع الدورة عن النهاية B.

$$\text{Fault Duration} = T_{RB} + T_{CB \text{ at } B}$$

إن زمن تشغيل المرحلة R_B هو:

$$T_{RB} = 0.1 \text{ Sec}$$

وزمن عمل قاطع الدورة عند B هو:

$$T_{CB \text{ at } B} = 0.4 \text{ Sec}$$

وعليه فإن زمن تشغيل المرحلة R_A أكبر ويساوي 0.5 Sec.

$$T_{RB} \geq 0.5 \text{ Sec}$$

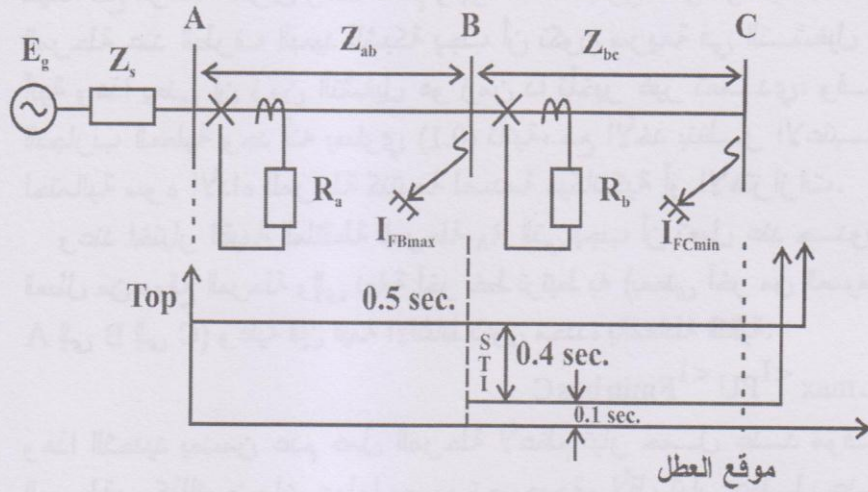
وهذا الزمن يضمن الاختيارية بين R_B و R_A .
وهكذا فإن التنظيم النهائي للمرحلة R_A هو:

$$1- I_{Cmax} < I_{PU} < I_{F bus C}$$

$$2- T_{op} > 0.5 \text{ Sec}$$

حيث أن:

T_{op} : هو زمن تشغيل المرحلة.



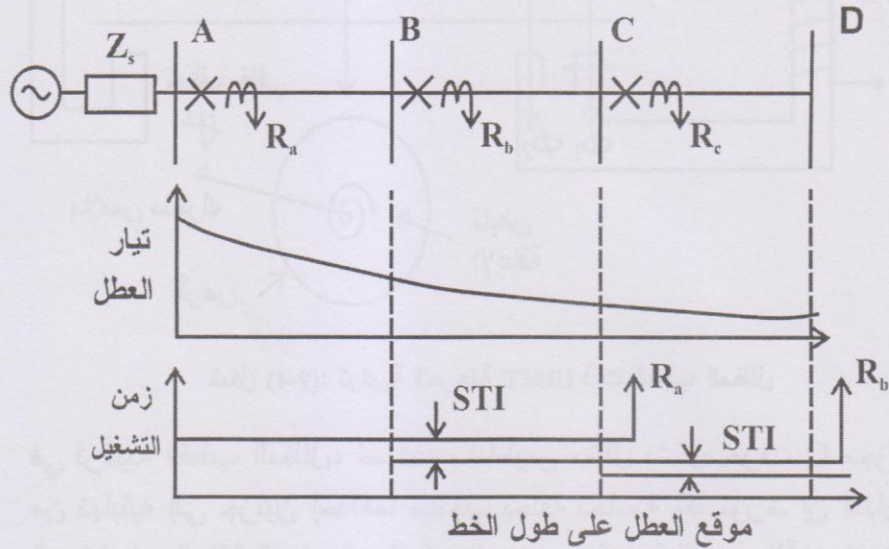
شكل (6-4): تنظيم المرحلة DTOC

3-4 مرحلات التيار المفرط ذات أقل زمن عكسي محدد (IDMT)

إن مرحلات DTOC استخدمت وبشكل واسع عندما تكون الخطوط قصيرة، أما عندما تزداد أطوال هذه الخطوط فإن المرحلة تعمل بشكل بطيء جداً. بينما تيار العطل يكون بأعظم قيمة للأعطال القريبة من المصدر وعليه يجب تبيان مساوئ المرحلات DTOC مقارنة بالمرحلات IDMT.

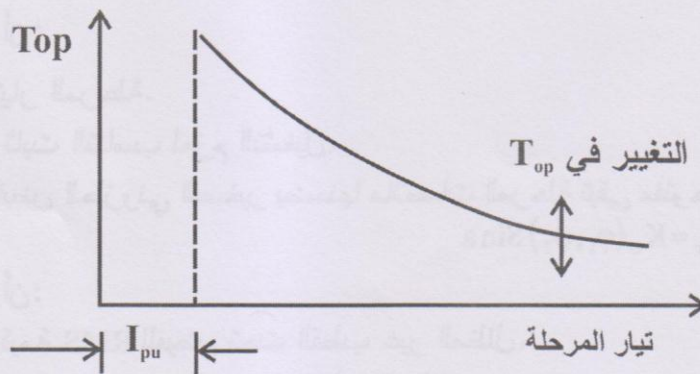
إن الشكل (7-4) يوضح ثلاث خطوط شعاعية AB, BC, CA تتغذى من النهاية A. وتنظيم المرحلات الثلاثة نوع DTOC وزمن تشغيلها مقابل موقع العطل على طول الخط مع فاصل زمني مختار للمرحلات

R_A و R_B و R_C ، ويوضح أيضاً اختلاف تيار العطل مقابل موقع العطل حيث أن تيار العطل يزداد باتجاه المصدر وأن زمن التشغيل يزداد أيضاً. وهذا بالأساس سبب تطوير مرحلة IDMT التي تحسن زمن الفصل عندما يتحرك العطل باتجاه المصدر.

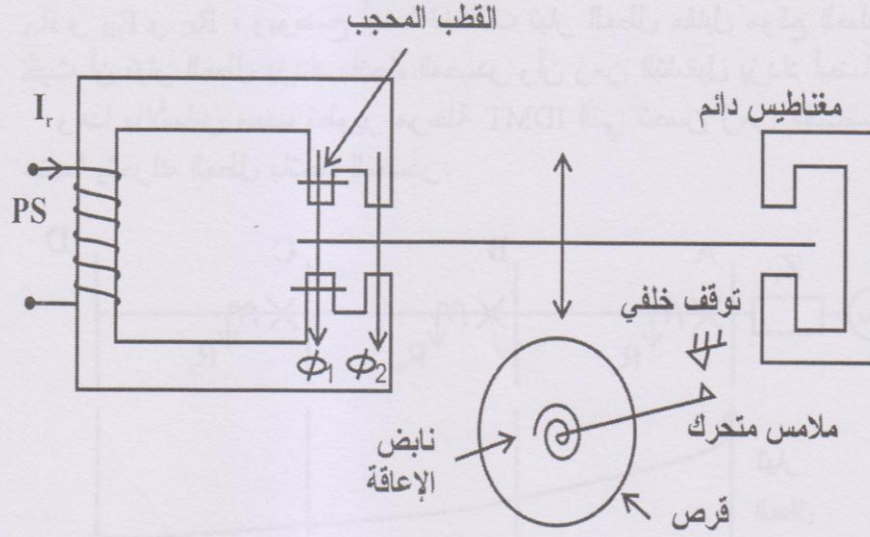


شكل (7-4): الخطوط الشعاعية الثلاثة مع المرحلات DTOC

إن المرحلة IDMT لها إدخال واحد مع إخراج مناسب لفصل قاطع الدورة. إن خواص المرحلة يوضحها الشكل (8-4) كما أن تركيب المرحلة من نوع القطب المظلل يوضحه الشكل (9-4).



شكل (8-4): خصائص المرحلة IDMT



شكل (4-9): تركيبية المرحلة IDMT ذات القطب المظلل

في تركيبية القطب المظلل، استخدم مغناطيس مظلّل بشكل حرف C مجزأً من نهايته إلى جزئين إحداهما محجب بحلقة نحاسية مقصورة. إن التيار المحتث في الحلقة النحاسية يولد فيضاً منزاحاً بالنسبة للفيض الآخر تحت القطب غير المظلل وذلك لإنتاج عزم التشغيل الذي يقوم بتدوير قرص الألمنيوم. ويمكن اشتقاق معادلة عزم التشغيل المسلط على قرص الألمنيوم كما يلي :

$$T_{or} = K_0 I^2$$

حيث أن:

I^2 : تيار المرحلة.

K_0 : ثابت التناسب لعزم التشغيل.

إن النابض الحزوني الصغير بضمنها ملاصقات المرحلة تبقى مفتوحة عادة:

$$T_{or} = K_0 (\phi_1, \phi_2) \sin \alpha$$

حيث أن:

ϕ_1 : قيمة RMS للفيض تحت القطب غير المظلل.

ϕ_2 : قيمة RMS للفيض تحت القطب المظلل.

a : زاوية الإزاحة بين الفيضين.

عزم النابض هو:

$$T_s = K_s \theta_{set}$$

حيث أن:

K_s : ثابت النابض.

θ_{Set} : المسافة بين الملامسات الثابتة والمتحركة.

عزم التخميد هو :

$$T_d = K_d \left(\frac{\theta_{Set}}{T_{or}} \right)$$

حيث أن:

K_d : ثابت التخميد للمغناطيس الدائم.

إن المرحلة تعمل إذا توفر فيها الشرط التالي :

$$T_{or} > T_s + T_d$$

وبإهمال عزم النابض نحصل على زمن التشغيل وهو :

$$T_{op} = \frac{K_d}{K_o} \left(\frac{\theta_{Set}}{I^2} \right)$$

إن زمن التشغيل يتناسب عكسياً مع مربع التيار الداخلة للمرحلة والمسافة الكلية بين الملامسات الثابتة والمتحركة.

من معادلة اتزان العزم فإن زمن التشغيل يتناسب مع (K/I^2) ، حيث أن الثابت K يتناسب مع المسافة بين الملامسات الثابتة والمتحركة.

إن مرحلات IDMT لها تنظيمين:

1- تنظيم المأخذ بالأمبير: يتم اختيار عدد اللفات من ملف التيار ولذلك فإن القيمة الملتقطة للمرحلة تقريباً تكون (1.05) أو (1.3) مرة من تنظيم المأخذ (PS).

2- مضاعف تنظيم الزمن (TSM) Time Setting Multiplier:

إن زمن تحرك القرص لغلق الملامسات المفتوحة يتغير بواسطة (توقف خلفي) للمرحلة أو هي المسافة بين الملامسات الثابتة والمتحركة الموضحة في الشكل (4-9).

4-3-1 المصطلحات المعروفة للمرحلة (IDMT)

وتشمل مضاعف تنظيم الزمن (TSM)، وقنطرة تنظيم المأخذ Plug Setting Bridge ومضاعف تنظيم المأخذ Plug Setting Multiplier (PSM) والأخطاء الملتقطة والشطط Pick up Errors and Overshoot.

ربما بعض هذه المصطلحات لم تكن معروفة لدى الكثيرين وخصوصاً في تقنية المرحلات ونظراً لأهميتها سوف يتم التطرق إليها.

1- مضاعف تنظيم الزمن (TSM): وهي الطريقة التي يتم فيها معايرة (التوقف الخلفي للقرص) والذي يسيطر على انتقال قرص المرحلة المحتث للمرحلات الكهرومغناطيسية بتغير الزمن الذي تستغرقه المرحلة لغلق الملامسات لقيم معينة من تيار العطل.

2- قنطرة تنظيم المأخذ وهي تغيير لفات ملف التيار لمرحلة التيار المفرط، حيث تجهز المدى والالتقاط ويتم تنظيم المأخذ.

3- خصائص IDMT القياسية: يوضح الشكل (4-10) الخصائص القياسية لمرحلة IDMT مع حدود السماحية للأخطاء الزمنية.

4- مضاعف تنظيم المأخذ (PSM) هو تيار إدخال المرحلة مضروباً بتنظيم المأخذ (PS) وكمثال.

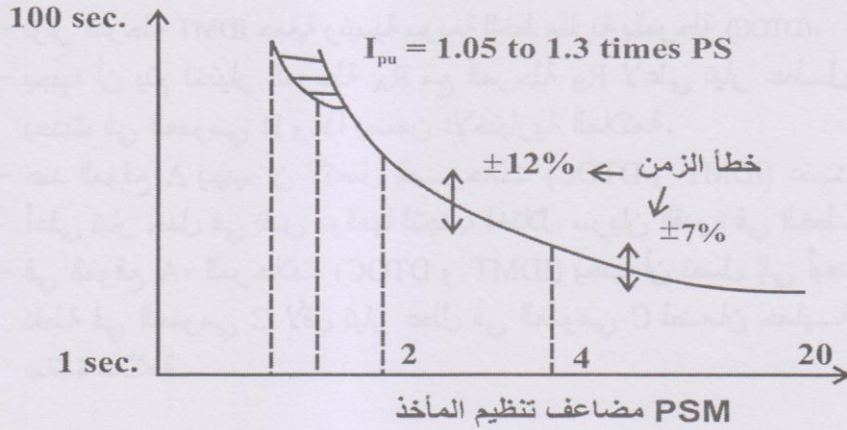
إذا كان $I_r = 20$ ، $P.S = 0.1$ A فإن:

$$PSM = 20 \times 0.1 = 2$$

5- الأخطاء الملتقطة وهي الأخطاء المسموح بها في قيمة الالتقاط من تنظيم المأخذ الحقيقي وكما هو موضح في الشكل (4-10).

6- الشطط Overshoot: وهو الزمن المسموح لقرص المرحلة السائدة لاستمرار حركتها بعد وضوح العطل بواسطة المرحلة الأساسية هذه

7- القيمة تعادل 10% من زمن تشغيل المرحلة الحقيقية وتذبذب القرص أساساً يعتمد على الطاقة الكامنة للقرص المتحرك.



شكل (10-4): خصائص المرحلة IDMT القياسية

2-3-4 تنظيم المرحلات (OC)

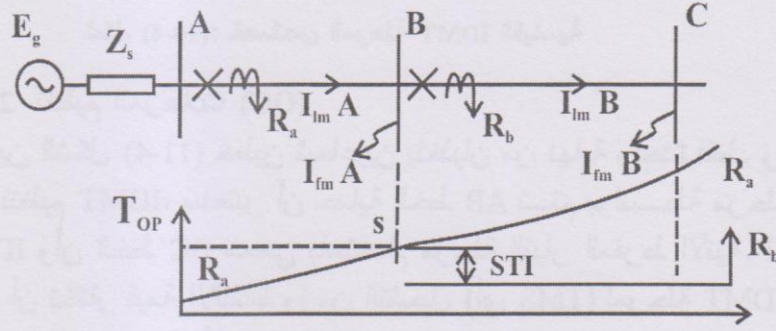
يبين الشكل (11-4) خطين شعاعيين يتغذيان من نهاية واحدة فقط. ومن أجل تنظيم IDMT، سنعتبر أن حماية الخط AB تتم بواسطة مرحلة IDMT وأن الخط BC محمي باستخدام مرحلة التيار المفرط الآتية. الآن يجب أن نختار قيمة الالتقاط وزمن التشغيل (أي TMS) لمرحلة IDMT. المرحلة R_A يجب أن تكون سائدة للخط BC، لذلك فإن قيمة الالتقاط لها نفس المحددات لمرحلة DTOC.

$$I_{Lmax A} < I_{P.U} < I_{Fmin C}$$

إن توافق اختيار المرحلة R_A مع المرحلة R_B وزمن التشغيل للمرحلة R_A لأعظم تيار عطل عند العمومي B يجب أن تكون:

- زمن عمل المرحلة A = زمن عمل المرحلة B + فاصل زمني مختار.
 - الفاصل الزمني المختار = زمن عمل المرحلة B + تذبذب المرحلة A.
- إن زمن تشغيل المرحلة IDMT مقابل موقع العطل على طول العطل، مع الحفاظ على الاختيارية بواسطة المرحلة R_A للعطل على العمومي B وهذا ما يوضحه الشكل (11-4). فإذا كانت المرحلة R_B من نوع DTOC فإن زمن التشغيل هو ما يوضحه بالخط المنقط. ونلاحظ بأن معظم الخواص يجب أن تمر خلال نفس النقطة وهي (S) للمحافظة على الاختيارية وفيما يلي بعض الاستنتاجات المستخلصة وهي:

- 1- توفر المرحلة IDMT حماية رئيسية سريعة للخط مقارنة بالمرحلة (DTOC).
- 2- يجب أن يتم اختيار المرحلة R_A مع المرحلة R_B لأعلى تيار عطل يحدث في العمومي B وهذا يضمن الاختيارية الملائمة.
- 3- عند الموقع A يجب أن لاتعمل المرحلات (IDMT و DTOC) عند أعلى تيار حمل في نفس موقعها لتجنب اختلال سريان القدرة في الخط.
- 4- في الموقع A، المرحلات (IDMT و DTOC) يجب أن تصل إلى أبعد نقطة في العمومي C لأقل تيار عطل في العمومي C لضمان حماية سائدة ملائمة.



شكل (11-4): تنظيم مرحلات التيار المفرط OC

3-3-4 مثال عددي

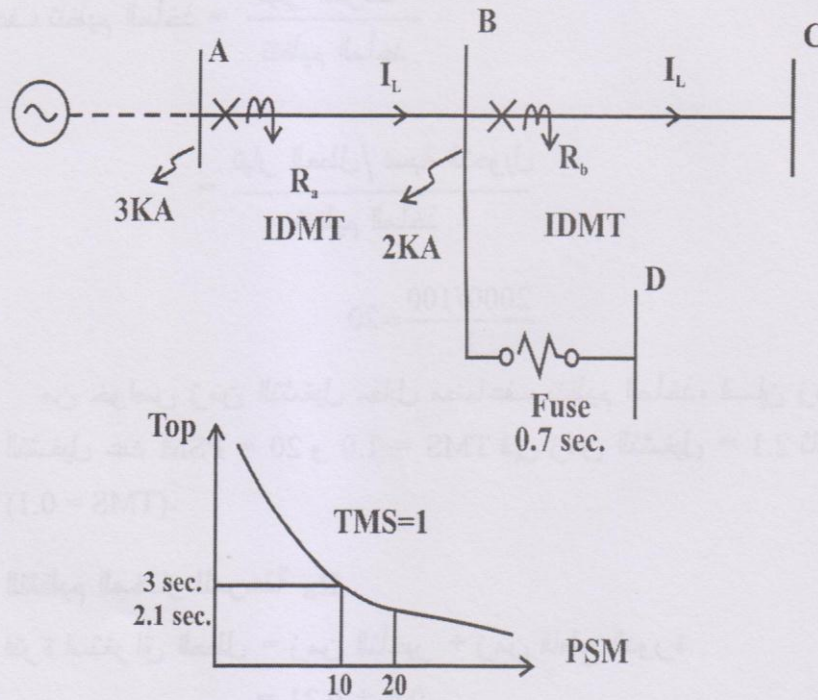
يوضح الشكل (12-4) مخطط لخط منفرد لشبكة مثالية، حيث أعطيت المعلومات التالية:

- 1- الخط AB محمل بتيار 160 A مع زيادة بنسبة 25% من تيار الحمل.
- 2- يتفرع من العمومي B خطان خارجيان هما BC و BD. وأن الخط BC محمل بتيار 80 A مع زيادة بنسبة 25% من تيار الحمل.
- 3- الخط CD محمي بواسطة فاصم له زمن مصمم 0.7 Sec عند حدوث عطل مباشر بعد الفاصم.
- 4- مستويات العطل الثلاثي الطور عند العموميات المختلفة هي:

العمومي A ← 3000 A

العمومي B ← 2000 A

- 5- لجميع قواطع الدورة يكون زمن التشغيل (0.3 Sec) والقفزات التذبذبية (الشطط) تؤخذ بقيمة (0.1 Sec).
- 6- خواص المرحلة IDMT المثالية يوضحها المنحني في الشكل (12.4).
- 7- يتناسب زمن تشغيل المرحلة مباشرة مع (TMS) (المسافة بين ملامسات الإفلات).
- 8- على فرض أن المرحلة (1.0 A)، وهذا يعني أن ملف التيار لهذه المرحلة يحمل تيار مقداره (1.0 A) بشكل مستمر وبدون ضرر. وهذا ما يسمى بالمقننات الحرارية لملف التيار، حيث أن ملف التيار للمرحلة مصمم ليتحمل تيار (20) مرة بقدر التيار أعلاه ولفترة قصيرة وهذا ما يسمى بمقننات الزمن القصير.
- أوجد نسبة التحويل لمحولات التيار، وتنظيم المأخذ PS ومضاعف تنظيم الزمن (TMS)?



شكل (12-4): مثال في تنظيم مرحلة IDMT

الحل

1- نسبة التحويل لمحولة التيار للمرحلة R_B تساوي:

$$\frac{80 \times 0.25 + 80}{1} = 100$$

2- نسبة التحويل لمحولة التيار للمرحلة R_A تساوي:

$$\frac{160 \times 0.25 + 160}{1} = 200$$

3- بما أن الخطين BC و BD مرتبطان من نقطة B نعمل على اختيار المرحلة R_A مع الفاصم والمرحلة R_B لتيار عطل 2000 A.

4- للمرحلة R_B ($PS = 1$) (تحسين الأداء للحمل) و $TSM = 0.1$ Sec. (عند الخط البعيد).

$$\text{مضاعف تنظيم المأخذ} = \frac{\text{تيار المرحلة}}{\text{تنظيم المأخذ}}$$

$$= \frac{\text{تيار العطل} / \text{نسبة التحويل}}{\text{تنظيم المأخذ}}$$

$$\frac{2000/100}{1} = 20$$

من خواص زمن التشغيل مقابل مضاعف تنظيم المأخذ، فإن زمن التشغيل عند $PSM = 20$ و $TMS = 1.0$ فإن زمن التشغيل = 2.1 ثانية ($TMS = 0.1$).

التنظيم المختار للمرحلة R_B

فترة استغراق العطل = زمن التأخير + زمن قاطع الدورة

$$= 0.4 + 0.21$$

$$= 0.61 \text{ ثانية}$$

5- المرحلة R_A سيتم اختيارها مع المرحلة R_B ومع الفاصم. حيث أن زمن الفصم 0.7 Sec وهو أكبر من زمن المرحلة R_B لذلك سيتم اختيار المرحلة R_A مع أبطأ حماية للخطوط المجاورة (أي الفاصم).

6- لاختيار تنظيم المأخذ ومضاعف تنظيم الزمن للمرحلة R_A وتنظيم المأخذ $PS = 1$ وهذا يجنبنا اختلال توازن الأحمال. زمن تشغيل المرحلة R_A هو أكبر ويساوي زمن تشغيل المصهر لتيار $A = 2000$ للمرحلة R_A عند $PSM = 10$ و $TMS = 1$ من خواص المرحلة نجد أن قيمته تساوي (3.0) ثابتة.

$$\frac{\text{زمن تشغيل المصهر}}{\text{مضاعف تنظيم الزمن}} = R_A \text{ للمرحلة TSM}$$

$$\frac{0.7}{3.0} = 0.233 \text{ Sec}$$

وهكذا فإن الأجوبة كما يلي:

للمرحلة R_A $TMS=0.233$, $PS=1.0$

للمرحلة R_B $TMS=1$, $PS=1.0$

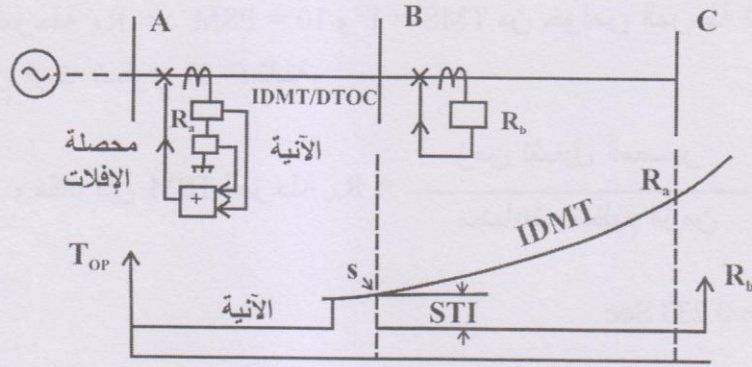
4-4 التنظيم الجيد لمرحلة التيار المفرط الآنية وربطها

مع DTOC/IDMT

نلاحظ بأنه يمكن تقليل زمن الفصل عند استبدال مرحلة DTOC بمرحلة IDMT ويمكن كذلك تقليله أكثر إذا تم ربط مرحلة DTOC أو IDMT مع مرحلة التيار المفرط الآنية.

من المعروف أن المرحلة الآنية تعمل بدون تأخير زمني وعندما يتجاوز تيار الإدخال قيمة تنظيم المأخذ، كما أن هذه المرحلة لها تنظيم واحد وهو قيمة الالتقاط بالأمبير. أما زمن التشغيل لهذه المرحلة فهو يساوي (0.1 Sec).

إن الشكل (13-4) يوضح خطين شعاعيين AB و BC يتغذيان من نهاية واحدة. إن المرحلة المستخدمة لحماية الخط BC تفرض بأنها آنية بينما تكون حماية الخط AB باستخدام ربط بين مرحلتين هما المرحلة الآنية ومرحلة DTOC وتعتبر هذه حماية رئيسية للخط AB وحماية سائدة للخط BC.



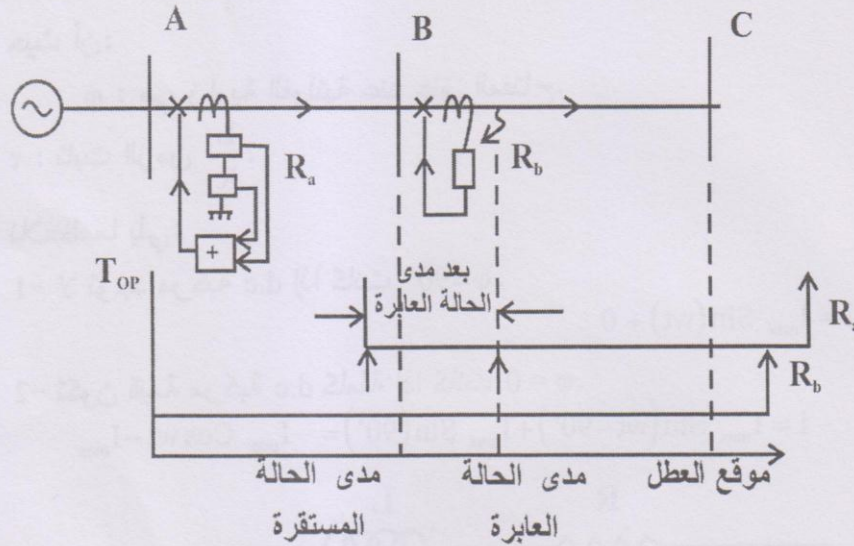
شكل (13-4): تنظيم مرحلة التيار المفرط الآنية

إن ملف التيار للمرحلتين يربط على التوالي، بينما تربط ملامسات الفصل على التوازي من أجل فصل قاطع الدورة عند العمومي A. ويتم معايرة مرحلة التيار المفرط الآنية لتصل إلى (80% ÷ 90%) من طول الخط AB وهكذا تجهز حماية رئيسية سريعة جداً وهذا يعني بأن القيمة الملتقطة للمرحلة تساوي تيار العطل I_f عندما يكون العطل عند 90% من الخط AB وهكذا تربط المرحلتان IDMT/DTOC لتعطي حماية سائدة للخط BC وهذا ما يوضحه الشكل (14-4).

إن المرحلة الآنية وليس تركيب IDMT/DTOC هي التي توفر حماية رئيسية لحوالي (80% ÷ 90%) من الخط AB، أما المتبقي من الخط والخط المجاور بأكمله فتتوفر له حماية سائدة بواسطة IDMT/DTOC. نستنتج من كل ما تقدم الحالات التالية:

1- تجهز مرحلة التيار المفرط الآتية حماية رئيسية سريعة جداً لحماية (80% ÷ 90%) من طول الخط وتكون قيمتها الملتقطة أكبر من IDMT أو DTOC.

2- تجهز المرحلتان المركبتان IDMT/DTOC حماية سائدة. من المعلوم أن سبب تنظيم المرحلة الآتية لتصل إلى (80% ÷ 90%) فقط من طول الخط فإنه منطقياً فإن (20% ÷ 10%) المتبقية من طول الخط تركت لاحتتمالية حالة بعد المدى العابر. فلو أن المرحلة كانت في حالة بعد المدى والموضحة في الشكل (14-4) فإنه سيحدث حالة فقدان للاختيارية عند حدوث الأعطال العابرة.



شكل (14-4): فقدان الاختيارية في حالة بعد المدى

1-4-4 العطل عند الحالة العابرة Transient Fault

يتركب العطل عند الحالة العابرة من مركبة تيار مستمر مع مركبة التيار المتناوب. تعتمد مركبة التيار المستمر d.c offset على شكل موجة الفولتية لحظة وقوع العطل. ويمكن توضيح هذه الظاهرة فيزيائياً أكثر

من حلها بواسطة المعادلات التفاضلية وكما هو موضح بالشكل (15-4). حيث أن الدائرة المبينة بالشكل تبين أن فولتية المصدر (e) مربوطة على التوالي مع مقاومة R ومحاثة الخط L ومفتاح العطل. وتكون المعادلة التفاضلية للدائرة:

$$e = L \frac{di}{dt} + i R$$

عندما يكون الزمن الابتدائي يساوي صفر والتيار الابتدائي يساوي صفر أيضاً يمكن حل المعادلة بإهمال المقاومة لأنها صغيرة جداً فنحصل:

$$i = I_{\max} (\omega t + \phi - 90^\circ) + I_{\max} e^{-t/\tau} \sin(\phi - 90^\circ)$$

حيث أن:

ϕ : هي زاوية الفولتية عند غلق المفتاح.

τ : ثابت الزمن $\frac{L}{R}$.

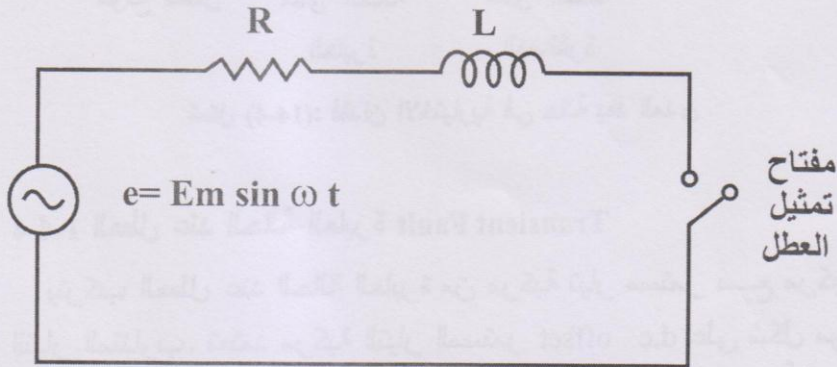
نلاحظ ما يلي:

1- لا توجد مركبة d.c إذا كانت $\phi = 90^\circ$.

$$i = I_{\max} \sin(\omega t) + 0$$

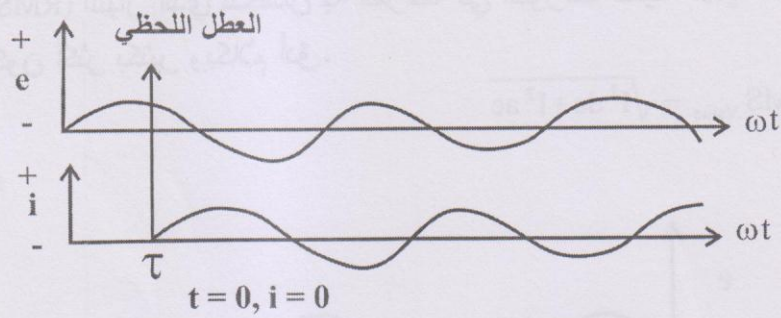
2- تكون قيمة مركبة d.c كاملة إذا كانت $\phi = 0$.

$$i = I_{\max} \sin(\omega t - 90^\circ) + I_{\max} \sin(90^\circ) = -I_{\max} \cos \omega t - I_{\max}$$



شكل (15-4): مركبة d.c المعتمدة على العطل اللحظي

يوضح الشكل (16-4) حصول عطل وحالة الفولتية الموجبة العظمى، حيث أن التيار المتناوب الموجي سوف يتخلف عن الفولتية 90° إلى أن $(R \rightarrow 0)$ وعندما يكون الزمن يساوي صفر، وكذلك التيار الابتدائي في هذه اللحظة يساوي صفر حيث لا توجد مركبة d.c ولا تيار عطل عند الحالة العابرة.



شكل (16-4): لحظات الفتح والغلق عندما لا توجد مركبة d.c

وبالإشارة إلى الشكل (17-4)، وعند حدوث العطل وعندما تمر الفولتية بالصفر يكون ميل الفولتية موجب، حيث يستمر التيار الجيبي المتناوب بالتأخر عن الفولتية، ولكن عند $(i = -I_{max})$ و $t = 0$ وهذا لا يحقق الشروط الابتدائية. لذلك سوف تتولد مركبة d.c موجبة تساوي $I_{max} +$ مع ثابت الاضمحلال (L/R) . ومن ذلك نستنتج:

1- عند حصول العطل في اللحظة التي تعبر أو تجتاز فيها موجة الفولتية قيمتها العظمى السالبة أو الموجبة فإنه لا توجد حالة عابرة ولا مركبة تيار مستمر ويكون تيار العطل جيبي.

2- عند وصول العطل إلى قيمة الصفر فإنه يصبح هنالك مركبة تيار مستمر مصاحبة لتيار العطل الجيبي، وأيضاً إذا كانت الفولتية عند قيمة الصفر.

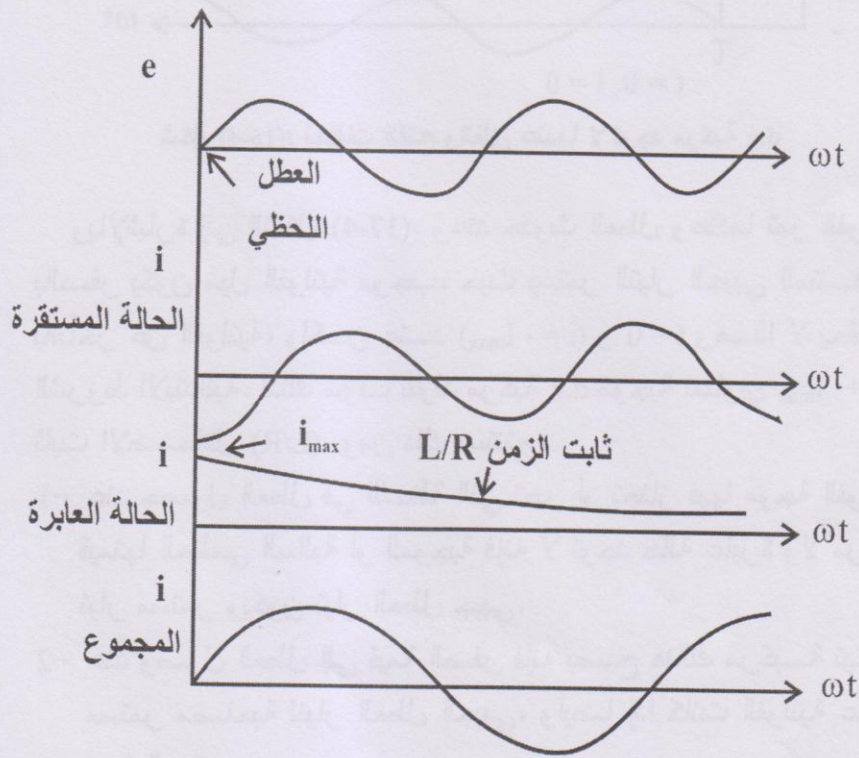
أ- ميل الفولتية موجب، مركبة d.c هي $I_{max} +$.

ب- ميل الفولتية سالب، مركبة d.c هي $I_{max} -$.

ولمعرفة تأثير تلاشي مركبة d.c في المرحلة نفترض أن زمن تشغيل أي مرحلة هو أكبر بكثير من ثابت الزمن للحالات العابرة لمركبة d.c. وعليه فإن تشغيل المرحلة سوف لن يتأثر بسبب اختفاء مركبة d.c قبل تشغيل المرحلة.

إن المرحلات ذات السرعة العالية سوف تتأثر بهذه المركبة وقيمة (RMS) للتيار الذي تتحسس به المرحلة في الدورات القليلة الآتية سوف تكون أكثر بكثير وبكلام أدق.

$$RMS_{value} = \sqrt{I^2_{dc} + I^2_{ac}}$$



شكل (4-17): لحظات الفتح والغلق بوجود مركبة d.c

2-4-4 بعد المدى عند الحالة العابرة Transient Overreach

يوضح الشكل (18-4) خطأ خارجاً من العمومي A مع مصدر تغذية من نهاية واحدة فقط. وليكن الخط محمياً بمرحلة تيار مفرط آلية تتغذى من محولة تيار بنسبة 100:1، لو أن عطلاً حدث عند النقطة (X) عند أعلى قيمة لموجة الفولتية، ففي هذه الحالة لا توجد مركبة تيار d.c متبقية في التيار الجيبي النقي. لتكن قيمة الالتقاط للمرحلة هي (1 A) فإن مرحلة التيار المفرط ستصل إلى النقطة (X) عند الحالة المستقرة للعطل وإذا ما حركنا النقطة باتجاه (Y) والعطل يحدث عندما تكون قيمة الفولتية صفر، فإن تيار العطل ستكون له مركبة d.c مصاحبة لتيار العطل a.c. عندئذ سيكون تيار الحالة المستقرة أقل من (100 A).

Let $I_a = 80.0 \text{ A}$ and $I_{dc} = 60.0 \text{ A}$. Therefore:

$$I_{RMS} = \sqrt{6400 + 3600} = 100$$

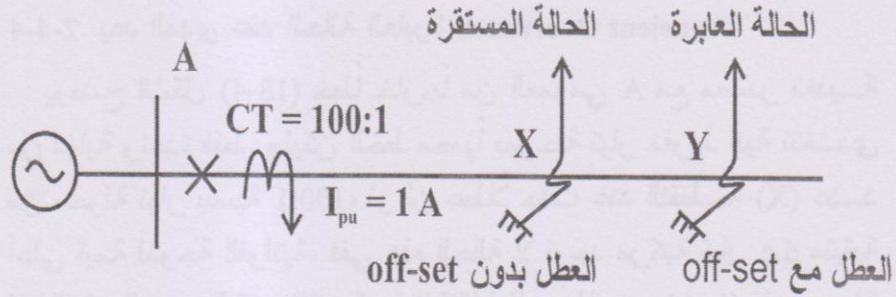
في جهة المرحلة:

$$I_{RMS} = \frac{100}{CT_{ratio}} = 1.0 \text{ A}$$

فإن مرحلة التيار المفرط سوف تشتغل. ويقال بأن المرحلة أصبح لها بعد مدى (Overreach) من (X) إلى (Y).
بعد المدى للحالة العابرة يساوي:

$$\% \text{ Transient Overreach} = \frac{AY - AX}{AX} \times 100$$

كل مرحلات السرعة العالية تتأثر بمركبة d.c لتيار العطل عند وصولها لحالة بعد المدى. ولحالة بعد المدى هذه يؤخذ عادة 20% ÷ 10% من قيمة المدى الحقيقي. وهذا يجب أن تؤخذ بنظر الاعتبار عند تنظيم المرحلة، تجنباً لفقدان الاختيارية مع الخط المجاور.



شكل (18-4): بعد المدى عند الحالة العابرة لتيار عطل له مركبة d.c

5-4 الاختيارية بين مرحلة DTOC و IDMT حسب أطوال خطوط النقل

بما أن مرحلات IDMT تجهز حماية سريعة فهي مفضلة الاستخدام لحماية خطوط النقل الطويلة، أما خطوط النقل القصيرة يفضل استخدام مرحلات DTOC. ويوضح الشكل (19-4) حدوث عطل عند العمومي A (أي عند بداية الخط) وعطل عند العمومي B (أي عند نهاية الخط) وعليه فإن تيار العطل تحسب كما يلي:

$$I_{F,A} = \frac{E}{Z_s} \quad \text{للعطل عند العمومي A}$$

$$I_{F,B} = \frac{E}{Z_s + Z_L} \quad \text{للعطل عند العمومي B}$$

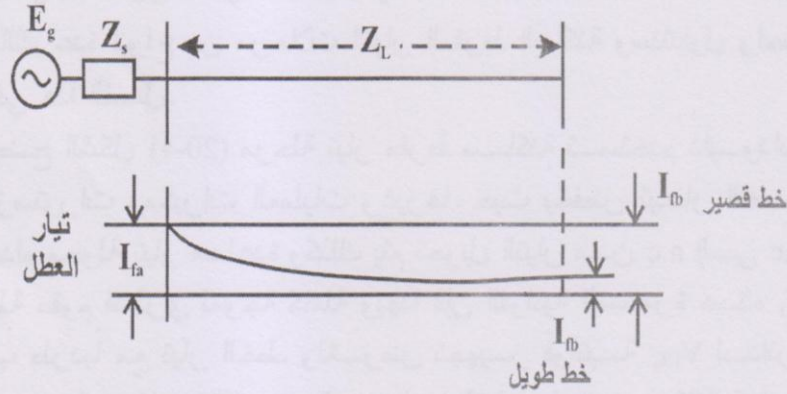
وعليه فإن نسبة ممانعة المنظومة (SIR) System Impedance Ratio تساوي:

$$SIR = Z_s / Z_L$$

وعليه فإن تيار العطل لا يكون بينهما فرق جوهري إذا كانت قيمة Z_L صغيرة مقارنة مع Z_s وأن نسبة ممانعة المنظومة هي التي ستحدد فيما إذا كانت خطوط النقل طويلة أم قصيرة. لذلك فإنه عند خطوط النقل القصيرة تكون SIR كبيرة والفرق بين التيارين قليل وأنه ليس هنالك تقليل ملحوظ في زمن تشغيل المرحلة عندما يتحرك العطل من الطرف البعيد

B إلى الطرف القريب A. وأن خواص المرحلة IDMT العكسية سوف لا تكون ذات فائدة وبذلك يفضل استخدام المرحلة DTOC الرخيصة الثمن في حالة الخطوط القصيرة. أما في حالة خطوط النقل الطويلة أي عندما يكون SIR صغيرة فإن الفرق بين التيارين سوف يكون كبيراً ويفضل استخدام مرحلة IDMT الأعلى ثمناً.

للخطوط القصيرة $SIR = Z_S/Z_L$ = قيمة كبيرة تفضل مرحلة DTOC.
 للخطوط الطويلة $SIR = Z_S/Z_L$ = قيمة صغيرة تفضل مرحلة IDMT.
 في الواقع العملي يفضل استخدام مرحلة DTOC عندما تكون $(SIR < 1)$



شكل (4-19): الاختيارية بين مرحلة DTOC و IDMT

4-6 البرمجيات والتركيبات المادية لمرحلات التيار المفرط

إن الصيغة العامة للعلاقة التحليلية بين زمن التشغيل وتيار الإدخال تعتمد على المعادلة العامة التالية:

$$T = \frac{K}{I^n - 1}$$

حيث أن:

K: مضاعف تنظيم الزمن.

I: تيار الإدخال لمرحلة التيار المفرط بمصطلح مضاعف تنظيم المأخذ.

n: ثابت يحد خواص المرحلة.

وعند قيم مختلفة من (n) يمكن الحصول على الخواص التالية:

$$T = \frac{K}{I^0} \quad \text{at } n = 0 \quad (\text{DTOC) مرحلة}$$

$$T = \frac{0.14K}{I^{0.02} - 1} \quad \text{at } n = 0.02 \quad (\text{IDMT}) \text{ مرحلة}$$

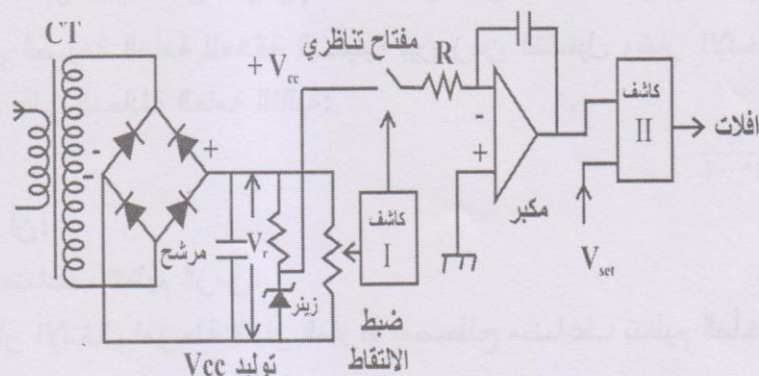
$$T = \frac{13.5K}{1^{1.0} - 1} \quad \text{at } n = 1.0 \quad \text{مرحلة أكثر عكسية}$$

$$T = \frac{80.0 \text{ K}}{1^{2.0} - 1} \quad \text{at } n = 2.0 \quad \text{مرحلة عكسية للغاية}$$

1-6-4 مرحلة التيار المفرط الساكنة Static OC Relay

هناك عدة أنواع من مرحلات التيار المفرط الساكنة وسنتناول واحدة منها في هذا الفصل.

يوضح الشكل (4-20) مرحلة تيار مفرط ساكنة تستخدم دايودات وترانزستورات ومكبرات العمليات وغيرها. حيث يخفض تيار الخط باستخدام محولة تيار مساعدة وكذلك يتم تحويل التيار من a.c إلى d.c بواسطة مقوم قنطري لموجة كاملة وبهذا فإن الفولتية المستمرة هذه V_r تتناسب طردياً مع تيار الخط. ولغرض تجهيز فولتية V_{CC} لدائرة الترانزستورات، فإن V_r تجهز إلى منظم فولتية عبارة عن رقاقة كدائرة متكاملة IC ذات ثلاثة أطراف، أو دايود زينر (Zener Diode) لتثبيت فولتية V_{CC} بغض النظر عن فولتية الإدخال.



شكل (4-20): مرحلة التيار المفرط الساكنة

وبمساعدة مغير الجهد (Potentiometer) فإن جزء من الفولتية يغذى إلى كاشف I (بصيغة دائرة قرح شمت) (Schmitt Trigger). إن مغير الجهد يقوم بتغيير تنظيم المأخذ PS. وأن الفولتية V_f التي تتناسب مع تيار العطل تغذى إلى مكبر العمليات من خلال مفتاح تناظري يسيطر عليه الكاشف I. إن خرج مكبر العمليات يغذى إلى كاشف رقم II ويقارن مع قيم عديدة من الفولتيات V_{set} . إن خرج الكاشف II يعطى إشارة الإفلات. وإن العلاقة التحليلية بين الزمن وتيار العطل كالآتي:

1- يثبت تنظيم المأخذ بواسطة مغير الجهد.

2- على فرض أن شحن التيار ثابت عن طريق المتسعة C.

$$V_C = \left[\frac{1}{C} \right] I_r t > V_{set} \rightarrow \text{trip}$$

$$T_{op} = (V_{set} C) / I_r$$

3- إن زمن التشغيل مقابل تيار العطل يكون له خواص عكسية.

2-6-4 مرحلة التيار المفرط المستندة على المعالج الدقيق

Processor-Based OC Relay

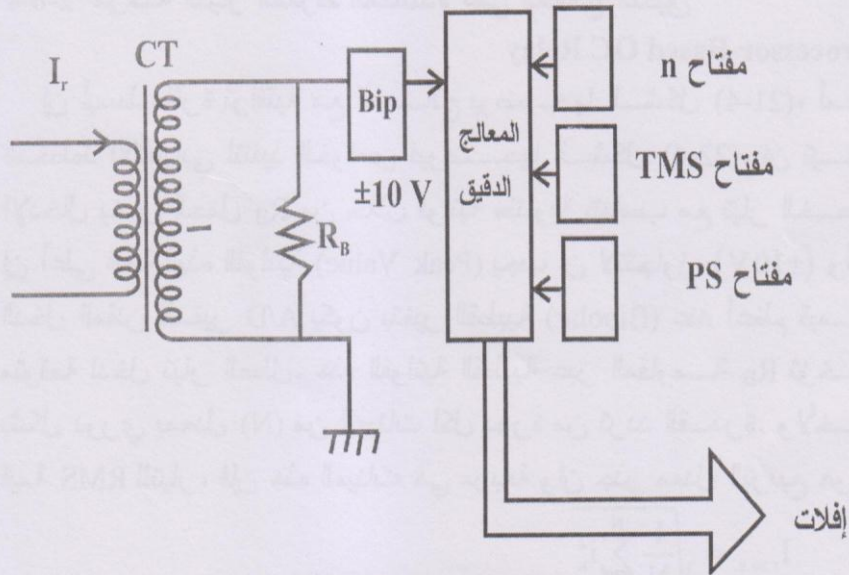
إن أبسط دائرة توافقية مع المعالج يوضحها الشكل (21-4)، أما المخطط الانسيابي لتنفيذ الخواص فيوضحها الشكل (22-4). إن تيار الإدخال يغذى الحمل R_B من خلال فولتية متناوبة تتناسب مع تيار الخط. إن أعلى قيمة لهذه الفولتية (Peak Value) يجب أن لا تتجاوز ($\pm 10V$) وأن الدخل المقنن للمغير A/D يكون بتغير القطبية (Bipolar) عند أعظم قيمة متوقعة لدخل تيار العطل. هذه الفولتية القطبية عبر المقاومة R_B تؤخذ بشكل دوري بمعدل (N) من العينات لكل دورة من تردد القدرة. ولأخذ قيمة RMS للتيار، فإن هذه العينات هي مربعة وإن جذر معدل التربيع هو:

$$I_{r.m.s.} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N i_n^2}$$

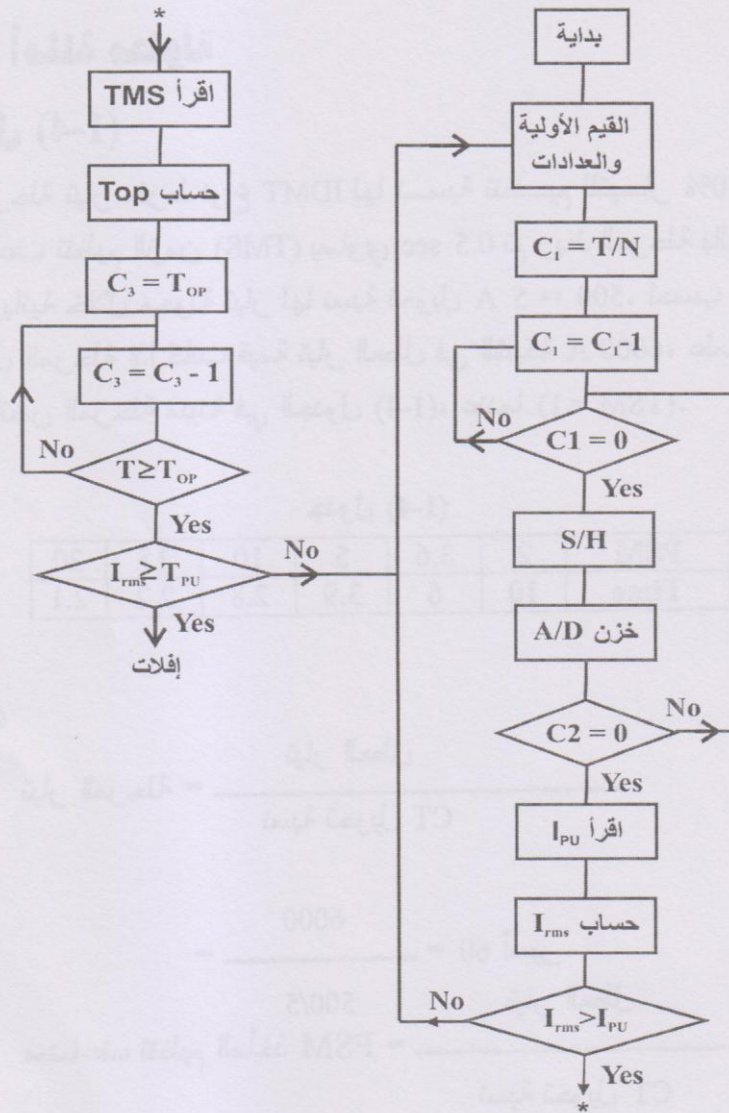
إضافة إلى ذلك فإن المخطط الانسيابي يوضح مقارنة قيمة RMS مع قيم الالتقاط المقروءة من دائرة الموازنة للوحة المفاتيح الخارجية المرتبطة مع منفذ الإدخال وإذا ما تجاوزت المعادلة المطلوبة، يمكن حينئذ حلها عند الزمن T الذي هو دالة للبت K (TMS). حيث أن زمن التشغيل T يمكن إيجاده من خصائص المرحلة المخزونة بشكل جدول.

عند تغيير الخصائص العكسية و TMS، فإن قيم n و K يمكن قراءتها من اللوحة المفاتيحية الموازنة إلى منفذ الإدخال. إن عداد الزمن يحمل في المؤقت الذي يبدأ بالعد. فإذا كان العداد صفراً فإنه يتم إنتاج إشارة الإفلات فقط في حالة كون تيار العطل المستمر أكبر من قيمة الالتقاط. إضافة إلى ذلك فإن تيار العطل يختبر أيضاً مقابل قيمة تنظيم الالتقاط ويصدر الإفلات على واحدة من نقاط الخرج للمعالج.

إن الفائدة الأساسية من المرحلات المعتمدة على المعالج هي أنه يمكن الحصول على عدة خصائص باختيار قيمة (n) من لوحة المفاتيح. فمن مرحلة واحدة يمكن الحصول على عدة خصائص لمرحلة التيار المفرط.



شكل (4-21): المعالج الدقيق



شكل (22-4) : المخطط الانسيابي لمرحلة التيار المفرط المستندة على المعالج الدقيق

T - الزمن الدوري على أساس 50 Hz أو 60 Hz A/D - تحويل التناظري إلى رقمي.

N - العينة. $C_1 = T/N$ - الوقت بين العينات الناجحة.

C_1, C_2, C_3 - عدادات مبرمجة. $C_2 = N$

n - عواكس. $C_3 = T_{OP}$

S/H - مسك العينة. T_{OP} - نحصل عليها من الجدول او من الحسابات.

7-4 أمثلة محلولة

مثال (1-4)

مرحلة تيار مفرط نوع IDMT لها نسبة تنظيم للتيار 50%، وأن مضاعف تنظيم الزمن (TMS) يساوي 0.5 sec تم ربط المرحلة بالشبكة الكهربائية خلال محولة تيار لها نسبة تحويل $500 = 5 \text{ A}$. أحسب زمن تشغيل المرحلة إذا كانت قيمة تيار العطل في الشبكة 6000 A، علماً بأن خصائص المرحلة مبينة في الجدول (1-4)، عندما (TSM = 1).

جدول (1-4)

PSM	2	3.6	5	10	15	20
Time	10	6	3.9	2.8	2.2	2.1

الحل

$$\text{تيار المرحلة} = \frac{\text{تيار العطل}}{\text{نسبة تحويل CT}}$$

$$= \frac{6000}{500/5} = 60 \text{ أمبير}$$

$$\text{مضاعف تنظيم المأخذ PSM} = \frac{\text{تيار العطل}}{\text{نسبة تحويل CT}}$$

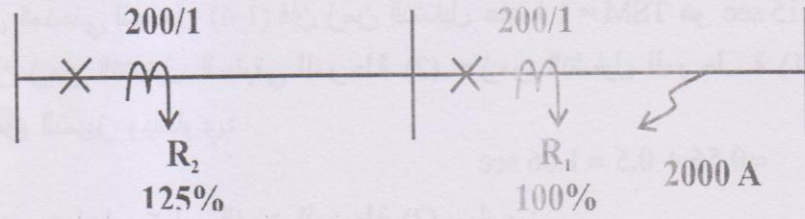
$$8 = \frac{60}{5 \times 1.5} =$$

ومن خصائص المرحلة في الجدول (1-4) بعد رسم المنحني فإن زمن التشغيل يساوي 3.15 sec وبما أن TMS يساوي 0.5 sec فإن زمن تشغيل المرحلة يساوي:

$$T_{op} = 3.15 \times 0.5 = 1.575 \text{ sec}$$

مثال (2-4)

من الشكل (23-4) إذا كان تيار العطل 2000A، ونسبة تحويل محولة التيار (200/1) وأن المرحلة (1) لها نسبة تنظيم للتيار 100% والمرحلة (2) 125%. وإذا كان زمن التمييز بين المرحلتين 0.5sec. أحسب زمن التشغيل لكلا المرحلتين على فرض أن خصائص المرحلتين موضحة في الجدول (1-4) وإذا كان خصائص تنظيم الزمن TSM للمرحلة 1 تساوي 0.2 sec.



شكل (23-4): للمثال (2-4)

الحل

1- المرحلة -1-

$$10 = \frac{2000}{200/1} = \text{تيار المرحلة}$$

$$10 = \frac{10}{1 \times 1} = \text{مضاعف تنظيم المأخذ}$$

من المنحني للجدول (1-4) عندما PSM تساوي 10 فإن الزمن هو 2.8 sec ،
وعليه فإن زمن تشغيل المرحلة (1) عندما TSM يساوي 0.2 sec هو:
 $2.8 \times 0.2 = 0.56 \text{ sec}$

2- المرحلة -2-

$$10 = \frac{2000}{200/1} = \text{تيار المرحلة}$$

$$8 = \frac{10}{1 \times 1.25} = \text{مضاعف تنظيم المأخذ}$$

من المنحني للجدول (1-4) فإن زمن التشغيل عندما $TSM = 1$ هو 3.15 sec.
لكن زمن التشغيل الحقيقي للمرحلة (2) = زمن التشغيل للمرحلة (1) +
زمن التمييز ويساوي:

$$= 0.56 + 0.5 = 1.06 \text{ sec}$$

إذن مضاعف تنظيم الزمن للمرحلة (2) يساوي:

$$TSM = \frac{1.06}{3.15} = 0.336$$

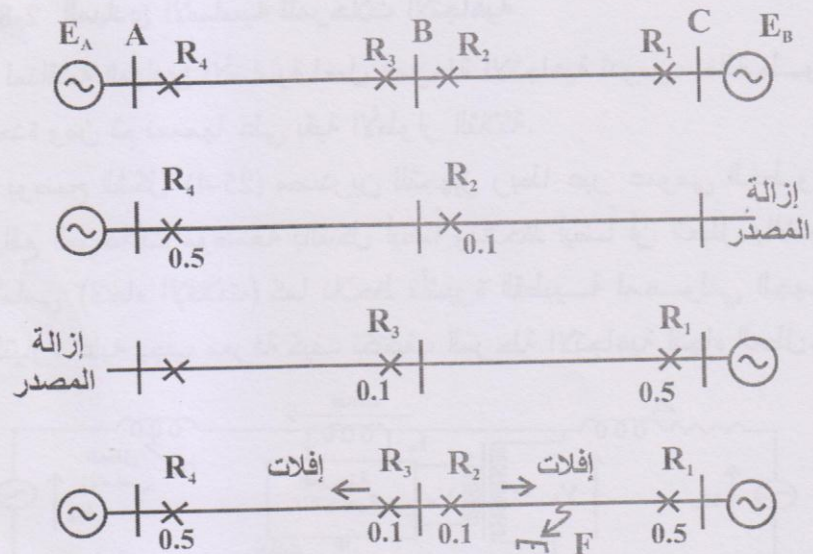
8-4 المرحلات الاتجاهية Directional Relays

إن مرحلات التيار المفرط التقليدية تعمل بدون تحديد الاتجاه أي أنها
تعمل عند قيمة معينة للتيار بغض النظر عن اتجاه أو زاوية طوره ولا
يمكن للمرحلة أن تكتشف فيما إذا كان العطل قبلها أو بعدها من حيث
الموقع وعملياً فإن المرحلة تشتغل بالاتجاه الأمامي أو اتجاه الإفلات ولا
يمكن أن تعمل عند عكس اتجاه العطل أو عكس اتجاه الإفلات ولكن الآن
يمكن تحديد الاتجاه بواسطة مرحلة جديدة تسمى المرحلة الاتجاهية.

1-8-4 مدى الحاجة للمرحلة الاتجاهية

في الشكل (24-4) يوجد خطان شعاعيان AB و BC، يتغذيان من مصدري تجهيز في النهايتين، كما يوضح الشكل مواقع قواطع الدورة والمرحلات وإذا فرضنا بأن جميع المرحلات هي من نوع DT OC فيمكن القول:

- 1- ما هي فترة تشغيل كل مرحلة مع الاحتفاظ بالاختيارية.
- 2- أي قاطع دورة يشتغل قبل الآخر.
- 3- أي مرحلات تيار مفراط توجه بمساعدة المرحلات الاتجاهية الأخرى. لنفرض أن مرحلة التيار المفراط الاتجاهية تعمل فقط إذا كان العطل باتجاه إشارة الإفلات والتيار عند المرحلة يتجاوز قيمة تيار الانتقال للمرحلة. لتنظيم زمن عمل المرحلة فالقاعدة تكون بحذف أحد المصادر مثلاً المصدر الذي على الجهة اليمنى وعليه:



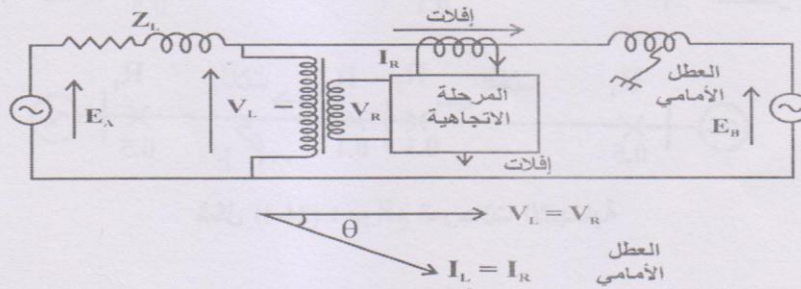
شكل (24-4) : مواقع المرحلات الاتجاهية

- 1- زمن تشغيل أبعد مرحلة R_2 هو 0.1 sec.
- 2- زمن تشغيل مرحلة الإعادة R_4 هو 0.5 sec.
- و عند حذف المصدر في الجهة اليسرى يكون:
- 1- زمن تشغيل أبعد مرحلة R_3 هو 0.1 sec.
- 2- زمن تشغيل مرحلة الإعادة R_1 هو 0.5 sec.
- ويمكن أخذ القرار عن أي من مرحلات التيار المفرط التي تحتاج إلى اتجاه.
- 1- المرحلتان R_1 و R_2 يجب ان يعملن لعزل الخط العامل.
- 2- إذا أخذ بنظر الاعتبار الاختلاف في زمن تشغيل المرحلات نجد أن أسرع المرحلات هي التي لها زمن تشغيل 0.1 sec وهي R_2 و R_3 التي تشتغل وبالنتيجة يصبح هنالك فقد لا ضروري للحمل في العمومي B.
- 3- للسبب رقم (2) يجب أن توجه عمل المرحلتين R_2 و R_3 .
- وكما هو مبين بالشكل (24-4) لتعمل باتجاه إشارة الإفلات.

2-8-4 المبادئ الأساسية للمرحلات الاتجاهية

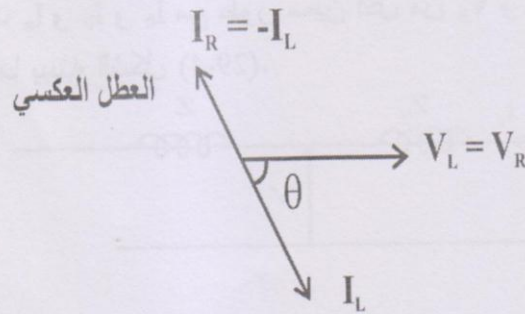
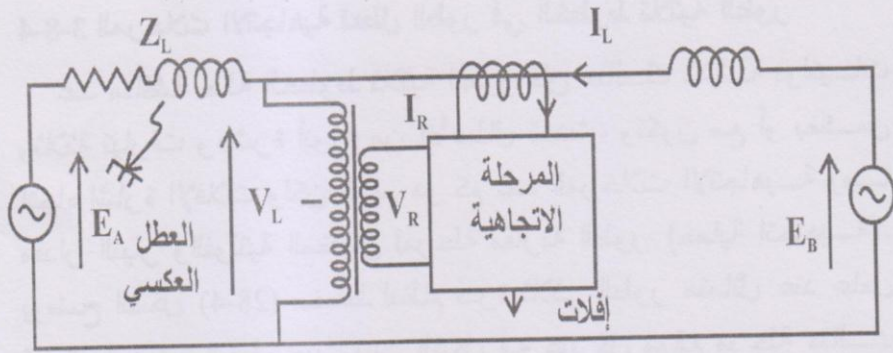
لمناقشة المبادئ الأساسية لعمل المرحلة الاتجاهية تدرس، حالة طور واحدة ومن ثم نعممها على بقية الأطوار الثلاثة.

يوضح الشكل (25-4) مصدرين للتجهيز ربطا عبر عمومي الخط وأن مواقع المرحلات موضحة بالشكل أيضاً ونلاحظ أيضاً أن العطل بالاتجاه الأمامي (اتجاه الإفلات) كما نلاحظ تأشيرة القطبية لمحولاتي الجهد والتيار، عليه يجب معرفة كيف تكتشف المرحلة الاتجاهية اتجاه العطل.

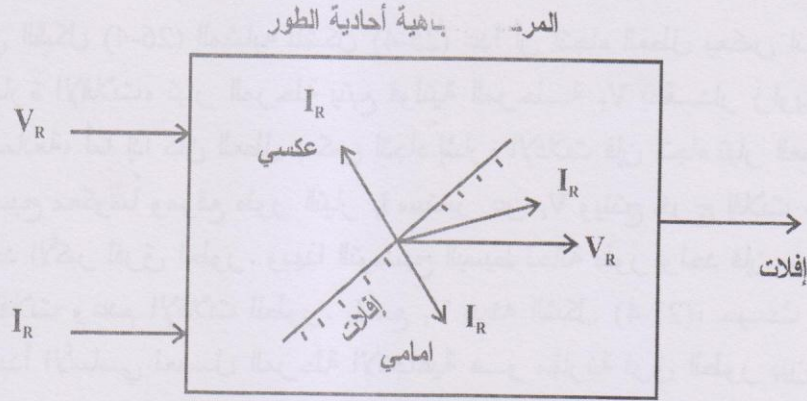


شكل (25-4): العطل بالاتجاه الأمامي

في الشكل (26-4) المشابه للشكل (25-4) عدا أن اتجاه العطل يعكس اتجاه إشارة الإفلات، تيار المرحلة يتبع فولتية المرحلة V_r بمقدار زاوية الممانعة، أما إذا كان العطل بعكس اتجاه إشارة الإفلات فإن اتجاه تيار العطل يصبح معكوساً وموقع طور التيار I_r سيتغير عن V_r وينتج خرج إفلات عند الحد الأكبر لفرق الطور. وبهذا التوضيح البسيط لحالة طور واحد فإن موقع الإفلات وعدم الإفلات للطور I_r مع V_r يبينه الشكل (27-4)، حيث أن المبدأ الأساسي لعمل المرحلة الاتجاهية هو مقارنة فرق الطور بين I_r و V_r ومن ثم إعطاء إشارة الإفلات لزاوية طور محددة بينهما في دائرة الحماية من تيار دورة القصر.



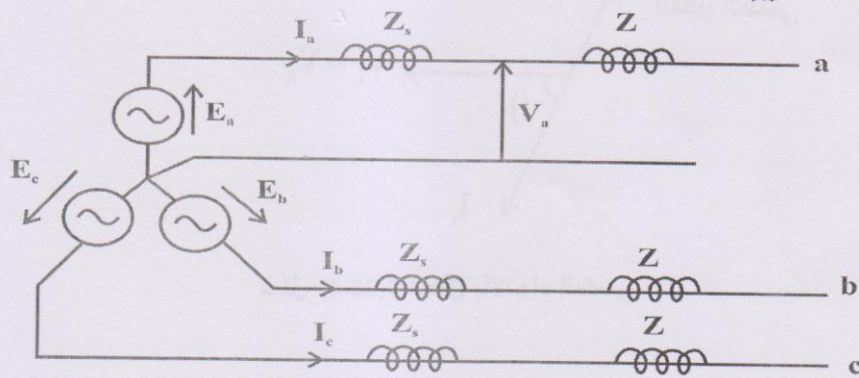
شكل (26-4): العطل بالاتجاه العكسي



شكل (27-4): منطقة الإفلات للمرحلة الاتجاهية

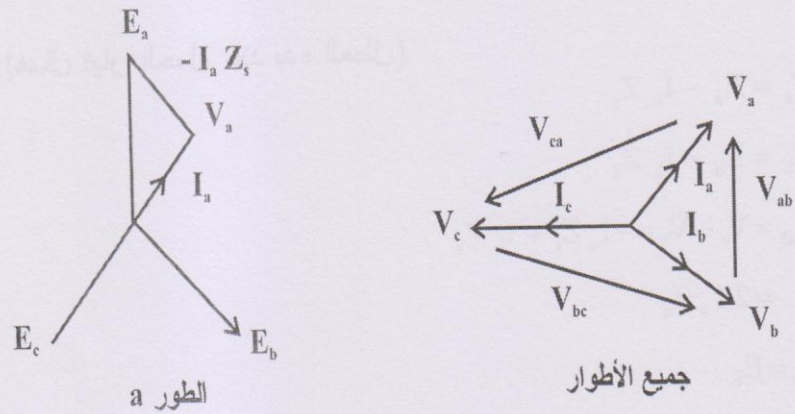
3-8-4 المرحلات الاتجاهية لعطل الطور في الخطوط ثلاثية الطور

عند مناقشة حالة الخطوط ثلاثية الطور فإن هنالك ثلاثة فولتيات وثلاثة تيارات وعشرة أنواع من الأعطال تحدث، وتكون مع أو بعكس اتجاه إشارة الإفلات ولكن المهم هو كم عدد المرحلات الاتجاهية وما مقدار التيار والفولتية المغذيان لمرحلة مقارنة الطور (حماية اتجاهية). يوضح الشكل (28-4) مخطط لنظام قدرة ثلاثي الطور متماثل عند عامل قدرة واحد في الخط. حيث يبين الشكل أنه عند كل موقع مرحلة هنالك تيارات I_a و I_b و I_c مع طور معين لكل من V_a و V_b و V_c على الترتيب وهذا ما يبينه الشكل (29-4).

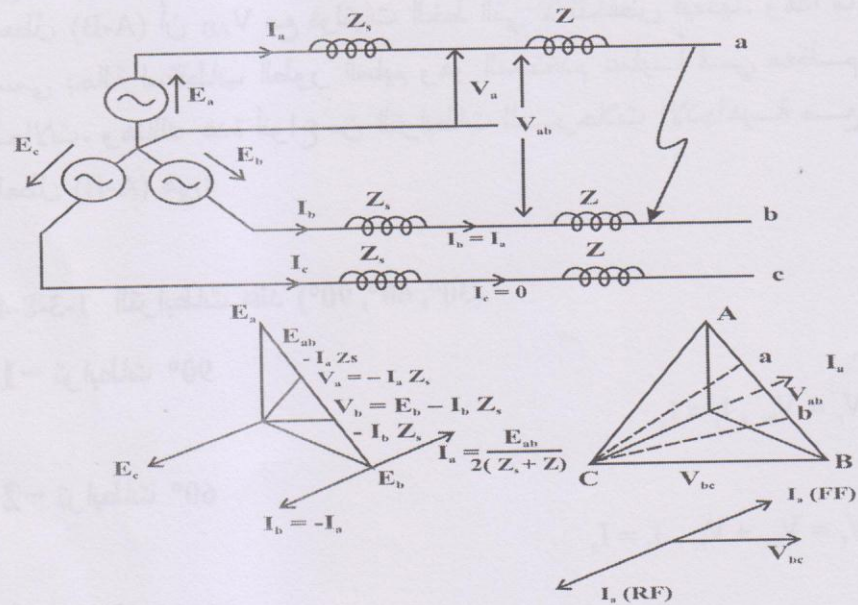


شكل (28-4): النظام الثلاثي الطور

ولو أخذنا ببساطة عطل طورى (A-B) بالاتجاه الأمامى فبدون اللجوء إلى تحليلات المركبات المتماثلة فالفولتيات والتيارات ومثلث فولتية الخطوط موضحة بالشكل (30-4) وعلى الترتيب تكون الفولتيات والتيارات عند موقع المرحلة للعطل بالاتجاه الأمامى هما:



شكل (29-4): اتزان الأطوار الثلاثة قبل حدوث العطل



شكل (30-4): التيارات والفولتيات بعد حدوث العطل الطوري (A-B)

$$I_a = \frac{I_{ab}}{2(Z_s + Z_l)}$$

$$I_b = -I_a$$

$$I_c = 0$$

(بعد إهمال تيار الحمل عند بدء العطل)

$$V_a = E_a - I_a Z_s$$

$$V_b = E_b - I_b Z_s$$

$$\begin{aligned} V_{ab} &= V_a - V_b = -I_a Z_s + I_b Z_s \\ &= 2 I_a Z_s \end{aligned}$$

$$V_c = E_c$$

فولتيات وتيارات حالة العطل يبينها الشكل (4-30)، ونلاحظ أنه في العطل (A-B) أن V_{AB} مع فولتيات الخط التي لا تتخفض قيمتها. وهذا ما يسمى بحالة استقطاب الطور السليم وهو المستخدم عملياً في معظم الحالات. وهناك عدة أنواع من الترابطات للمرحلات الاتجاهية مع العطل (A-B) هي:

1-3-8-4 الترابطات عند (30°, 60°, 90°)

1- ترابطات 90°

$$V_r = V_{bc}, I_r = I_a$$

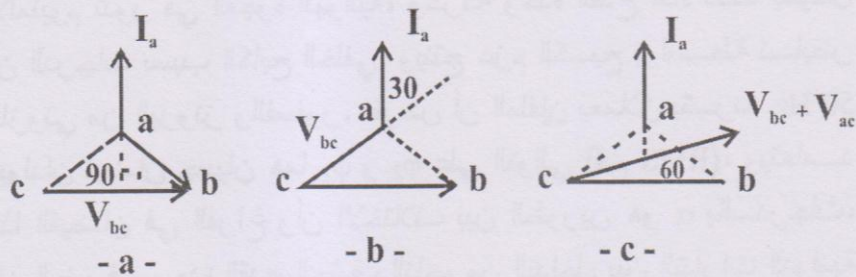
2- ترابطات 60°

$$V_r = V_{bc} + V_{ac}, I_r = I_a$$

3- ترابطات 30°

$$V_r = V_{ac}, I_r = I_a$$

إن نوعية الربط تشير إلى الزاوية بين فولتية و تيار اشتغال المرحلة التي يحدث عندها العطل ولعامل قدرة واحد. ويمكن تلافي الأعطال العشرة التي تحدث بتركيب ثلاث مراحل اتجاهية ونفس العدد من مراحل التيار المفرط حيث أن معظم حالات الربط تستخدم ترابطات 90° وكما يبينه الشكل (31-4).



شكل (31-4): الترابطات 30° , 60° , 90°

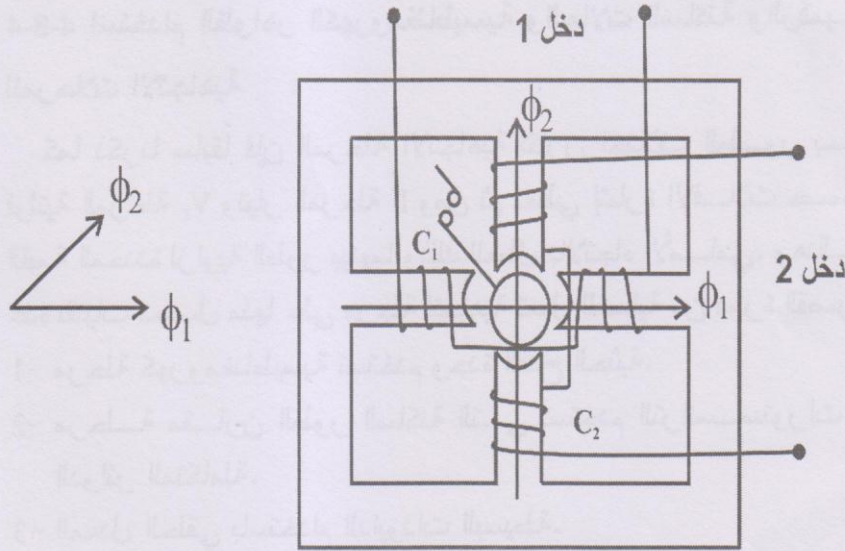
4-8-4 استخدام الظواهر الكهرومغناطيسية والحالات الساكنة والرقمية للمراحل الاتجاهية

كما ذكرنا سابقاً فإن المرحلة الاتجاهية تقارن اختلاف الطور بين فولتية المرحلة V_r وتيار المرحلة I_r ومن ثم تعطي إشارة الإفلات حسب القيمة المحددة لزاوية الطور بينهما وذلك للعطل بالاتجاه الأمامي. وهنالك عدة تقنيات نحصل منها على مرحلة اتجاهية تعمل للحماية من دورة القصر:

- 1- مرحلة كهرومغناطيسية تستخدم وحدة القذح الحثية.
- 2- مرحلة مقارنة طور الساكنة التي تستخدم الترانسسستورات أو الدوائر المتكاملة.
- 3- المعدل الحلقى باستخدام الدايودات البسيطة.
- 4- حسابات المعالج الدقيقة أو الحاسب الرقمي.

1-4-8-4 المرحلات الاتجاهية المستندة على وحدة القدح الحثية

يبين الشكل (4-32) مبدأ عمل وحدة القدح الحثية التي يكون لها أربعة أقطاب مع ملفين هما C_1 و C_2 مرتبة بزوجين من الأقطاب المتعاكسة ولها اسطوانة داخلية من الفولاذ كقلب حديدي للتقليل من الفجوة الهوائية والحصول على أعلى كثافة للفيض. وهناك اسطوانة رقيقة جدارها من الألمنيوم تدور في الفجوة الهوائية، وحركة وحدة القدح هذه تحدد بقليل من الدرجات بسبب الكابح الخلفي. وينتج عزم الكبح بواسطة نابض حلزوني من البرونز والفسفور. نفرض أن الملفين يعملان بتردد 50 Hz ويولدان فيضان جيبيان هما ϕ_1 و ϕ_2 على التوالي (قيم RMS)، ويتعتمد هذا الفيضان في الفراغ وأن الاختلاف بين الطورين هو α بالدرجات، فإن العزم في وحدة القدح الحثية والناجم من التداخل بين التيارات الدوامية والفيض هو:



شكل (4-32): وحدة الحث القدحية

$$T_{\text{operating}} = |\phi_1| |\phi_2| \sin \alpha \quad \text{عزم التشغيل}$$

$$T_{\text{restraining}} = K \quad \text{عزم الكبح (ثابت النابض \times زاوية الدوران)}$$

إن المرحلة تعطي إشارة الإفلات (أي أنه النقاط المتحركة تسمى النقاط الثابتة إذا كان عزم التشغيل أكبر أو يساوي عزم الكبح.

$$T_{\text{op.}} \geq T_{\text{res}}$$

إن تركيب وحدة القدح الحثية رباعية الأقطاب هو في الأساس مرحلة كهرومغناطيسية تستعمل لفهم المميزات المختلفة للمرحلة وتعتمد على إشارتي إدخال كهربائيين مثل تيار/ تيار أو فولتية/ فولتية أو فولتية/ فولتية. إن إدخالات المرحلة الاتجاهية هي فولتية المرحلة V_r وتيار المرحلة I_r وكما هو مبين في الشكل (33-4)، بينما يبين الشكل (34-4) المخطط الطوري على اعتبار أن V_r هي المرجع ومنها نلاحظ:

1- الفيض ϕ_v يتبع الفولتية V_r بالزاوية θ_v .

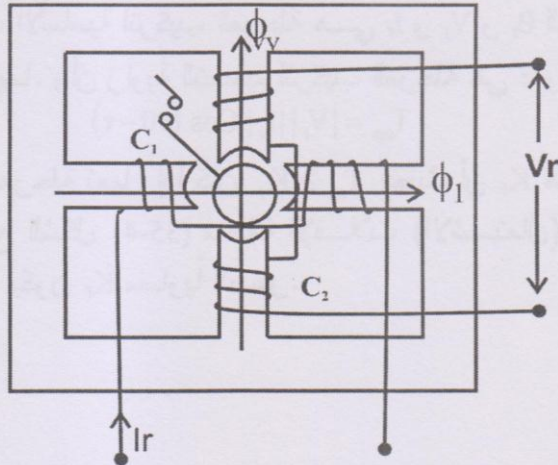
2- θ_v هي زاوية الممانعة لملف الفولتية.

3- الفيض ϕ_i هو بنفس الطور مع التيار I_r .

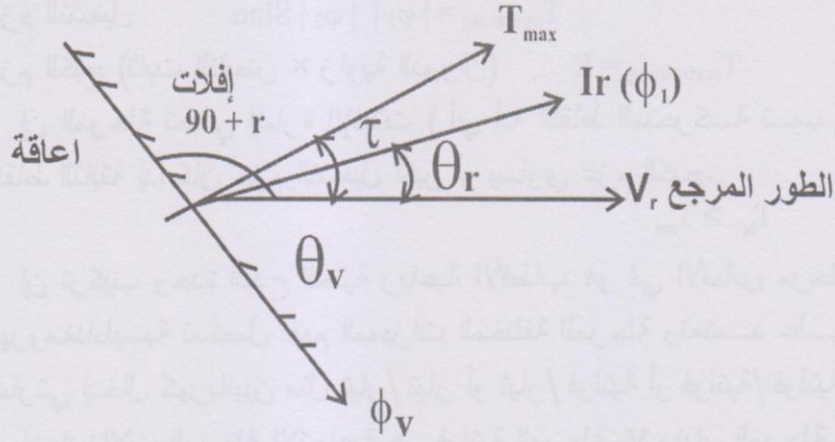
4- θ_r هي زاوية الطور بين V_r و I_r .

5- عزم التشغيل هو:

$$T_{\text{op}} = \phi_v \phi_i \sin (\theta_v + \theta_r)$$



شكل (33-4): إدخالات المرحلة الاتجاهية



شكل (34-4) : المخطط الطوري للمرحلة الاتجاهية

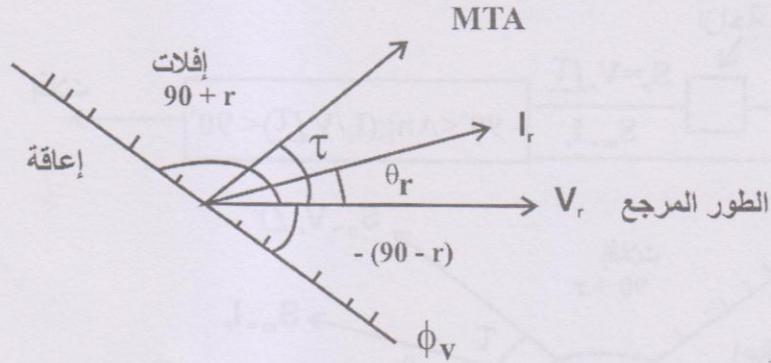
6- عند رسم خط عمودي على طور الفيض ϕ_r الناتج من ملف الجهد واتفق طور التيار مع هذا الخط فإن عزم التشغيل هو أقصى ما يمكن لأن جيب الزاوية ϕ_v بين ϕ_i و ϕ_r يساوي واحد ولذلك فإن هذا الخط يسمى خط زاوية أعظم عزم (Maximum Torque Angle (MTA) وبمعنى آخر إذا كان فرق الطور بين V_r و I_r هو τ . فإن زاوية أعظم تشغيل يساوي $(90^\circ - \theta_v)$ أي:

$$\tau = \text{MTA} = 90^\circ - \theta_v$$

إن الإدخالات الأساسية لتركيب المرحلة هي I_r و V_r و θ_r التي هي زاوية الطور بينهما. وأن زاوية التصميم لتركيب المرحلة هي τ وعليه فإن:

$$T_{op} = |V_r| |I_r| \cos(90 - \tau)$$

وعليه فإن المرحلة تعمل إذا كان $T_{op} \geq K_r$ (حيث أن K_r هو عزم النابض). يوضح الشكل (35-4) منطقة الإفلات (الاشتعال) للمرحلة الاتجاهية عندما يكون K_r مساوياً للصفر.



شكل (35-4) منطقة الإفلات للمرحلة الاتجاهية

2-4-8-4 المرحلة الاتجاهية المستندة على المقارن الطوري

تحتاج المرحلة الاتجاهية إلى أداة تتحسس بحالة زاوية الطور.

$$(90^\circ - \tau) < \text{Arg} \frac{I_r}{V_r} < + (90^\circ + \tau)$$

يبين الشكل (36-4) مخطط الطور لمنطقة التشغيل للمرحلة الاتجاهية. إن أداة التحسس الطورية هذه تسمى بمقارن الطور وتستعمل فيها دائرة متكاملة كما في التركيب الذي يوضحه الشكل (37-4) مع الشكل الموجي عند نقاط مختلفة.

ولتوضيح هذه العملية فإن فولتية المرحلة V_r تتخلف عن زاوية أعظم عزم τ بواسطة دائرة مرشح RLC أو دائرة مكبر تفاضلي وتكون إدخلات المقارن الطوري كما يلي:

$$S_m = I_r$$

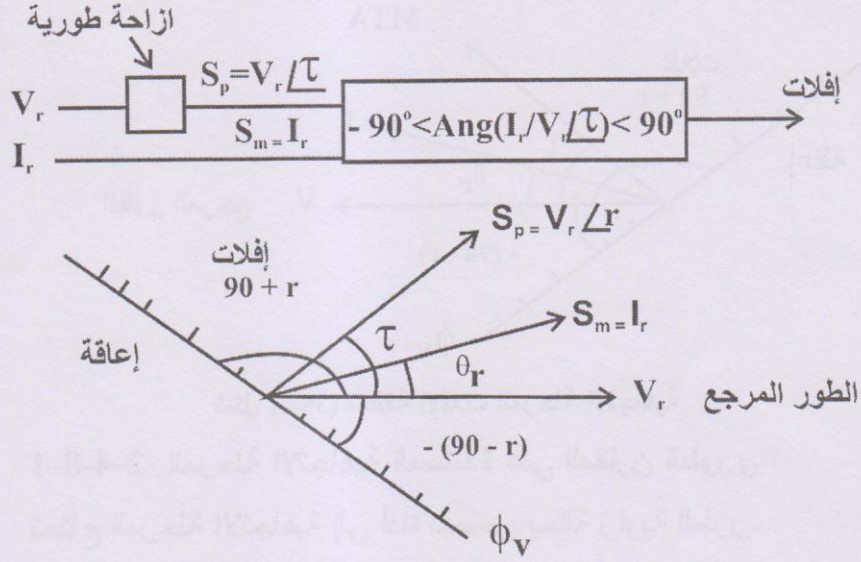
$$S_p = V_r \angle +\tau$$

حيث أن:

S_m : كمية القياس.

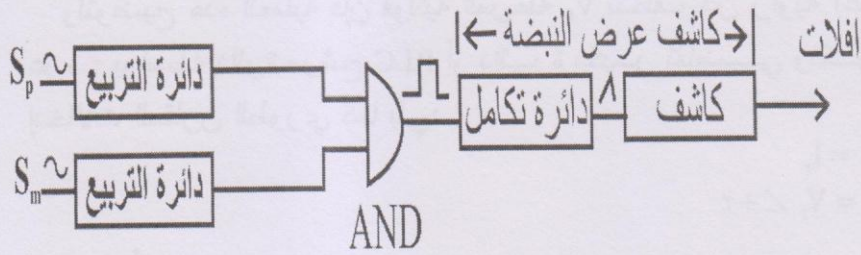
S_p : كمية الاستقطاب.

هذان الإدخالان الجيبيان يتغيران إلى أشكال موجية مربعة تمثل دائرة منطقية (0 و 1) تسمى الدائرة المربعة.



شكل (36-4): المخطط الكتلي والطوري للمرحلة الاتجاهية

خلال نصف الموجة الموجبة هنالك 1 وخلال نصف الموجة السالبة هنالك صفر وهاتان الموجتان المربعتان تغذيان دائرة بوابة منطقية للجمع هي بوابة AND والتي تولد نبضة إخراج لها عرض Width يمثل الجزء الموجب المصادف مع جزء دورة الموجة المربعة.



شكل (37-4): الدائرة المتكاملة المستندة على دائرة المرحلة الاتجاهية (أشكال الموجات، مخطط الطور).

ويكون العرض هو النصف الموجب من فترة الموجة المربعة ويساوي
 $\text{Width} = 180^\circ - \text{phase shift between } I_r \text{ and } V_r \angle +\tau$

وهذه النبضة تغذي عرض نبضة الكاشف والتي تولد خرج إفلات إذا كان عرض النبضة أكبر من 90° والأشكال الموجية عند نقاط مختلفة يوضحها الشكل (37-4).

3-4-8-4 المرحلة الاتجاهية المستندة على المعدل الحلقي

للتبسيط نعتبر أن نصف الموجة الحلقي المبين في الشكل (38-4) يغذي كما يلي:

$$S_p = I_r \angle \tau$$

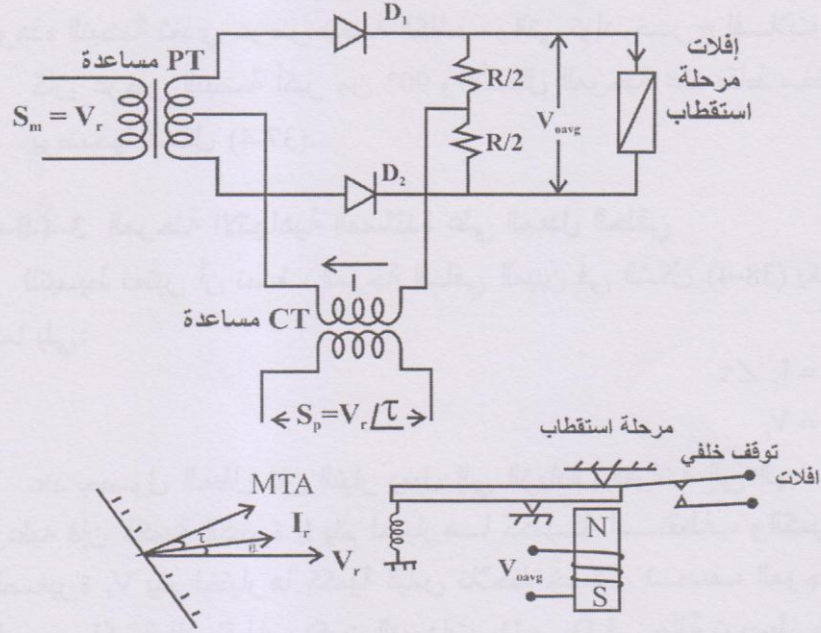
$$S_m = V_r$$

عند حصول العطل فإن التيار يميل إلى الزيادة والفولتية إلى الهبوط وعليه فإن الكمية الكبيرة I_r يتم اختيارها ككمية استقطاب والكمية الصغيرة V_r يتم اختيارها ككمية قياس نلاحظ خلال نصف الموجة الموجب لكمية الاستقطاب تكون الديودات D_1 و D_2 في حالة توصيل وفي النصف السالب ليس هنالك توصيل.

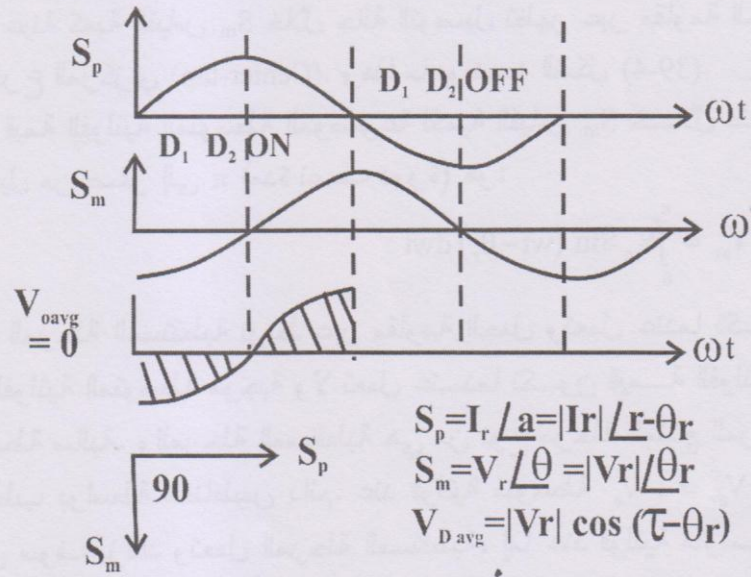
إن عينة كمية القياس S_m خلال حالة التوصيل تظهر عبر مقاومة الحمل مع التفرع المركزي (Center-tap). وهذا ما يوضحه الشكل (39-4). إن قيمة الفولتية المتوسطة الموضوعة لكمية القياس S_m خلال فترة التوصيل من صفر إلى π (مدة نصف دورة) هو:

$$V_{av} = \int_0^{\pi} S_m \sin (wt - \theta_r) dwt$$

إن المرحلة المستقطبة تربط عبر مقاومة الحمل وتعمل عندما تكون قيمة الفولتية المتوسطة موجبة ولا تعمل عندما تكون قيمة الفولتية المتوسطة سالبة. والمرحلة المستقطبة هي من نوع مرحلة المنتج المرتكز وتستقطب بواسطة مغناطيس دائم. عند فولتية متوسطة $V_{av} = + V_c$ فإن الفيض سوف يزداد وتعمل المرحلة المستقطبة، إما عند فولتية متوسطة سالبة $V_{av} = - V_c$ فإن محصلة الفيض سوف تقل وتبقى مجموعة حركة الاستقطاب في حالة كبح والشكل (38-4) يوضح المرحلة المستقطبة.



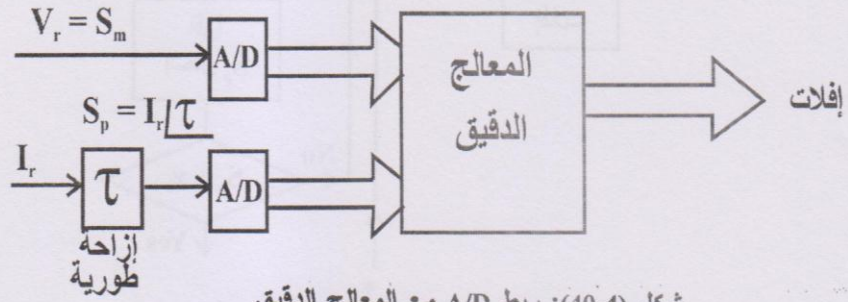
شكل (38-4) : المرحلة الاتجاهية المستندة على المعدل الحلقي



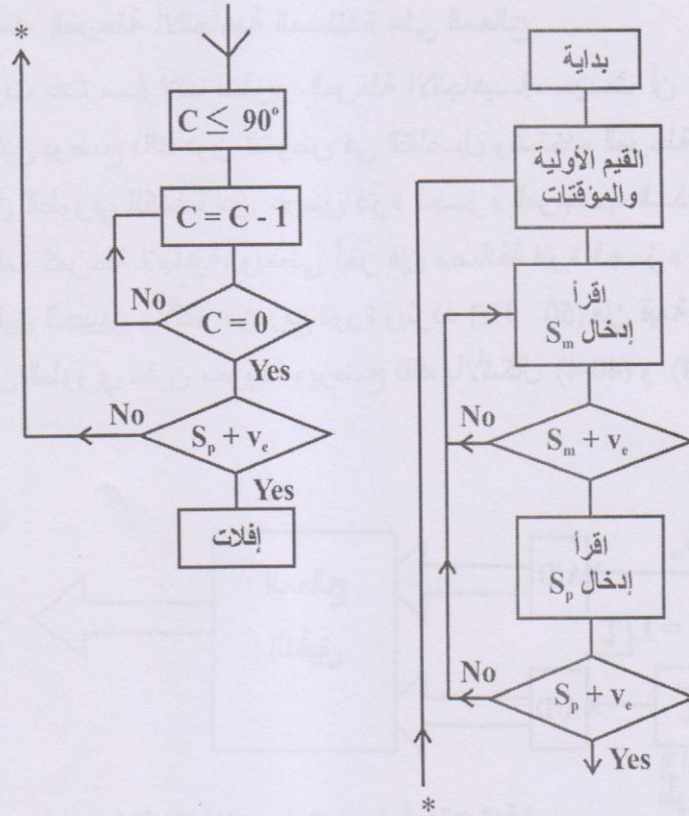
شكل (39-4): أشكال الموجات لنموذج إشارة \$S_m\$ (خرج الفولتية للمعدل الحلقي)

4-4-8-4 المرحلة الاتجاهية المستندة على المعالج

جرت عدة محاولات لتطوير المرحلة الاتجاهية، حيث أن المخطط الانسيابي يوضح ذلك دون الخوض في التفاصيل وتستخدم المرحلة الاتجاهية المقارن الطوري للكشف عن عرض فترة الجزء الموجب الذي يمكن استخدامه كمرحلة اتجاهية، وبمعنى آخر فإن مصادفة فترة الجزء الموجب للإدخالين الجيبين ولأكثر من ربع دورة وبتردد (50 Hz) فإن قيمة جيب تمام المقارن الطوري تكون معروفة ويوضح ذلك بالأشكال (40-4) و (41-4).



شكل (40-4): ربط A/D مع المعالج الدقيق



شكل (41-4): المخطط الانسيابي للمرحلة الاتجاهية المستندة على المعالج الدقيق

إن الإدخالين الجيبين يغذيان دائرة تحويل التناظري إلى رقمي A/D وهو إدخال للمعالج الدقيق.

والمعالج الدقيق يحدد بدوره التيار والفولتية للمحول A/D على أنها إشارات رقمية موجبة. وفي هذه اللحظة فإن دائرة العداد (Timer/Counter) في المعالج تبدأ بالحسابات وتتوقف عندما تصبح قيمة أي من الإدخالين سالبة. وإذا تجاوز زمن الحسابات ربع دورة عند تردد 50 Hz فإن إشارة إفلات [منطق 1] ستظهر في معلومات أحد أجزاء الإخراج.

5-4-8-4 المرحلات الاتجاهية عند حدوث العطل الأرضي

تحدد المرحلات الاتجاهية للعطل الأخير اتجاه إشارة الإفلات للعطل وتكون الحاجة هنا إلى مرحلة واحدة فقط، تكون فيها فولتيات وتيارات ملفات المرحل الاتجاهي كما يلي:

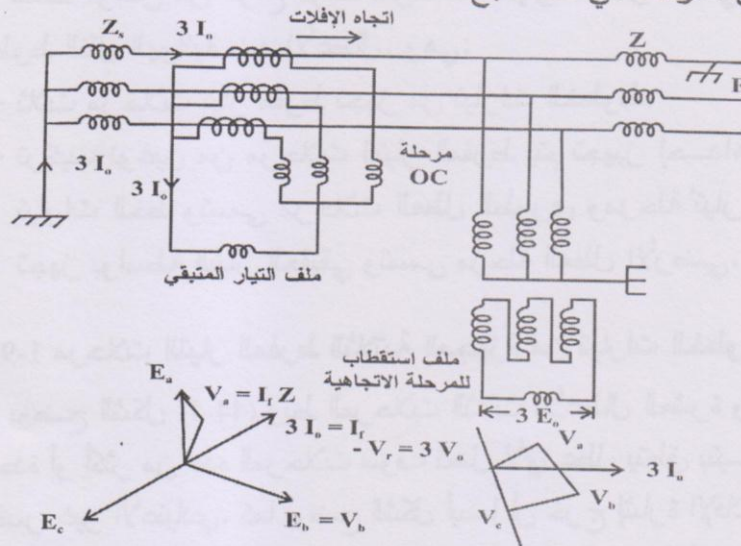
V_r : فولتية التتابع الصفري عند موقع المرحلة.

$$V_r = \frac{1}{3} (V_a + V_b + V_c) = V_0$$

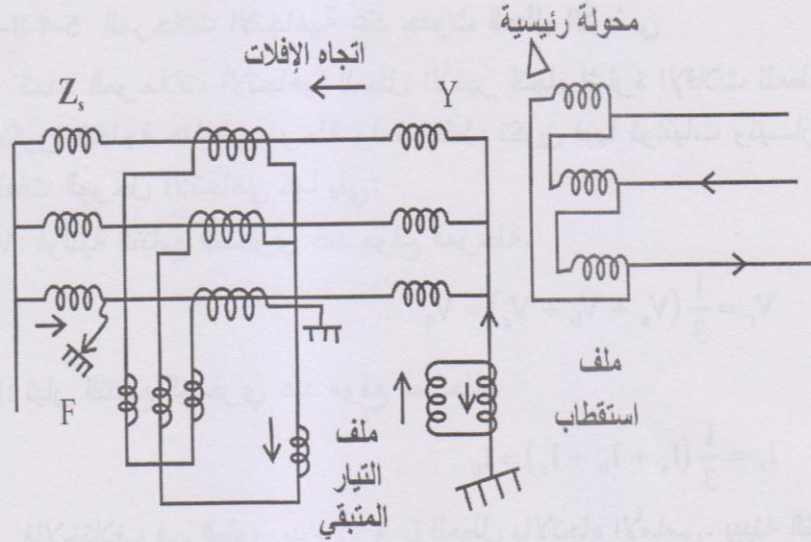
I_r : تيار التتابع الصفري عند موقع المرحلة.

$$I_r = \frac{1}{3} (I_a + I_b + I_c) = I_0$$

فالاختلاف في الطور بين V_r و I_r للعطل بالاتجاه الأمامي. يبينه الشكل (42-4) إن اختبار المرحلة الاتجاهية يتم باستقطاب I_0 وكما هو موضح بالشكل (43-4) والمبدأ الأساسي هو أن المرحلة في العطل بالاتجاه الأمامي تكون الفولتية V_r والتيار I_r بنفس الطور لذلك فإن المرحلة سوف تعمل وفي حالة العطل بالاتجاه العكسي فإن V_r و I_r تكون بعكس الطور مما يبقي المرحلة في حالة كبح.



شكل (42-4): المرحلة الاتجاهية المستقطبة (عطل الأرضي، فولتية التتابع الصفري)



شكل (4-43): المرحلة الاتجاهية المستقطبة (العطل الأرضي، التيار الحقيقي)

9-4 حماية الخطوط الثلاثية الطور

هنالك نوعان من أنواع الربط لمرحلات التيار المفرط في حماية خطوط النقل الهوائية ضد الأعطال. وهي:

- 1- ثلاث مرحلات تيار مفرط تجهز من تيارات الخطوط.
- 2- تركيب نوعين من مرحلات التيار المفرط يتم تجهيز إحداها من تيارات الخط وتسمى مرحلات العطل الطوري ومرحلة تيار مفرط تجهز بواسطة التيار الحقيقي وتسمى مرحلة العطل الأرضي.

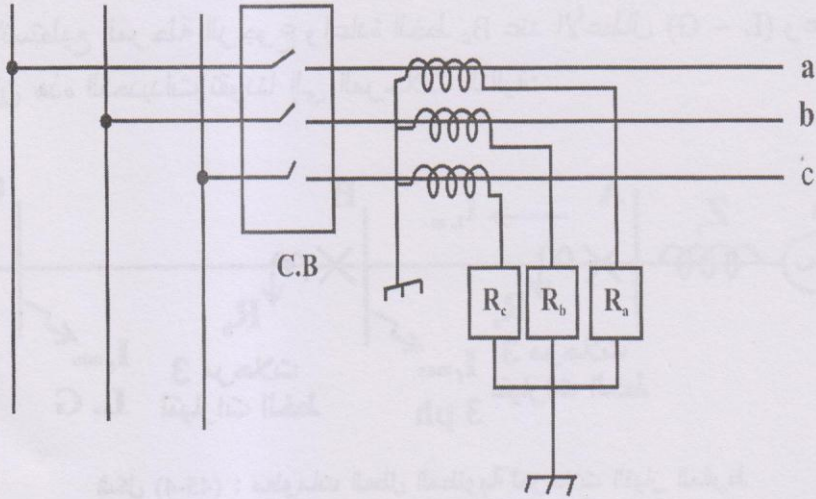
9-4-1 مرحلات التيار المفرط الثلاثية المجهزة من تيارات الخطوط

يوضح الشكل (4-44) ربط المرحلات الثلاث للأعطال العشرة ويبين بأن واحدة أو أكثر من هذه المرحلات سوف تعمل لأي عطل يتعلق بتيار دورة القصر غير الاعتيادي. كما يوضح الشكل أيضاً أن خرج إشارة الإفلات يربط على التوازي (بوابة OR المنطقية) وذلك لفصل قاطع الدورة ثلاثي الطور.

1-1-9-4 المعلومات المطلوبة لتنظيم المرحلات المتغذية من الخطوط

إن المعلومات المطلوبة لتنظيم مرحلات التيار المفرد الثلاث هي منظم المأخذ ومضاعف تنظيم الزمن يوضحها الشكل (4-45) ويبين الشكل مخطط الطور الواحد لخطين شعاعيين هما AB و BC محميان بالمرحلات R_a و R_b على التوالي وللتبسيط نفرض أن المرحلة R_b هي مرحلة لحظية و R_a هي مرحلة الزمن العكسي حيث نختار قيمة الالتقاط وزمن التشغيل للمرحلة R_a كما يلي:

- 1- إن المرحلة R_a لا تعمل عند أقصى تيار حمل مقارنة بتيار العطل.
- 2- المرحلة R_a توصل إلى نهاية الخط التالي R_c لأقل تيار عطل للعطل الحاصل في العمومي C وهذا ضروري لإعادة إرجاع الخط B_c بواسطة المرحلة R_a .
- 3- المرحلة R_a يجب أن تحافظ على الاختيارية مع المرحلة R_b لأقصى تيار عطل للعطل الحاصل في العمومي B.



شكل (4-44): مرحلات التيار المفرد الثلاث المجهزة من تيارات الخط

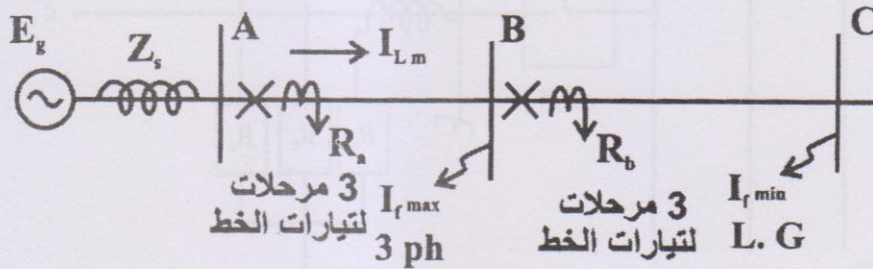
إن هذه القواعد يجب إتباعها لأن زمن التشغيل والوصول إلى أدنى زمن عكسي معروف للمرحلة IDMT يعتمد على ممانعة المصدر (الممانعة خلف مكان المرحلة) ونوع العطل (هل هو عطل ثلاثي الطور أو بين طور وآخر أو بين أحد الأطوار مع الأرضي... الخ).

إن تركيب مرحلات التيار المفرط هذا له عدة محددات في الممانعة العالية لأعطال الأرضي. فإذا كانت ممانعة العطل عالية فإن أحد موصلات القدرة سينوب ويسقط على الأرض عند العمومي C وهذا ما يسبب:

$$I_{f.m.n.} C (L-G) < I_{L.max.} A$$

إن حالة كهذه تجعل قيمة الانتقال للمرحلة R_a قسرية والمثال التالي يوضح ذلك:

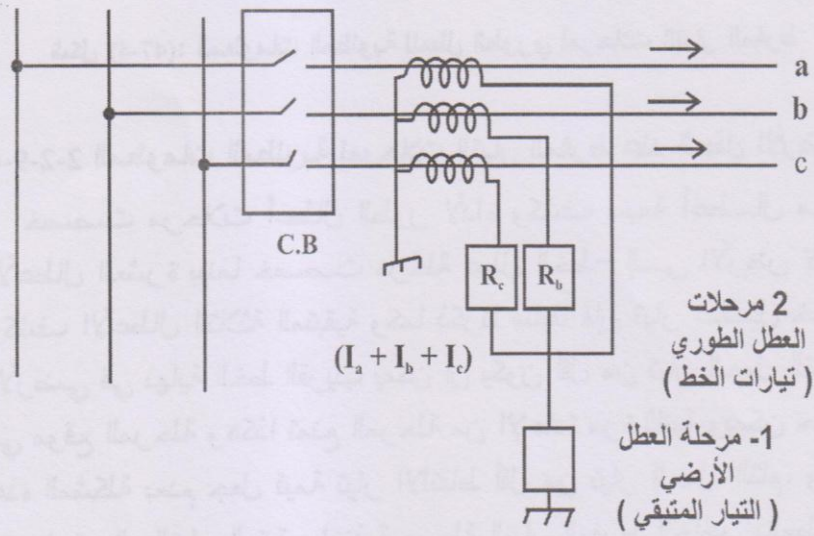
نفرض أن $I_{L.max} A = 100 A$ و $I_{f.min.} C (L-G) = 80 A$ فنجد أنه من غير الممكن أن يكون $100 A < I_{p.u} R_a < 80 A$ فإذا كانت قياسات الانتقال للمرحلة $I_{p.u} = 100 A$ ولتجنب سوء الأداء في تيار الحمل الاعتيادي لاتستطيع المرحلة الرجوع وإعادة الخط B_c عند الأعطال $(L - G)$ وعليه فإن هذه التحديدات تقودنا إلى المرحلات التالية:



شكل (4-45) : معلومات العطل المطلوبة لمرحلات التيار المفرط
الثلاث المجهزة من تيارات الخط.

2-9-4 مرحلتا تيار مفرط تجهز من تيارات الخط ومرحلة ثالثة تجهز من التيار المتبقي

يتم ربط مرحلتي تيار مفرط تجهز من تيارات الخط ومرحلة ثالثة تجهز من التيار المتبقي وهذا ما يوضحه الشكل (46-4).



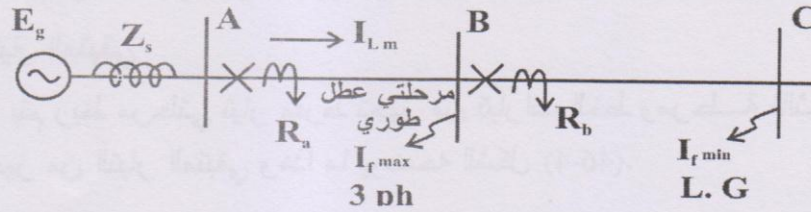
شكل (46-4) : الارتباطات عند حدوث العطل الطوري

والعطل الأرضي لمرحلات التيار المفرط.

1-2-9-4 المعلومات المطلوبة لمرحلتي التيار المفرط عند عطل الطورين

إن المعلومات المطلوبة وكما يوضحها الشكل (47-4) هي:

- 1- أعظم تيار حمل عند موقع المرحلة $I_{Lmax.A}$ لتجنب سوء الأداء عند تيار الحمل.
- 2- أعظم تيار عطل ثلاثي الطور عند العمومي B لاختيار المرحلة عند العمومي A والمرحلة عند العمومي B.
- 3- أقل تيار عطل (L - L) عند العمومي C لتأكيد إسناد كافي للخط B_c عند الأعطال (L - L).



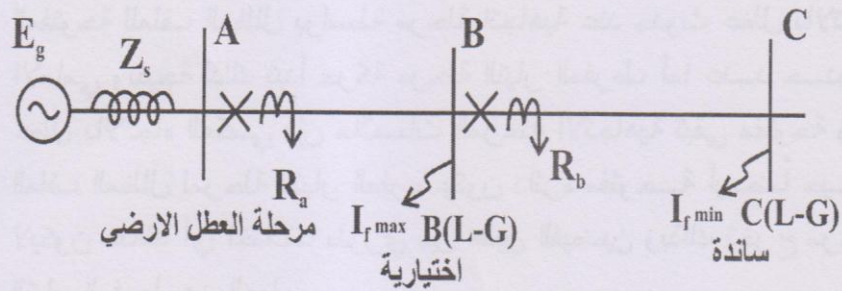
شكل (47-4): المعلومات المطلوبة للعطل الطوري لمرحلات التيار المفرط

2-2-9-4 المعلومات المطلوبة لمرحلات التيار المفرط عند العطل الأرضي

خصصت مرحلات أعطال الطور لأداء وكشف سبعة أعطال من الأعطال العشرة بينما خصصت مرحلة عطل الخط- إلى الأرض لأداء وكشف الأعطال الثلاثة المتبقية وكما ذكرنا سابقاً فإن تيار عطل خط الأرضي في نهاية الخط القريب يمكن أن يكون أقل من تيار الحمل التام في موقع المرحلة وهكذا تمنع المرحلة من الإعادة مرة ثانية ويمكن حل هذه المشكلة بعدم جعل قيمة تيار الالتقاط أقل من تيار الحمل التام، وهذا يتم باستعمال التيار المتبقي لتغذية مرحلة التيار المفرط الخاص بالعطل الأرضي. وأحد الفرضيات هي أنه بما أن تيار الحمل متزن في جميع الأطوار الثلاثة فالتيار المتبقي سيهبط إلى الصفر وهذا يسمح لنا باختيار قيمة تيار الالتقاط للمرحلة الخاص بالعطل الأرضي. بحيث يكون صغيراً وكافياً للتحسس بالعطل الأرضي عند نهاية خط الربط، وتيار الإعادة بعد العطل الأرضي يكفي لالتقاط المرحلة وتكون المعلومات المطلوبة هي:

- 1- أعظم تيار حمل تام عند العمومي A غير مطلوب. ربما أن كمية التيار غير المتماثل (أي التيار المتبقي أو تيار التتابع الصفري) مطلوبة لتجنب سوء الأداء في حالة عدم التماثل.

- 2- أقل تيار للعطل الأرضي في العمومي C مطلوب لتوفير إسناد كافي للخط BC وإسناده من العطل الأرضي، حيث يجب وضع مرحلة في A تحمي العمومي C من العطل الأرضي.
- 3- أعظم تيار للعطل الأرضي في العمومي لتوفير اختيار بين المرحلة



شكل (48-4) : المعلومات المطلوبة للعطل الأرضي لمرحلات التيار المفرط

10-4 التنظيم القياسي لعطل الطور والعطل الأرضي

مرحلات التيار المفرط

يكون التنظيم القياسي للمأخذ للمرحلة من (1A إلى 5A) كما يلي:

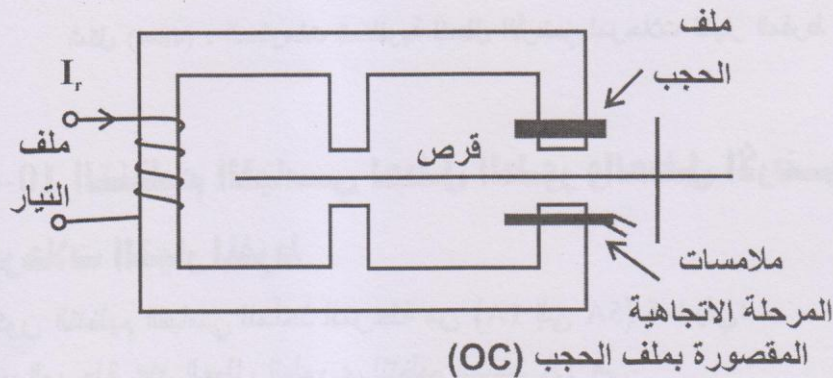
- 1- المرحلة عند العطل الطوري لتنظيم المأخذ 1A هي:
PS = 0.5 , 0.75, 1.0, 1.25 and 2.0A
- 2- المرحلة عند العطل الطوري لتنظيم المأخذ 5A هي:
PS = 2.5 , 3.75, 5.0, 6.25 and 10.0A
- 3- مضاعف تنظيم الزمن لكلا المرحلتين (بين أقل من 0.1 إلى قيمة عظمى 1.0).

11-4 مراحل الإشراف ذات السيطرة الاتجاهية

هنالك طريقتان لتوجيه مرحلة التيار البسيطة هي:

1-11-4 مرحلة التيار المفرط ذات السيطرة الاتجاهية

تحتوي مرحلة التيار المفرط على ملف مظلل إضافة إلى حلقة دائرة القصر المظللة، وهذا ما يوضحه الشكل (4-49)، حيث تغلق الملامسات المفتوحة للملف المظلل بواسطة مرحلة اتجاهية عند حدوث عطل بالاتجاه الأمامي ونتيجة لذلك تبدأ حركة مرحلة التيار المفرط، أما عند حدوث عطل بالاتجاه العكسي فإن ملامسات المرحلة الاتجاهية تبقى مفتوحة وأن الملف المظلل لمرحلة التيار المفرط يكون دائرة مفتوحة أيضاً حيث لا يكون هنالك أي اختلاف طوري بين هذين الفيضين وبذلك تخرج مرحلة التيار المفرط عن العمل.

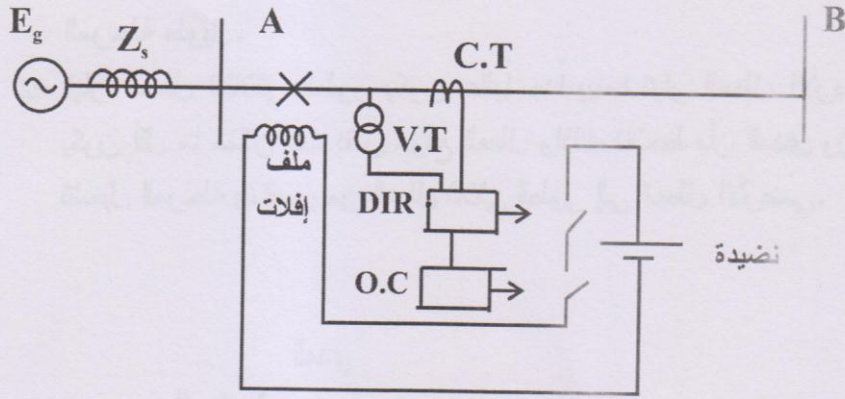


شكل (4-49): مرحلة التيار المفرط ذات السيطرة الاتجاهية

2-11-4 مرحلة التيار المفرط ذات الإشراف الاتجاهي

ترتبط ملامسات إشارة الإفلات لمرحلة التيار المفرط والمرحلة الاتجاهية على التوالي وهذا ما يوضحه الشكل (4-50) الذي يؤكد حدوث حالة الإفلات فقط، عندما يكون العطل بالاتجاه الأمامي، وقيمة تيار مرحلة التيار المفرط يتجاوز قيمة تيار الالتقاط، أما عند حدوث العطل

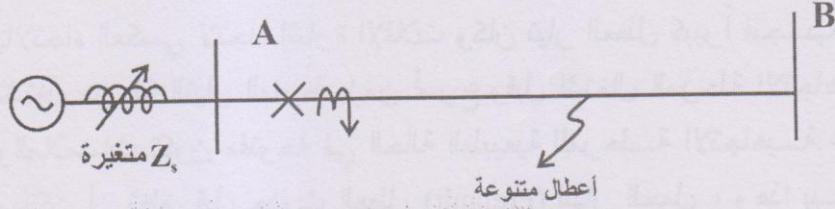
بالاتجاه العكسي لاتجاه إشارة الإفلات وكان تيار العطل كبيراً فيجب أن تشتغل مرحلة التيار المفرط بزمن أسرع وقبل اشتغال المرحلة الاتجاهية. والملامسات تكون مفتوحة في الحالة الطبيعية للمرحلة الاتجاهية NO ويمكن أن تغلق قبل حدوث العطل (Prefault) لتيار الحمل ، وهذا يبين سوء أداء مرحلة التيار المفرط عند حدوث حالة العطل العكسي.



شكل (4-50): مرحلة التيار المفرط ذات الإشراف الاتجاهي

12-4 محددات المرحلات

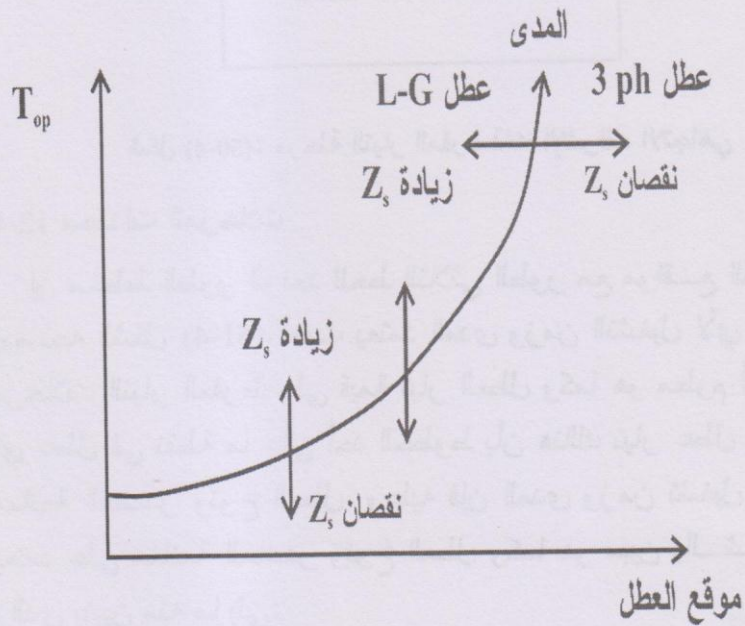
إن مخطط الطور الواحد للخط الثلاثي الطور مع مواقع المرحلات يوضحه الشكل (4-51)، حيث يعتمد المدى وزمن التشغيل لأي نوع من مرحلات التيار المفرط على قيمة تيار العطل وكما هو معلوم أيضاً بأن أي عطل في نقطة ما على أحد الخطوط بأن هنالك تيار عطل يعتمد على ممانعة المصدر ونوع العطل. وعليه فإن المدى وزمن تشغيل المرحلة يعتمد على ممانعة المصدر ونوع العطل وكما هو مبين بالشكل (4-52) والذي يبين منه ما يلي:



شكل (4-51): مخطط الطور الواحد للخط ثلاثي الطور

1- المصدر والممانعة الأعلى له تيار عطل واطئ ومدى وزمن تشغيل المرحلة طويل.

2- تيار العطل الثلاثي الطور يكون عالياً جداً بينما تيار العطل الأرضي يكون أقل ما ممكن عند نفس موقع العطل ولذلك نلاحظ بأن المدى وزمن تشغيل المرحلة يتناقص من العطل ثلاثي الطور إلى العطل الأرضي.



شكل (4-52): المدى وزمن التشغيل لمرحلات التيار المفرط في الخط ثلاثي الطور

13-4 الأسئلة

1. علل ما يأتي:
 - أ- الضعف الأساسي في مرحلة التيار المفرط ذات الزمن المحدد هي عند حدوث عطل ثقيل (عطل قريب من المصدر) حيث تكون الاستجابة بطيئة.
 - ب- مراحل التيار المفرط ذات الزمن العكسي (ITOC) تكون أسرع من مراحل التيار المفرط ذات الزمن المحدد (DTOC).
 - ج- عندما تكون نسبة ممانعة المصدر إلى الخط (Z_S/Z_L) (نسبة ممانعة المنظومة)، كبيرة فإن الخط يدعى بالخط القصير. وعندما تكون هذه النسبة صغيرة فإن الخط يصنف ضمن الخطوط الطويلة.
 - د- عند الخطوط القصيرة يفضل استخدام مرحلة (DTOC) وعند الخطوط الطويلة يفضل استخدام (IDMT).
 - هـ- يمكن تحسين سرعة مرحلة OC عند الربط وبتنظيم عالي بين مرحلتي DTOC و IDMT.
 - و- تؤثر مراحل السرعة العالية عند الحالة العابرة للعطل بينما لا تؤثر مراحل السرعة الواطئة بذلك.
2. لماذا تسمى مرحلة OC اللحظية بمرحلة التنظيم العالي. ولماذا تصل هذه المرحلة إلى حالة بعد المدى عند العطل مع حالة DC Offset أو الحالة العابرة؟
3. ما هو واجب مضاعف تنظيم الزمن في المرحلة؟
4. ما هو واجب منظم المأخذ في المرحلة؟
 - أ- ماذا نعني بمضاعف تنظيم المأخذ؟
 - ب- ماذا تعني فترة زمن الاختيار؟
5. افرض أن هنالك ثلاث مراحل تيار مفرط لحماية خط نقل ثلاثي الطور من الأعطال العشرة. ما هي المعلومات المطلوبة لتنظيم هذه المراحل ولماذا؟ علماً بأن تغذية الخط تكون من تيارات الخط؟
 - أ- ما هي المحددات عند حدوث عطل أرضي له ممانعة عالية؟
 - ب- وما هي المعالجات الضرورية لهذه المحددات؟

6. مرحلة تيار مفرط لعطل أرضي يتغذى من التيار المتبقي بواسطة ثانوي محولة التيار. ما هي المعلومات المطلوبة للتنظيم؟

7. أثبت بأن المدى وزمن التشغيل لمرحلات التيار المفرط تعتمد على ممانعة المصدر ونوع العطل.

ثانوي محولة التيار. ما هي المعلومات المطلوبة للتنظيم؟

7. أثبت بأن المدى وزمن التشغيل لمرحلات التيار المفرط تعتمد على ممانعة المصدر ونوع العطل.

8. ما هي ترابطات 30° , 60° , 90° للمرحلات الاتجاهية؟ حدد عند الطور A للمرحلة الاتجاهية التيار والفولتية في هذه الترابطات.

9. ما هو عزم الزاوية الأعظم للخط ، إذا كان تيار المرحلة يتطابق مع MTA للخط ، ما هو العزم وما هي العلاقة بين زاوية ممانعة ملف الفولتية و MTA؟

10. في مراحل الحث القذحية أثبت بأنه

$$\text{Torque} = |V_r| |I_r| \cos(\tau - \theta)$$

حد τ و θ .

11. من الشكل (4-53) ، يوضح مرحلة تيار مفرد له المواصفات التالية:

CT ratio = 100/5A, PS = 5.0 A, TMS = 0.5.

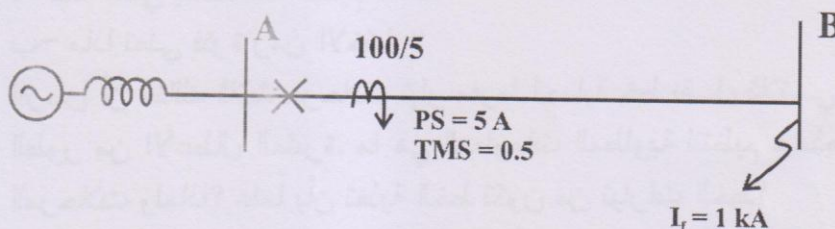
Fault current = 1000 A

خصائص زمن التشغيل مع مضاعف تنظيم المأخذ للمرحلة يوضحها

الجدول (2-4) و $TMS = 1.0$. أحسب زمن التشغيل؟

جدول (2-4)

PSM	2	3	4	5	10	20
Time	10	6.23	4.49	4.3	3	2.2



شکل (4-53): مثال رقمی

الفصل الخامس

المرحلات الفرقية

الفصل الخامس

المراحلات الفرقية

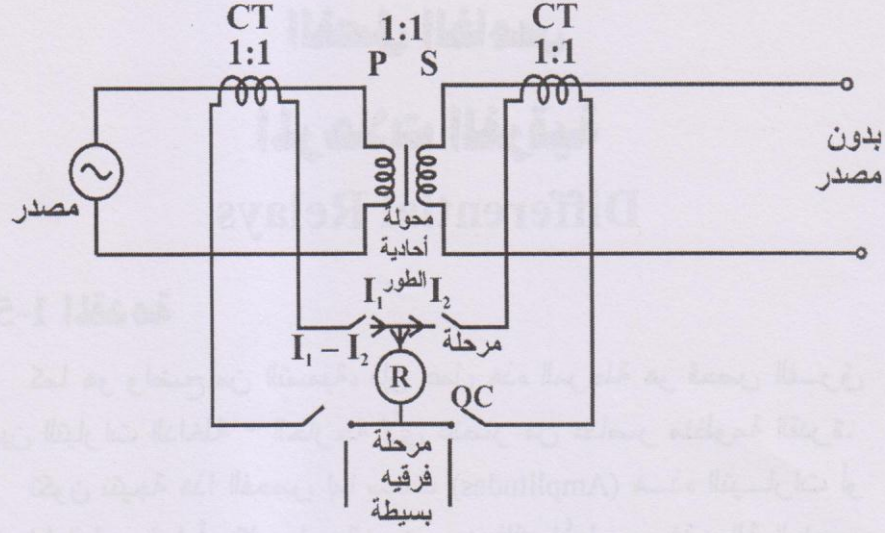
Differential Relays

1-5 المقدمة

كما هو واضح من التسمية، فإن عمل هذه المرحلة هو فحص الفرق بين التيارات الداخلة - الخارجة لأي عنصر من عناصر منظومة القدرة. تكون نتيجة هذا الفحص إما ساعات (Amplitudes) هذه التيارات أو زوايا الطور لها أو كليهما. والغرض من ذلك لأجل معرفة حالة العنصر الذي تحت الفحص هل يعمل تحت ظروف تشغيل سليمة أم لا. ففي حالة حدوث فرق ملحوظ يعتبر عندئذ هذا العنصر واقع تحت عطل معين ويتوجب فصل قاطع الدورة المسؤول عن تغذية هذا العنصر عن بقية أجزاء المنظومة السليمة. تعتبر الحماية الفرقية حماية وحدوية ولا يمكن ان تكون حماية سائدة.

2-5 نظام الحماية الفرقية البسيط Simple Differential Scheme

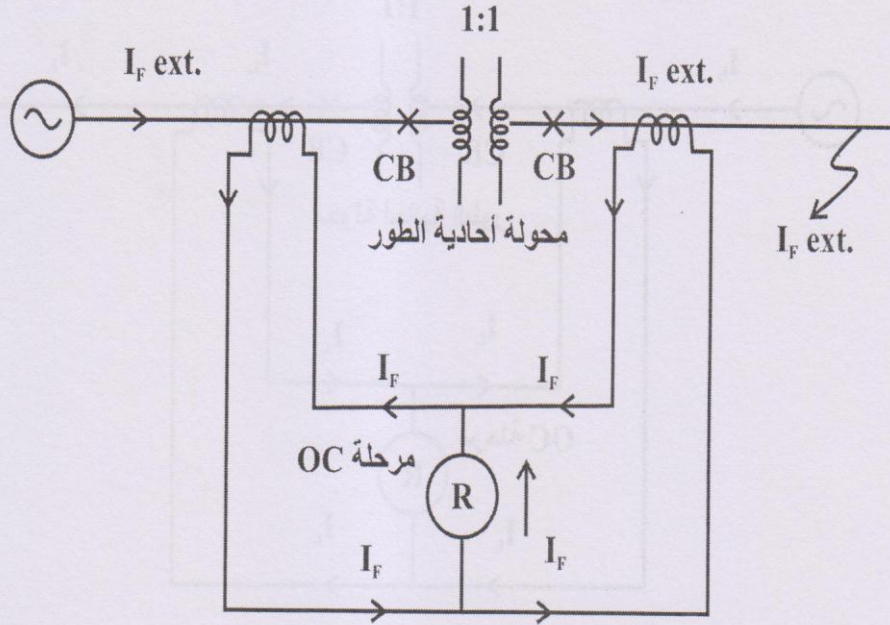
يمكن توضيح المبدأ الأساسي لنظام الحماية الفرقية البسيط بافتراض أنه لدينا محولة قدرة أحادية الطور بنسبة تحويل (1:1) ولها مصدر تغذية من جهة واحدة فقط. وبالرجوع إلى الشكل (1-5) وملاحظة إشارة القطبية على محولات القدرة والتيار. وكنا قد فرضنا أن نسبة التحويل لمحول قدرة هي (1:1) فعلية نحتاج إلى محولة تيار بنسبة تحويل (1:1) أيضاً في كلا النهايتين.



شكل (1-5): نظام الحماية الفرقية البسيط

1-2-5 الأداء عند تيار الحمل Behavior on Load Current

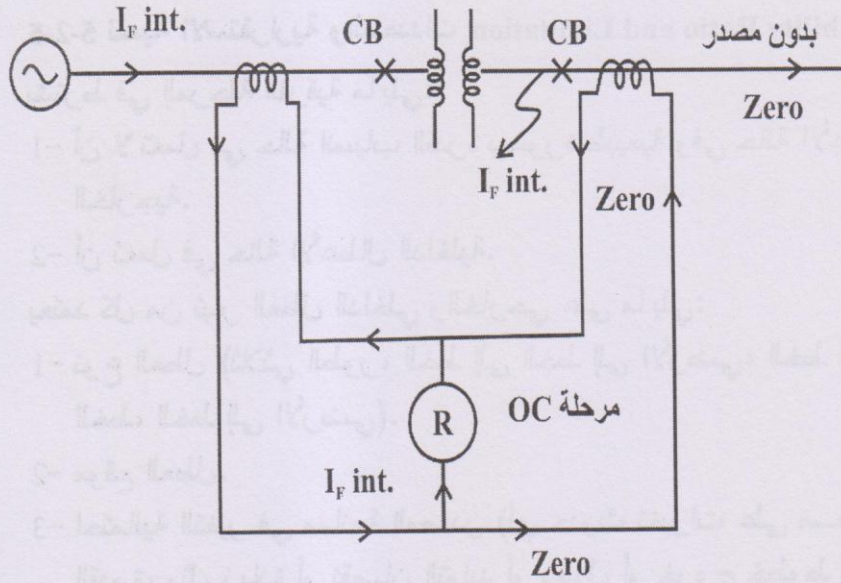
يبين الشكل (2-5) مجموعة الأجزاء التي تمثل المرحلة الفرقية والمكونة من محولتي تيار ومرحلة التيار المفرط (Over Current Relay) حيث تربط تلامسات مرحلة التيار المفرط التي تكون مفتوحة في حالتها الطبيعية إلى دائرة الإقلاط لقواطع الدورة قبل وبعد المحولة. من ملاحظة الشكل نلاحظ أن التيارات الثانوية لمحولات التيار، عند الظروف الطبيعية لسريان القدرة سوف تدور فقط ضمن مسار محولات التيار فقط ولا يوجد أي تيار يدخل إلى مرحلة التيار المفرط وبالتالي فإن هذه المرحلة لا تعمل وتبقى قواطع الدورة بالعمل وهذا يعني أن المحولة تعمل تحت ظروف سليمة، ويدعى مثل هذا النظام من الحماية الفرقية ميرزبرايز Merz-Brize.



شكل (3-5): الأداء بوجود عطل خارجي

3-2-5 الأداء بوجود عطل داخلي : Behavior on Internal Fault

يوضح الشكل (4-5) وقوع عطل في المحولة ، حيث يتم تغذية تيار العطل من جهة المصدر فقط. يرمز لتيار العطل الداخلي ($I_{f.int}$) حيث تقوم محولة التيار من جهة المصدر بتمرير تيار العطل في حين لا يمر تيار العطل في محولة التيار من الجهة الأخرى. نلاحظ أن تيار العطل يدخل إلى مرحلة التيار المفرط مما يؤدي إلى اشتغال المرحلة وفصل المحولة عن المصدر. وهذا هو التشغيل الصحيح للمرحلة الفرقية.

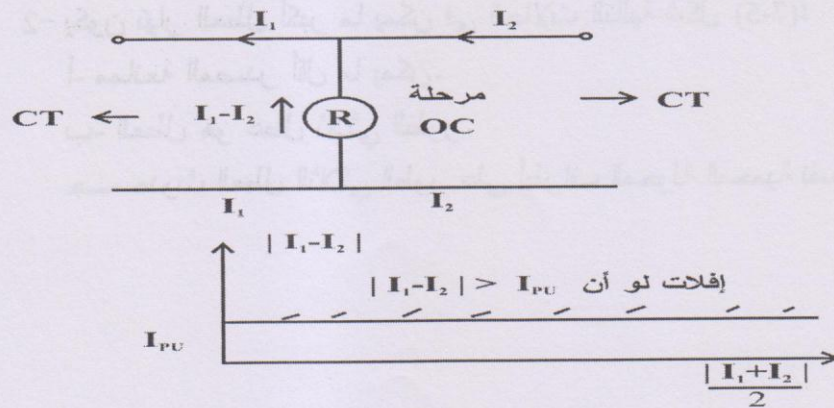


شكل (4-5): الأداء بوجود عطل داخلي

4-2-5 خواص المرحلة الفرقية

Relay Characteristics on $(I_1+I_2/2)$ Versus (I_1-I_2)

يوضح الشكل (5-5) بأنه مهما تكون قيمة التيار $(I_1+I_2/2)$ فإن المرحلة تعمل، وبالتالي فإن خواص المرحلة تتمثل بخط أفقي، حيث تعمل المرحلة عندما تتجاوز قيمة التيار الداخل فيها (I_1-I_2) قيمة تيار الالتقاط I_{PU} .



شكل (5-5) : خواص المرحلة الفرقية

5-2-5 نسبة الاستقرار والمحددات Stability Ratio and Limitation

يشترط في المرحلة الفرقية ما يلي:

1- أن لا تعمل في حالة انسياب القدرة بصورة طبيعية وفي حالة الأعطال الخارجية.

2- أن تعمل في حالة الأعطال الداخلية.

يعتمد كل من تيار العطل الداخلي والخارجي على ما يلي:

1- نوع العطل (ثلاثي الطور، الخط إلى الخط إلى الأرضي، الخط إلى الخط، الخط إلى الأرضي).

2- موقع العطل.

3- احتمالية التغير في ممانعة المصدر (أي حدوث تغيرات على مصدر القدرة، مثل زيادة أو نقصان التوليد أو دخول أو خروج خطوط بعد المحولة المحمية).

كما يجب الانتباه إلى ما يلي:

1- يكون تيار العطل أقل ما يمكن في الحالات التالية شكل (5-6):

أ- ممانعة المصدر تكون أكبر ما يمكن.

ب- العطل هو عطل خط إلى الأرضي.

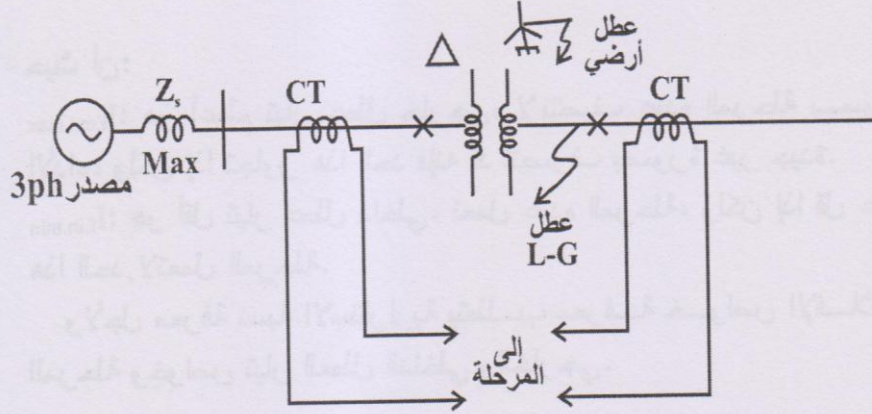
ج- عطل الخط إلى الأرضي يكون إلى الخط الأرضي المحايد.

2- يكون تيار العطل أكبر ما يمكن في الحالات التالية شكل (5-7):

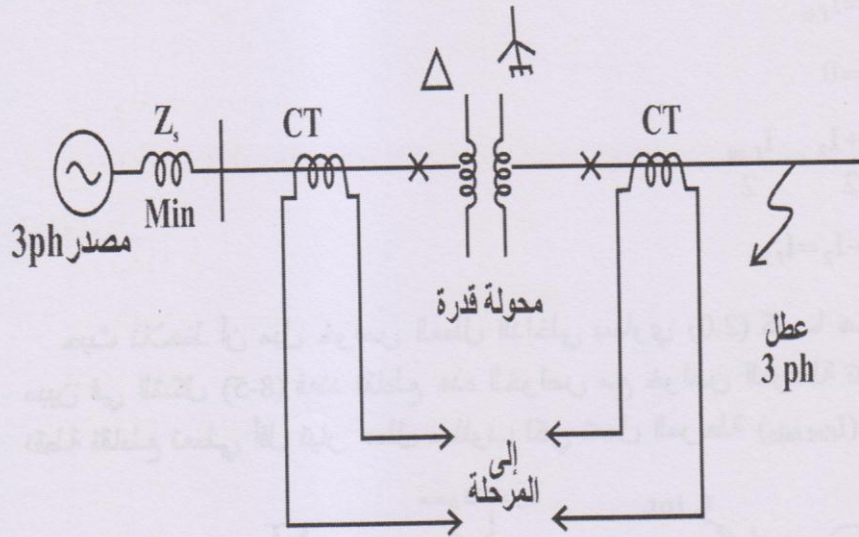
أ- ممانعة المصدر أقل ما يمكن.

ب- العطل هو عطل ثلاثي الطور.

ج- حدوث العطل الثلاثي الطور على أطراف المحولة المحمية نفسها.



شكل (5-6) : حالات تيار العطل الصغير



شكل (5-7) : حالات تيار العطل الكبير

وعليه يمكن تعريف نسبة الاستقرار (S) لأي نظام حماية فرقية:

$$S = \frac{I_{f.ext.max.} \text{ (No Malufuncion)}}{I_{f.in.min.} \text{ (Relay Operates)}}$$

حيث أن:

$I_{f.ext.max}$: هو أعظم تيار عطل خارجي، لا تتصف عند المرحلة بسوء الأداء، ولكن إذا تجاوز هذا الحد فإنه قد تنصرف بصورة غير جيدة.
 $I_{f.in.min}$: هو أقل تيار عطل داخلي، تعمل عنده المرحلة، ولكن إذا قل عن هذا الحد لاتعمل المرحلة.

ولأجل معرفة نسبة الاستقرارية يتطلب معرفة خواص الإفلات للمرحلة وخواص تيار العطل الداخلي والخارجي.

1-5-2-5 خواص العطل الداخلي Internal Fault Characteristics

يبين الشكل (8-5) عطل داخلي حيث أن:

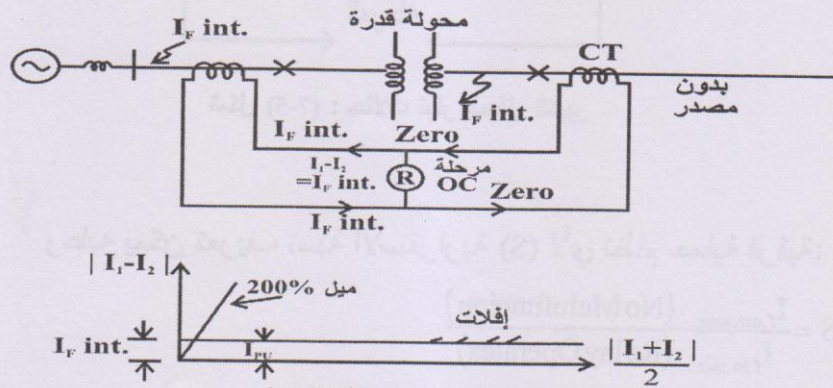
$$I_1 = I_{f.in}$$

$$I_2 = 0$$

$$\frac{I_1 + I_2}{2} = \frac{I_{f.int}}{2}$$

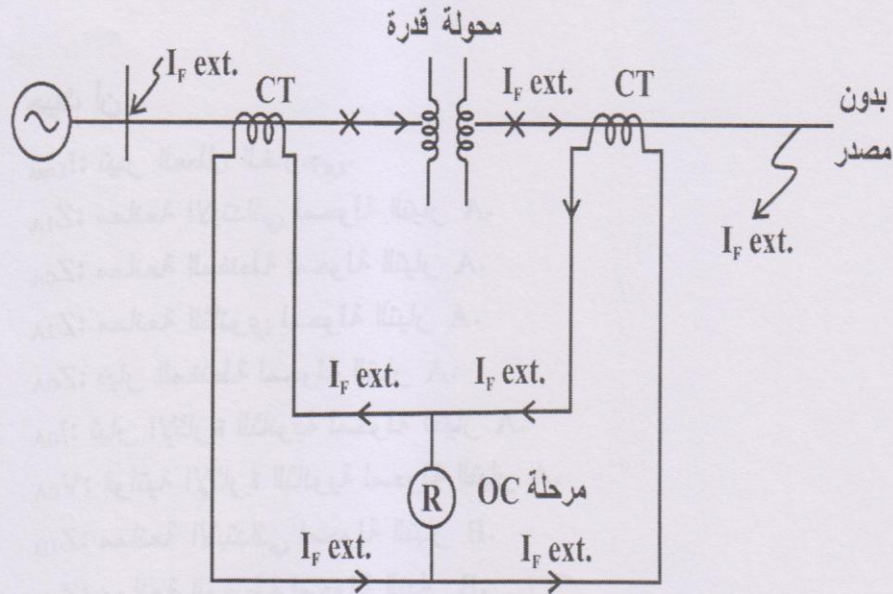
$$I_1 - I_2 = I_{f.in}$$

حيث نلاحظ أن ميل خواص العطل الداخلي يساوي (2.0) كما هو مبين في الشكل (8-5) فعند تقاطع هذه الخواص مع خواص المرحلة تنتج نقطة تقاطع تعطي أقل تيار عطل مطلوب لكي تعمل المرحلة ($I_{f.int.min}$).



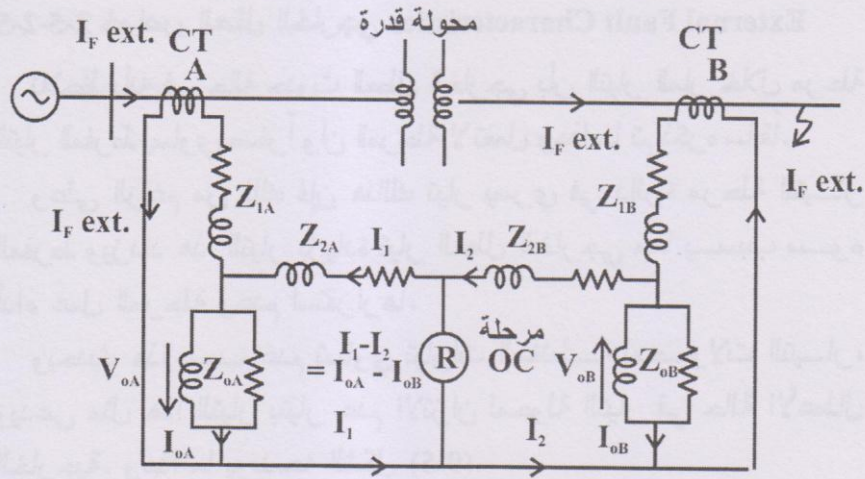
2-5-2-5 External Fault Characteristics الخواص العطل الخارجي

نلاحظ بأنه في حالة حدوث العطل الخارجي بأن التيار المار خلال مرحلة التيار المفرط يساوي صفراً وأن المرحلة لا تعمل وهذا ما تم ذكره سابقاً. وعلى الرغم من ذلك فإن هنالك تيار يسري في دائرة مرحلة التيار المفرط ويزداد هذا التيار بزيادة تيار العطل الخارجي مما يسبب سوء أداء عمل المرحلة وعدم استقرارها. ويحدث هذا بسبب عدم تساوي تيارات المغنطة لمحولات التيار، ويدعى مثل هذا التيار بتيار عدم الاتزان لمحولة التيار في حالة الأعطال الخارجية. وهذا ما يوضحه الشكل (9-5).



شكل (9-5): العطل الخارجي

يوضح الشكل (10-5) المرحلة الفرقية حول محولة القدرة مع الدائرة المكافئة لمحولات التيار ومرحلة التيار المفرط.



شكل (10-5): المرحلة الفرقية مع الدائرة المكافئة لمحولات التيار

حيث أن:

- $I_{f \text{ ext.}}$: تيار العطل الخارجي.
- Z_{1A} : ممانعة الابتدائي لمحولة التيار A.
- Z_{0A} : ممانعة المغنطة لمحولة التيار A.
- Z_{2A} : ممانعة الثانوي لمحولة التيار A.
- Z_{0A} : تيار المغنطة لمحولة التيار A.
- I_{0A} : تيار الإثارة الثانوية لمحولة التيار A.
- V_{0A} : فولتية الإثارة الثانوية لمحولة التيار A.
- Z_{1B} : ممانعة الابتدائي لمحولة التيار B.
- Z_{0B} : ممانعة المغنطة لمحولة التيار B.
- Z_{2B} : ممانعة الثانوي لمحولة التيار B.
- I_{0B} : تيار المغنطة لمحولة التيار B.
- Z_{0B} : ممانعة المغنطة لمحولة التيار B.
- R_{lead} : ممانعة أطراف محولات التيار.

حيث نلاحظ من خلال الشكل (5-10) بأن التيار المار خلال مرحلة التيار المفرط لا يساوي صفر ولكن يساوي قيمة الفرق بين تيارى المغنطة لمحولتي التيار. وهكذا يحدث سوء الأداء في عمل المرحلة وكما يلي:

$$I_1 - I_2 = I_{0B} - I_{0A} > I_{PU}$$

وهي حالة غير مرغوب فيها ويجب تجنبها.

إن تيارات المغنطة لمحولات التيار هي دالة لفولتية الإثارة الثانوية لمحولات التيار ويمكن قراءتها من خواص المغنطة لثانوي محولة التيار. حيث أن فولتية الإثارة الثانوية لمحولات التيار، بإهمال تيارات المغنطة هي:

$$V_{0A} = I_{f.ext} (Z_{2A} + R_{lead})$$

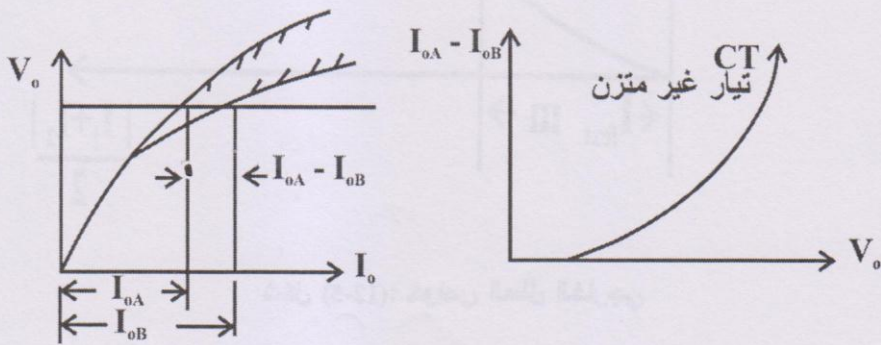
$$V_{0B} = I_{f.ext} (Z_{2B} + R_{lead})$$

وهذا ما يوضحه الشكل (5-5).

ولأجل التبسيط نفرض بأن محولات التيار متشابهة وعليه فإنه:

$$V_{0A} = V_{0B}$$

إن خواص المغنطة غير الخطية لمحولات التيار يوضحه الشكل (5-11) حيث نلاحظ أن المنطقة المضللة تمثل الفرق بين تيارات المغنطة ($I_{0B} - I_{0A}$) حيث يزداد هذا الفرق بزيادة فولتية الإثارة (أي بزيادة تيار العطل الخارجي)، وهذا الفرق ناتج بصورة أساسية من الفرق في مستويات التشبع لمحولات التيار. وبالرجوع إلى الشكل (5-10) فإنه:



شكل (5-11): خواص المغنطة لمحولات التيار

$$I_1 = I_{f.ext} - I_{0A}$$

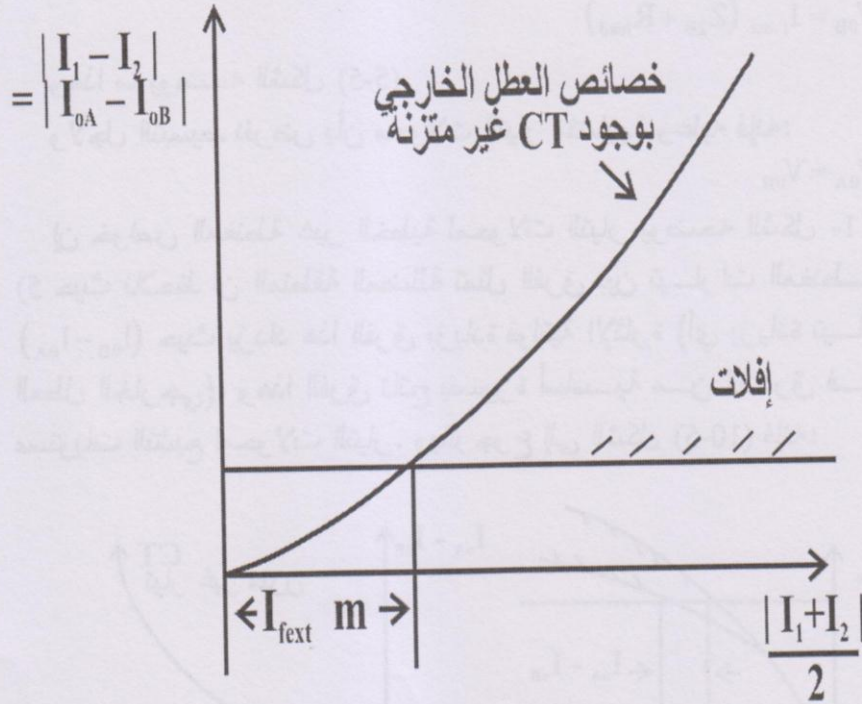
$$I_2 = I_{f.ext} - I_{0B}$$

وعليه:

$$\frac{I_1 + I_2}{2} = I_{f.ext} - \frac{I_{0B} + I_{0A}}{2} \approx I_{f.ext}$$

$$I_1 - I_2 = I_{0A} - I_{0B} = \text{CT unbalance current}$$

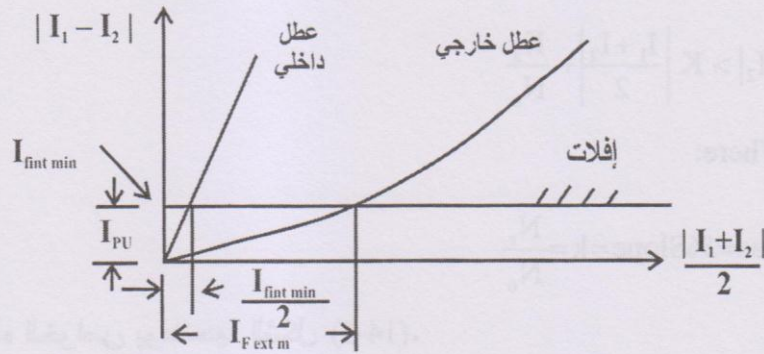
ويوضح الشكل (12-5) خواص العطل الخارجي مع خواص الإفلات للمرحلة، حيث تعطي نقطة التقاطع أعظم تيار عطل خارجي ($I_{f.ext.max}$) بعده يحدث سوء الأداء في عمل المرحلة.



شكل (12-5): خواص العطل الخارجي

3-5-2-5 نسبة الاستقرار والمحددات Stability Ratio and Limitations

باختصار فإن خصائص إفلات المرحلة، وخصائص العطل الداخلي وخصائص العطل الخارجي، وتيار العطل الداخلي الصغير والكبير عندما تعمل المرحلة بصورة مقنعة يوضحها الشكل (13-5).



الشكل (13-5): خصائص المرحلة والعطل الداخلي والخارجي ونسبة الاستقرار

يجب أن تكون نسبة الاستقرار كحد أعلى ضمن حدود المصمم، حيث أن القيم المرغوبة تتغير من 100 إلى 300 ولكن للمرحلة الفرقية البسيطة تكون نسبة الاستقرار ضعيفة وعليه تم تطوير مرحلة أخرى تدعى المرحلة الفرقية المنحازة أو ذات النسبة المئوية (Biased or Percentage Differential Relay).

3-5 المرحلة الفرقية المنحازة Biased Differential Relay

إن المرحلة الفرقية البسيطة غير قادرة على التكيف مع الأعطال الخارجية الكبيرة من دون حصول سوء أداء فيها. لذلك ومن أجل تحسين أداء المرحلة تم تحديدها بإضافة ملفات الكبح والتشغيل وتغذية هذه الملفات بتيار العطل الخارجي، حيث يطلق على هذا التقيد الإضافي بانحياز المرحلة.

يبين الشكل (14-5) المرحلة الفرقية المنحازة الذي تحتوي على ملفي كبح وتشغيل. حيث تعمل المرحلة الفرقية عندما تكون قوة ملف التشغيل أكبر من قوة ملف الكبح.

$$|(I_1 - I_2) N_o|^2 > \frac{(I_1 + I_2) N_r}{2} + K_s$$

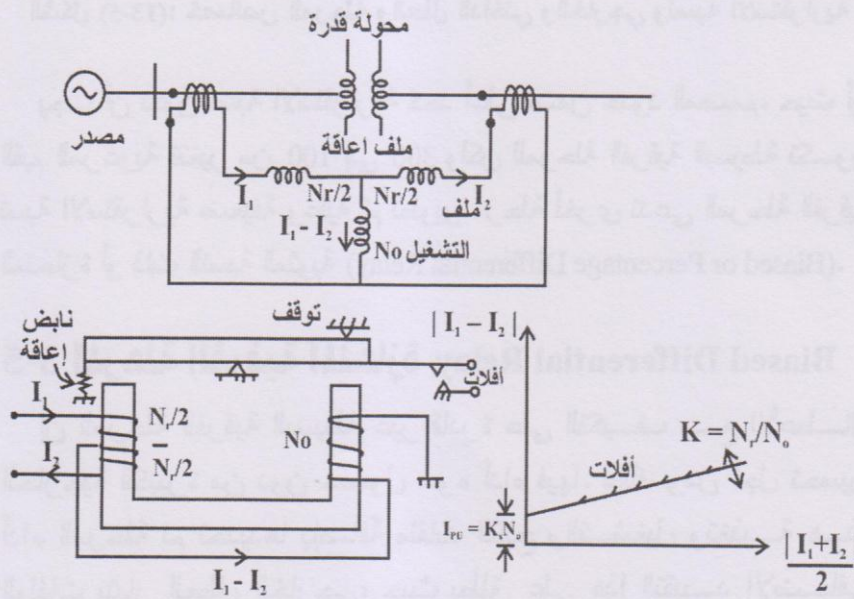
Or

$$|I_1 - I_2| > K \left| \frac{I_1 + I_2}{2} \right| + \frac{K_s}{N_o}$$

Where:

$$\% \text{Bias} = \% \text{Slope} = k = \frac{N_r}{N_o}$$

وهذه الخواص يوضحها الشكل (14-5).

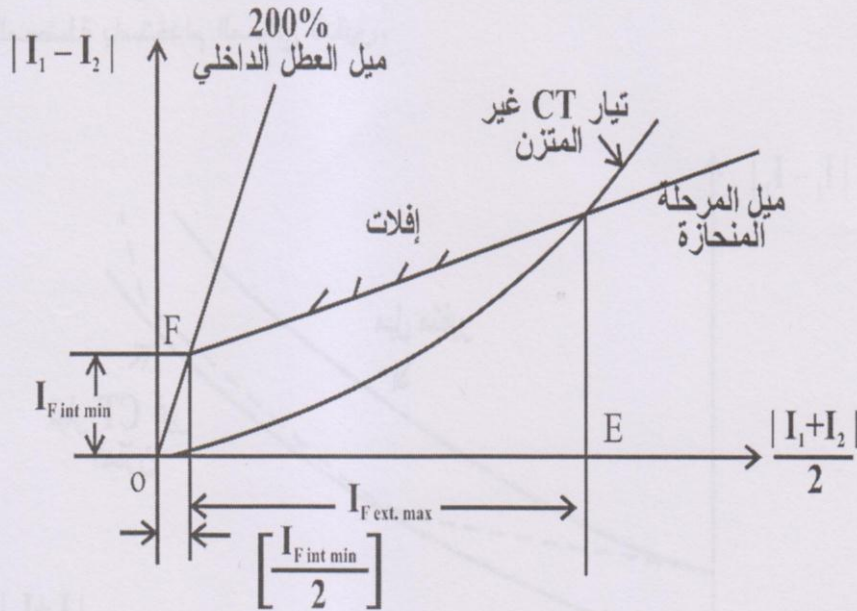


شكل (14-5): خواص المرحلة الفرقية المنحازة

1-3-5 نسبة الاستقرار Stability Ratio

في هذا النوع من المرحلات الفرقية تستطيع المرحلة التكيف مع الزيادة في أعظم تيار عطل خارجي من دون أن يحصل سوء أداء للمرحلة كما هو موضح بالشكل (15-5)، حيث نلاحظ بأن أقل تيار عطل داخلي يعمل على تشغيل المرحلة بصورة ناجحة لا يزداد كثيراً.

$$\text{Stability Ratio} = \frac{I_{f, \text{ext max}}}{I_{f, \text{int min}}} = \frac{OE}{OF} \rightarrow \text{Large}$$



شكل (15-5): زيادة نسبة الاستقرار للمرحلة الفرقية المنحازة

حيث نلاحظ بأن نسبة الاستقرار تزداد بازدياد الميل. وعليه فإن المرحلة الفرقية المنحازة تعتبر مستقرة جداً خلال الأعطال الخارجية وهي تستخدم بصورة عامة لحماية المولدات والمحولات.

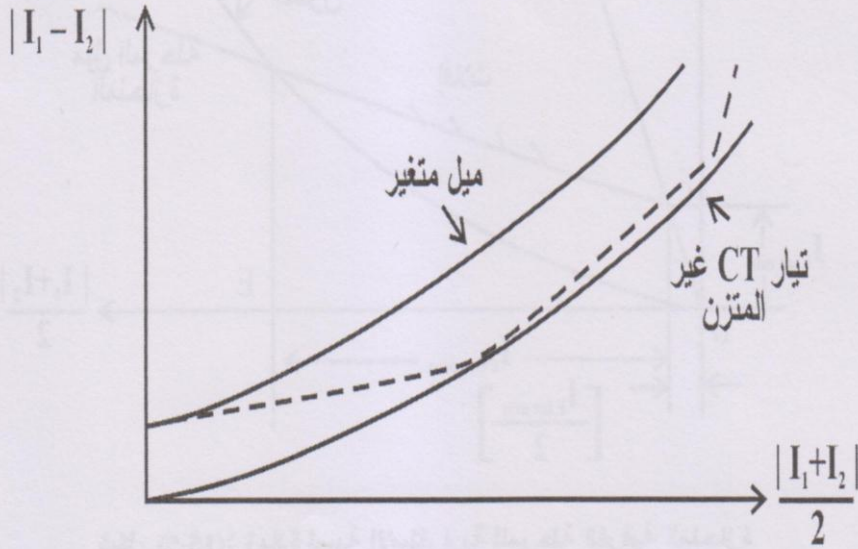
4-5 المرحلة الفرقية الخطية ذات الميل المتغير

Variable-Slope or Piecewise Linear Differential

نظرياً، فإن المرحلة الفرقية المنحازة المثالية يجب أن تمتلك خواص إفلات خطية بالإضافة إلى تيار محولات التيار الغير متزنة (خواص العطل الخارجي).

حيث أن هذا النوع من المرحلات يمتلك ميل متغير، تكون فيه نسبة الاستقرارية مالا نهاية. وكما هو موضح بالشكل (16-5).

ولم تجر أية محاولات لإنتاج مثل هذا النوع من المرحلات بسبب التغييرات في تيار عدم الاتزان لمحولات التيار. وربما يمكن حل هذه المعضلة باستخدام المعالج الدقيق.



شكل (16-5): المرحلة الفرقية الخطية ذات الميل المتغير

5-5 الأسئلة

- 1- برهن بأن التيار غير المتزن لمحولة التيار عند العطل يساوي الاختلاف بين تيارات المغنطة لدخل وخرج محولات التيار؟
- 2- في النظام الرقمي يكون دخل وخرج محولات التيار لها فولتية استثارة ثانوية متشابهة. إن محولات التيار عند الدائرة المفتوحة لها خصائص مخالفة (V_o and I_o). ارسم الخصائص وبرهن بأن فولتية الاستثارة الثانوية تزداد ويزداد بسرعة أيضاً التيار غير المتزن؟
- 3- عند العطل الداخلي عندما تكون التغذية من جهة واحدة، برهن بأن الميل يساوي 200% على المخطط $(I_2 + I_1)/2$ و $(I_1 - I_2)$.
- 4- ارسم خصائص المرحلة الفرقية المنحازة بنسبة 25%، وخصائص العطل الداخلي وخصائص محولات التيار غير المتزنة التقريبية (عند حدوث العطل). أوجد نسبة الاستقرار.
- 5- علل ضرورة التغيير في الميل للمرحلة الفرقية مع النسبة إلى التغييرات في الميل.
- 6- فسر بالاستعانة بالمخططات - الحماية الفرقية المنحازة.
- 7- محولة قدرة 30 MVA مربوطة بطريقة النجمة- المثلثية (33/132) KV (Δ -Y). ارسم مخطط لبيان منظومة حماية التيار الدوار، اقترح نسبة التحويل لمحولات التيار، على اعتبار أن التيار المقنن للفائف الثانوي لكل من هذه المحولات 1.0 A.

الفصل السادس

مرحلات حماية المسافة

الفصل السادس

مراحل حماية المسافة

Distance Protection Relays

1-6 المقدمة

تصنف حماية المسافة كحماية رئيسية لخطوط النقل، وهي تستند على قياس ممانعة الخط بشكل مستمر، فهي تتحسس بوجود العطل عند حدوث اختلاف في ممانعة خط النقل، وعليه تقوم بإصدار إشارة الإقلاط. ونظراً لأن مراحل التيار المفرط لخطوط النقل ذات الفولتيات العالية لا تلبي متطلبات العمل، فقد دعت الحاجة إلى استخدام المراحل المعتمدة على المسافة.

إن مراحل التيار المفرط تكون بطيئة الاستجابة لحماية خطوط النقل حيث أنه ليست سرعة المرحلة مطلوبة هنا ولكن الاختيارية مهمة، حيث أنه إذا زادت فولتية الخط فإن الاختيارية بالإضافة إلى سرعة المرحلة تعتبر من أهم العناصر. وهذا لا يمكن تحقيقه بوجود مراحل التيار المفرط ذات السرعة العالية.

ونتيجة للتغيرات التي تحدث في ممانعة المصدر وتعدد أنواع الأعطال فإن اختلافاً يحدث في مدى التشغيل وزمنه بالنسبة لمراحل التيار المفرط، وهذا التحديد يقود إلى تصميم مرحلة جديدة يكون مدى التشغيل والزمن فيهما لا يعتمدان على ممانعة المصدر وتسمى هذه المرحلة بمرحلة المسافة.

2-6 مبادئ الحماية المعتمدة على المسافة

إن المرحلات المعتمدة على المسافة تستخدم إدخالين خلافاً لمرحلة التيار المفرط التي تستخدم إدخال واحد فقط. إن مرحلة المسافة المثالية لا تعتمد على القيمة الحقيقية لهذين الإدخالين وهما الفولتية والتيار ولكن تعتمد على النسبة أو زاوية الطور بينهما.

حيث يستند عمل مرحلة المسافة على مقارنة مقدار التيار بمقدار الفولتية المقاسين في موقع المرحلة. فعند قياس هذين المقدارين ، يتم الحصول على قياس ممانعة الخط بين موقع المرحلة وموقع العطل. يحصل قياس الممانعة Z_L في موقع المرحلة:

$$Z_L = \frac{V_L}{I_L}$$

على اعتبار أن V_L ، I_L هما فولتية والتيار الخط ، بينما الممانعة المقاسة عند موقع حدوث العطل هي:

$$Z_F = \frac{V_F}{I_F}$$

حيث أن:

V_F و I_F هما الفولتية والتيار عند موقع العطل.

فإذا فرضنا أن Z_R هي ممانعة تنظيم المرحلة Relay Setting Impedance وأنها نظمت لتساوي ممانعة الخط Z_L فإن المرحلة تعمل عندما تكون العلاقة كما يلي:

$$|Z_R| = |Z_L|$$

$$Z_R \geq \left| \frac{V_L}{I_L} \right|$$

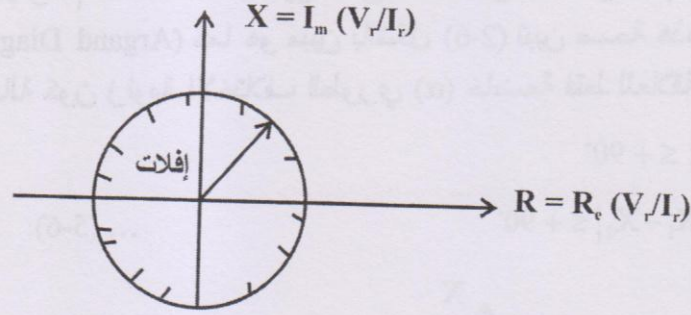
أو أن:

$$|I_L Z_R| \geq |V_L| \quad \dots (1-6)$$

تصاغ هذه العلاقة بطريقة أفضل لتسهيل التحليلات الرياضية باستخدام الإشارتين الكهربائيتين ($S_o = I_L Z_R$) و ($S_R = V_L$) فتصبح على النحو الآتي:

$$|S_o| \geq |S_R| \quad \dots (2-6)$$

وعند رسم الخاصية $I_L Z_R \geq |V_L|$ على مخطط (R-X) يتبين بأن هذه العلاقة هي عبارة عن مسار هندسي للدائرة حسبما هو موضح بالشكل (1-6).



شكل (1-6): خاصية الممانعة على مخطط (R-X)

يفضل استخدام مرحلة المقارن بزوايا الطور على مرحلة مقارن السعة وذلك لأن الأخير يكون فيه كل من التيار والفولتية حاوياً على مقادير عابرة أثناء حدوث العطل. يكون الاختلاف الطوري بين الإشارتين (S_R) و (S_o)، عند استخدام مرحلة مقارن زوايا الطور، وفقاً للتحليل الرياضي كما يلي:

$$S_o = S_1 + S_2$$

$$S_R = S_1 - S_2$$

وكذلك فإن:

$$S_1 = \frac{S_o + S_R}{2}$$

$$S_2 = \frac{S_o - S_R}{2}$$

وبتطبيق العلاقة (2-6) نحصل:

$$|S_1 + S_2| \geq |S_1 - S_2| \quad \dots (3-6)$$

لنفرض أن:

$$\frac{S_1 \angle X_1}{S_2 \angle X_2} = C \angle \alpha$$

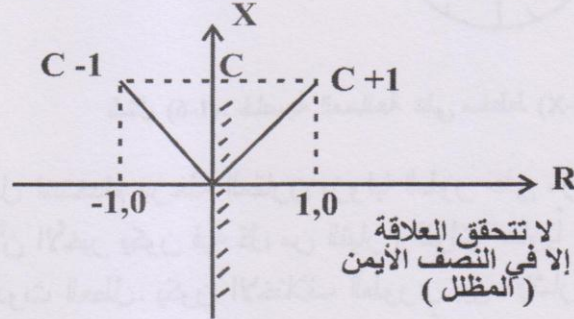
على اعتبار أن (C) هي مقدار مركب لذا عند التعويض في العلاقة (3-6) نحصل:

$$|C + 1| \geq |C - 1| \quad \dots (4-6)$$

عند رسم هذه العلاقة الأخيرة على مخطط أركانيد للأرقام التركيبية (Argand Diagram) كما هو مبين بالشكل (2-6) تبين صحة هذه العلاقة في حالة كون زاوية الاختلاف الطوري (α) خاضعة فقط للعلاقة الآتية:

$$-90^\circ \leq \alpha \leq +90^\circ$$

$$-90^\circ \leq |X_1 - X_2| \leq +90^\circ \quad \dots (5-6)$$



شكل (2-6) : مخطط أركانيد

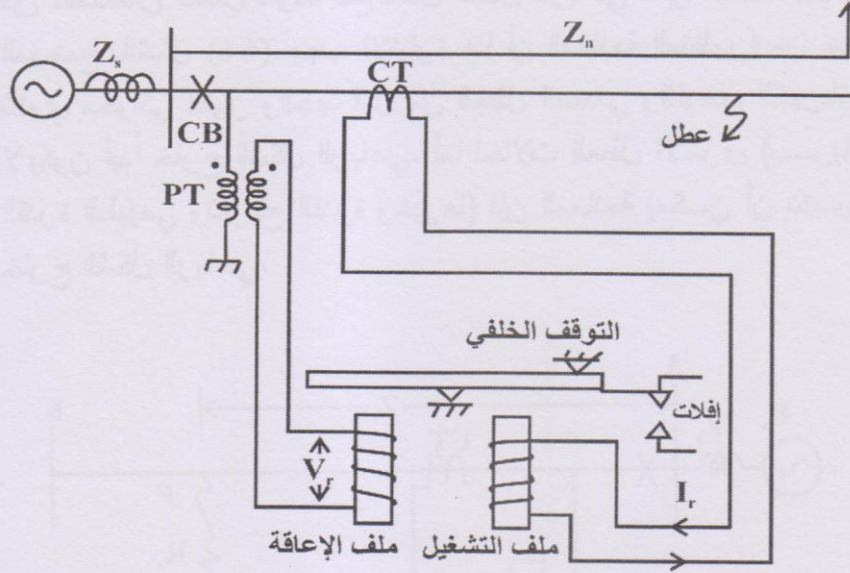
تعد المعادلة (5-6) بمثابة القاعدة الأساسية في بناء جميع أصناف المرحلات المعتمدة على المسافة التي تستند على استخدام مقارن زوايا الطور.

يوضح الشكل (3-6) الربط بين خط النقل (من محولات التيار والجهد) إلى مرحلات الممانعة البسيطة ((Simple Impedance Relay (SIR))، ومميزاتها ويوضح كذلك أبسط شكل لمرحلات الممانعة البسيطة

الكهروميكانيكية اعتماداً على مبدأ العتبة المتزنة، حيث تعمل هذه المرحلة عندما تتجاوز قوة التشغيل، قوة الكبح. فإذا كانت قوة التشغيل تساوي $(K_0 I_r)^2$ وقوة الكبح تساوي $(K_r V_r)^2$ فإن المرحلة تعطي إشارة إفلات عندما:

$$(K_0 I_r)^2 \geq (K_r V_r)^2$$

حيث أن K_0 ، K_r هي ثوابت التناسب وإن للممانعة المنظورة من قبل المرحلة:

$$Z_r = \frac{V_r}{I_r}$$


شكل (3-6): ربط المرحلة بالخط

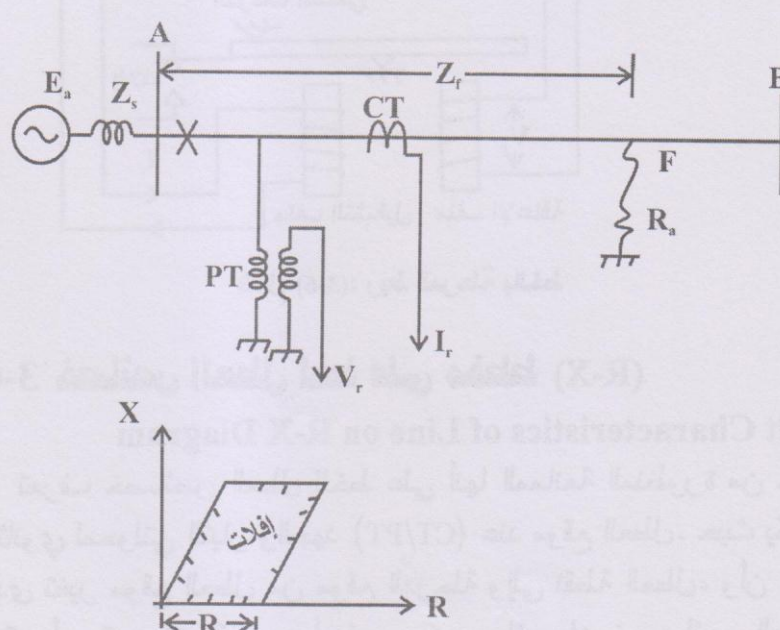
3-6 خصائص العطل لخط على مخطط (R-X)

Fault Characteristics of Line on R-X Diagram

تعرف خصائص العطل للخط على أنها الممانعة المنظورة من جهة الثانوي لمحولتي التيار والجهد (CT/PT) عند موقع العطل. حيث يكون مدى تغير موقع العطل من موقع المرحلة وإلى نقطة العطل، وأن العطل يمكن أن يكون نتيجة معدن أو قوص كهربائي. إن خصائص العطل موضحة على مخطط (R-X) شكل (1-6).

1-3-6 خط مغذى من جهة واحدة Single-End-Feed Line

يوضح الشكل (4-6) خط نقل مغذى من جهة واحدة، واضحاً فيه موقع المرحلة ومحولتي التيار والجهد فضلاً عن موقع العطل، إذا كان العطل نتيجة معدن في النقطة (F)، فإن الممانعة المنظورة من جهة ثانوي محولتي التيار والجهد هي ($Z_r = Z_f$)، أما إذا كان العطل بسبب قوص كهربائي مقاومته R_a ، فإن الممانعة المنظورة تساوي $Z_r = Z_f + R_a$ ، لذلك فإن خصائص العطل سوف تقع داخل الشكل الرباعي على مخطط (R-X) الموضح بالشكل (4-6). يجب الإشارة هنا أن الممانعة المنظورة من جهة ثانوي محولتي التيار والجهد لكل من العطل المعدني والقوص الكهربائي لا يكون أبداً خارج الشكل الرباعي. أما لحالات العطل الأخرى (سريان القدرة الطبيعي وتأرجح القدرة وغيرها) فإن الممانعة يمكن أن تكون خارج الشكل الرباعي.

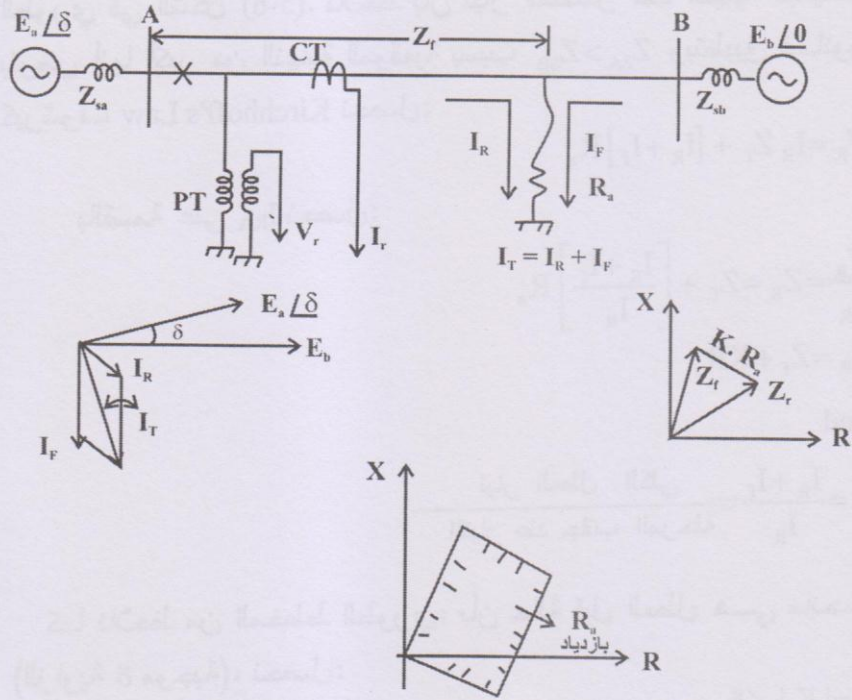


شكل (4-6): خصائص العطل عند التغذية من جهة واحدة

2-3-6 خط مغذي من جهتين لحالة قبل العطل المانحة

Double-End-Feed With Prefault Export

يوضح الشكل (5-6) خط نقل AB مغذي من جهتين ومبيناً مواقع قواطع الدورة والمرحلة. الغاية هنا إيجاد الممانعة المنظورة من جهة الثانوي لمحولاتي التيار والجهد عند حدوث الأعطال المعدنية أو أعطال القوس الكهربائي، وكأن العطل يتحرك من موقع المرحلة وإلى نقطة المدى المطلوبة.



شكل (5-6): خصائص العطل للخط عند التغذية من جهتين لحالة قبل العطل

يمكن إثبات لاحقاً بأن المرحلة R_A سوف تتأثر بالمصدر A الضعيف (ممانعة المصدر كبيرة Z_{sa}) والمصدر B القوي (ممانعة المصدر صغيرة Z_{sb}). لو أن الفولتية E_A تتقدم على الفولتية E_B البعيدة بزاوية $(+\delta)$ فإن القدرة، المنظورة من الموقع A كأنها مانحة، بينما المنظورة من الموقع B كأنها ساحبة.

عند العطل المعدني في النقطة X، الممانعة $Z_{RA} = Z_f$. وعند عطل القوس الكهربائي لنفس النقطة X فإن تيار العطل يتغذى من كلا الجهتين. إن تيار العطل عند الجهة البعيدة يجب أن يكون أكبر في السعة من تيار العطل المغذى من نهاية الموقع (النهاية A كما في الشكل 5-6). على افتراض وللسهولة فإن جميع الممانعات هي ذات تأثير حثي فقط وإهمال مقاومة القوس، فإن تيارات العطل I_R و I_f تتأخر عن الفولتيات E_A و E_B بزاوية قيمتها 90° على التوالي. وهذا ما يوضحه المخطط الطوري في الشكل (5-6). نلاحظ بأن تيار المصدر عند النهاية البعيدة يفرض أنها أكبر من النهاية الموقعية بسبب $Z_{SA} > Z_{SB}$ وبتطبيق قانون كيرشوف Kirchhoff's Law نحصل:

$$V_R = I_R Z_f + [I_R + I_f] R_a$$

بالقسمة على I_{RA} نحصل:

$$\frac{V_R}{I_R} = Z_R = Z_f + \left[\frac{I_R + I_f}{I_R} \right] R_a$$

$$Z_R = Z_f + K R_a$$

And

$$K = \frac{I_R + I_f}{I_R} = \frac{\text{تيار العطل الكلي}}{\text{التيار عند جانب المرحلة}}$$

كما نلاحظ من المخطط الطوري، بأن حالة قبل العطل هي مانحة (الزاوية δ موجبة)، نحصل:

$$K = |K| \angle \delta$$

حيث أن:

$|K|$: هي أكبر من 1.0.

δ : هي زاوية موجبة.

عند النظر من النهاية A فإن زاوية القوس R_a تكون أكبر مع المركبة المتفاعلة الخيالية. وكما هو ملاحظ من الشكل (5-6).
إن خصائص العطل ليست فقط كبيرة وإنما تدور باتجاه عقرب الساعة بالنسبة للشكل الرباعي عند التغذية من جهة واحدة.

3-3-6 خط مغذى من جهتين لحالة قبل العطل الساحبة

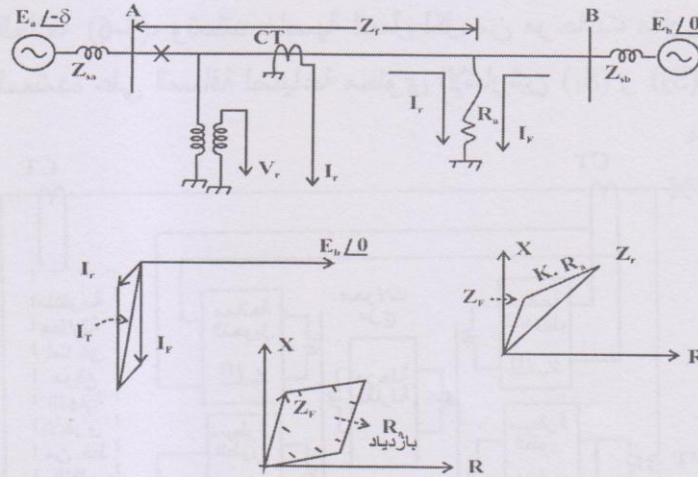
Double-End-Feed Line Prefault Import

يوضح الشكل (6-6) خط نقل مغذى من جهتين، وهو مشابه للشكل (5-6)، عدا أن الزاوية δ تكون سالبة. وعند النظر من موقع المرحلة R_a فإن القدرة تكون ساحبة. يوضح المخطط الطوري بأن:
 $K = |K| \angle -\delta$

حيث أن:

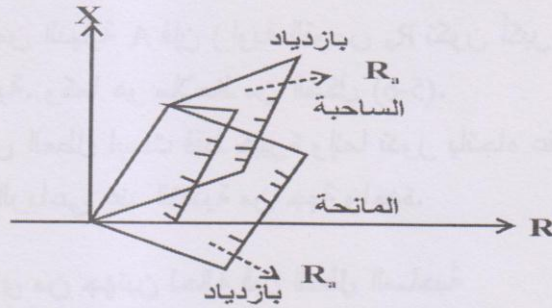
$|K|$: هي أكبر من 1.0.

δ : هي زاوية سالبة.



شكل (6-6) : خصائص العطل للخط عند التغذية من جهتين لحالة قبل العطل الساحبة

تكون خصائص العطل أيضاً كبيرة لكن دورانها يكون بعكس عقارب الساعة. يوضح الشكل (7-6) المقارنة بين الخصائص الثلاثة.

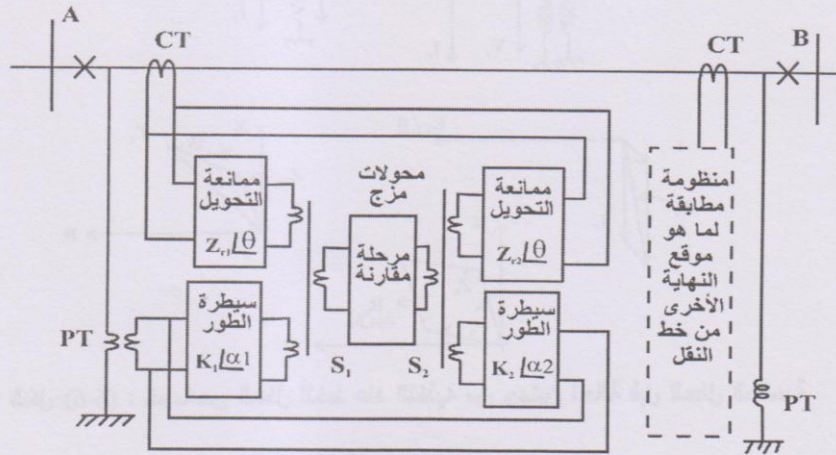


شكل (7-6) : جميع خصائص العطل الممكنة

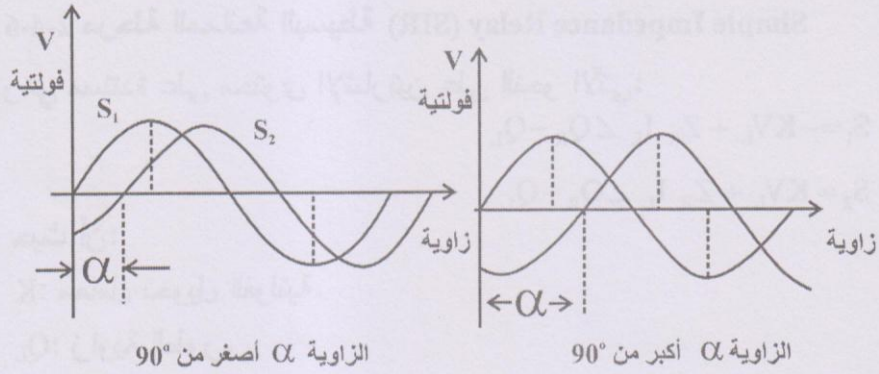
4-6 خصائص مرحلة المسافة

Distance Relay Characteristics

تستخدم الدائرة العامة المبينة في الشكل (8-6) لغرض مزج (Circuit Mixing) خرج محولتي التيار والجهد للحصول على الإشارات (S_1) و (S_2) وذلك في نطاق جميع أصناف مراحل مقارن زوايا الطور في حين يبين الشكل (9-6) طبيعة هاتين الإشارتين على اعتبار أنهما لحظيتان جيبيتان، مشيراً إلى مقارن زوايا الطور التي يستند إليها في التحسس بالعطل بحسب العلاقة (5-6)، وتستند خاصية العمل لكل من مرحلات مقارن زوايا الطور المعتمدة على المسافة لصياغة محتوى الإشارتين (S_1) و (S_2).



شكل (8-6) : تركيب المنظومة الحماية المسافية باستخدام دائرة اشتقاق الإشارتين (S_1) و (S_2)



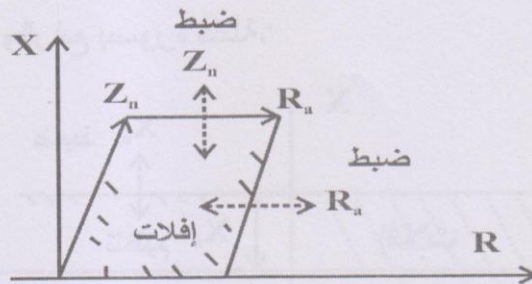
شكل (9-6): علاقة الفولتية مع الزاوية

1-4-6 مرحلة المسافة المثالية: الشكل الرباعي (QDR)

Ideal Distance Relay Quadrilateral:

إن الغرض من أي مرحلة هو الكشف عن العطل وفتح قاطع الدورة المناسب CB عند حدوث الأعطال فقط وليس لحالات أخرى. وعليه فإن خصائص المرحلة المثالية يجب أن تكون بشكل رباعي. يوضح الشكل (10-6) خصائص المرحلة.

يكون تنظيم Z_n والمدى المقاومي R على طول المحاور الحقيقي بتضبيب جيد. لو أن $Z_r = \frac{V_r}{I_r}$ فإن الممانعة المنظورة من ثانوي محولتي التيار والجهد تقع في المنطقة المظللة وأن مرحلة المسافة للشكل الرباعي (QDR) تصدر إشارة الإفلات.



شكل (10-6): خصائص مرحلة المسافة ذات الشكل الرباعي

2-4-6 مرحلة الممانعة البسيطة (SIR) Simple Impedance Relay

وهي مستندة على محتوى الإشارتين على النحو الآتي:

$$S_1 = -KV_L + Z_R I_L \angle Q_R - Q_L$$

$$S_2 = KV_L + Z_R I_L \angle Q_R - Q_L$$

حيث أن:

K: معامل تحويل الفولتية.

Q_L : زاوية الطور.

Z_R : ممانعة التنظيم.

Q_R : زاوية ممانعة التنظيم.

خصائص SIR كدائرة ترسم على مخطط R-X مع أنصاف أقطار قياسية تدعى بالتنظيم ويقع مركز الدائرة في نقطة الأصل وكما يوضحه الشكل (1-6). وتمثل المناطق المظلة حالة إفلات للمرحلة.

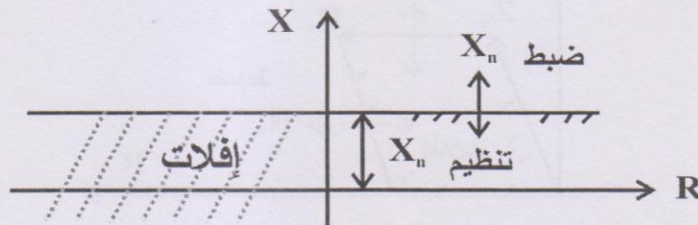
3-4-6 المرحلة المفاعلية Reactance Relay

تكون الإشارتين كما يلي:

$$S_1 = -KV_L - Z_R I_L \angle Q_R - Q_L$$

$$S_2 = Z_R I_L \angle Q_R - Q_L$$

إن خصائص المرحلة المفاعلية يتمثل في امتلاكها لمنطقة إفلات تحت المنطقة X_n . وهي خصائص خط مستقيم موازي للمحور R ويقاطع X_n للمحور X. إن التضبيب المطلوب هو X_n . ويوضح الشكل (11-6) خصائص هذه المرحلة وأن المنطقة المظلة تمثل مناطق إفلات متضمنة الربعين الثالث والرابع بصورة كاملة:



شكل (11-6): المرحلة المفاعلية

4-4-6 المرحلة المسامحية Mho Relay

ويستند عملها على الإشارتين وكما يلي:

$$\left. \begin{aligned} S_1 &= -KV_L + Z_R I_L \angle Q_R - Q_L \\ S_2 &= KV_L \end{aligned} \right\} \quad (6-6)$$

ويكون للمرحلة المسامحية خصائص دائرية يمر محيطها من خلال نقطة الأصل على المحيط (R-X) ولها قطر هو Z_n . هذا القطر له سعة $|Z_n|$ تسمى بالتنظيم عند الزاوية θ_n . حيث التضييق المتوفر هو Z_n و θ_n . إن الخصائص ومساحة الإفلات المظلة يوضحها الشكل (12-6). ويكون إثبات عمل المرحلة على النحو التالي:

بتطبيق العلاقة (6-6) فإن:

$$\begin{aligned} |S_1 - S_2| &= |Z_R I_L| \\ |S_1 - S_2| &= |Z_R I_L - 2KV_L| \end{aligned}$$

بتطبيق العلاقة (6-6). تعمل المرحلة في حالة:

$$(S_1 + S_2) \geq |S_1 - S_2|$$

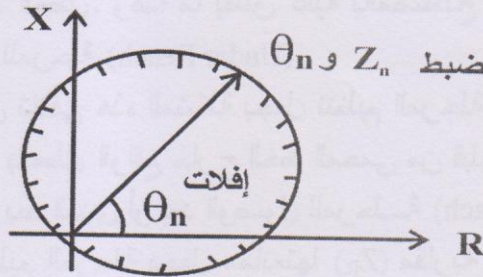
إذن:

$$|Z_R I_L| \geq |Z_R I_L - 2KV_L|$$

بتقسيم طرفي العلاقة على $(2K|I_L|)$ نحصل:

$$\frac{|Z_R|}{2K} \geq \frac{|Z_R|}{2K} - |Z_L|$$

لا تتحقق هذه العلاقة إلا عندما تمر نقطة الأصل بمحيط الدائرة أو داخلها.



شكل (12-6): المرحلة المسامحية

5-6 تنظيم مراحل المسافة Setting Distance Relays

1-5-6 تأثير مقاومة العطل

إن المعضلة الأساسية في الحماية المعتمدة على المسافة تبدو في عدم التمكن من إحراز الدقة والضبط بشكل تام في إعطاء التغطية لحماية الخط الكلي. ويرجع السبب الأساسي في ذلك إلى حدوث مقاومة أثناء حدوث العطل ويطلق على هذه المقاومة تسمية مقاومة العطل Fault Resistance. ويلاحظ عند حدوث العطل وجود شرر عرضي من طور إلى طور في الخط أو من طور إلى الأرض ولقد وجد وارنيكتون (Warrington) إن مقاومة القوس هي:

$$R_{arc} = \frac{2667}{I^{1.4}} \ell \quad [\text{أوم}]$$

حيث أن:

ℓ : هو طول القوس في الهواء الراكد [متر].

I : تيار العطل [أمبير].

في حين يعطي وارنيكتون هذه المقاومة بشكل تقريبي أيضاً عندما تكون سرعة الهواء u كم/ثانية، وتكون s مسافة الفصل بين الموصلات بالمتر. ويكون الزمن t لفترة استغراق القوس بالثانية، تكون المقاومة كما يلي:

$$R_{arc} = \frac{16300}{I^{1.4}} \{1.75 \times s \cdot u \cdot t\}$$

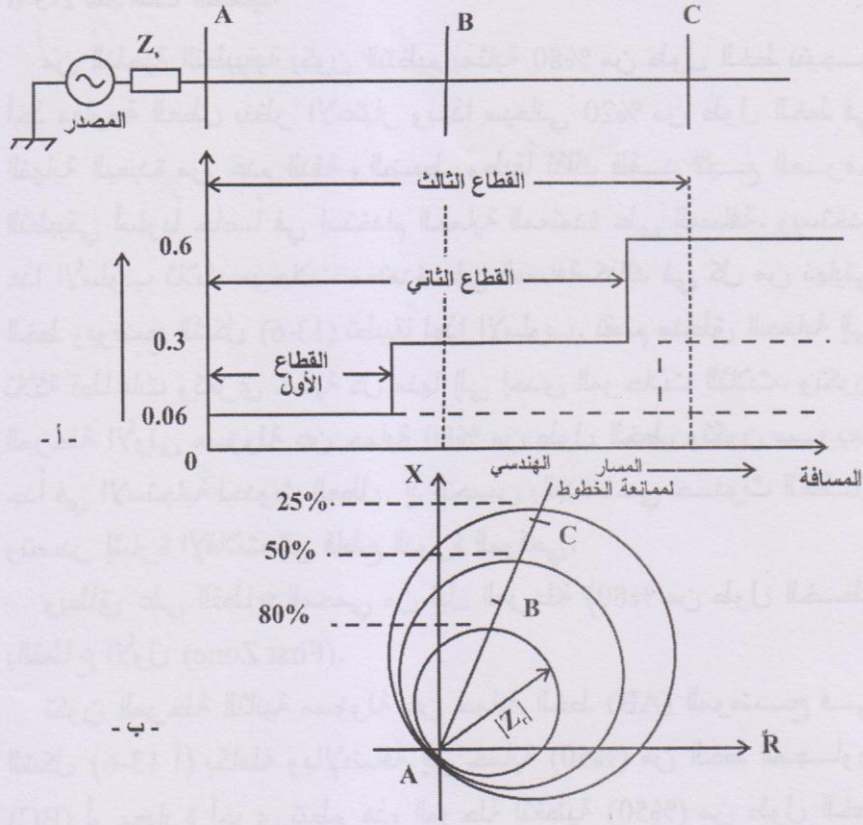
تؤدي مقاومة العطل إلى إبعاد الممانعة الكلية للعطل عن حالة المسار الهندسي لخاصية المرحلة. ويؤدي ذلك بدوره إلى عدم تمكن المرحلة من التحسس بوجود العطل. وهذا ما يطلق عليه بالمصطلح قصر المدى أو قصر الوصول للمرحلة (Under Reach).

كذلك لا يمكن تلافي هذه المشكلة بجعل تنظيم المرحلة ($Z_R > Z_L$) حيث تحسس المرحلة بالعطل الواقع خارج الخط المحمي من قبلها. وهو ما يطلق عليه بالمصطلح بعد المدى أو بعد الوصول للمرحلة (Over Reach). لذا يجري عادة تنظيم المرحلة بجعل ممانعتها (Z_R) مقاربة في القيمة أو أقل بقليل من ممانعة الخط (Z_L).

2-5-6 قطاعات الحماية

من الناحية التطبيقية يكون التنظيم بمثابة 80% من طول الخط نتيجة أخذ مقاومة العطل بنظر الاعتبار وبهذا سيعاني 20% من طول الخط في النهاية البعيدة من عدم الدقة والضبط. وطبقاً لذلك فلقد اتبع العرف التطبيقي أسلوباً خاصاً في استخدام الحماية المعتمدة على المسافة. ويستخدم هذا الأسلوب ثلاث مراحل معتمدة على المسافة كذلك في كل من نهايتي الخط ويوضح الشكل (6-13) تطبيقاً لهذا الأسلوب. تقسم مناطق الحماية إلى ثلاثة قطاعات وتعزى حماية كل منها إلى إحدى المراحل الثلاث. وتكون المرحلة الأولى مسؤولة عن حماية 80% من طول الخط. وتكون سريعة جداً في الاستجابة لحدوث العطل. إذ تتحسس بالبداية في حدوث العطل وتصدر إشارة الإقلاط إلى قاطع الدورة الموقعي. ويطلق على القطاع المحمي من قبل المرحلة (80% من طول الخط) بالقطاع الأول (First Zone).

تكون المرحلة الثانية مسؤولة عن حماية الخط (AB) الموضح في الشكل (6-13 أ) بكامله وبالإضافة إلى حماية (50%) من الخط المجاور (BC) أو بعبارة أخرى تنظم هذه المرحلة لتغطية (50%) من طول الخط المجاور. وتكون هذه المرحلة بطيئة الاستجابة لحدوث العطل بشكل متعمد. ويطلق على هذا القطاع المحمي بالقطاع الثاني (Second Zone). وتكون المرحلة الثالثة مسؤولة عن حماية الخطين (AB) و (BC) بالإضافة إلى 25% من الخط الثالث الواقع بعد العمومي (C) في الشكل (6-13 أ) وينظم توقيت هذه المرحلة بتأخير زمني، وتعد هذه المرحلة بطيئة جداً في الاستجابة للعمل وتعد بمثابة حماية سائدة. ويطلق على القطاع المحمي من قبل هذه المرحلة بالقطاع الثالث (Third Zone) وتستخدم في حماية هذا القطاع عادة المرحلة المسامحية المنزاحة كما هو مبين بالشكل (6-13 ب).



شكل (13-6): قطاعات الحماية المسافية باستخدام المرحلات المساحية
 أ- مخطط الزمن - المسافة.
 ب- خصائص مرحلات القطاعات الثلاثة.

3-5-6 تأثير نسبة محولتي التيار

نسبة محولة التيار (CTR)

$$CTR = \frac{I_L}{I_r}$$

نسبة محولة الجهد (PTR):

$$PTR = \frac{V_L}{V_r}$$

∴ ممانعة العطل Z_F

$$Z_F = \frac{V_L}{I_L}$$

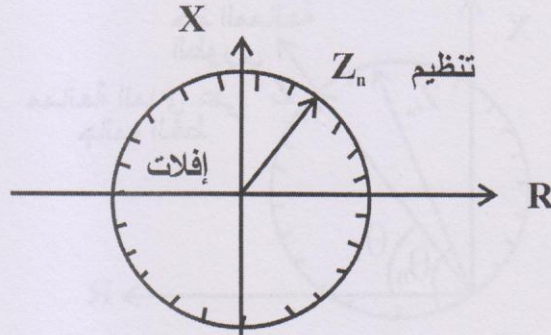
فإنه يمكن بسهولة إثبات أن الممانعة المنظورة من جهتي ثانوي محولتي التيار والجهد هي:

$$Z_r = Z_F \frac{CTR}{PTR}$$

4-5-6 مرحلة الممانعة البسيطة Simple Impedance Relay

في الشكل (14-6) لو أن نصف القطر للمرحلة (SIR) هو Z_n فإن المرحلة يمكن تنظيمها كما يلي:

$$Z_{n-relay \text{ Side}} = Z_{f-line-side} \frac{CTR}{PTR}$$

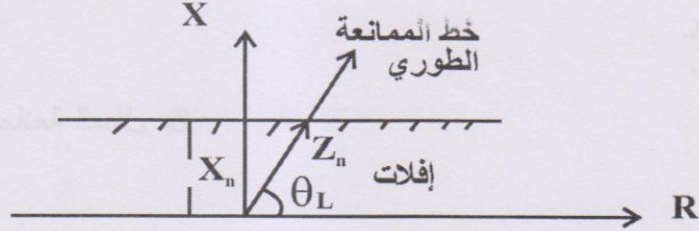


شكل (14-6): مرحلة الممانعة البسيطة

5-5-6 المرحلة المفاعلية Reactance Relay

من الشكل (15-6) فإن المرحلة المفاعلية أساساً تقيس المركبة المفاعلية عند عطل الخط، المصممة بواسطة نسبة CT/PT ، وعليه فإن تنظيم المرحلة:

$$X_{n-on \text{ relay Side}} = Z_{n-ls} \sin(\theta_L) \frac{CTR}{PTR}$$

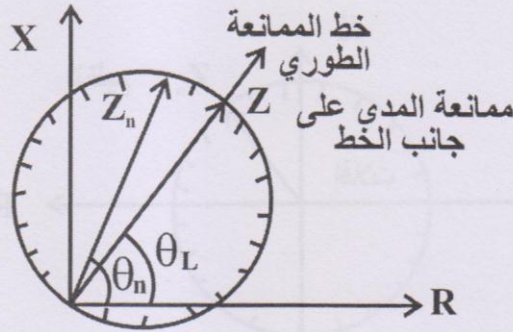


شكل (15-6): المرحلة المفاعلية

6-5-6 المرحلة المسامحية Mho Relay

من الشكل (16-6) فإن زاوية ممانعة الخط بالإضافة إلى θ_n تصنع زاوية أخرى بواسطة القطر إلى محور R حيث يمكن بسهولة إثبات أن Z_n هي ممانعة التنظيم للمرحلة المسامحية وهي تساوي :

$$Z_{\text{non relay side}} = \frac{Z_{\text{reach on line side}}}{\cos(\theta_n - \theta_L)} \times \frac{\text{CTR}}{\text{PTR}}$$



شكل (16-6): المرحلة المسامحية

6-6 تركيب المرحلات وفقاً لخصائصها

في السابق كانت جميع مرحلات المسافة تتركب من وحدة القدرح الحثي أو من تركيبة العتبة المتزنة. تعتبر المرحلات الكهروميكانيكية من الأجهزة البطيئة بالعمل مقارنة مع المرحلات الساكنة أو المعالجات الدقيقة

وهذا بسبب القصور الذاتي لحركة الفيض (مثل القذح الحثي أو العتبة المتزنة). هذا بالإضافة إلى أن استخدامها كمراحل مسافة فإنه لا يمكن تركيب خصائصها مثل الدائرة أو الخط المستقيم على مخطط R-X. ومع ذلك فإن المراحل الكهروميكانيكية مازالت تستخدم وعليه فمن الضروري دراستها.

1-6-6 مراحل المسافة الكهروميكانيكية Electromechanical Distance Relays

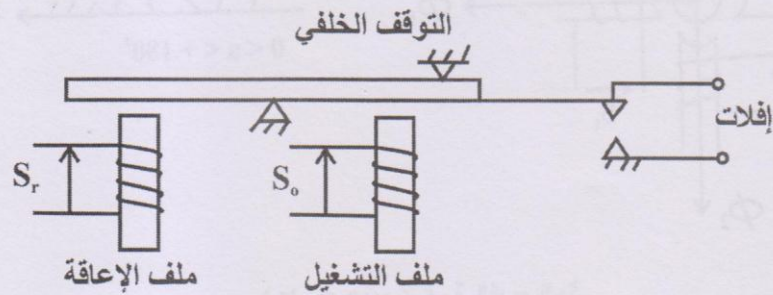
1-1-6-6 تركيبة العتبة المتزنة Balanced Beam Structure

يوضح الشكل (17-6) تركيبة العتبة المتزنة ذات الإدخالين. هذين الإدخالين يمكن أن تكون فولتية/ فولتية، تيار، أو تيار/ تيار. حيث يطلق عليها تسمية S_o (Soperation) و S_r (Srestraining). إن هذا التركيب يطلق إشارة إفلات عند طريق الملامسات التي تكون مغلقة بصورة طبيعية أو مفتوحة (Closure or Normally Open Contacts) لو أن:

$$\left| \frac{S_o}{S_r} \right| > 1.0$$

عند إهمال تأثير نابض الكبح.

يطلق اسم مقارن السعة لإدخالين على هذه المرحلة، حيث أنها تقارن السعة للكميتين الداخلتين بغض النظر عن فرق الطور بينهما.



شكل (17-6): تركيبة العتبة المتزنة

2-1-6-6 Induction Cup Structure الحثي القذح

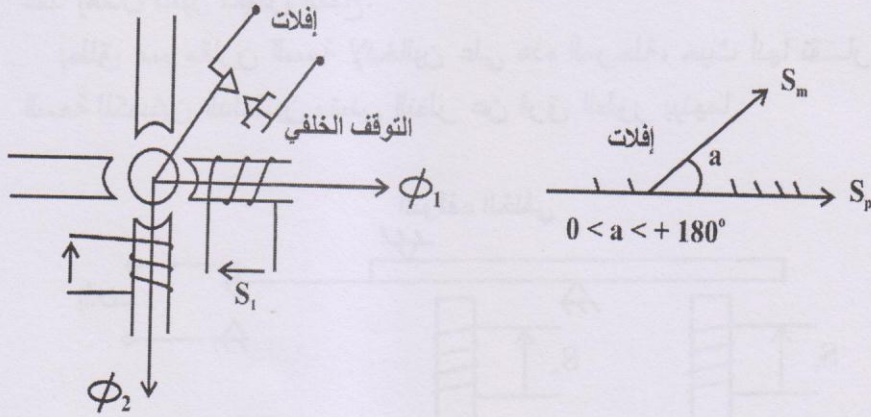
تتركب وحدة القذح الحثي من أربعة أقطاب للمجال مع اسطوانة من الألمنيوم الرقيق، التي تحمل الملامسات المتحركة. يوضح الشكل (18-6) التركيبة الأساسية للمرحلة. يتغذى زوج الأقطاب المعكوسة من أي مركبة فولتية/ فولتية، فولتية/ تيار أو تيار/ تيار. لنفرض أن قيمة RMS للفيضين المربعين في الفراغ ϕ_1 و ϕ_2 مع زاوية فرق طور بينهما (α) . لذا فإن العزم في القذح الحثي من خلال التكامل بين الفيض والتيارات الدوامية يساوي:

$$\text{Torque} = |\phi_1| |\phi_2| \sin \alpha$$

يكون هذا العزم

$$0^\circ < \text{angle } \alpha < +180^\circ$$

كما يوضح الشكل أيضاً منطقة العزم الموجب (الإفلات) والعزم السالب (الكبح). من الواضح أن تركيبة القذح الحثية هي عبارة عن مقارن طوري لإدخالين.



شكل (18-6): تركيبة القذح الحثي

3-1-6-6 مرحلة الممانعة البسيطة (SIR) Simple Impedance Relay

تستند مرحلة الممانعة البسيطة (SIR) على تركيبة العتبة المتزنة، وكما هو موضح بالشكل (19-6) حيث يكون التيار هو كمية التشغيل وتكون الفولتية هي كمية الكبح للخط عن طريق محولتي التيار والجهد (CT/PT). وتطلق المرحلة إشارة الإفلات عندما:

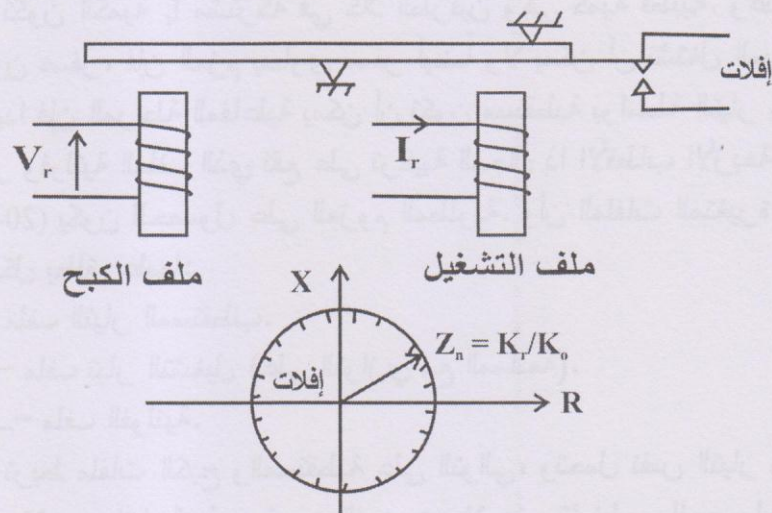
$$\left| \frac{S_o}{S_r} \right| = \left| \frac{K_o I}{K_r V} \right| > 1 = \frac{K_o}{K_r} > Z$$

$$\text{Or } Z < \frac{K_o}{K_r} \text{ or } Z < Z_n \text{ where } Z_n = \frac{K_o}{K_r}$$

حيث أن:

Z_n : هو نصف قطر المرحلة (SIR) والتي تسمى بالتنظيم والذي تتغير حسب تغير اللفات للفولتية أو التيار للملف.

إن خصائص المرحلة العامة موضحة بالشكل (19-6) أيضاً.



شكل (19-6): مرحلة الممانعة البسيطة الكهروميكانيكية

4-1-6-6 المرحلة المفاعلية Reactance Relay

تبنى المرحلة المفاعلية عادة على وحدة القدح الحثي. خصائص المرحلة يوضحها الشكل (20-6). فإذا اعتبرنا أن مرحلة الممانعة هي $(Z_r < \theta_r)$. حيث أن (θ_r) هي الزاوية المصنوعة بواسطة Z_r مع المحور R. فإن سعة Z_r تصنف إلى ثلاثة أصناف هي:

سعة الإفلات Z_{trip} . والتشغيل الاحتياطي المؤقت $Z_{Marginal Operation}$. واللافلات (الكبح) $Z_{restrain}$.

إن تقاطع الأعمدة من الأطراف للممانعات الثلاثة يكون كما في الشكل (20-6). وإن الإفلات سيكون:

$$X_n > |Z_r| \cos(90^\circ - \theta_r)$$

بما أن $Z_r = V_r / I_r$ وبضرب I_r^2 بالطرفين نحصل:

$$I_r^2 X_n > V_r I_r \cos(90^\circ - \theta_r)$$

OPERating torque restraining torque

تكون الكمية I_r مشتركة في كلا الطرفين وهي كمية قطبية. وعندما تكون صفر، فإن العزم يساوي صفر أيضاً ولا يمكن أن تشتغل المرحلة. ولهذا فإن المرحلة المفاعلية يمكن أن تكون مستقطبة بواسطة التيار I_r . إن تيار وفولتية الملف الذي تقع على تركيبة المجال ذا الأقطاب الأربعة شكل (20-6) يكون للحصول على العزوم المطلوبة. وأن الملفات المتغيرة في الشكل يطلق عليها:

أ- ملف التيار المستقطب.

ب- ملف تيار التشغيل (على التوازي مع الممانعة).

ج- ملف الفولتية.

تربط ملفات الكبح والمستقطبة على التوالي، وتحمل نفس التيار وعليه فإنه لا يوجد إزاحة طورية بين الفيضين ولا عزم تشغيل. وللحصول على عزم تشغيل محدد، فإن عزم الكبح يحتاج إلى ممانعة مناسبة تربط معه على التوازي لكي تنشأ إزاحة طورية بين فيض التشغيل وفيض الاستقطاب.

بتطبيق نظرية التراكب (Superposition Theorem)، بحذف ملف الفولتية ، فإن العزم بين فيضي التشغيل والاستقطاب هو:

$$T_{OP} = K_o I^2$$

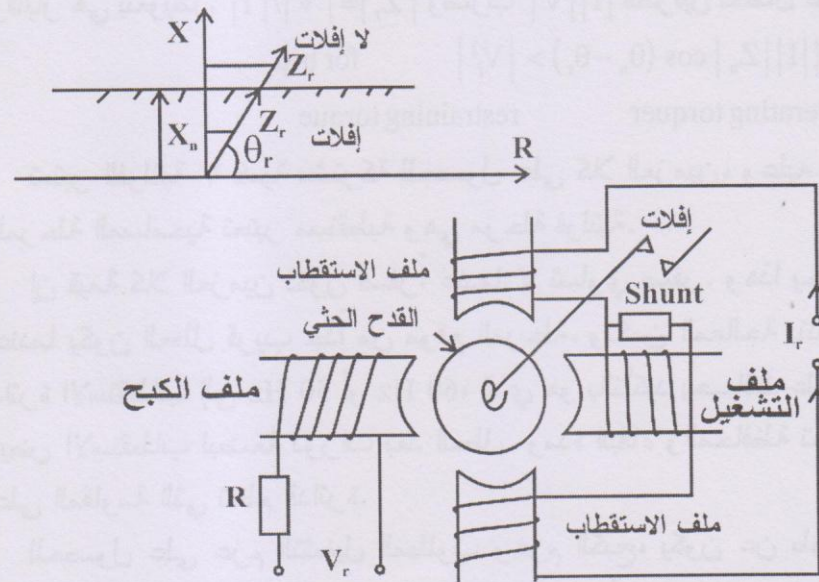
والآن لو تم قصر ملف التشغيل، فإن العزم الآخر بين فيضي الكبح والاستقطاب يساوي:

$$T_r = K_r V_r I_r \cos (90^\circ - \theta_r)$$

حيث أن زاوية أعظم عزم (MTA) (Maximum Torque Angle) تساوي $(90^\circ - \theta_v)$ ، وأن θ_v هي زاوية الممانعة لملف الفولتية وتساوي صفر بواسطة حشر مقاومة كبيرة إلى ملف الفولتية (أنظر الشكل). وعليه فإن $(MTA = 90^\circ)$ وبالرجوع إلى علاقة العزم باتجاه المرحلة نحصل على:

$$T = VI \cos (90^\circ - \theta_r)$$

وهذه هي المعادلة الأساسية للمرحلة المفاعلية.



شكل (20-6): المرحلة المفاعلية

5-1-6-6 المرحلة المسامحية Mho Relay

إن المرحلة المسامحية لها تنظيم هو $Z_n = OA$ (القطر) وكما هو موضح بالشكل (21-6)، مع سعة متغيرة Z_r ، ان قيم Z_r الثلاثة هي منطقة الإفلات والتشغيل الاحتياطي ومنطقة عدم الإفلات. حيث نلاحظ أنه:

$$\text{Length } OP = |Z_n| \cos(\theta_n - \theta_r)$$

$$OP \geq |Z_r| \quad (\text{trip})$$

$$|Z_n| \cos(\theta_n - \theta_r) \geq |Z_r| \quad (\text{trip})$$

Operating Quantity \geq Restraining Quantity

بتطبيق هذه المعادلات لتركيب المرحلة المسامحية، فيجب أن ينشأ عزمين على القذح الحثي. وعليه فإن الإدخالات الأساسية للمرحلة هي الفولتية والتيار، والمعادلات التي تنظم للحصول على الممانعات عن طريق الفولتية والتيار هي بتعويض $|Z_r| = |V|/|I|$ وضرب $|I||V|$ للطرفين نحصل على:

$$|V||I||Z_n| \cos(\theta_n - \theta_r) > |V_r|^2 \quad \text{for trip}$$

Operating torque restraining torque

تعتبر الفولتية V كمية مشتركة للحصول على كلا العزمين، وعليه فإن المرحلة المسامحية تعتبر مستقطبة وهي مرحلة فولتية.

إن قيمة كلا العزمين تكون صفراً عندما V تساوي صفراً. وهذا يحدث عندما يكون العطل قريب جداً من موقع المرحلة. وتكمن المعالجة بتنظيم دائرة الاستقطاب إلى 50 Hz أو 60 Hz، الذي هو بالتأكيد يحافظ على فيض الاستقطاب لبضعة دورات بعد العطل. ومدة البقاء والمحافظة تعتمد على المقاومة التي تنظم الدائرة.

للحصول على عزم التشغيل المطلوب وعزم الكبح، يكون عن طريق تغذية المجال كما هو موضح بالشكل (21-6). حيث أن ملف الاستقطاب هو ملف الفولتية وملف التشغيل هو ملف التيار وملف الكبح هو أيضاً

ملف الفولتية. نلاحظ بأن متسعة ترتبط على التوالي مع ملف الاستقطاب وهي تستخدم لعدة أغراض هي:

1- إعادة فيض الاستقطاب عن طريق الرنين إلى 50 Hz أو 60 Hz وهذا ما يطلق عليه بالذاكرة.

2- توفر إزاحة طورية بين فيضي الاستقطاب والكبح. وكلا الملفين يحصلان على التغذية من الفولتية، وإزاحة الطور يجب أن تكون بين الفيض الناشئ من العزم الذي يتناسب مع V^2 .

وبتطبيق نظرية التراكب، حيث يجب حذف ملف الكبح أولاً.

$$T_{OP} = |V||I| \cos(\tau - \theta_r)$$

وبضبط زاوية الممانعة لدائرة الاستقطاب (θ_v) فإنه:

$$\tau = \theta_n = 90^\circ - \theta_v$$

ونحصل على:

$$T_{OP} = K_o |V||I| \cos(\theta_n - \theta_r)$$

وعند حذف ملف الضغط المعطى لعزم الكبح بين فيضي الكبح والاستقطاب نحصل على:

$$T_r = K_r |V|^2$$

حيث تشتغل المرحلة عندما يكون عزم التشغيل أكبر من عزم الكبح.

$$K_o |V||I| \cos(\theta_n - \theta_r) \geq K_r |V|^2$$

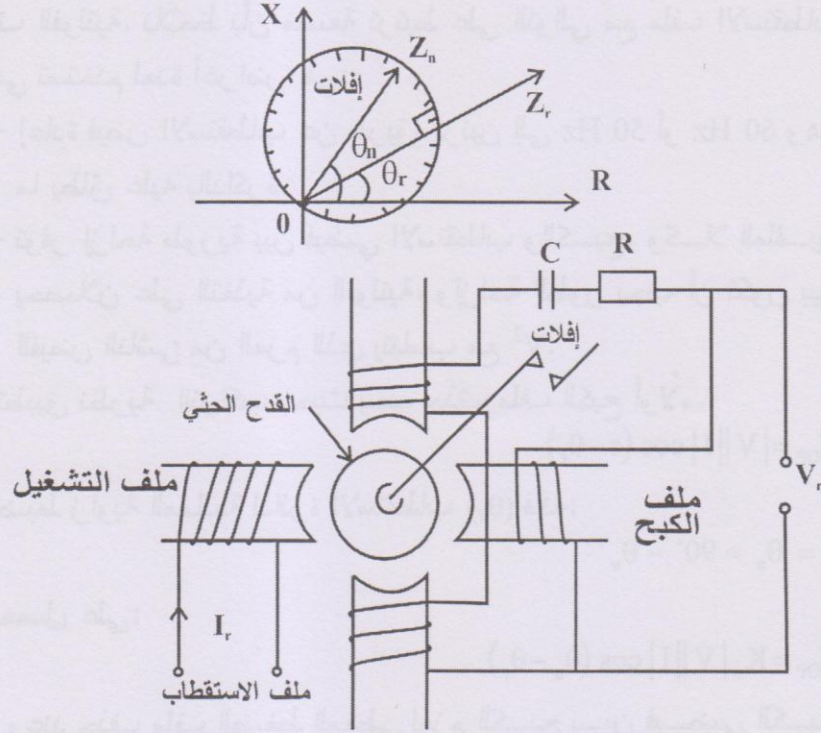
بقسمة الطرفين على $|V||I|$ نحصل:

$$K_o \cos(\theta_n - \theta_r) \geq K_r |V|$$

$$|Z_n| \cos(\theta_n - \theta_r) \geq |Z| \quad (\text{tripping criterion})$$

حيث أن: $Z_n = K_o / K_r$

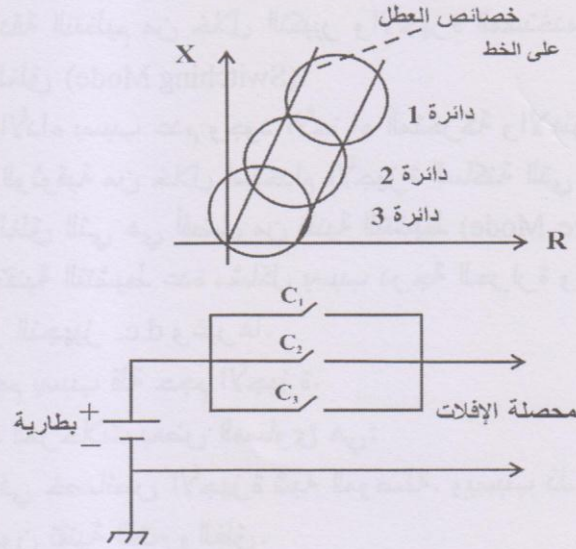
هذه هي خصائص المرحلة المسامحية باستخدام وحدة القذح الحثية.



شكل (21-6): المرحلة المسامحية

6-1-6-6 مرحلة المسافة ذات الشكل الرباعي (QDR)

قبل الدخول في المقارنات والمعالجات الدقيقة، فإن بعض المرحلات تستند في عملها على مبدأ العتبة المتزنة أو وحدة القدر الحثي، حيث تعطي خصائص مستمرة فقط للشكل الدائري أو الخط المستقيم، لكن خصائص QDR لا يمكن الحصول عليها باستخدام الأجهزة الالكتروميكانيكية. إن مصدراً واحداً فقط وهو الدكتور كيمبارك Kimbark الذي اقترح عدداً من المرحلات التي لها خصائص دائرية تنظيم على قمة كل واحدة وكما هو موضح بالشكل (22-6). إن ملامسات الإفلات المربوطة على التوازي، تعطي خصائص ملائمة ومقاربة للشكل الرباعي. هذا بالإضافة إلى محاولة عمل مقارن بعدة إدخالات.



شكل (6-22): مرحلة المسافة ذات الشكل الرباعي من مكونات الدوائر

2-6-6 مرحلات المسافة الساكنة Static Distance Relays

عندما استخدمت الأجهزة الكهروميكانيكية واشتهرت فإن الأجهزة الساكنة كانت ما تزال غير معروفة وغير مشهورة بعد. بعدها ظهرت تصاميم حديثة في الحماية وظهرت في تلك الأثناء نظريات جديدة في الحماية مثل نظرية آلية الحماية ونظريات مقارنات اختلاف الطور والسعة التي يمكن الحصول من خلالها على خصائص جديدة مثل الشكل الرباعي أو أشكال أخرى يمكن تصميمها.

إن من محاسن المرحلات الساكنة والتي تحتوي على الدايودات والترانزستورات والثايروسترات والدوائر المتكاملة هي:

- 1- إعطاء خصائص جديدة لا يمكن إعطاؤها من قبل الأجهزة الكهروميكانيكية.
- 2- العمل بسرعة عالية حيث أنها لا تحتوي على أجزاء ميكانيكية، ولا تمتلك عزم قصور ذاتي.
- 3- إن هذه المرحلات تعتبر كأحمال قليلة القدرة على محولات التيار والجهد.

- 4- تحسين دقة التنظيم من خلال التكبير والأجهزة المستخدمة في تقنية الفتح والغلق (Switching Mode).
 - 5- تحسين الأداء بسبب عدم وجود الأجزاء المتحركة والاهتزازات.
 - 6- تحسين الوثوقية من خلال استخدام الأجهزة الساكنة التي تستخدم تقنية الفتح والغلق التي هي أفضل من تقنية التنشيط (Active Mode). حيث أنه في تقنية التنشيط عدة مشاكل بسبب درجة الحرارة والاهتزازات ومصدر التجهيز d.c. وغيرها.
 - 7- قلة الحجم بسبب قلة حجم الأجهزة.
- كما أن لهذه المرحلات بعض المساوئ هي:
- 1- التغيير في خصائص الأجهزة شبه الموصلة. وبسبب ذلك استخدم المصممون تقنية الفتح والغلق.
 - 2- إمكانية حصول تدمير الأجهزة شبه الموصلة بسبب فولتية الحالة العابرة المدببة (Transient Voltage Spikes) وهذه المشكلة يمكن التغلب عليها باستخدام الفارستر Varistors والزنرات Zeners.
 - 3- إمكانية حصول سوء أداء المرحلات الساكنة بسبب التوافقيات والحالة العابرة في إداخلات المرحلة. وللتغلب على هذه المشكلة تستخدم المرشحات والمعضلة هنا أن هذه المرشحات تخزن مركبات الطاقة، كالمتسعات التي تنتج الحالة العابرة الثانوية. وعليه يجب الانتباه الشديد ومراعاة الحالات السابقة في تصميم هذه الدوائر.

1-2-6-6 مقارنات السعة ذات الإدخالين

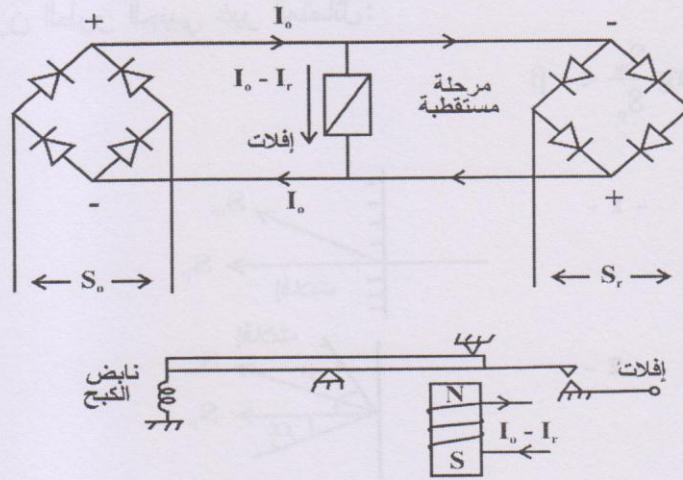
Two-Input Amplitude Comparators:

يقوم مقارن السعة ذا الإدخالين بمقارنة السعة للمرحلة الجيبية ذات الإدخالين، ما عدا الإزاحة الطورية بينهم، ويمكن الحصول على خرج الإفلات عندما تكون قيمة جذر معدل التربيع (RMA) لكميات التشغيل تتجاوز قيمة RMS لكميات الكبح. في الأجهزة الكهروميكانيكية فإن تركيبة العتبة المتزنة يمكن أن تسمى بمقارن السعة.

إن المقطع الساكن لمقارن السعة يعرف بالمقوم القنطري كما هو موضح بالشكل (23-6).

إن قنطري التوحيد ذات الموجتين الكاملتين بالقطبية العكسية يتم ربطهما بصورة عكسية (Back to Back). وعند المركز ترتبط المرحلة المستقطبة. إن المرحلة المستقطبة هذه عادة تكون أفضل من المرحلة المستقطبة من نوع المنتج المنجذب الذي تعمل بظاهرة المغناطيس. تعطي المرحلة المستقطبة إشارة الإفلات مباشرة من موحد التيار المستمر. إن الإفلات المعياري يكون كالآتي:

$$\frac{|S_o|}{|S_r|} > 1.0$$



شكل (23-6): مقارن السعة باستخدام قنطرة التوحيد

2-2-6-6 مقارنات الطور ذات الإدخالين Two-Input Phase Comparators

إن مقارنات الطور ذات الإدخالين عادة تعطي إشارة إفلات عن طريق إزاحة أكيدة للطور بين مقارنات الإدخال الجيبية، ماعدا ساعاتها. في الجانب العملي فإن الساعات تؤثر على زاوية الطور المعيارية. حيث نحصل من تحليل المعادلة والمنحنيات الموضحة بالشكل (24-6) على ما يأتي:

1- مقارنة طور الجيب تاممي المتماثل:

$$-90^\circ < \arg \frac{S_m}{S_p} < +90^\circ$$

2- مقارنة طور الجيب تاممي غير المتماثل:

$$-\alpha < \arg \frac{S_m}{S_p} < +\beta$$

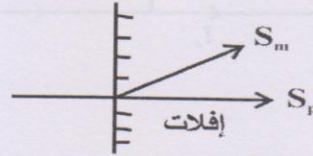
3- مقارنة طور الجيب المتماثل:

$$-180^\circ < \arg \frac{S_m}{S_p} < 0^\circ$$

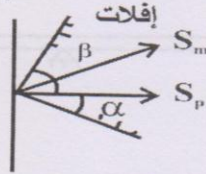
4- مقارنة الطور الجيب غير المتماثل:

$$-\alpha < \arg \frac{S_m}{S_p} < +\beta$$

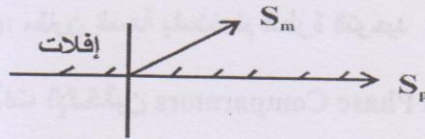
- 1 -



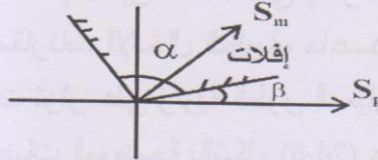
- 2 -



- 3 -



- 4 -



شكل (24-6): أنواع مقارنات الطور

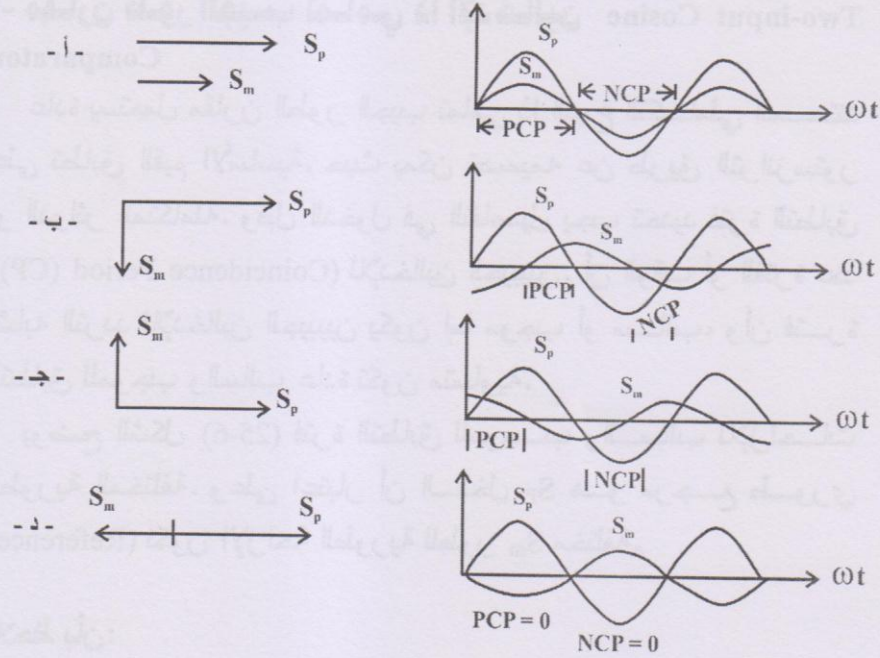
أ- مقارن طور الجيب تامامي ذا الإدخالين Two-input Cosine Comparator

عادة يستعمل مقارن الطور الجيب تامامي ذا النوع التكاملي المستند على تطابق القيم الأساسية. حيث يمكن تصميمه عن طريق الترانزستور أو الدوائر المتكاملة. وقبل الدخول في التفاصيل يجب تحديد فترة التطابق (Coincidence Period (CP)) للإدخالين الجيبين. أن الوقت أو الفترة عند تشابه التردد للإدخالين الجيبين يكون إما موجب أو سالب، وأن فترة التطابق للموجب والسالب عادة تكون متساوية.

يوضح الشكل (6-25) فترة التطابق للموجب والسالب للإزاحات الطورية المختلفة. وعلى اعتبار أن الدخل S_p هو مرجع طوري (Reference) تكون الإزاحة الطورية للطور S_m مختلفة.

نلاحظ بأن:

- أ- إذا كان الإدخالين بنفس الطور، فإن CP تساوي نصف دورة.
- ب- إذا تأخر S_m عند S_p بزاوية 90° فإن CP تساوي ربع دورة.
- ج- إذا تقدم S_m عند S_p بزاوية 90° فإن CP تساوي ربع دورة.
- د- إذا كان الإدخالين متعاكسي الطور، فإن CP تساوي صفر.
- هـ- فترة الدورة الكاملة تساوي 20 ملي ثانية عند التردد 50Hz وتساوي 16.667 ملي ثانية عند التردد 60 Hz.

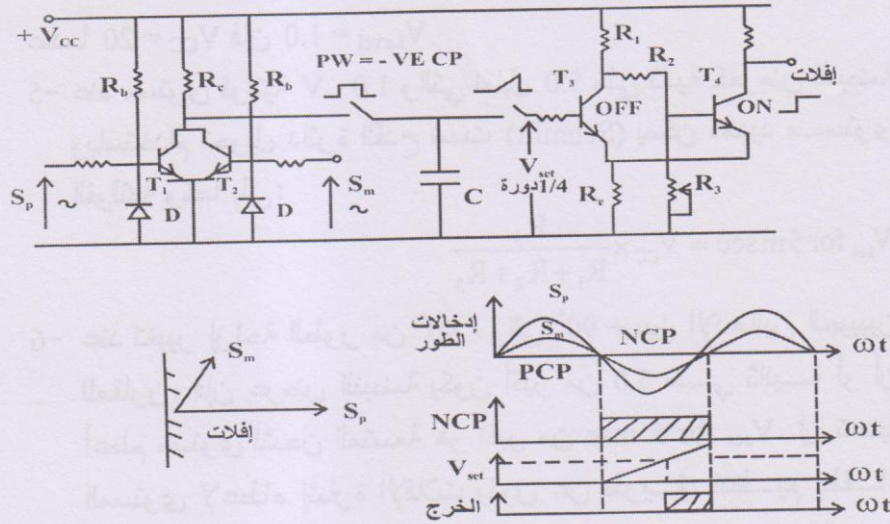


شكل (25-6): فترة التطابق للإبخالين

يوضح الشكل (26-6) الدائرة المبسطة والتي تتألف من الترانزستورات. حيث يربط الترانزستورين (T_1 , T_2) بطريقة عكسية (Back to Back) مع مقاومة الجامع المشترك (Common Collector). كلا الترانزستورين يكونان إما في حالة تشبع أو حالة تشغيل ON وذلك عن طريق ضبط تيارات القاعدة. كما أن الكميات الجيبية S_p و S_m تعتبر إشارات للترانزستور. ولتجنب الانهيار العكسي على مفرق القاعدة-الباعث عند الإدخالات الجيبية لنصف الدورة السالب، تربط الدايودات D_1 و D_2 في الدائرة. إن وظائف الدائرة هي كما يأتي:

- 1- الترانزستورين (T_1 , T_2) يكونان في حالة تشغيل ON عند نصف الدورة الموجب (نتيجة الانحياز الأمامي في مفرق B-E) ويكونان، في حالة انطفاء OFF (نتيجة الانحياز العكسي في مفرق B-E) خلال نصف الدورة السالب.

2- تظهر فولتية الخرج V_{CC} على الجامع المشترك عند النقطة A، خلال الفترة عندما يكون كلا الترانزستورين (T_1 , T_2) في حالة انطفاء. إن عرض النبضة الخارجة تساوي فترة التطابق السالب للإدخالين الجيبيين.



شكل (6-26): دائرة مقارن الجيب تمام المستندة على تطابق الأسس

3- إذا كان عرض النبضة أكبر من ربع الدورة ، فسوف نحصل على تركيبة مقارن الجيب تمام المتماثل. إن مركبات كاشف عرض النبضة عبارة عن عنصر تكاملي وكذلك الكاشف المحدد (Level Detector).

4- مقاومة الجامع المشترك R مع المتسعة C تعطي عنصر تكاملي ساكن. إن أعظم عرض لنبضة الإدخال لا تكون أكبر من نصف طور الدورة (الدخل بنفس الطور). لإعطاء شحن خطي نسبي في الفترة العظمى عند نصف الدورة، فإن ثابت الزمن لدائرة الشحن RC يصمم على أن 10 مرات من نصف الدورة (مثلاً عند التردد 50 Hz تكون 100 ملي ثانية). إن القيمة العظمى حتى تشحن المتسعة C هي:

$$V_{C,max} = \frac{V_{CC} \times \text{Pulsewidth in msec}}{\text{Time Constant}}$$

إن الحد المرجعي عند ثابت زمن يساوي 100.0 ملي ثانية هو 5.0 ملي ثانية.

$$V_{\text{Level}(10 \text{ mSec})} = \frac{V_{\text{CC}} \times 5.0}{100.0}$$

$$= 0.05 V_{\text{CC}}$$

عندما $V_{\text{CC}} = 20$ فإن $V_{\text{Level}} = 1.0$

5- عند مستوى فولتية $V = 1.0$ والتي تقابل 5.0 ملي ثانية كعرض للن نبضة وباستخدام تحويل دائرة القذح شمت (Schmitt) يمكن تحديد مستوى الفولتية وكما يلي:

$$V_{\text{set for 5 msec}} = V_{\text{CC}} \times \frac{R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$$

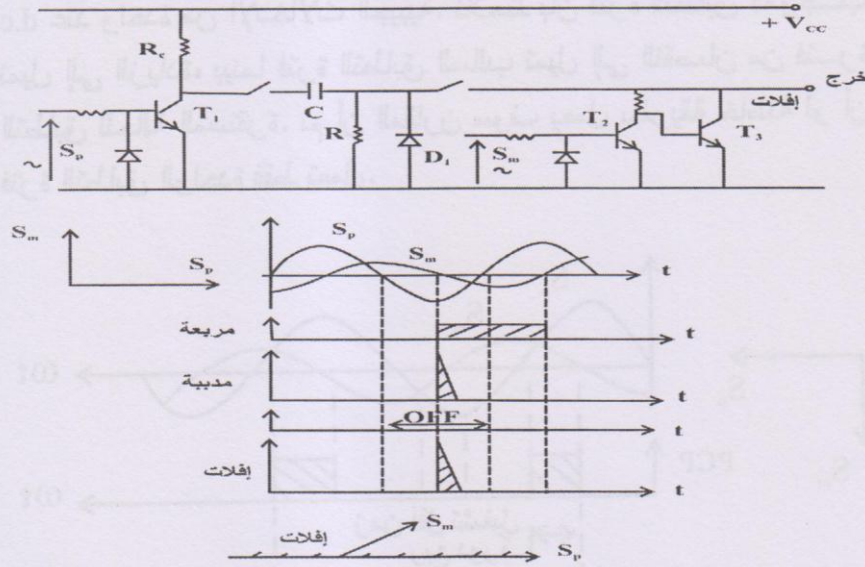
6- عند تغيير إزاحة الطور من 90° - إلى 90° + بين الإدخالين الجيبين للمقارن، فإن عرض النبضة يكون أكبر من 5.0 ملي ثانية أو أن أعظم مستوى لشحن المتسعة هو أكبر من $V_{\text{set for 5 msec}}$. إن تحديد المستوى لإعطاء إشارة الإفلات يكون عن طريق تنظيم إطفاء الترانزستور T_4 . وهكذا يمكن تركيب مقارن الجيب تمام المتماثل.

ب- المقارن الجيبى المستند على أساس الشكل المدب

Sine Comparator Based on Block-Spike Principle

يوضح الشكل (6-27) دائرة المقارن الجيبى. في هذه الدائرة تكون إحدى موجات الإدخالات الجيبية S_p منطقياً مربعة بواسطة الترانزستور T_1 وتتفاضل بواسطة الدائرة $C-R$. إن الفولتية عبر المقاومة R سوف تكون موجبة والفولتية السالبة ذات الشكل المدب (Spike) تكون عند التقاطع الصفري للإدخالات الجيبية (الميل يكون سالب وموجب). حيث يتم إلغاء الشكل المدب السالب عن طريق الداود D_1 . وتغذى جوامع الترانزستورات T_2 و T_3 بالفولتية الموجبة ذات الشكل المدب. هذه الفولتية ذات الشكل المدب تعبر فقط عند نصف الدورة الموجب للإدخال S_m ، حيث يكون الترانزستورين (T_1 , T_2) في حالة تشغيل ON، وتظهر

نبضة على خرج نصف الدورة السالبة للإدخال S_m . من الناحية الأخرى فإن خرج الإفلات في شكل نبضة يظهر لو أن السالب الصفري عبر الإدخال S_p يكون في أي مكان من نصف الدورة السالبة للدخل S_m . ويكون حدود عمل المقارن الجيبي من 0° إلى 180° .



شكل (6-27): المقارن الجيبي المستند على أساس الشكل المدبب

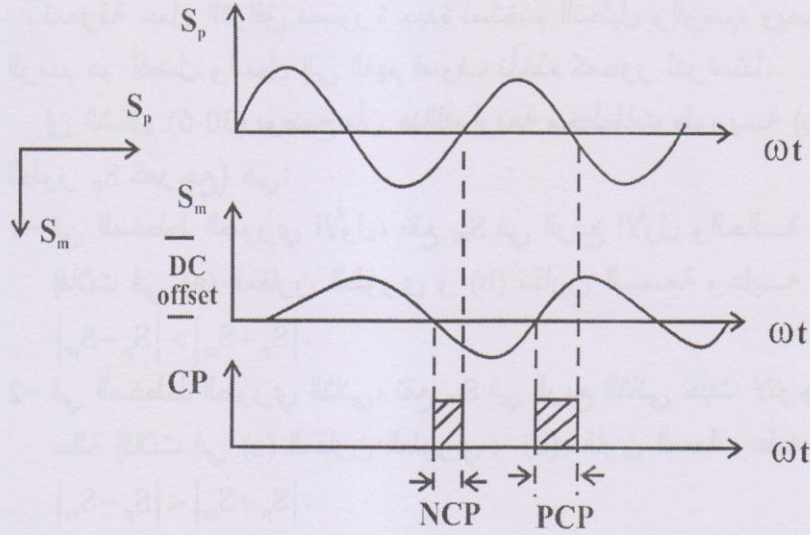
ج- وقت التشغيل وحدوث الحالة العابرة للمقارن الجيب تامامي

Transient Performance and Operating Time of Cosine Comparator

إن وقت التشغيل للمقارن الجيب تامامي يعتمد على الإدخالات الجيبية S_m و S_p وعند وضع التشغيل ON، تكون هذه الإدخالات متغيرة في إزاحة الطور خلال حدوث العطل.

يوضح الشكل (6-28) لحظة العطل عند عمل المقارن في زمن التشغيل الأعظم والأدنى على التوالي. حيث نلاحظ أن:

- 1- أدنى زمن تشغيل يساوي ربع الدورة.
- 2- أعظم زمن تشغيل يساوي دورة وربع.



شكل (6-29): تأثير مركبة d.c على المقارن الطوري

3-2-6-6 التوافق بين المقارن الطوري والسعوي

Duality Between Phase Comparator and Amplitude Comparator

النظرية العامة المفترضة من قبل نلست Nelliste تقتضي بأن تكون خصائص أي دائرة أو خط مستقيم ركبت بواسطة المقارن السعوي يمكن أن تتركب أيضاً بواسطة مقارن الطور لو أن إدخالات مقارن السعة تتعادل عن طريق الجمع أو الطرح ثم تغذى إلى مقارن الطور. إن أشكال التحليل التناظري يكون كالآتي:

$$-90^\circ < \text{Arg} \frac{S_m}{S_p} < +90^\circ \equiv |S_p + S_m| > |S_p - S_m|$$

Or

$$|S_o| > |S_r| \equiv -90^\circ < \text{Arg} \frac{S_o + S_r}{S_o - S_r} < +90^\circ$$

حيث أن:

S_r, S_o : إدخالات المقارن السعوي.

S_m, S_p : إدخالات المقارن الطوري.

لمعرفة عمل التوافق بصورة جيدة نستخدم التحليل والرسم، وبما أن الرسم هو أفضل وأسهل إلى الفهم فسوف نأخذه كمحور لدراستنا. إن الشكل (6-30) يوضح بأن هنالك أربعة مخططات طورية (بأخذ الطور S_p كمرجع) هي:

1- في المخطط الطوري الأول، تقع S_m في الربع الأول والحالة هي إفلات في (a) المقارن الطوري و (b) مقارن السعة وعليه فإن

$$|S_p + S_m| > |S_p - S_m|$$

2- في المخطط الطوري الثاني، تقع S_m في الربع الثاني حيث لا توجد هنا حالة إفلات في (a) المقارن الطوري و (b) مقارن السعة وعليه فإن

$$|S_p + S_m| < |S_p - S_m|$$

3- في المخطط الطوري الثالث، تقع S_m في الربع الثالث حيث لا توجد حالة إفلات في (a) المقارن الطوري و (b) مقارن السعة حيث أن

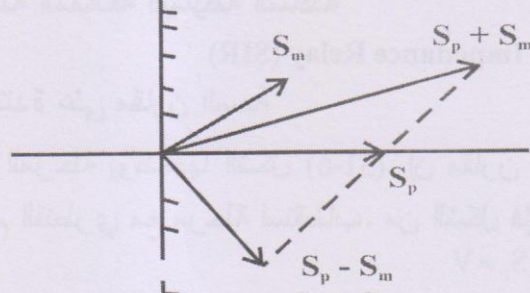
$$|S_p + S_m| < |S_p - S_m|$$

4- في المخطط الطوري الرابع، تقع S_m في الربع الرابع والحالة هو إفلات في (a) المقارن الطوري و (b) مقارن السعة حيث أن

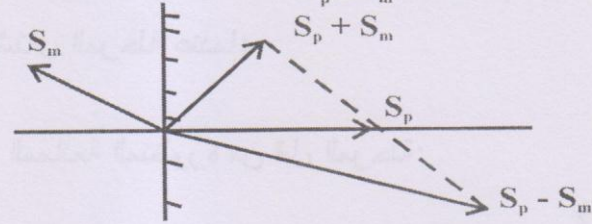
$$|S_p + S_m| > |S_p - S_m|$$

وعليه فإن مقارنة إدخالين في الطور هي أفضل من ناحية الجمع أو الطرح من مقارن السعة.

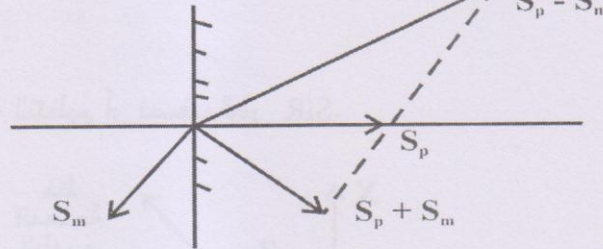
1-



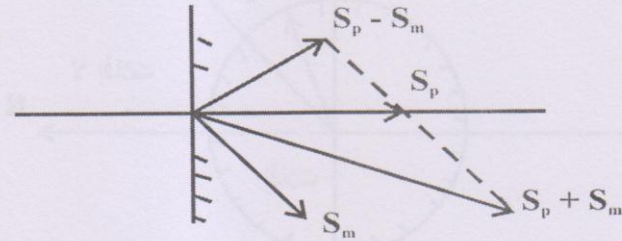
2-



3-



4-



شكل (6-30): التوافق الطوري

4-2-6-6 المقارنات متعددة الإدخالات Multi-Input Comparators

إن النظرية العامة هي أن حالات المقارنة المتماثلة لخصائص لها عدا الدائرة أو الخط المستقيم والتي يمكن تركيبها. وتظهر الحاجة لمقارن متعدد الإدخالات عند الرغبة في الحصول على خصائص أخرى.

5-2-6-6 مرحلة الممانعة البسيطة الساكنة

Static Simple Impedance Relay (SIR)

أ- SIR المستندة على مقارنة السعة

خصائص المرحلة يوضحها الشكل (31-6). إن مقارنة السعة عادة يستخدم المقوم القنطري مع مرحلة استقطاب. من الشكل فإن الدخل هو:
 $S_o = I Z_n$, $S_r = V$

حيث تشتغل المرحلة عندما:

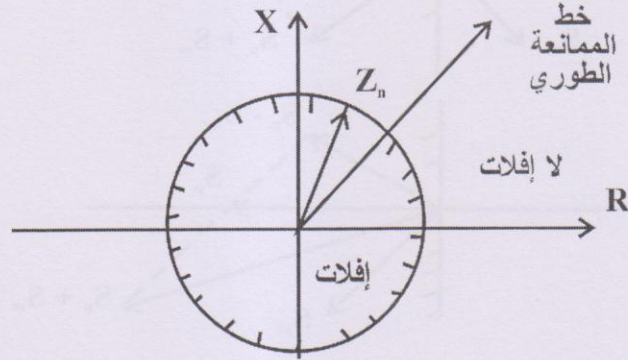
$$I Z_n \geq V$$

كما أن الممانعة المنظورة من قبل المرحلة:

$$\frac{V}{I} = Z < Z_n$$

حيث أن:

Z_n : ممانعة التنظيم أو نصف قطر SIR.



شكل (31-6): SIR المستندة على مقارنة السعة

ب- SIR المستندة على مقارنة الطور

يوضح الشكل (32-6) أن Z إما تكون في حالة إفلات أو تشغيل احتياطي أو لا إفلات نلاحظ من الشكل أن نقاط الربط P_1 و P_2 و P_3 من النقطة B والنقطة A. كما يلي:

6-2-6-6 المرحلة المفاعلية الساكنة Static Reactance Relay

أ- المرحلة المفاعلية المستندة على مقارنة الطور

يوضح الشكل (6-33)، بأن خصائص المفاعلة مع $Z=V/I$ في الإفلات، والتشغيل الاحتياطي ومنطقة اللا إفلات. تربط النقطة A مع P_1 و P_2 و P_3 فإن:

$$P_1 A = X_n - Z \quad (Z \text{ في منطقة إفلات})$$

$$P_2 A = X_n - Z \quad (Z \text{ في تشغيل احتياطي})$$

$$P_3 A = X_n - Z \quad (Z \text{ في منطقة لا إفلات})$$

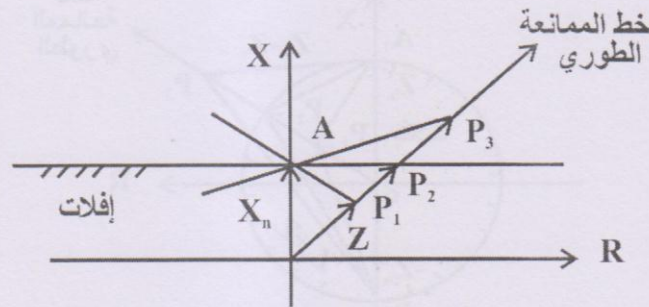
إن الزاوية تتقدم P_1A و P_2A فيما يتعلق بالطور X_n التي هي أقل من 90° عند الإفلات. لو أخذنا Z واحدة إلى يسار X_n فإن الزاوية المتقدمة تكون أكبر من $270^\circ + 90^\circ$ أو $90^\circ -$. وعليه فإن الإفلات القياسي في شكل الطور هو:

$$-90^\circ < \frac{X_n - Z}{X_n} < +90^\circ \quad \text{for trip}$$

بالتعويض $Z=V/I$ وضرب البسط والمقام في I ، نحصل على:

$$-90^\circ < \frac{IX_n - V}{IX_n} < +90^\circ \quad \text{for trip}$$

وهذا يطبق في الشكل (6-33).



شكل (6-33): المرحلة المفاعلية المستندة على مقارنة الطور

ب- المرحلة المفاعلية المستندة على مقارن السعة

يوضح الشكل (34-6) خصائص المرحلة المفاعلية مع طور $V/I=Z$ في الإفلات، والتشغيل القياسي واللا إفلات. حيث أن:

OA: تمثل مفاعلة التنظيم.

X_n : للمرحلة المفاعلية.

كما أن الامتداد الطوري OB يمثل $2X_n$. وعليه فإن الأطوار هي كالآتي:

$$P_1 B = (2X_n - Z) \quad (Z \text{ في منطقة إفلات})$$

$$P_2 B = (2X_n - Z) \quad (Z \text{ في التشغيل احتياطي})$$

$$P_3 B = (2X_n - Z) \quad (Z \text{ في منطقة اللا إفلات})$$

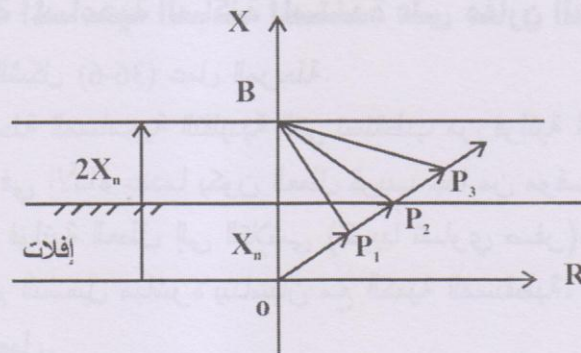
نلاحظ بأن $P_2 B = OP_2$ ، وعليه فإن الإفلات القياسي Z في منطقة الإفلات هي:

$$|2X - Z| > |Z| \quad (\text{trip})$$

بإحلال Z محل V/I وضرب البسط والمقام في I، نحصل على:

$$\left| \frac{2IX - V}{S_o} \right| > \left| \frac{V}{S_r} \right| \quad (\text{trip})$$

كميات الكبح كميات التشغيل



شكل (34-6): المرحلة المفاعلية المستندة على المقارن السعوي

7-2-6-6 المرحلة المسامحية الساكنة Static MHO Relay

أ- المرحلة المسامحية الساكنة المستندة على مقارنة الطور

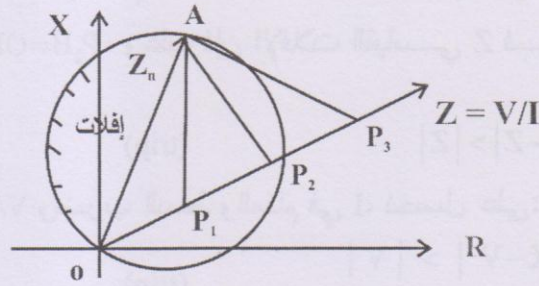
يوضح الشكل (35-6) دائرة مسامحية MHO مع $OA = Z_n$ كقطر، وثلاثة مواقع للممانعة المنظورة بواسطة المرحلة $Z = V/I$ في منطقة الإفلات، وتشغيل العتبة Threshold Operation ومنطقة اللا إفلات. نلاحظ:

$$P_1 A = Z_n - Z \quad (\text{عند الإفلات})$$

$$P_2 A = Z_n - Z \quad (\text{عند التشغيل احتياطي})$$

$$P_3 A = Z_n - Z \quad (\text{عند اللا إفلات})$$

إن حالة الإفلات القياسية يوضحها الشكل (35-6) بصورة واضحة.



شكل (35-6): المرحلة المسامحية المستندة على مقارنة الطور

ب- المرحلة المسامحية الساكنة المستندة على مقارنة السعة

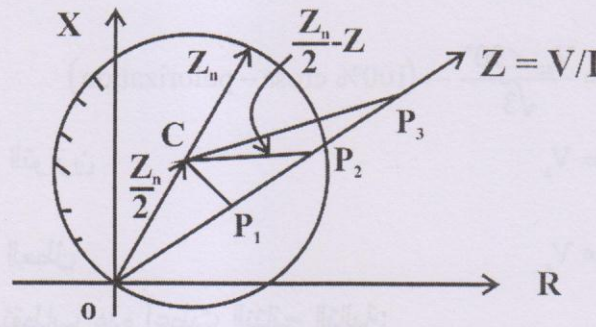
يوضح الشكل (36-6) عمل المرحلة.

إن المرحلة المسامحية التقليدية التي تستقطب من فولتية العطل، تعاني من قصور في الأداء عندما يكون العطل قريب جداً من موقع المرحلة حيث تصل فولتية العطل إلى التلاشي (تقريباً تساوي صفر)، وأن عزم الكبح وعزم التشغيل مباشرة يتناسبان مع الكمية المستقطبة، وأن المرحلة تفشل في العمل.

هناك طريقتان للتغلب على هذه المعضلة:

1- ينظم الملف المستقطب عند تردد القدرة (50 Hz أو 60 Hz)، لكي يحافظ على الفيض المستقطب لدورات قليلة بدلاً من الانهيار السريع في الفولتية. حيث تعمل المرحلة بصورة صحيحة خلال هذه الفترة. إن هذه الطريقة غير مجدية بسبب تردد المصدر الذي ربما يتغير خلال فترة العطل، بينما يصل الملف المستقطب إلى حالة الرنين عند ثبوت التردد. وأن الاختلاف بين الترددين والذي يعود إلى اختلاف الطور يزداد مع كل دورة.

2- تستخدم الطريقة الثانية استقطاب الطور غير العاطل (Healthy) وتفضل طريقة الاستقطاب المنقطع Cross-Polarization.



شكل (6-36): المرحلة المساحية الساكنة المستندة على مقارن السعة

اعتبر على سبيل المثال بأن وحدة المرحلة المساحية A-E التقليدية التي تستقطب من فولتية العطل V_a المستندة على مقارن الطور تستند على معادلة الإفلات الآتية:

$$-90^\circ < \text{Arg} \frac{(I_a + KI_o) Z_n - V_a}{V_a} < +90^\circ$$

لو أن V_a تلاشت خلال انتهاء العطل فإن المقارن لايعطي خرج وعليه فإن المرحلة تفشل في العمل. وعليه فيجب إضافة فولتية سليمة لاتسبب في الانهيار لفولتية العطل. إن معادلة الإفلات المعدلة مع طور سليم ذا استقطاب منقطع (V_{bc}) هي:

$$-90^\circ < \text{Arg} \frac{(I_a + KI_a) Z_n - \left| (1-K)V_a + \frac{KV_{bc} \angle 90^\circ}{\sqrt{3}} \right|}{\left| (1-K)V_a + \frac{KV_{bc} \angle 90^\circ}{\sqrt{3}} \right|} < 90^\circ$$

حيث أن:

$$V_{\text{polarizing}} = (1-K)V_a + \frac{KV_{bc} \angle 90^\circ}{\sqrt{3}}$$

K = amount (Fraction of V_{bc}) of polarization.

If K = 0

$V_{\text{polarizing}} = V_a$ (Conventional relay)

If K = 1

$$V_{\text{polarizing}} = \frac{V_{bc} \angle 90^\circ}{\sqrt{3}} \rightarrow (100\% \text{ cross-polarization})$$

$$V_{\text{polarizing}} = V_a$$

عند حالات التوازن

$$V_{\text{polarizing}} \neq V_a$$

عند حالات العطل

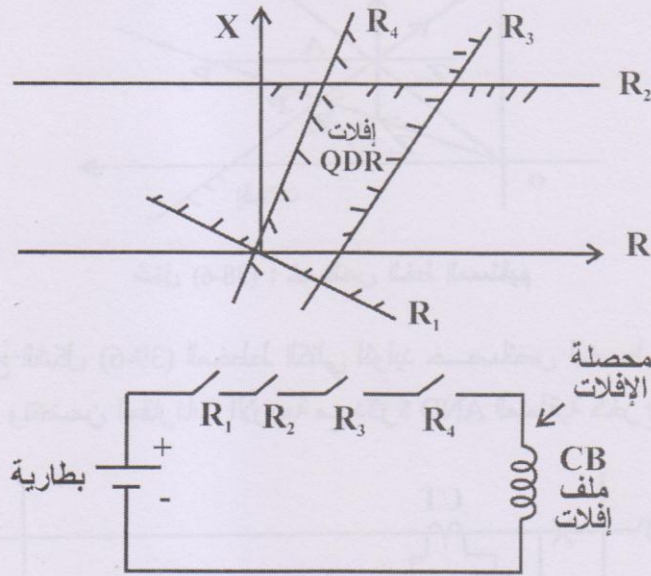
إن أنواع الاستقطاب هذه أعطت النتائج التالية:

- 1- عند حالات التوازن (حالة العطل الثلاثي الطور وحالة تأرجح القدرة)، فإن خصائص المرحلة تبقى مشابهة للمرحلة المسامحية التقليدية وعملياً تكون محصنة من حالات تأرجح القدرة.
- 2- عند حالات العطل فإن المرحلة تعمل بإيجابية وأن الكمية المستقطبة لا يمكن أن تتلاشى.

8-2-6-6 مرحلة المسافة ذات الشكل الرباعي الساكنة Static QDR

أ- QDR المستندة على مقارنة الطور

إن التقنية البسيطة لتركيب QDR هو امتلاكه لأربعة خطوط مستقيمة على مخطط R-X مع دائرة AND كخرج للإفلات الشكل (6-37). إذا كانت خواص الخطوط الأربعة المستقيمة مركبة عن طريق إحدى المقارنات الملائمة مع دائرة AND كخرج للإفلات (ربط ملامسات الإفلات تكون على التوالي)، فإن المساحة المحصول عليها تعتبر منطقة إفلات. وهذه إحدى الطرائق المتبعة في تصميم مرحلة QDR. إن من مساوئ هذه الطريقة هو أنه عند فشل أحد المقارنات سوف يعمل على تشوه خواص المرحلة وسوء أدائها. وعليه فإن هذه الطريقة نادراً ما تستخدم.

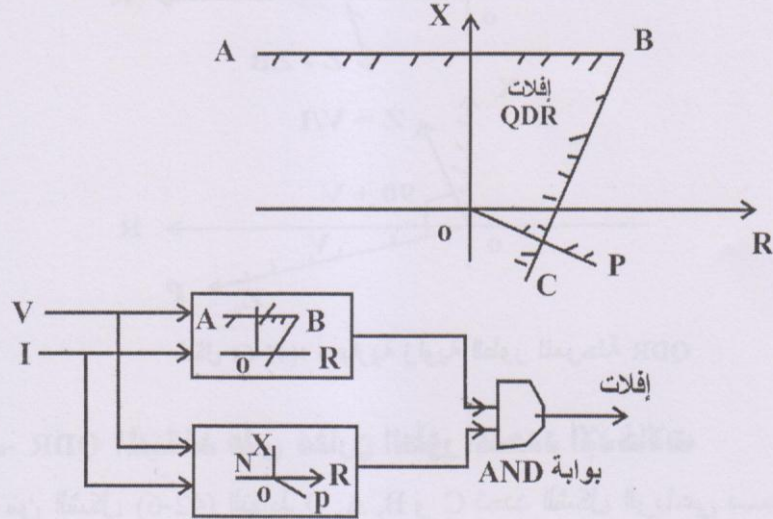


شكل (6-37): مجموعة الخطوط المستقيمة كمرحلة QDR

فعلى سبيل المثال، وجد أن عدة إدخالات إلى مقارن الجيب تمام يمكن الحصول منها على خصائص الخط المستقيم. وبالرجوع إلى الشكل (6-38) سقط عمود على خصائص الخط المستقيم المطلوبة من نقطة

ب- QDR المستند على مقارنة الطور المتماثل

يوضح الشكل (40-6) مقارني طور مربوطين منطقياً مع دائرة AND للحصول على خصائص الشكل الرباعي.



شكل (40-6): مرحلة QDR المستندة على مقارني الطور المتماثل

- إن المقارنات المطلوبة تمتلك زاوية طور متماثلة احتياطية، بين $90^\circ +$ و 90° لمقارنات الجيب تاممي. حيث يمثل الشكل (41-6) زاوية طور معيارية.

$$\alpha < \text{Arg} \frac{S_m}{S_p} < \beta$$

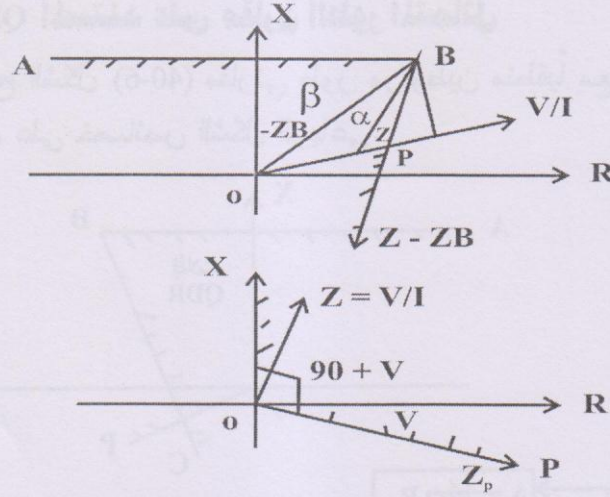
ويوضح الشكل كذلك كيف يتم ربط كل خطين مستقيمين.

إن ربط اثنين من الخصائص الطورية تكون كالاتي:

$$-\beta < \frac{Z_1 - Z_b}{-Z_b} < \alpha$$

And

$$90^\circ + v > \text{Arg} \frac{Z}{Z_p} > 0$$



شكل (41-6): معيارية زاوية الطور للمرحلة QDR

جـ- المستند على مقارن الطور المتعدد الإدخالات

من الشكل (42-6) النقاط O, A, B, و C تحدد الشكل الرباعي بصورة تامة. بفرض أن $V/I = Z$ فإن منطقة الإفلات كطور هي OP. بربط النقطة P_1 للطور Z إلى النقاط A و B و C. نلاحظ أن الأطوار الأربعة هي:

$$P_1 O = -Z$$

$$P_1 B = Z_b - Z$$

$$P_1 A = Z_a - Z$$

$$P_1 C = Z_c - Z$$

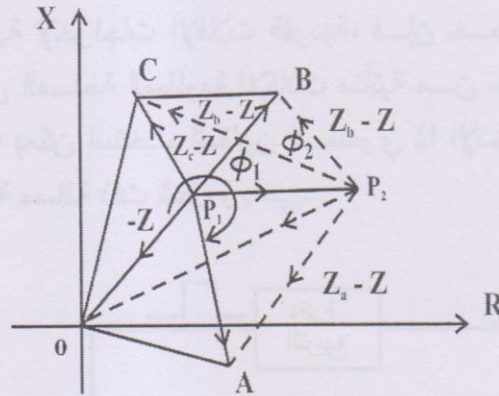
هذه الأطوار تكون محصورة بزوايا الطور التي هي أكبر من 180° (يعني الإزاحة الطورية بين أي اثنين من الأطوار المتجاورة).

من الشكل فإنه عندما $V/I = Z$ في منطقة الإفلات. نلاحظ بأن الأطوار $P_2 A$, $P_2 O$, $P_2 C$ و $P_2 B$ تكون محصورة بزوايا الطور التي هي أقل من 180° . نلاحظ بأن هذا يحدث عندما لا تتقاطع النقطة P مع أي من الخطوط OA, AB, BC و CO للدخول إلى منطقة اللا إفلات شكل (43-6) والذي يوضح فترة التطابق الموجبة عندما:

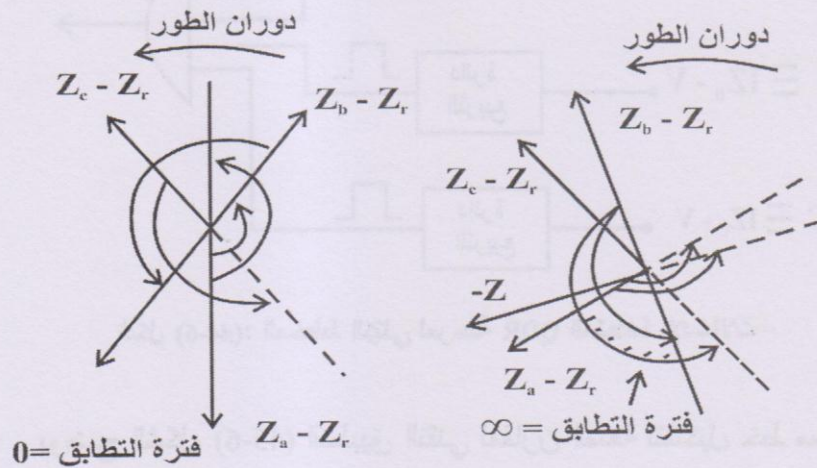
1- تكون صفر، لو أن الأطوار كانت محصورة بزوايا الطور التي هي أكبر من 180° .

2- تكون محددة، لو أن الأطوار كانت محصورة بزوايا الطور التي هي أقل من 180° .

لتحسين مرحلة QDR، يجب اختبار فترة التطابق CP للأطوار الأربعة. فلو كانت (a) تساوي صفر يعني حالة إفلات ولو كانت (b) تساوي محددة يعني حالة لا إفلات.



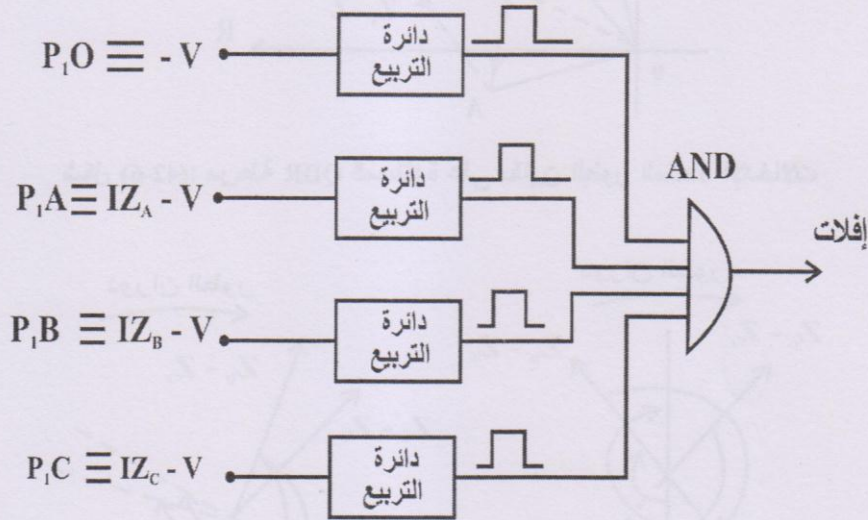
شكل (42-6): مرحلة QDR المستندة على مقارنة الطور المتعدد الإدخالات



شكل (43-6): فترة التطابق لأكثر من إدخالين

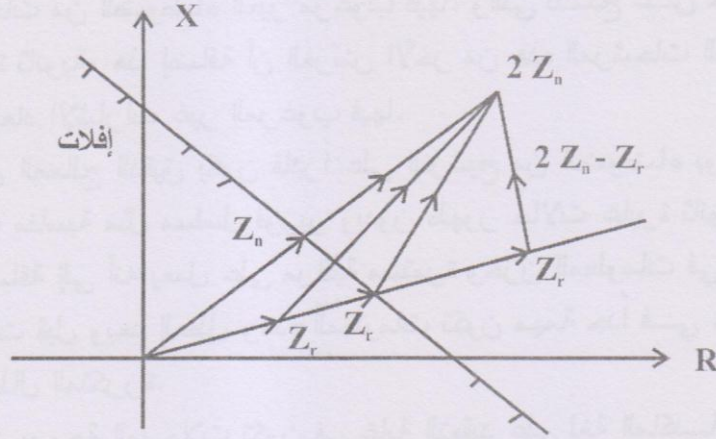
د- مرحلة QDR المستندة إلى مقارنة السعة متعددة الإدخالات

على فرض أن مقارنة السعة متعددة الإدخالات يمتلك عدد n من الإدخالات الجيبية. وهي مكافئة إلى $n-1$ لكل إدخالين من إدخالات مقارنة السعة مع خرج إشارات مكون من دائرة AND. فعلى سبيل المثال إن الدائرة تتكون من أربعة معادلات مع خمسة إدخالات ($n=5$).
 $(S_1 < S_2)$, $(S_1 < S_3)$, $(S_1 < S_4)$ and $(S_1 < S_5)$
 وبالنتيجة يتم الحصول على إشارات (شكل (6-44)) ونتيجة لدائرة AND المنطقية لإخراجات الإشارات الفردية، فإن خصائص المرحلة للحصول على المساحة المطلوبة للإشارات متأتية من مقارنات السعة الفردية. حيث يمكن استخدام المقارن السعوي ذا الإدخالات الخمسة لتشكيل مرحلة مسافة ذات شكل رباعي.



شكل (6-44): المخطط الكيولي لمرحلة QDR المتعددة الإدخالات

يوضح الشكل (6-45) التطبيق التقني لمقارن السعة لتشكيل خط مستقيم وعليه فإن المقارنات الأربعة مع إخراجاتها تشكل مرحلة QDR.



شكل (45-6): مرحلة QDR المستندة على مقارنة السعة متعددة الإدخالات

3-6-6 مراحل المسافة المستندة على المعالج الدقيق

Microprocessor-Based Distance Relays

يعتبر المعالج الدقيق جزء مشابه للحاسبة الالكترونية حيث يحتوي على خازن للمعلومات التي تقاس بالبت Bit والبايت Byte ولها ممر للعناوين تتكون من (16 Bit، 32 Bit) وهكذا ولها معالج وقتي (لغرض إجراء العمليات الحسابية) ولا يختلف عمله كثيراً عن عمل الحاسبة الالكترونية. يستخدم المعالج الدقيق بصورة واسعة في التطبيقات الحمائية وذلك لإمكانية تشكيله في مكونات وتراكيب وحل الدارات الرياضية والمنطقية، وصنع القرارات والخزن في الذاكرة هذا فضلاً على حاجته لوقت قصير لإتمام مثل تلك العمليات التي تحتاجها الحماية، كونه أكثر مرونة ومبرمج، وأنه يمكن أن يتلائم مع المرحلات الكهروميكانيكية والساكنة. إن المعالج المستخدم في عمل المرحلات يكون مطوراً واقتصادياً ومختزلاً ومرناً وموثوقاً ومحسناً.

تحتوي عادة مرحلات الفولتية والتيار على توافقيات كاملة ومركبات d.c، بينما المرحلات الساكنة تحتوي أصلاً على مرشحات وعناصر خزن الطاقة كالمتسعات وربما المحاثات التي تعمل على تحسين وترشيح

الموجات من الضوضاء الغير مرغوب فيها، والتي تنتج عن حالات عابرة ثانوية، هذا إضافة أن الغرض الآخر من هذه المرشحات التناظرية هو إبعاد الإشارات غير المرغوب فيها.

إن المعالج الدقيق يكون قادراً على الترشيح من الضوضاء بواسطة آليات مناسبة مثل مسلسل فورير وبدون ظهور حالات عابرة ثانوية. هذا بالإضافة إلى أنه يعمل على مراقبة مستمرة وخزن المعلومات في الذاكرة لحالات قبل وبعد العطل وهذه المعلومات تكون مهمة جداً في حالات الأعطال المتكررة.

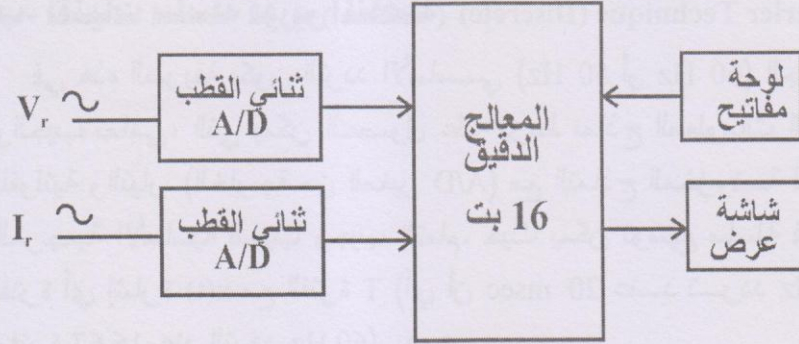
إن برمجة المرحلات تكون في غاية التعقيد على لغة الماكينة وهذا يتطلب وصف تفصيلي للبرنامج بلغة الماكينة وتكون سريعة التنفيذ. إن أنظمة المعالج الدقيق المطورة (Microprocessor Development System (MDS)) تكتب بلغة عالية المستوى مثل لغة C وفي هذه الحالة يكون البرنامج سهل التنفيذ.

إن الفائدة الأخرى من المرحلات المستندة على المعالج الدقيق هي إمكانية تغيير خصائص المرحلة، مثال على ذلك فإن مرحلات التيار المفرط يمكن اختيار خصائصها وفي الوقت المحدد والعكسي جداً وغيرها بواسطة لوحة المفاتيح (Keyboard) والتي تقوم بالمراقبة المستمرة لسير العمليات معتمدة على التغييرات للحصول على خصائص أخرى. أما في مرحلات المسافة فيمكن الحصول على خصائص كثيرة ومتعددة.

1-3-6-6 ربط الفولتية والتيار بالمعالج الدقيق

Interfacing Voltage and Current Transformers to Microprocessor:

يوضح الشكل (6-46) المخطط العام لربط الفولتية والتيار ولوحة المفاتيح Keyboard والشاشة وغيرها مع المعالج الدقيق، حيث أنه لا يحتاج إلى إيضاح عدا أن إدخلات الفولتية تتغير (التيار يزداد والفولتية تهبط عند العطل) وكذلك قطبية (يمكن أن تكون موجبة أو سالبة) المغير الذي يقوم بتحويل الإشارة التناظرية إلى إشارة رقمية ملائمة للعمليات.



شكل (46-6): ربط المعالج

2-3-6-6 الحسابات الرقمية لقيمة جذر معدل التربيع RMS للتيار والفولتية والممانعة (القيمة والزاوية)

Digital Calculation of RMS Values of Current, Voltage, Impedance (Its Modulus and Angle):

قبل الدخول في تصميم المرحلة، يجب الرجوع إلى مبدأ عمل المرحلة المستند على المعالج للكميات التناظرية، مثل التيارات والفولتيات الجيبية والتي لا تخلو من التوافقيات ومركبات التيار المستمر، حيث يكون الترشيح مطلوباً لغرض إبقاء مركبات التردد الأساسية، وقيم جذر معدل التربيع RMS، للحصول على قيمة الممانعة $V_{r.m.s}/I_{r.m.s}$ وزاويتها θ_r . كما يجب أخذ قرار الإفلات واللا إفلات. نلاحظ بأن إدخالاً قبل وبعد العطل تعرض على الشاشة لغرض الاستفادة من تشخيص العطل.

أ- حساب قيم RMS للتردد الأساسي

Calculation of Fundamental Frequency RMS Values

الطرق العامة للحساب الرقمي لقيم RMS للتيارات والفولتيات الجيبية تكون عن طريق المعالج. حيث يجب اختيار أكثر من اثنتين من الخوارزميات ذات السرعة الحسابية لكي يتمكن المرشح المتخلص من التوافقيات ومركبات التيار المستمر.

ب- تقنيات سلسلة فوريير (المنفصلة) Fourier Technique (Discrete)

في هذه الطريقة يكون التردد الأساسي (50 Hz أو 60 Hz) الجيبي والجيب تامي، التي يمكن الحصول عليه بربط نماذج المعلومات الداخلة للفلتية والتيار (الخارجة من المغير A/D) مع النماذج المخزونة للقيم المرجعية الأساسية للجيب وجيب التمام. حيث يمكن توسيع سلسلة فوريير لفترة أي إشارة $x(t)$ مع الفترة T (أي أن 20 msec عند تردد 50 Hz وفترة 16.67 عند التردد 60 Hz). هي:

$x(t) = \text{d.c component} + \text{sine component of harmonics} + \text{cosine component of harmonics}$

$$x(t) = V_o + \sqrt{2} V_{1s} \sin wt + \sqrt{2} V_{1c} \cos wt + \sqrt{2} V_{2s} \sin 2wt + \sqrt{2} V_{2c} \cos 2wt$$

= d.c + sine components + cosine components up to nth harmonics

Where:

$$V_o = \int_{wt=0}^{w=2\pi} v(wt) d(wt) \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} V(wt) d(wt)$$

= d.c component

$$V_{1s} = \int_{wt=0}^{w=2\pi} v(wt) \sin wt d(wt) \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} V(wt) \sin wt (dwt)$$

= fundamental sine component.

$$V_{1c} = \int_{wt=0}^{w=2\pi} v(wt) \cos (wt) \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} V(wt) \cos wt (dwt)$$

= fundamental cosine component.

$$V_1 \text{ RMS} = \sqrt{V_{1s}^2 + V_{1c}^2}$$

ثم تؤخذ فترة العينات $v(wt)$ عند طريق المغير A/D حيث تضرب بمعاملات الخزن الوزنية (Stored Weighting Coefficient) للمركبات الأساسية للجيب والجيب تمام ومن ثم تضاف للحصول على V_{IS} و V_{IC} و V_{IRMS} .
اعتبر المثال العددي مع معدل فترة العينات المتكون من 16 عينة لكل نافذة بدورة كاملة Full-Cycle Window لإشارة الفولتية العالية $v(t)$. إن العينات اللحظية لفولتية الدخل $v(t)$ هي $360/16=22.5^\circ$.

$$V_{IS} = \frac{1}{16} \sum_{n=0}^{n=15} W_{ns} V_n = \text{RMS sine component fundamental}$$

حيث أن:

V_o إلى V_{IS} : قيم العينات $v(t)$.

W_{os} إلى W_{IS} : معاملات الأوزان للجيب الأساسي.

:Sin 0, Sin 22.5, Sin 45..... etc.

$$V_{IC} = \frac{1}{16} \sum_{n=0}^{n=15} W_{nc} V_n = \text{RMS Cosine component fundamental}$$

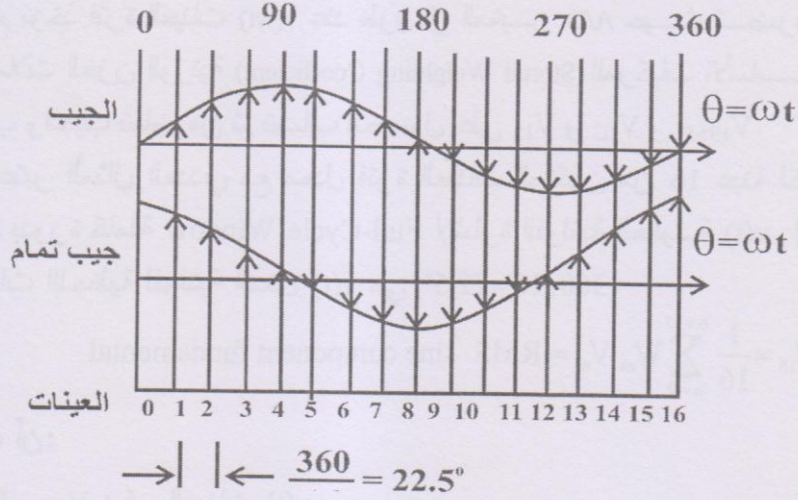
حيث أن:

W_{oc} إلى W_{IS} : معاملات الأوزان للجيب تمام الأساسي.

:Cos 0, Cos 22.5, Cos 45..... etc.

يوضح الشكل (47-6) العينات ومعاملات الأوزان الأساسية للجيب وجيب التمام. نلاحظ بأن معاملات الأوزان تحتاج إلى حسابات مسبقة وخزن في الذاكرة.

لتلخيص قيمة RMS للمركبات الأساسية من $v(t)$ فإن عمليات ضبط الدورات للمعالج نوع INTEL, 8086 CPU تكون حسب الجداول (1-6) و (2-6).



شكل (47-6): معاملات الأوزان لمسلسلات فوريير

جدول (1-6)

مجموع ضبط الدورات الجمع/الطرح = 3 الضرب = 128	عدد عمليات الضرب	عدد عمليات الجمع والطرح
$32 \times 3 + 32 \times 128 = 4192$	32	32

وان استجابة التردد هي:

جدول (2-6)

D.C	Fundamental	2 nd	3 rd	4 th	5 th	7 th	8 th	Harmonics
0	100%	0	0	0	0	0	0	

إن نافذة الدورة الكاملة لسلسلة فوريير هي الأفضل لتمكنها من إزالة مركبة d.c والتوافقيات الفردية والزوجية. ولكن الزمن الحسابي يكون عالي وهذا يعني أنها خوارزمية الزمن الحقيقي بطيء (Slowest Real Time). للحصول على زمن حسابي أسرع يمكن استخدام خوارزمية والش Walsh.

ج- خوارزمية والش Walsh Algorithm

تعتبر خوارزمية والش من نوع الموجة المربعة وأن معاملات الوزن تكون ما بين 1.0 + و 1.0 - على خلاف سلسلة فوريير. وهذا يقود إلى عدم وجود عملية ضرب كما أن خوارزمية والش تكون سريعة حسابياً. وعند تحويل خوارزمية والش (ذات موجة مربعة) إلى سلسلة فوريير (ذات موجة جيبية)، تظهر هنالك توافقيات في المركبة الأساسية بالنسبة المثوية. وفي هذا التحويل يجعل المركبات الأساسية خالية من التوافقيات. وتظهر النتائج تحسين كبير في السرعة الحسابية أيضاً. على سبيل المثال فإن تحليل والش للموجة المربعة يمكن إعادتها بإضافة النسبة المثوية للتوافقيات الفردية إلى المركبة الأساسية. إن المعادلات هي:

$$S(\omega t) = \sin \omega t + \frac{1}{3} \sin 3\omega t + \frac{1}{5} \sin 5\omega t + \frac{1}{7} \sin 7\omega t + \text{Higher Terms}$$

وهذا ما يوضح بأنه يمكن أخذ مثال لدالة والش الأساسية. على اعتبار أن معدل العينات 16 عينة لكل دورة. وعليه فإن:

$$V_{15} = \frac{1}{16} \left[\sum_{n=0}^7 V_n (+1) + \sum_{n=8}^{15} V_n (-1) \right] \text{ (RMS Fundamental Sine Component)}$$

حيث أن:

V_0 إلى V_{15} : قيم العينات $v(t)$.

+1, -1: معاملات الأوزان لدالة والش الأساسية للجيب.

$$V_{1,c} = \frac{1}{16} \left[\sum_{n=0}^3 V_n (+1) + \sum_{n=4}^{11} V_n (-1) + \sum_{n=12}^{15} V_n (+1) \right]$$

(RMS Fundamental Sine Component)

وعند الاختصار نفرض أن دخل فولتية المرحلة تتكون من مركبة أساسية وتوافقيات فردية وبعد الارتباط مع دالة والش الأساسية للجيب يكون الخرج كما يلي:

$$\int v(\omega t) (\text{walsh}_{\sin} d(\omega t)) = F_1 + \left(\frac{1}{3}\right) F_3 + \left(\frac{1}{5}\right) F_5 + \dots$$

حيث أن:

F_1, F_3, F_5, \dots هي قيم RMS للمركبة الأساسية والثالثة والخامسة والتوافقيات الفردية العالية، لتشكيل دخل فولتية المرحلة $v(\omega t)$. وبعد الارتباط يتم ترشيح جميع التوافقيات الفردية. وعليه فإن دالة والش الأساسية تكون ضعيفة الاستجابة للتردد، وتحتوي على توافقيات ذاتية. في الحقيقة يمكن ربط دالة الدخل $v(\omega t)$ مع المركبة الجيبية الأساسية ومع التوافقيات لتشكيل الموجة المربعة.

وللحصول على المركبة الأساسية فقط يجب ربط دالة الدخل $v(\omega t)$ مع المراتب العليا (الثالث، الخامس، السابع إلى آخره) لدالة والش واقتطاع جزء صغير للخرج، عند ربطها مع دالة والش. بدون الذهاب كثيراً إلى التفاصيل يجب أن نبرهن بأن:

$$F_1 = 0.9\omega_{1s} - 0.373\omega_{3s} - 0.074\omega_{5s} - 0.179\omega_{7s}, \dots \text{ etc.}$$

حيث أن:

F_1 : المركبة الجيبية الأساسية المطلوبة $v(\omega t)$.

ω_{1s} : مركبة $v(\omega t)$ منتزعةً منها عن طريق الربط مركبة والش الجيبية الأساسية.

ω_{3s} : مركبة $v(\omega t)$ منتزعةً منها عن طريق ربط التوافقية الثالثة لدالة والش الجيبية.

ω_{5s} : مركبة $v(\omega t)$ منتزعةً منها عن طريق ربط التوافقية الخامسة لدالة والش الجيبية.

ω_{7s} : مركبة $v(\omega t)$ منتزعةً منها عن طريق ربط التوافقية السابعة لدالة والش الجيبية.

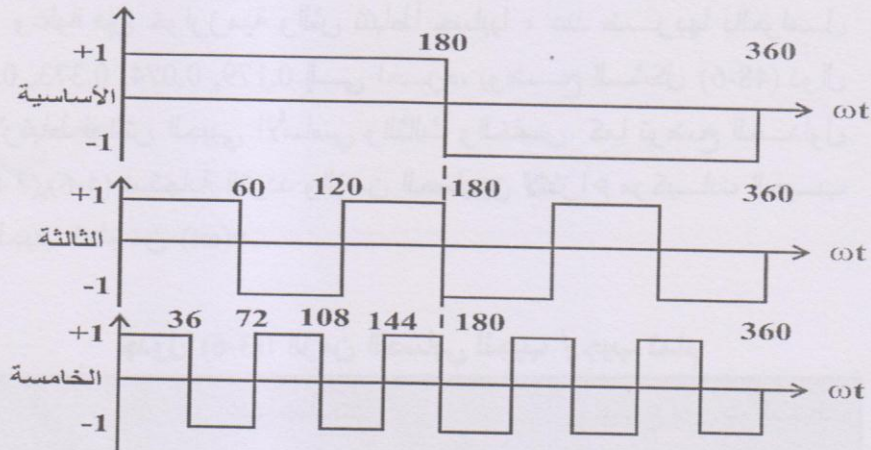
وعليه فإن خوارزمية والش تتباطأ حسابياً ، عند ضربها بالعوامل 0.9, 0.373, 0.074, 0.179 إلى آخره. يوضح الشكل (6-48) دوال الارتباط لوالش الجيبي الأساسي والثالث والخامس. كما توضح الجداول (3-6)، (4-6) استجابة التردد والزمن الحسابيين لانتزاع مركبات الجيب والجيب تمام من $v(\omega t)$.

جدول (3-6): الزمن الحسابي للجيب / جيب تمام

الخوارزمية	عدد عمليات الجمع / الطرح	عدد عمليات الضرب	مجموع دورات الضبط الجمع / الطرح = 3 الضرب = 128
والش (حد واحد)	32	nil	$32 \times 3 = 96$
والش (حدين)	32	4	$32 \times 3 + 4 \times 128 = 608$

جدول (4-6): استجابة التردد

الخوارزمية	العمليات الزمنية (ضبط الدورات)	الأساسية	الثالثة	الخامسة	السابعة
والش (حد واحد)	96	100%	33.3%	20%	14.3%
والش (حدين)	608	100	3%	0%	20%



شكل (6-48): دوال والش الجيبية

إن خوارزمية والش ذات الحدين يمكن أن تزيل التوافقيات الثالثة والخامسة ولكنها، لا تستطيع التخلص من التوافقيات السابقة في $v(\omega t)$. هذا بالإضافة إلى أن خوارزمية والش ذات الحدود الثلاثة يمكن أن تتخلص منها، لكن هذه الدالة تدخل عمليات إضافية تعمل على زيادة الزمن الحسابي وتقلل معدل العينة.

د- حساب الممانعة Calculation of Impedance

إن إدخال المعالج هي الفولتية والتيار ويجب هنا استخلاص المركبات الأساسية فقط لإيجاد الممانعة. ولغرض استخلاص المركبات الأساسية يجب اختيار واحدة من الخوارزميات والتي هي سلسلة الفورير ووالكش وهار Harr .. إلى آخره.

إن الاختيار يعتمد على زمن العمليات للخوارزمية والتوافقيات العالية المترشحة. على سبيل المثال نفرض أن هنالك 16 عينة لكل من $v(\omega t)$ و $i(\omega t)$. عليه يجب إيجاد مركبات الجيب وجيب التمام للفولتية والتيار وزاوية الطور. ومن ثم يمكن حساب الممانعة.

هذه العمليات تحدد فيما إذا كان هنالك عطل أم لا ثم تؤخذ عينة أخرى جديدة للفلتية $v(\omega t)$ والتيار $i(\omega t)$ لتنظيم العينة القديمة، وإيجاد ممانعة جديدة. لنفرض بأن زمن العمليات بين العينات المجاورة هي T_P ثم:

$$\text{معدل العينة} = \frac{\text{فترة المركبة الأساسية}}{T_P} = [\text{عينة/دورة}]$$

وكمثال عددي فإنه إذا كانت:

T_P : زمن العمليات = 1.0 ملي ثانية

T : فترة المركبة الأساسية = 20.0 ملي ثانية (عند تردد 50 Hz)

= 16.67 ملي ثانية (عند تردد 60 Hz)

وعليه:

العينات/دورة ≥ 20 (عند تردد 50 Hz).

العينات/دورة ≥ 16.67 (عند تردد 60 Hz).

بواسطة معيارية Nyquist فإن التوافقيات العالية يمكن أن تترشح في نصف معدل العينات. والتوافقيات الفردية العالية يمكن أن تترشح مع معدل العينات الفوقية وهذا يعني أن:

التوافقيات العالية التي يمكن إزالتها هي التاسعة 9^{th} (عند تردد 60 Hz).

التوافقيات العالية التي يمكن إزالتها هي السابعة 7^{th} (عند تردد 60 Hz).

يوضح الشكل (49-6) المخطط الانسيابي لحساب الممانعة Z والمقاومة R ، والمفاعلة X .

هـ- خصائص المرحلة المختلفة

1- مرحلة الممانعة البسيطة : من الشكل (50-6)

في هذه المرحلة البسيطة فإن خرج الإفلات يصدر عندما:

$$|Z| \leq Z_n \text{ Setting}$$

2- المرحلة المفاعلية: من الشكل (51-6)

$$X \leq X_n \text{ (Trip)}$$

3- المرحلة المسامحية: من الشكل (6-52) الذي يوضح الخصائص المسامحية فإن:

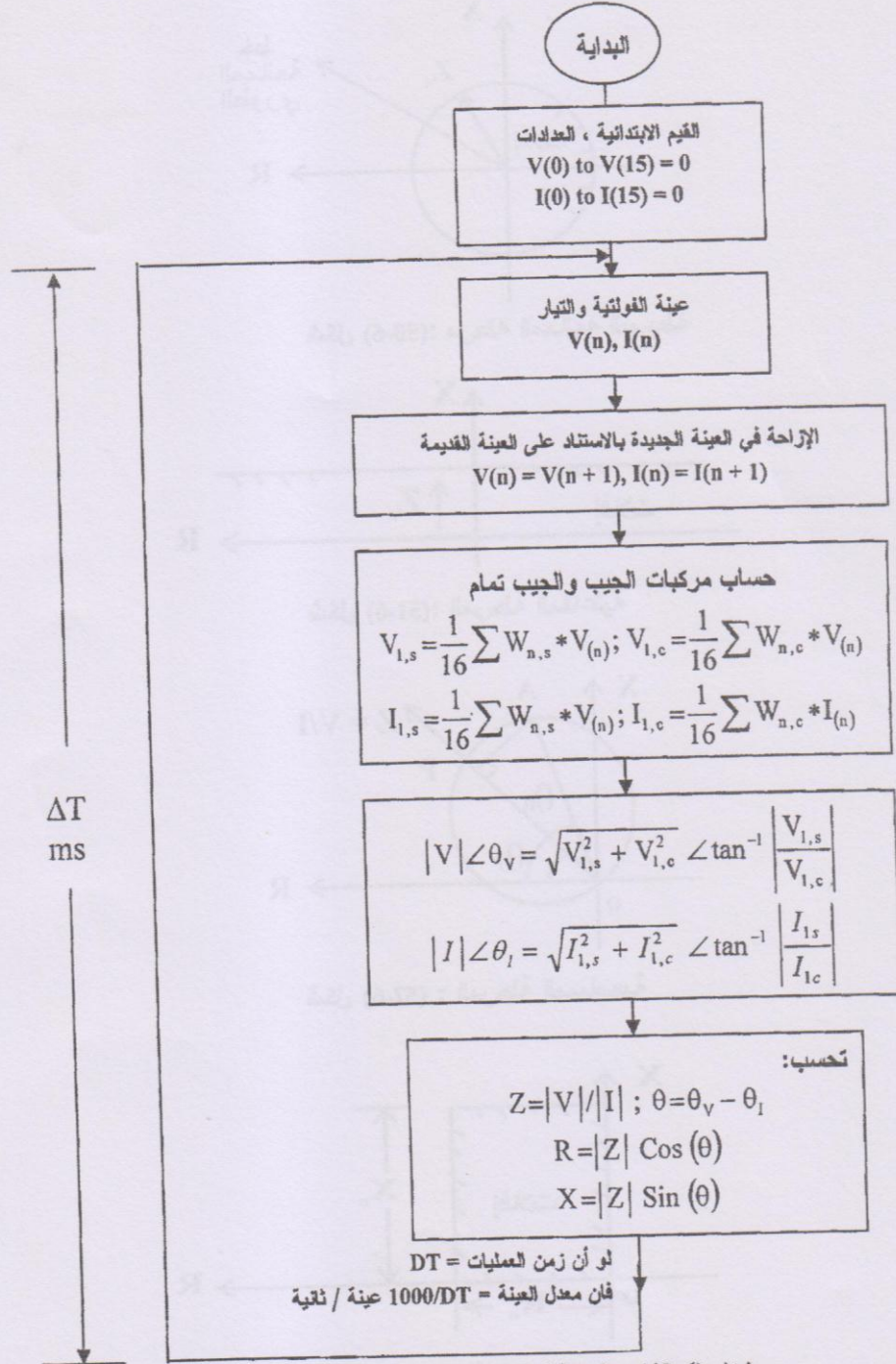
$$|Z_n \cos(\theta_n - \theta_r)| \geq |Z_r|$$

4- مرحلة الشكل الرباعي: من الشكل (6-53) الذي يوضح مرحلة QDR على مخطط R-X عندما

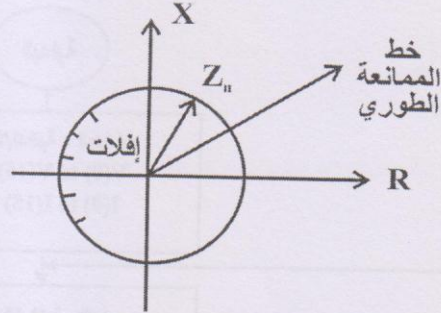
$$0 < R < R_n$$

$$0 < X < X_n$$

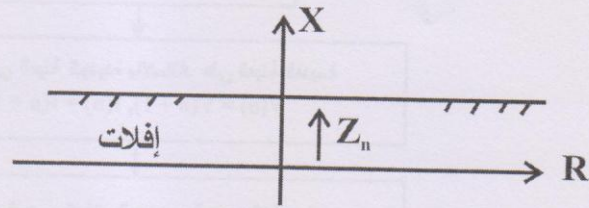
وعليه تصدر إشارة الإفلات.



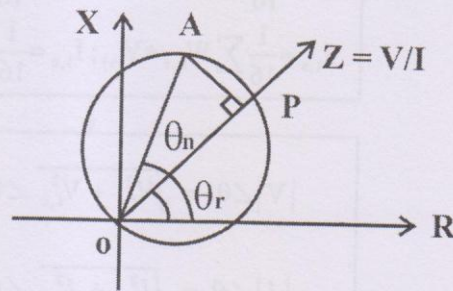
شكل (49-6) : المخطط الانسيابي لحساب X, R, Z



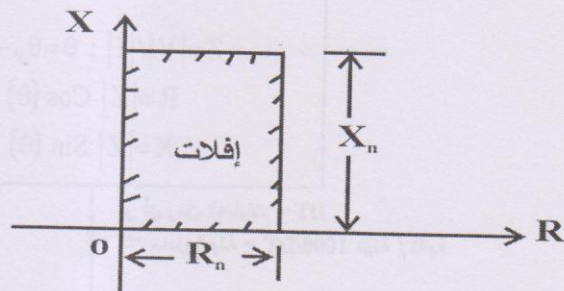
شكل (50-6): مرحلة الممانعة البسيطة



شكل (51-6): المرحلة المفاعلية



شكل (52-6): المرحلة المساحية



شكل (53-6) مرحلة الشكل الرباعي

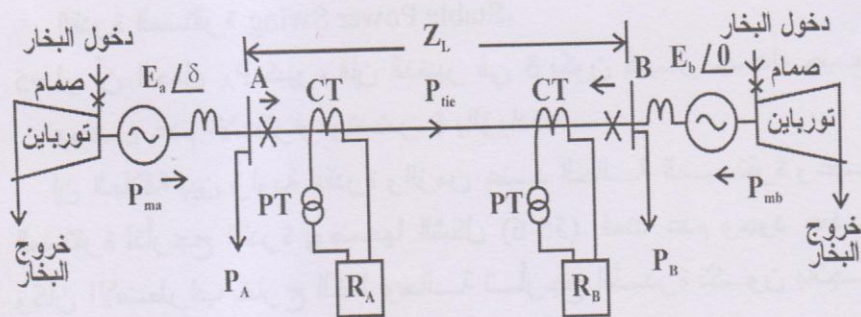
7-6- تأثير تأرجح القدرة على المرحلات المسافية

Effect of Power Swing on Distance Relays

1-7-6 الاستقرار والاستقرارية لتأرجح القدرة

Stable and Unstable Power Swing

إن الهدف من مرحلات الحماية هو الكشف عن العطل، وإعطاء إشارة الإقلاط إلى قاطع الدورة. وهذا يعني أنه يجب أن لا تشتغل إلا في حالات العطل ولو أنها اشتغلت عند عدم وجود العطل كان ذلك سوءاً في الأداء. سنقوم بدراسة تأثير تأرجح القدرة على أداء مرحلات المسافة، وبالرجوع إلى الشكل (54-6) الذي يوضح ربط منظومتين تزامنتين، تمتلك المصادر E_A و E_B ممانعتين هما Z_{SA} و Z_{SB} على التوالي حيث أن المصدر E_A يتقدم على المصدر E_B بزاوية δ . لو أن δ كانت موجبة فإن القدرة تنتقل من مصدر A إلى مصدر B . ولو كانت δ سالبة فإن القدرة سوف تنتقل من مصدر B إلى مصدر A . وتسمى الزاوية δ بزاوية القدرة أو زاوية الدوار أو زاوية الحمل. إن الخط الرابط $A-B$ يمتلك ممانعة الخط Z_L . وتوجد كذلك مرحلات المسافة R_A و R_B مع قواطع دورة عند كلا النهايتين للخط. إن الغرض من هذه المرحلات هو أن تشتغل عند وجود عطل والإقلاط يكون في اتجاه معين على الخط.



شكل (54-6): حالة الربط بين منظومتين تزامنتين

اعتبر بأن موقع الأحمال r_A و P_B على قضيب التوزيع A و B على التوالي. ليكن سريان القدرة عند الحالة المستقرة على الخط الرابط هي P_{tie} . فإن إدخال القدرة الميكانيكية (قدرة التوربين) عند الحالات المستقرة وبإهمال جميع المفاقيد لهاتين الماكنتين هي:

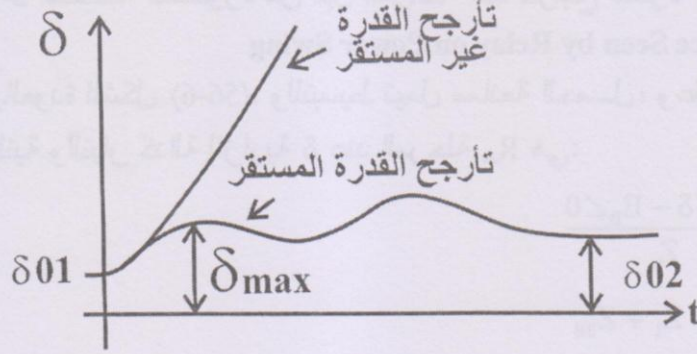
$$P_{A.mach} = P_A + P_{tie} , P_{B.mach} = P_B$$

والآن افترض خروج الحمل A عن القضيب ولا يوجد عطل على الخط الرابط، فإن المرحلات R_A و R_B يجب أن لا تشتغل. إن خروج الحمل P_A سوف ينتج تعجيل للماكنة A بسبب عدم التوافق بين الدخل الميكانيكي والخرج الكهربائي.

$$P_{acc A} = P_{mach} - P_{tie} = [P_A + P_{tie}] - P_{tie} = P_A$$

هذه النتائج تعطي الفعاليات التالية:

- 1- تتعجل الماكنة A. بسبب الزيادة في الزاوية δ .
 - 2- زيادة P_{tie} من خلال الزيادة في زاوية الدوار.
 - 3- متحكم السرعة للماكنة A سوف يتجسس بزيادة السرعة وسوف يعمل على تقليل الدخل الميكانيكي عن طريق غلق صمام البخار.
 - 4- لو كان الاضطراب في الحمل P_A قليل، فإن التغيير في δ يكون قليل أيضاً، فإن النظام سوف يعود إلى حالة الاستقرار عن طريق نظام السيطرة على متحكم السرعة. وعليه فإن التآرجح في δ يسمى تآرجح القدرة المستقرة Stable Power Swing.
 - 5- لو أن الحمل P_A كبير، فإن التغيير في δ يكون كبير جداً، حيث يحصل عدم الاستقرار وتستمر δ بالزيادة.
- إن العلاقة بين زاوية القدرة والزمن عند الحالة المستقرة وغير المستقرة لتأرجح القدرة يوضحها الشكل (6-55). فعند عدم وجود عطل وكان الاضطراب خارج الخط وحالة تآرجح القدرة تكون باتجاه الاستقرار، فإنه يجدر بالمرحلات R_A و R_B أن لا تشتغل، ما لم يحدث سوءاً في الأداء.



شكل (55-6): تأرجح القدرة المستقر وغير المستقر

يمكن استنتاج الحالات التالية:

- 1- عن خروج الحمل الصغير عن الخط تكون الحالة تأرجح قدرة مستقر. حيث يمكن التغلب عليه عن طريق سيطرة متحكم السرعة وربما منظم الفولتية الأوتوماتيكي.
- 2- الزيادة المؤقتة في زاوية القدرة δ تسبب زيادة في تيار الخط الرابط وتقلل الفولتية عن موقع المرحلة.
- 3- الممانعة المنظورة من قبل المرحلة، عند زيادة الزاوية δ سوف تهبط، ولو أن هذه الممانعة، التي هي دالة للزاوية δ ، تجعل المرحلة تعطي إفلات فالمرحلة تتسم بسوء الأداء عند حالة تأرجح القدرة المستقر. سوء الأداء هذا سيضاعف الاضطراب في المنظومة المكونة من عدة مكائن وسوف يعطي عدة إفلاتات لأكثر من مرحلة وقاطع دورة. مما يتسبب في انهيار كلي للمنظومة.
- 4- ثم أن هنالك فائدة واحدة للممانعة المنظورة من قبل مرحلة المسافة وهي اعتبارها كدالة للزاوية δ .

2-7-6 الممانعة المنظورة من قبل المرحلة عند تأرجح القدرة

Impedance Seen by Relay on Power Swing

بالعودة للشكل (56-6)، وللتبسيط تهمل ممانعة الحمل، وعليه فإن الفولتية والتيار كدالة للزاوية δ عند المرحلة R_A هي:

$$I_r = \frac{E_A \angle \delta - E_B \angle 0}{Z_t}$$

$$Z_t = Z_{SA} + Z_l + Z_{SB}$$

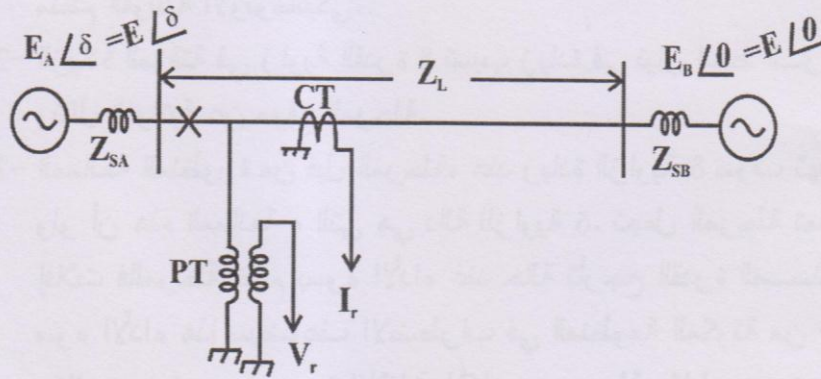
$$V_r = E_A \angle \delta - I_r Z_{SA}$$

يمكن إعادة تنظيم المعادلات بصيغة الممانعة:

$$Z_t + \frac{E_B \angle 0}{I_r} - \frac{E_A \angle \delta}{I_r} = 0$$

... (1-6)

$$\text{And } Z_r = -Z_{SA} + \frac{E_A \angle \delta}{I_r} = f(\delta) \quad \dots (2-6)$$



شكل (56-6): الممانعة المنظورة من قبل المرحلة عند تأرجح القدرة

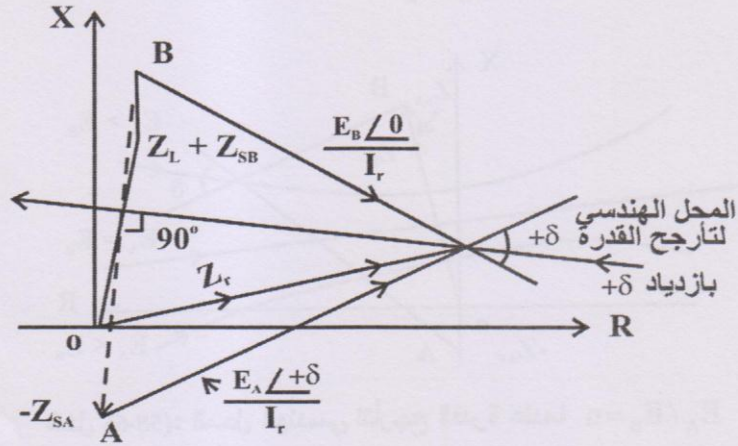
هذه المعادلات يمكن رسمها بطريقة المنحنيات وهي أفضل من طرائق التحليل، لتشكيل مثلثات الممانعة وموقع Z . يوضح الشكل (57-6) الممانعة المنظورة من قبل المرحلة في حالة تأرجح القدرة.

ترسم خصائص المرحلة R_A كما يلي:

1- يرسم المخطط R-X. حيث أن المرحلة R_A تقع على النقطة O، نسبة إلى نقطة الأصل للمخطط R-X.

2- ترسم الممانعة خلف موقع المرحلة Z_{SA} في الاتجاه السالب من نقطة الأصل $-Z_{SA} = OA$.

3- ترسم جميع الممانعات الأمامية لموقع المرحلة بالاتجاه الموجب.

$$OL = +Z_L \text{ and } LB = +Z_{SB}$$


شكل (6-57): موقع تأرجح القدرة

4- أربط نقطة A بنقطة B. $AB = Z_T$.

5- افرض للتبسيط بأنه: $|E_A| = |E_B| = |E|$

6- بسبب فرض الفولتية على أنها متساوية. نرسم عمود بالموقع Z_r .

7- نأخذ أي نقطة P في المنتصف نلاحظ أن:

أ- مثلث الممانعة ABP وفقاً للمعادلة (1-6).

ب- معادلة (2-6) تبين بأن $Z_r = OP$.

8- الزاوية بين الطور AP و BP هي زاوية القدرة δ التي تزداد بتحريك P بالاتجاه الأمامي لخط الممانعة. وعليه فالمنتصف يطلق عليه المحل

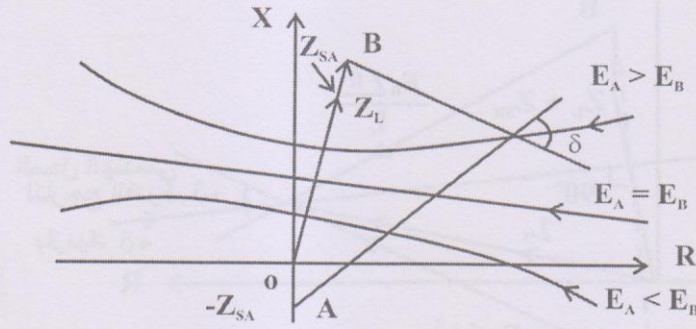
الهندسي لتأرجح القدرة Locus of the PS.

9- لو أن $|E_A| \neq |E_B|$ فإنه $E_A/E_B = n$ وأن موقع الدائرة يوضحها

الشكل (58-6) حيث أن المسافة من النقطة B إلى المركز لدورة تأرجح القدرة هي:

$$C = \frac{Z_T}{n^2 - 1}$$

ونصف قطر دورة تأرجح القدرة هو: $\frac{n Z_r}{n^2 - 1}$.



شكل (58-6): المحل الهندسي لتأرجح القدرة عندما $E_A/E_B = n$

8-6 مخططات المسافة لخطوط النقل ثلاثية الطور

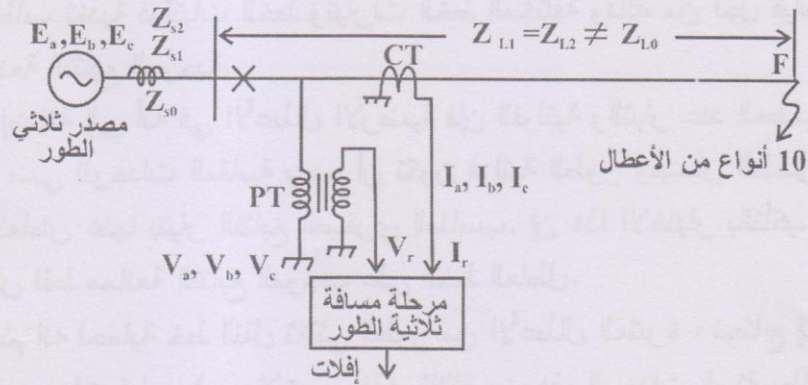
Distance Scheme for Three-Phase Lines

من المعروف بأن مرحلة المسافة تقيس الممانعة من موقع المرحلة وإلى نقطة العطل. وللزيادة في الدقة يتم رسم مخطط لخط نقل ثلاثي الطور بوجود عطل.

من الشكل (59-6) يمكن إدراك ما يأتي:

- 1- عند موقع المرحلة هنالك ثلاثة فولتيات طورية (الطور إلى المتعادل) وثلاثة فولتيات خطية (الخط - إلى الخط).

- 2- إضافة إلى ذلك هنالك ثلاثة تيارات خطية وثلاثة تيارات خطية في الخط عند موقع المرحلة.
- 3- عند نقطة العطل سوف يكون هنالك عطل ثلاثي الطور، أو الخط-إلى الخط- إلى الأرض (L.L.G) أو الخط إلى الخط (L.L) أو الخط إلى الأرض (L.G).
- 4- خط النقل يمتلك ممانعات التتابع الموجبة والسالبة والصفرية من موقع المرحلة إلى نقطة العطل. نلاحظ بأن جميع معدات الأطوار الثلاثة هي ساكنة ، مثل المحولات والخطوط التي تملك $Z_1 = Z_2 \neq Z_0$.



شكل (6-59): مخططات الميافة لخط النقل ثلاثي الطور

حيث أن:

Z_1, Z_2, Z_3 - ممانعات التتابع الموجبة والسالبة والصفرية. هذا الافتراض يكون غير صحيح للمعدات الدوارة مثل مولدات السرعة العالية والمحركات الحثية. وعليه في الموديل الفيزيائي نفترض أن:

$$Z_{1E} = Z_{2E} = Z_{0E}$$

حيث أن:

Z_{1E}, Z_{2E}, Z_{0E} - ممانعات التتابع الموجبة والسالبة والصفرية للمصدر. إن السؤال الجدلي هو أن ممانعات الخط الثلاثة (التتابع الموجب والسالب والصفر) هي التي نقيسها مرحلة المسافة؟

نلاحظ بأن كميات التتابع الموجبة (التتابع الموجب للتيار والفولتية) هي واحدة فقط من الأعطال العشرة (مثل عطل ثلاثي الطور، L.L.G، L.L، L.G).
 إن مرحلة المسافة تتحسس وتقاس ممانعة التتابع الموجبة للخط العاطل.
 إن السؤال اللاحق هو أن الفولتية والتيار المختارة عند موقع العطل كنسبة V/I أو الممانعة المنظورة من قبل المرحلة هي فقط ممانعة التتابع الموجب.
 هذه الأسئلة يمكن حلها والجواب عليها يتطلب ثلاثة مراحل مسافة لتغطية سبعة أعطال طورية (ثلاثي الطور، L.L.G، L.L، L.G). حيث يطلق على هذه المرحلات وحدات قياس العطل الطوري (مرحلات المسافة) ويتطلب تغذية فولتيات الخط والتيارات الخط المختلفة وذلك من أجل قياس ممانعة التتابع الموجبة.

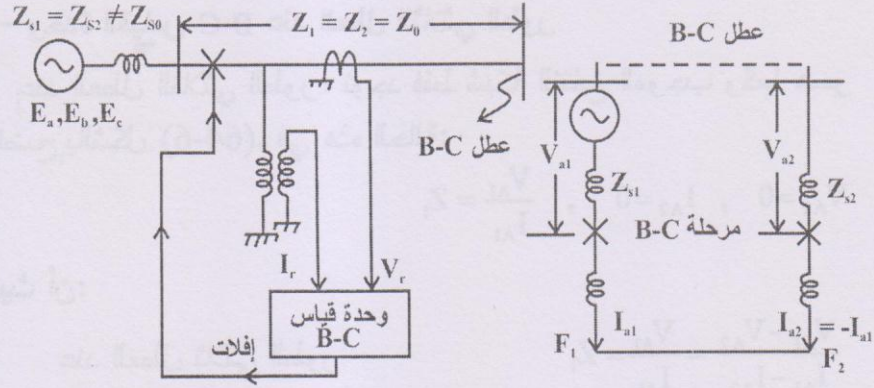
إضافة إلى أنه في الأعطال الأرضية فإن الفولتية والتيار عند العطل الأرضي للوحدات المقاسة يجب أن تكون فولتية الطور والتيار الطور مستعاض عنها بتيار التتابع الصفري المناسب. إن هذا الاختيار بالتأكيد يقيس فقط ممانعة التتابع الموجب على الخط العاطل.
 ثم إنه لحماية خط النقل ثلاثي الطور من الأعطال العشرة، نحتاج إلى ست وحدات قياس (مرحلات مسافة). ثلاثة من هذه الوحدات الستة يطلق عليها وحدات قياس العطل الطوري والثلاثة الباقية يطلق عليها وحدات قياس العطل الأرضي.

1-8-6 وحدة قياس العطل الطوري Phase-Fault Measuring Unit

من الشكل (6-60) اعتبر أن العطل B-C على الخط. عليه يجب حساب V_r و I_r كما يلي:

$$\frac{V_r}{I_r} = Z_1$$

حيث أن:



شكل (62-6): شبكات التتابع لحالة عطل B-C

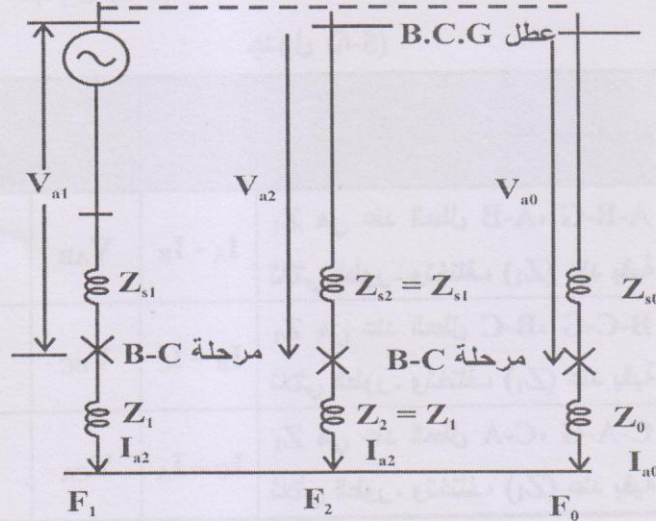
حيث يمكن ملاحظة ما يلي:

1- وحدة القياس B-C عند العطل B-C-G

شبكة تتابع الطور A ترتبط بالعطل وكما هو موضح (63-6) ، من السهل البرهنة على انه :

$$\frac{V_{A1} - V_{A2}}{I_{A1} - I_{A2}} = \frac{V_{AC}}{I_B - I_C} = Z_1$$

عند العطل الأرضي



شكل (63-6): شبكات التتابع لحالة عطل B-C-G

2- وحدة القياس B-C عند العطل الثنائي الطور

عند العطل الثلاثي الطور، توجد فقط شبكة التتابع الموجب وكما هو واضح بالشكل (64-6). في هذه الحالة:

$$V_{A2}=0, \quad I_{A2}=0, \quad \frac{V_{A1}}{I_{A1}} = Z_1$$

حيث أن:

$$\frac{V_{A1}-V_{A2}}{I_{A1}-I_{A2}} = \frac{V_{A1}}{I_{A1}} = Z_1 \quad \text{عند العطل ثلاثي الطور}$$

وعليه فإن وحدة قياس B-C، تقيس ممانعة التتابع الموجب عند العطل الخطي B-C، والعطل الأرضي B-C-G والعطل ثلاثي الطور. وهذا ينطبق على وحدات القياس A-B و C-A وكما يلي:

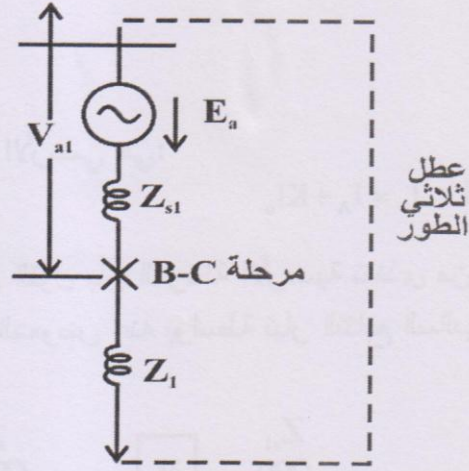
$$V_r = V_{AB}, \quad I_r = I_A - I_B \quad \text{للوحدة A-B}$$

$$V_r = V_{CA}, \quad I_r = I_C - I_A \quad \text{للوحدة C-A}$$

حيث يمكن استخلاص النتائج لوحدة القياس عند حدوث العطل ثلاثي الطور من الجدول (5-6):

جدول (5-6)

وحدة القياس	V_r	I_r	ا ب ج د رة عند مختلف الأعطال
A-B	V_{AB}	$I_A - I_B$	Z_1 هي عند العطل A-B-G، والعطل ثلاثي الطور. وتختلف (Z_1) عند بقية الأعطال.
B-C	V_{BC}	$I_B - I_C$	Z_1 هي عند العطل B-C-G، والعطل ثلاثي الطور. وتختلف (Z_1) عند بقية الأعطال.
C-A	V_{CA}	$I_C - I_A$	Z_1 هي عند العطل C-A-G، والعطل ثلاثي الطور. وتختلف (Z_1) عند بقية الأعطال.



شكل (6-64): شبكات التتابع للعطل ثلاثي الطور

2-8-6 مرحلة المسافة للعطل الأرضي Ground-Fault Distance Relay

عند العطل الأرضي فإنه:

$$\frac{V_r}{I_r} = Z_1$$

ولتوضيح ذلك يوجد تفسيران هما:

أ- التفسير الفيزيائي: يوضح الشكل (6-65) الموديل للنظام ثلاثي الطور مع مرحلة أرضيته وعطل A-E على الخط. وبتطبيق قانون كيرشوف لدائرة العطل المغلقة نحصل:

$$V_A = I_A Z_1 + I_o (Z_o - Z_1)$$

$$V_A = Z_1 \left(I_A + I_o \frac{Z_o - Z_1}{Z_1} \right)$$

$$Z_1 = \frac{V_A}{I_A + K I_o} = \frac{V_r}{I_r}$$

حيث أن:

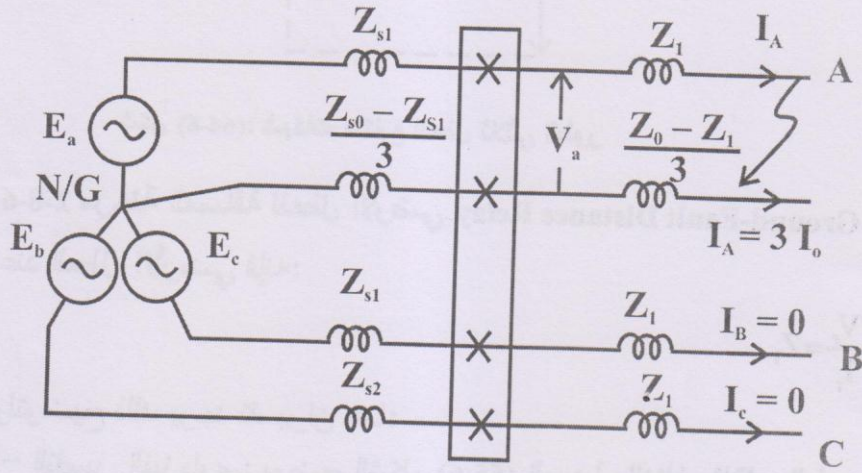
K: معامل تعويض تيار التتابع الصفري وهو ثابت للخط.

$$K = \frac{Z_0 - Z_1}{Z_1}$$

المعادلة عند العطل الأرضي هي:

$$V_r = V_A \text{ and } I_r = I_A + KI_0$$

وعليه فإنه يمكن القول بأن المرحلة الأرضية تتغذى من فولتية الطور (V_A) وتيار الطور المعوض عنه بواسطة تيار التتابع السالب $(I_B + KI_0)$.



شكل (65-6): التفسير الفيزيائي لعطل A-E

ب- المركبات المتماثلة : الشكل (66-6) يوضح شبكة التتابع للطور A المربوطة على التوالي من العطل A-G. وبتطبيق قانون كيرشوف للدائرة المغلقة نحصل :

$$(V_{A1} - I_{A1} Z_1) + (V_{A2} - I_{A2} Z_1) + (V_{A0} - I_{A0} Z_0) = 0$$

$$V_{A1} + V_{A2} - V_{A0} = I_{A1} Z_1 + I_{A2} Z_1 + I_{A0} Z_0$$

بالإضافة والطرح للعنصر $I_{A0} Z_1$ للجهة اليمنى نحصل:

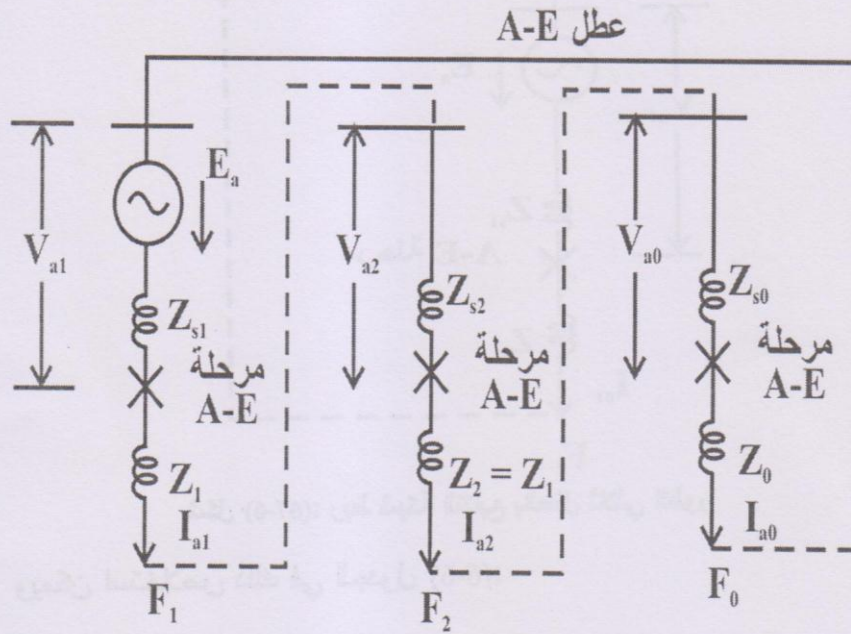
$$V_A = I_{A1} Z_1 + I_{A2} Z_1 + I_{A0} Z_1 - I_{A0} Z_1 - I_{A0} Z_0$$

$$= Z_1 (I_A + KI_{A0})$$

$$Z_1 = \frac{V_A}{I_A + KI_{A0}} = \frac{V_r}{I_r}$$

$$K = \frac{Z_0 - Z_1}{Z_1}$$

حيث أن:



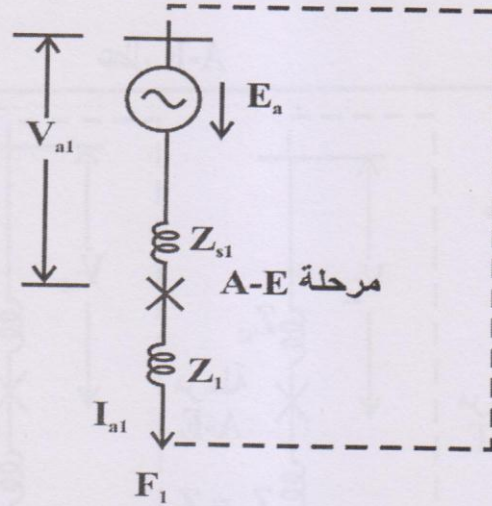
شكل (66-6): شبكات التتابع لعطل A-E

أن المرحلة الأرضية تتغذى بواسطة فولتية الطور A والتيار الطور A المعوض عنه بتيار التتابع الصفري وهذا يعني أنها تقيس فعلياً ممانعة التتابع الموجبة.

وبذلك تكون المرحلة الأرضية ملائمة أيضاً للعطل ثلاثي الطور، حيث أنه في العطل ثلاثي الطور تربط شبكة التتابع الموضحة في الشكل (67-6)، ونلاحظ بأن $V_{A0} = 0$, $I_A = I_{A1}$ و $V_{A0} = 0$, $V_{A1}/I_{A1} = Z_1$ ثم أنه عند المرحلة الأرضية A-E.

$$\frac{V_r}{I_r} = \frac{V_A}{I_A + KI_{A0}} = \frac{V_{A1} + V_{A2} + V_{A0}}{I_{A1} + KI_{A0}} = \frac{V_{A1}}{I_{A1}} = Z_1$$

نستنتج من ذلك أن المرحله الأرضية فعلياً تقيس ممانعة التتابع الموجبة، عند العطل ثلاثي الطور. فتكون الحاجة إلى ثلاثة مراحل أرضية لجميع الأعطال الأرضية الثلاثة.



شكل (6-6): ربط شبكة التتابع بالعطل ثلاثي الطور

ويمكن استخلاص ذلك في الجدول (6-6):

الجدول (6-6)

وحدة القياس	مرحلة الفولتية	مرحلة التيار	الممانعة المنظورة خلال الأعطال المختلفة
A-E	V_A	$I_A + KI_{A0}$	Z_1 هي عند العطل الأرضي A-E والعطل ثلاثي الطور وتختلف عند بقية الأعطال.
B-E	V_B	$I_B + KI_{B0}$	Z_1 هي عند العطل الأرضي B-E والعطل ثلاثي الطور وتختلف عند بقية الأعطال.
C-E	V_C	$I_C + KI_{C0}$	Z_1 هي عند العطل الأرضي C-E والعطل ثلاثي الطور وتختلف عند بقية الأعطال.

إن الحل النهائي لحماية الخط الثلاثي الطور من الأعطال العشرة هو باستعمال ثلاثة وحدات قياس للعتل الأرضي وثلاثة وحدات قياس للعتل الطوري. هذه الوحدات الستة تعمل على الحماية من جميع الأعطال المتوقعة.

3-8-6 مخطط المسافة اللامفتاحي No Switched Distance Scheme

إن لمخطط المسافة اللامفتاحي تفسيران:

1- كما أشير سابقاً، تكون الحاجة لثلاث مراحل لحالة عطل الطور وثلاثة أخرى لحالة العطل الأرضي وهي ما تسمى بوحدات القياس. ففي مخطط المسافة اللامفتاحي تكون التغذية مستمرة من دوائر التيار ودوائر الفولتية.

لتشكيل مخطط مسافة ثلاثي المراحل، يجب استعمال ست وحدات للقياس عند القطاع الأول ذا السرعة العالية (مثل Z_1 اللحظية)، وبتشكيل القطاع الثاني Z_2 مع زمن تأخير T_1 ، والقطاع الثالث Z_3 مع زمن تأخير إضافي T_2 ، إن الوضع العملي الطبيعي هذا يطلق عليه القطاع المفتاحي (Zone Switching). كما يجب أن لا يكون ارتباطك بين القطاع المفتاحي ومراحل المرحلة المفتاحية.

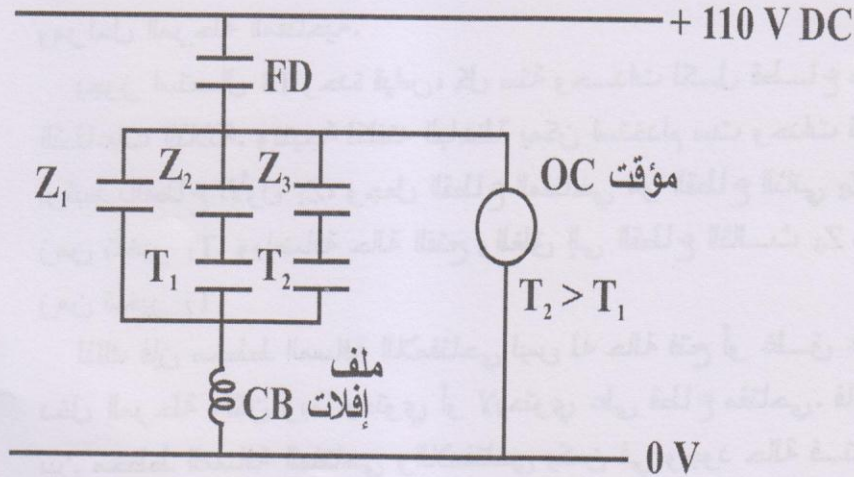
يجوز استعمال 18 وحدة قياس، كل ستة وحدات لكل قطاع من القطاعات الثلاثة. ونتيجة لكلفته الباهظة يمكن استخدام ست وحدات قياس ترتبط بالقطاع الأول Z_1 ، وجعل القطاع المفتاحي هو القطاع الثاني Z_2 مع زمن تأخير T_1 . وبإضافة حالة الفتح والغلق إلى القطاع الثالث Z_3 مع زمن تأخير T_2 .

لذلك فإن مخطط المسافة اللامفتاحي ليس له حالة فتح أو غلق عند دخل المرحلة ولكن ربما يحتوي أو لا يحتوي على قطاع مفتاحي. فالفرق بين مخطط المسافة المفتاحي واللامفتاحي يكمن في وجود حالة فتح أو غلق عند دخل المرحلة من عدمه.

2- في المخطط اللامفتاحي لا يوجد حالة فتح أو غلق لمرحلة الفولتية والتيار في وحدات القياس، حيث يمكن أن يحتوي أو لا يحتوي على القطاع المفتاحي فالمطلوب إما 6 أو 18 وحدة قياس. إن هذه المخططات تطبق على الخطوط المهمة للفولتيات العالية HV والفائقة EHV التي تحتاج قطاع الحماية الأول ذا السرعة العالية. لو كانت الحاجة إلى القطاع المفتاحي، فإن الكشف عن عطل إضافي يتطلب البدء بالمؤقت ذا التأخير الزمني الذي يجهز زمن تأخير T_1 للقطاع Z_2 و T_2 للقطاع Z_3 .

يوضح الشكل (6-68) مخطط الإفلات الذي ينظم (المدى وزمن التشغيل) القطاعات الثلاثة وكشف العطل وهذا ما يوضحه (6-69)، حيث نلاحظ من الشكل ما يلي:

- 1- إن كشف العطل F_D بوقت تشغيل لحظي والمدى يكون خلف القطاع Z_3 .
- 2- جهاز المؤقت، يبدأ بكشف العطل وله اثنين من الملامسات المفتوحة t_1 و t_2 . إن المؤقت سوف يغلق الملامس t_1 بعد زمن تأخير T_1 والزوج الثاني من الملامسات t_2 سوف يغلق بعد زمن تأخير T_2 .



شكل (6-68): حالة إفلات لمخطط المسافة اللامفتاحي

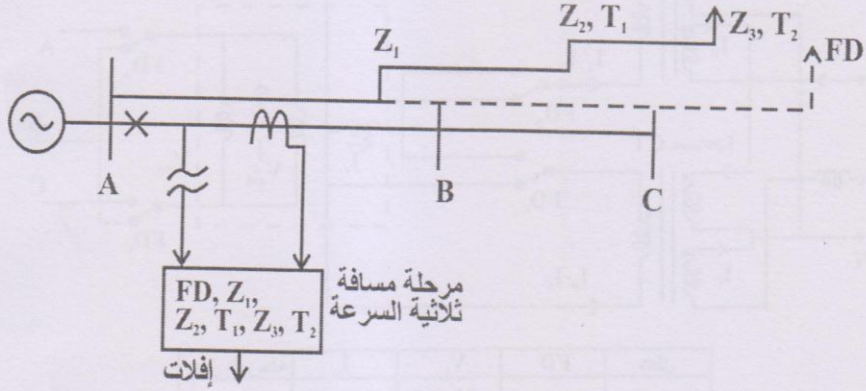
3- ملاصقات القطاعات Z_1 و Z_2 و Z_3 للمرحلة يكون بزمّن تشغيل لحظي (بدون تأخير زمني مقصود).

4- هنالك مصدر بطارية يعمل على 110 V (d.c) وملف الإفلات لقطاع دورة الخط.

كما يمكن ملاحظة حالة التشغيل عند حدوث العطل في القطاعات المختلفة كما يلي:

أ- العطل عند القطاع 1: يعمل قاطع الدورة عند حدوث عطل F_D وكذلك في القطاع 1 وأن الإفلات يكون لحظياً مما يعطي حماية ذات سرعة عالية عند الأعطال في القطاع 1.

ب- العطل في القطاع 2: يعمل قاطع الدورة عند حدوث عطل F_D وكذلك في القطاع 2 مع تأخير زمني T_1 ولا يعمل في القطاع 1. وأن الإفلات يكون بتأخير زمني T_1 (ثانية).



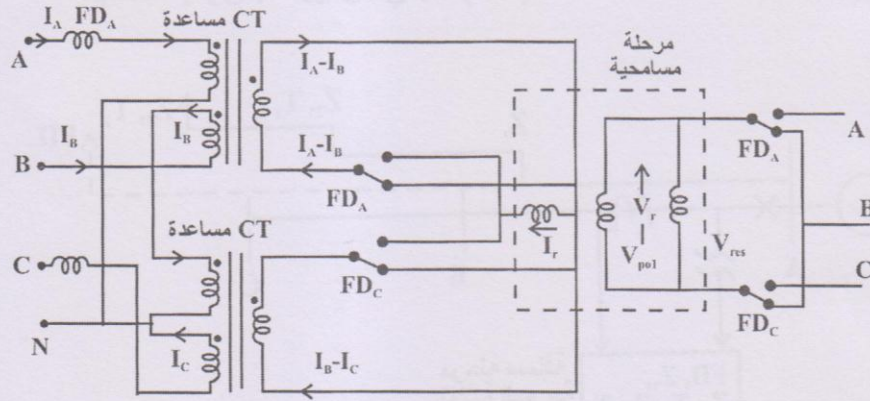
شكل (6-69): تنظيم القطاعات والعطل F_D .

ج- العطل في القطاع 3: يعمل قاطع الدورة عند حدوث عطل F_D وكذلك في القطاع 3. يعمل قاطع الدورة عند حدوث عطل F_D وكذلك في القطاع 3 عند تأخير زمني T_2 ولا يعمل في القطاع 1 ولا في القطاع 2. وأن الإفلات يكون بتأخير زمني T_2 (ثانية).

4-8-6 مخطط المسافة المفتاحي Switched Distance Scheme

يتضح من العنوان بأنه يوجد حالة فتح وغلق من داخل المرحلة وإلى وحدات القياس. وهذا يعني وجود قطاع مفتاحي. إن حالة الفتح والغلق لدخل المرحلة المفتاحية V_r و I_r عند الأعطال المختلفة يتطلب عدد وحدات قياس أقل من ستة. وهذا مما يقلل كلفة الحماية. كما أن مخطط المسافة المفتاحي هو أرخص من مخطط المسافة اللامفتاحي.

توجد عدة أنواع من مخطط المسافة المفتاحي، وهنا يمكن مناقشة أحد هذه الأنواع الذي يعمل مع وحدة قياس واحدة لجميع أعطال الطور السبعة. إن المفهوم الأساسي للمفتاح هو حالة إدخال أو إخراج فولتية وتيار المرحلة عند الأعطال المختلفة. يوضح الشكل (6-70)، كيف أن وحدة قياس واحدة، بالإضافة إلى ثلاثة أخرى، تقوم بالحماية لجميع أنواع الطور.



عمل المرحلة	I_r	V_r	FD	عطل
كلا	$I_r = 0$	$V_r = 0$	NIL	No
نعم	$I_A - I_B$	V_{ab}	FD_A	A-B A-B-G
نعم	$I_B - I_C$	V_{bc}	FD_C	B-C B-C-G
نعم	$I_A - I_C$	V_{ac}	FDA FDC	C - A
نعم	$I_A - I_C$	V_{ac}	FD_A, FD_C	عطل ثلاثي

شكل (6-70): مخطط المسافة المفتاحي عند عطل الطور

ويوضح الجدول (7-6) أنواع المخططات وأوقات التشغيل الاقتصادي لأعطال القطاع الأول.

الجدول (7-6)

نوع المخطط	عدد وحدات القياس	أقل زمن إفلات (دورات)	
		أعطال الطور	الأعطال الأرضية
اللا مفتاحي	6	1	1
دلتا نجمي	3	1	5
المتداخل	2	5	5
المفتاحي التام	1	5	5
مرحلات متعددة الطور	1	1	1

في مخطط الدلتا- النجمي، فإن وحدات القياس تقلل من ستة إلى ثلاثة. هذه الوحدات الثلاثة لأعطال الطور. أما في حالة الأعطال الأرضية، فإن الوحدات الثلاثة تنشط بمساعدة المرحلات المساعدة للأعطال الأرضية. كما أن هذا المخطط يحتاج إلى كواشف عطل للكشف عن العطل الطوري والعطل الأرضي.

إن وحدات القياس لأعطال الطور يكون زمن تشغيلها حوالي دورة واحدة ولأعطال الأرضية فإن زمن التشغيل يزداد إلى 5 دورات، حيث توجد 4 دورات تأخير بسبب حالة الغلق لدخل المرحلة عند الأعطال الطورية وحالة الفتح للإدخالات الجديدة المطلوبة عند الأعطال الأرضية. إن المخططات المتداخلة تعمل بوحدة قياس واحدة عند أعطال الطور وواحدة أخرى عند الأعطال الأرضية. إن هذه الوحدات تنشط بواسطة أي فولتية أو تيار. بالإضافة إلى الحاجة إلى كواشف عطل لغرض الكشف عن نوع العطل، إن هذه الاختيارات للطور تكون بمساعدة المرحلات المساعدة لتوصيل الفولتية والتيار الصحيحين بالاعتماد على العطل.

بالإضافة إلى ان وحدات القياس تعمل في حدود دورة واحدة، إضافة إلى تأخير حوالي 4 دورات عند التشغيل بوجود الأعطال والمرحلات المساعدة، كما أن زمن التشغيل لجميع الأعطال يزداد إلى حوالي 5 دورات. في المخطط المفتاحي التام، تقلل عدد وحدات القياس إلى أقل ما يمكن. ففي هذه الحالة فإن خيارات العطل يكون بإيصال الفولتية والتيار الصحيحين لنوع العطل الذي يكشف عنه بواسطة الاختيارية للعطل.

5-8-6 مرحلة المسافة المتعددة الطور Polyphase Distance Relay

إن التعريف الصحيح لمرحلة المسافة المتعددة الطور هو احتوائها على وحدة قياس واحدة فقط، وهي تنشط لقياس ممانعة التتابع الموجب لأعطال الخط في ماعدا نوع العطل. عدة محاولات جرت لتطور مرحلات المسافة المتعددة الطور ولكن لم تنلق القبول في هذا المجال من خلال تغيير الخصائص على المخطط R-X للأعطال المختلفة. وأفضل محاولة وثقت لتطوير هذه المرحلة، هي باستعمال دوائر تتابع متعددة الإدخالات والإخراجات.

9-6 المقارنة بين مختلف خصائص المرحلة

Comparison of Various Relay Characteristics

إن مرحلات المسافة التقليدية هي:

- 1- مرحلة الممانعة البسيطة SIR.
 - 2- المرحلة المفاعلية (Reactance).
 - 3- المرحلة المسامحية MHO.
 - 4- مرحلة المسافة ذات الشكل الرباعي QDR.
- ولغرض اختيار الخصائص الصحيحة يجب المقارنة على أساس المميزات التالية:

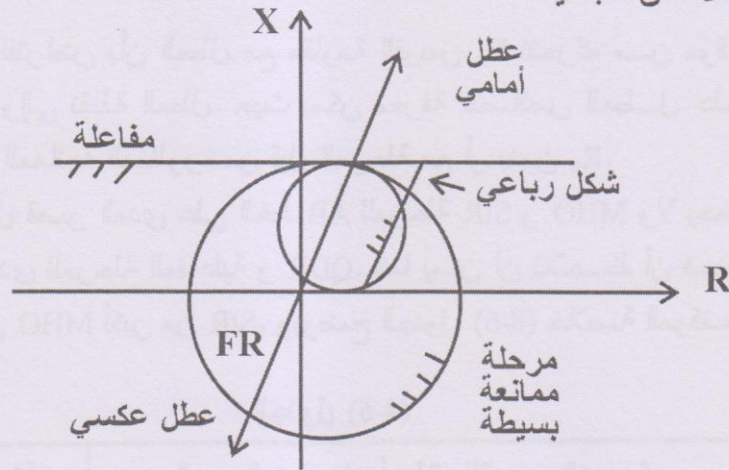
- 1- ميزة الاتجاه.
- 2- قصر المدى عند أعطال القوس الكهربائي.
- 3- الاستقرار عند تأرجح القدرة.

1-9-6 ميزة الاتجاه Directional Feature

إن الممانعة المنظورة من قبل مرحلة المسافة عند العطل العكسي Z_r تمثل الممانعة من موقع المرحلة وإلى نقطة العطل العكسي. إن الإشارة السالبة تمثل تيار دخل المرحلة العكسي عند العطل العكسي للخطوط ذات التغذية من نهايتين.

يوضح الشكل (6-71) الخصائص الأربعة للمرحلة، المنظمة لنفس المدى على طول ممانعة الخط الطورية. إن الممانعة Z_r للعطل العكسي تقع في المربع الثالث. ويمكن استنتاج ما يلي:

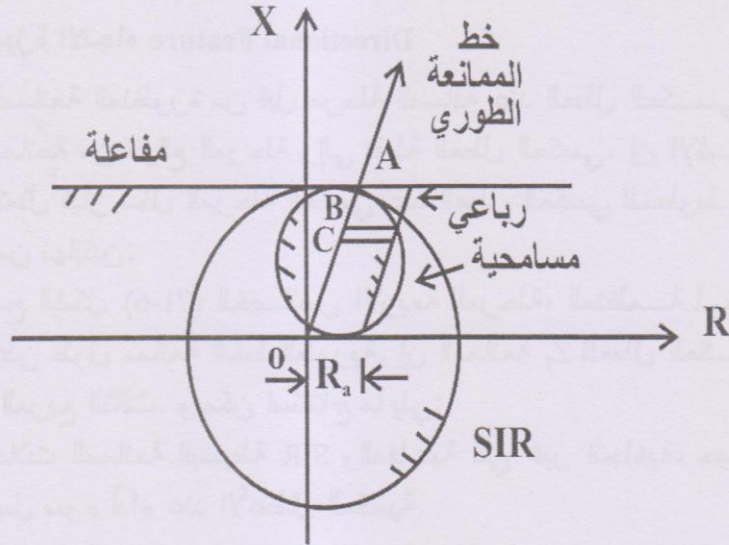
- 1- مرحلات الممانعة البسيطة SIR والمفاعلية هي غير اتجاهية، حيث يحصل سوء أداء عند الأعطال العكسية.
- 2- المرحلة المسامحية MHO وذات الشكل الرباعي QDR هي بالأساس اتجاهية.



شكل (6-71): ميزة الاتجاه

2-9-6 قصر المدى عند أعطال القوس الكهربائي

اعتبر بأن الخط يتأثر إما بالعطل المعدني أو عطل القوس الكهربائي. تنظم مرحلات المسافة على افتراض أن العطل معدني. يوضح الشكل (6-72) بأن جميع أنواع مرحلات المسافة تنظم للوصول إلى نفس الطول للخط عند العطل المعدني.



شكل (6-72): قصر المدى عند أعطال القوس الكهربائي

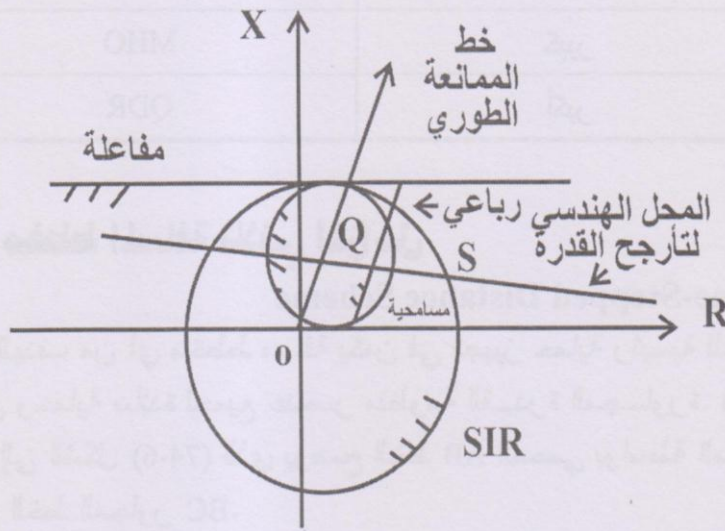
على افتراض بأن العطل مع مقاومة القوس R_a تتحرك من موقع المرحلة وإلى نقطة العطل. حيث يمكن معرفة خصائص العطل على الخط أو الممانعة المنظورة من قبل المرحلة مع أو بدون R_a . يحصل قصر المدى على الخط AB للمرحلة SIR و MHO ولا يحصل قصر المدى للمرحلة المفاعلية و QDR. كما يمكن أن نلاحظ أن قصر المدى في MHO أكبر من SIR. ويوضح الجدول (8-6) خلاصة الموقف.

الجدول (8-6)

المرحلة	قصر المدى عند أعطال القوس الكهربائي
SIR	متوسطة
Reactance	لا يوجد
MHO	عالية
QDR	لا يوجد

3-9-6 الاستقرار عند تأرجح القدرة Stability on Power Swing

يوضح الشكل (6-73) خصائص المرحلة نظمت على أساس نفس طول خط النقل. نفترض بأن الخط وقع تحت تأثير تأرجح القدرة. حيث أنه يجب حساب نظرية القدرة العظمى δ_{max} والتي تتوافق معها المرحلات بدون حدوث سوء في الأداء.



شكل (6-73): الاستقرار عند تأرجح القدرة

- 1- المرحلة المفاعلية ما لم تكن اتجاهية بواسطة إضافة عنصر اتجاهي، تعمل فعلاً عند أي قيمة للزاوية δ . وعليه فإن المرحلة المفاعلية تكون غير مستقرة عند تأرجح القدرة.
- 2- المرحلة SIR يمكن أن توفق بين بعض قيم زاوية القدرة δ_{max} كما في الشكل (6-73).
- 3- المرحلة MHO يمكن أن يكون توفيقها أفضل من المرحلة SIR.
- 4- المرحلة QDR هي الأفضل، حيث تستطيع التوفيق بالقيم الكبيرة لحالة تأرجح القدرة.

يوضح الجدول (9-6) الاستقرارية عند تأرجح القدرة.

الجدول (9-6)

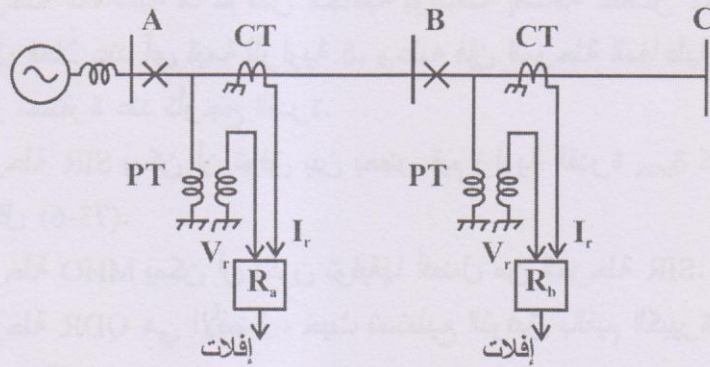
المرحلة	استقرارية تأرجح القدرة
Reactance	قليل
SIR	متوسط
MHO	كبير
QDR	أكبر

10-6 مخطط المسافة ثلاثي المراحل

Three-Stepped Distance Scheme

إن الهدف من أي مخطط مسافة يكمن في تجهيز حماية رئيسية للخط المحمي وحماية سائدة لجميع عناصر منظومة القدرة المجاورة. ففي العودة إلى الشكل (74-6) الذي يوضح الخط AB المحمي بواسطة المرحلة R_A مع الخط المجاور BC.

إن المرحلة R_A تجهيز حماية رئيسية سريعة جداً للخط AB وحماية سائدة للخط المجاور BC. كما أن الخط BC يمتلك أيضاً حماية مسافة.



شكل (74-6): مخطط المسافة الأحادي

1-10-6 حالة بعد المدى عند أعطال الحالة العابرة وتنظيم القطاع 1

Overreaching on Transient Faults and Setting Zone 1

إن أي مرحلة مسافة (مثل مرحلة SIR والمفاعلية و MHO و QDR إلى آخره) يمكن أن تميل إلى بعد المدى عند العطل في الحالة العابرة الذي يحتوي على مركبة d.c. إن جميع مرحلات السرعة العالية تتحسس بزيادة التيار بسبب مركبة التيار المستمر d.c. فتيار المرحلة مع مركبة d.c. هو:

$$I_r = \sqrt{I_{ac}^2 + I_{dc}^2}$$

أما بدون المركبة:

$$I_r = I_{ac}$$

إن قيمة RMS لتيار العطل مع مركبة d.c. هي أكبر من قيمة RMS عند عدم وجود مركبة d.c. وعليه فإن الممانعة المنظورة من قبل المرحلة (الوهمية) تظهر أصغر من القيمة الحقيقية وكما يلي:

$$Z_{r.of} = \frac{V_r}{I_r} = \frac{V_r}{\sqrt{I_{ac}^2 + I_{dc}^2}}$$

$$Z_{r.no} = \frac{V_r}{I_r} = \frac{V_r}{I_{ac}}$$

$$Z_{r.offset} < Z_{r.no offset}$$

بالرجوع إلى الشكل (6-75) فإن مرحلة المسافة تصل إلى نقطة المدى عندما $X = 10.0$ أوم، عند تيار عطل بدون مركبة d.c. ومع إهمال ممانعة المصدر فإن تيار العطل عند نقطة العطل X هي:

$$I_{r.no} = \frac{100}{10} = 10 \text{ A}$$

حيث أن:

Z_r تساوي 10Ω عند التنظيم أو الحالة المستقرة لمدى المرحلة.

وأن لو تحركت النقطة X إلى النقطة الجديدة Y التي تساوي 12.5Ω والآن لنفرض بأن تيار العطل الذي له مركبة d.c تساوي 6 A. ثم:

$$I_{a.c} = \frac{100}{12.5} = 8 \text{ A}$$

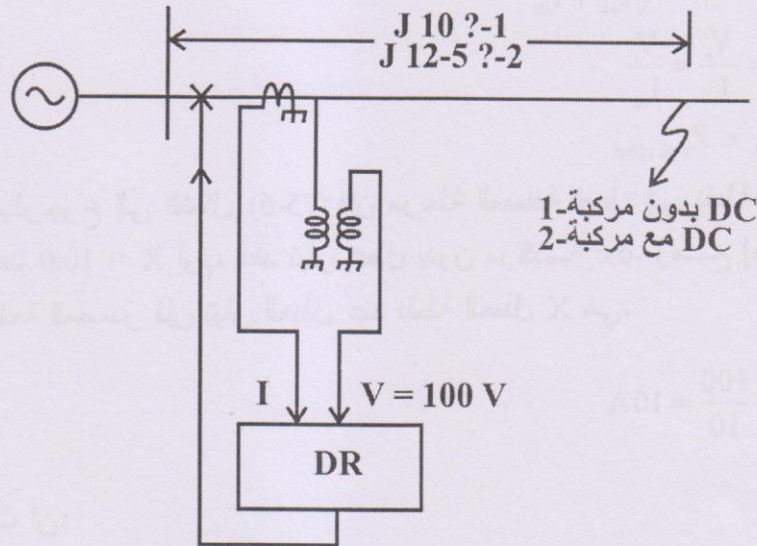
وبما أن:

$$I_{RMS} = \sqrt{8^2 + 6^2} = 10 \text{ A}$$

$$Z_r = \frac{100}{10} = 10 \Omega$$

إن الممانعة الوهمية خلال مركبة d.c تساوي ممانعة التنظيم والمرحلة تعمل: فالنسبة المئوية لبعد المدى تساوي:

$$\text{Percentage Overreach} = \frac{12.5 - 10}{10} \times 100 = 25\%$$



شكل (6-75): حالة بعد المدى العابرة لمرحلة المسافة عندما $E_s = 100V$

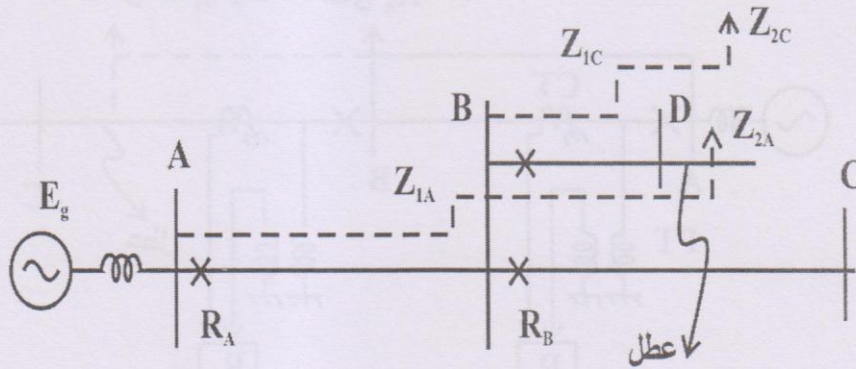
2-10-6 تنظيم القطاع 2 Setting Zone 2

كما هو معلوم فإن القطاع 1 يغطي 80% إلى 90% من الخط والباقي 20% إلى 10% يكون بدون حماية رئيسية. وعليه تضاف مرحلة تحمي القطاع 2 ويكون لها تأخير زمني T_1 باختياري مع القطاع 1.

1- إن الغاية الأساسية من القطاع 2 هو تجهيز حماية رئيسية (مع تأخير زمني) إلى الجزء المتبقي من طول إلى 10% إلى 30%. وتجهيز حماية سائدة جزئية للخط المجاور. أما زمن التأخير المقصود المجهز يكون حوالي 0.3 إلى 0.5 ثانية.

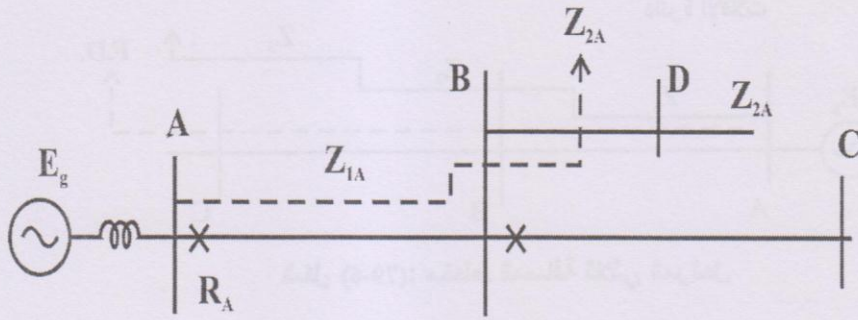
2- تغطية القطاع 2 تكون من 25% إلى 50% للخط المجاور القصير لو كان هنالك أكثر من خط مجاور.

يبين الشكل (6-77) بأن الخط AB هو ضمن تغطية الحماية الرئيسية والخطوط BC و BD هي مجاورة، وأن الخط BC أطول من الخط BD. اعتبر نسبة خطأ التنظيم للقطاع 2 هي 50% للخط الأطول BC. الخطوط BC و BC تمتلك حماية مسافة.



شكل (6-77): التنظيم الخاطئ للقطاع 2

نلاحظ حصول ترحيف في القطاع 2 للخط AB إلى داخل القطاع 2 للخط الأقصر BD. لو حصل عطل في هذا القطاع المتداخل كما هو موضح عند النقطة F، فإن الخط AB بالإضافة إلى الخط القصير BD سوف يقصر الاختيارية وهذا غير مرغوب فيه. ومن ثم فإن القطاع 2 يغطي 25% إلى 50% من الخط الأقصر. إن التنظيم الصحيح يوضحه الشكل (78-6).

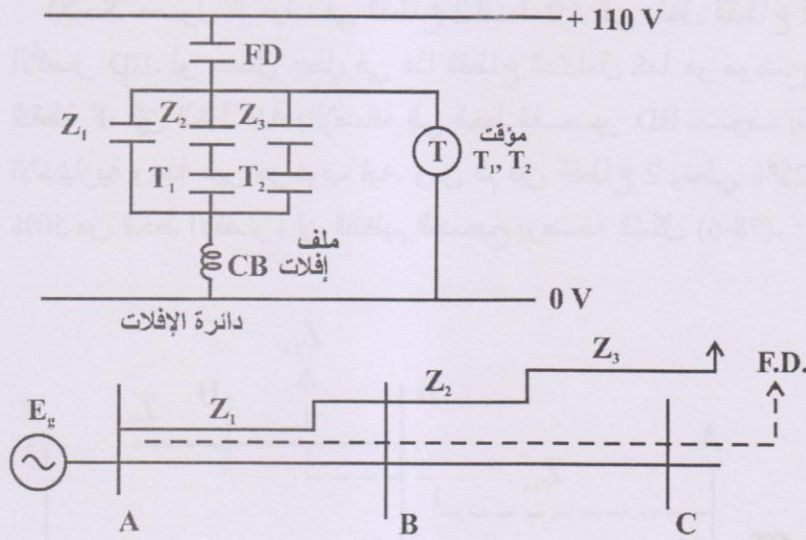


شكل (78-6): التنظيم الصحيح للقطاع 2

Setting Zone 3

3-10-6 تنظيم القطاع 3

إن تنظيم القطاع 2 يعطي حماية مسافة للخطوط المجاورة لمدى معين. وعليه فإن مخطط المسافة يحتاج إلى قطاع إضافي ثالث كحماية سائدة مع تأخير زمني T_2 ، لجميع الخطوط المجاورة وعناصر نظام القدرة. والقاعدة هي: الغاية من القطاع 3 هي تجهيز حماية سائدة 100% لجميع الخطوط المجاورة والتميز في الزمن مع القطاع 2 لجميع الخطوط المجاورة أيضاً. إن زمن التأخير المقصود يكون حوالي 1 ثانية. يقوم القطاع 3 بتغطية جميع الخطوط المجاورة بحماية سائدة. إن جميع التنظيمات للقطاعات الثلاثة يوضحها الشكل (79-6) متضمناً مخطط الإفلات.



شكل (6-79): مخطط المسافة ثلاثي المراحل

11-6 محددات مخطط المسافة ثلاثي المراحل

Limitations of Three-Stepped Distance Scheme

1-11-6 المقدمة

يوضح الشكل (6-80) خط نقل AB مع مصادر تغذية من النهايتين محمي بواسطة مخطط مسافة ثلاثي المراحل للمرحلات R_A و R_B . نلاحظ بأن الأعطال التي في الوسط تكون عند 60% من الخط (مع إهمال قصر المدى للقطاع 1 عند أعطال القوس الكهربائي) والتي تكون لحظية ومتمثلة من كلا النهايتين. إن نسبة 60% سوف تقلل أعطال القوس الكهربائي.

فترة الاضطراب = زمن القطاع 1 + زمن قاطع الدورة

الأعطال عند 20% من كل نهاية سوف تكون لحظية من نهاية واحدة فقط ولكن يكون لها تأخير زمني بواسطة القطاع 2 من النهاية الأخرى. لو أن I_A و I_B هي تيارات العطل تتوزع من النهايات A و B فإن تتابع تيار العطل يكون كالآتي:

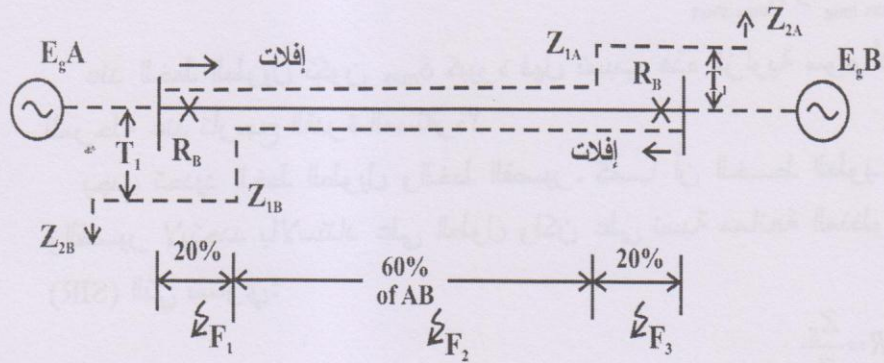
1- عند $t = 0$ يكون العطل عند 20% من نهاية الخط ويكون مجموع تيارات العطل هو:

$$I_T = I_A + I_B$$

2- عندما t تساوي زمن القطع 1: فإن العطل من نهاية A يكون لحظي وأن تيار العطل يساوي I_B .

3- عندما t تساوي زمن القطع 2: فإن العطل من نهاية B مع تأخير زمن T_1 ، فإن تيار العطل يساوي صفر.

4- فترة الاضطراب = زمن T_1 + زمن قاطع الدورة CB
ثم أن الأعطال عند النهاية 20% تعمل اضطراب متوازن للقدرة ولوقت طويل جداً عند نجاح نظام الغلق الذاتي (Reclosure) لقاطع الدورة.



شكل (80-6): حماية المسافة ثلاثية المراحل عند التغذية من نهايتي الخط

2-11-6 حماية أطول خط نقل

يمكن حماية خط النقل الطويل بمرحلة مسافة وذلك بالاعتماد على المرحلات المعدة لحالة تأرجح القدرة المستقر. من الناحية الأخرى فإذا كان الخط المحمي يخضع لحالة تأرجح القدرة المستقر (يعني يمكن الاستفادة ذاتياً من التأرجح والمحافظة على التزامن) وأن مرحلة المسافة كانت حسنة الأداء، فإن المرحلة تستطيع التوافق للحصول على أعظم قدرة تأرجح δ_{max} .

وكما هو معروف فإن الخط الطويل هو أقل استقراراً من الخط القصير، وهذا يعني بأن الخط الطويل له زاوية كبيرة δ_{max} بالمقارنة مع الخط القصير. يوضح الشكل (6-81) مخطط زاوية القدرة لخطي النقل القصير والطويل. إن الخط القصير له قدرة P_{max} أكبر من الخط الطويل. وعند إعطاء الإدخال الميكانيكي P_m فزاوية التشغيل الخادمة للخط الطويل تكون أكبر من الخط القصير.

$$\delta_{o, long} > \delta_{o, short}$$

وعليه فإنه عند الاضطراب الذي لايسبب عدم الاستقرار، فإن الخط الطويل تكون له زاوية تأرجح أكبر من الخط القصير. فيصبح الخط الطويل أكثر تأرجحاً من الخط القصير.

$$\delta_{max, long} > \delta_{max, short}$$

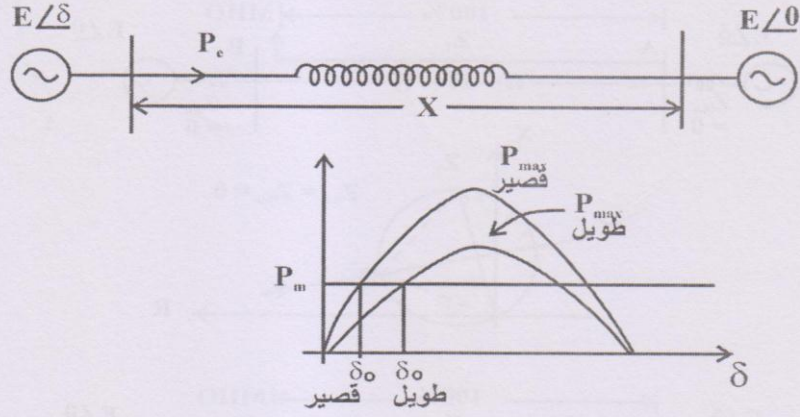
عند الخط الطويل تكون δ_{max} كبيرة فهل تسبب هذه الزاوية سوء أداء المرحلة عند تأرجح القدرة المستقرة؟
يجب تحديد الخط الطويل والخط القصير. كما أن الخط الطويل والقصير لايتحدد بالاستناد على الطول ولكن على نسبة ممانعة المنظومة (SIR) التي تساوي:

$$SIR = \frac{Z_s}{Z_t}$$

حيث أن:

Z_s : الممانعة خلف موقع المرحلة.

Z_t : ممانعة الخط.



شكل (6-81): زوايا التشغيل الخاملة عند خطوط النقل القصيرة والطويلة

1- الخط الطويل - Z_e كبيرة وعليه فإن SIR تكون صغيرة.

2- الخط القصير - Z_e صغيرة وعليه فإن SIR تكون كبيرة.

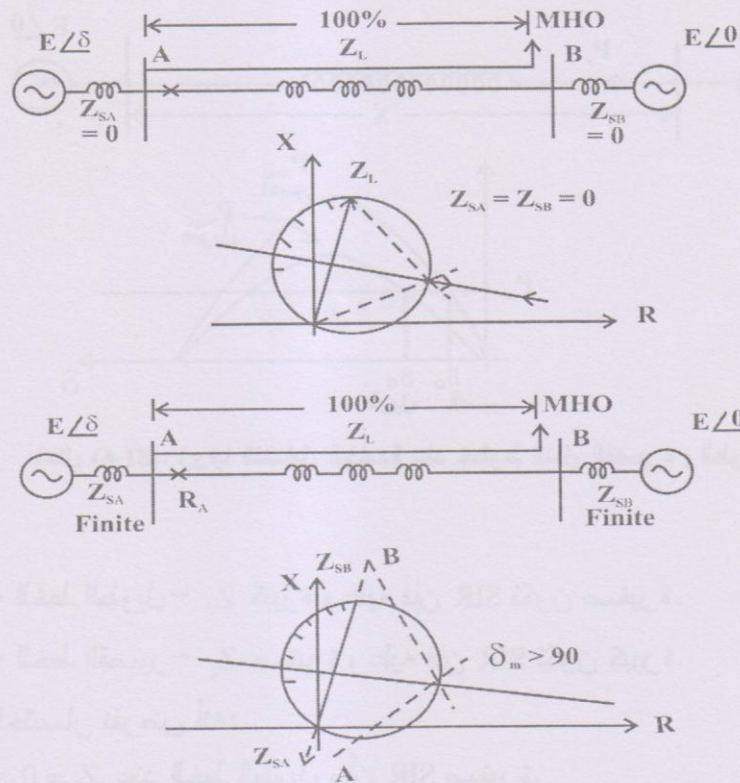
وباختصار نفرض أنه:

1- $Z_e = 0$ عند الخط الطويل وأن SIR صغيرة.

2- $Z_e = \infty$ عند الخط القصير وأن SIR كبيرة.

يوضح الشكل (6-82) هذه الحالة، أي أنه مع المرحلة المسامحية MHO تضبط 100% من طول الخط (على فرض أن التغطية تصل 100% بدلاً من 80%).

من الواضح فإن الزاوية δ_{max} للمرحلة المسامحية تكون 90° للخط الطويل وبدون سوء الأداء بينما تكون أكبر من 90° عند الخط القصير. وهذا بعكس المطلوب. فعند الخط الطويل وخلال قيمة كبيرة للزاوية δ_{max} يمكن للمرحلة أن تستجيب لكن الزاوية يجب أن تكون حوالي 90° . هذا التحديد للخط الطويل يجعل المرحلة تستجيب لحالة تأرجح القدرة المستقرة.



شكل (6-82): توافق زاوية القدرة عن خطوط النقل الطويلة والقصيرة

6-11-2-1 مثال عددي

مرحلة مسافة مسامحية MHO مخصصة لحماية خط النقل، يغطي القطاع الأول 100% من الطول. وكانت ممانعة المصدر J10.0 أوم. فإذا كانت ممانعة الخط J0.5 أوم/ميل. أحسب بالأميال أطول مسافة من الخط يمكن حمايتها بواسطة المرحلة بدون سوء في الأداء عندما تكون قيمة زاوية تأرجح القدرة المستقرة 120° .

الحل

بالعودة للشكل (6-83) الذي يوضح مخطط زاوية الخط للشبكة ومركبات المحل الهندسي لتأرجح القدرة. باختبار المثلث CPB نحصل:

$$\angle CPB = \frac{\delta_{\max}}{2} = \frac{120^\circ}{2} = 60^\circ$$

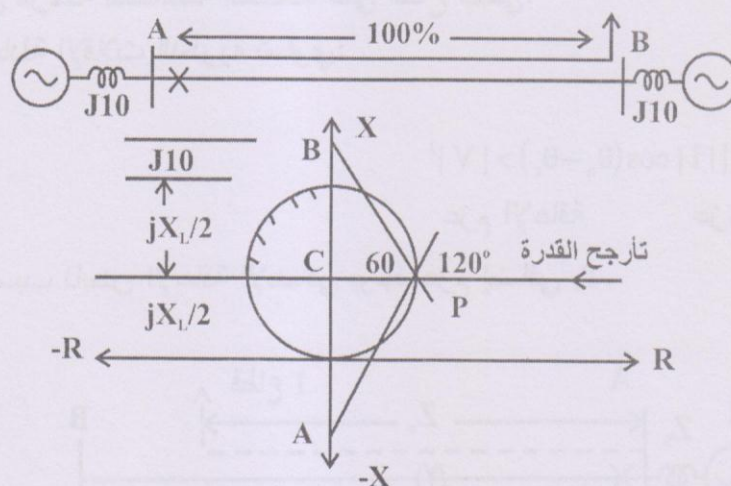
$$\frac{BC}{CP} = \frac{BL + X_{L/2}}{X_{L/2}} = \tan 60^\circ = 1.7321$$

$$\frac{1.7321 X_L}{2} = BL + \frac{X_L}{2} = j10.0 + \frac{X_L}{2}$$

$$X_L = \frac{J20.0}{0.7321} = J 27.32 \Omega$$

أطول مسافة من الخط يمكن حمايتها عند 120° هي:

$$= \frac{J27.32}{J0.5} = 55 \text{ miles}$$



شكل (6-83): مثال عددي

3-11-6 حماية أقصر خط نقل

يوضح الشكل (6-84) مخطط الخط المفرد (Single Line Diagram) لموقع المرحلة. حيث أن Z_s هي ممانعة المصدر. إن مرحلة المسافة تتغذى بواسطة V_r و I_r .

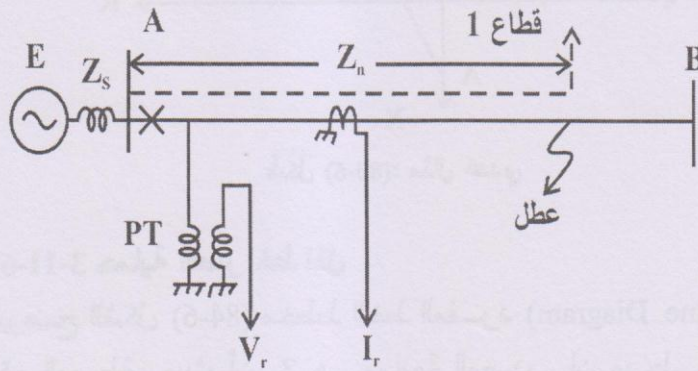
أفرض أن مرحلة المسافة هي من نوع المسامحية MHO ولها ممانعة تنظيم Z_r على طول الخط. لو أن العطل حدث عند نقطة المدى، فإن الهبوط في فولتية المرحلة سوف يعتمد على Z_s : فأكبر قيمة لممانعة المصدر Z_s عند أقصر خط تحدد بواسطة نسبة ممانعة المنظومة (SIR)، عليه فإن أقصر خط تكون له أصغر فولتية V_r تقوم بتغذية المرحلة. في المرحلة المثالية يفترض قياس V/I ، ما عدا السعات الفردية إما للفولتية V أو التيار I . لكن من الناحية العملية ليس الأمر كذلك.

يمكن البرهنة على أن مدى المرحلة المسامحية MHO يتأثر بواسطة الفولتية المغذية لها، فيقل المدى كلما قلت الفولتية. ثم أنه عند الخط العاطل ومن خلال الهبوط في الفولتية يكون المدى الحقيقي أقل من التنظيم. هذا النقصان في المدى أساساً يكون بسبب نابض الإعاقة الصغير في مرحلة المسامحة المعتمدة على القدر الحثي. معادلة الإفلات النظرية تساوي:

$$|Z_n| |V| |I| \cos(\theta_n - \theta_r) > |V|^2$$

عزم الإعاقة عزم التشغيل

وبسبب نابض الإعاقة الإضافي يوجد عزم إضافي T_s .



شكل (84-6): مرحلة MHO لحماية الخط الأقصر

فتصبح المعادلة كما يلي:

$$|Z_n| |V| |I| \cos(\theta_n - \theta_r) > |V|^2 + T_s$$

بقسمة الطريقة على $|V| |I|$ نحصل على:

$$|Z_n| \cos(\theta_n - \theta_r) > |Z| + \frac{T_s}{|V| |I|}$$

بالتعويض عن $|I| = |V| / |Z|$ نحصل:

$$|Z_n| \cos(\theta_n - \theta_r) > |Z| + \frac{T_s |Z|}{|V|^2}$$

لإيجاد المدى على طول القطر، فإن $\theta_r = \theta_n$

$$|Z_n| > |Z| \left(1 + \frac{T_s}{|V|^2} \right)$$

أو

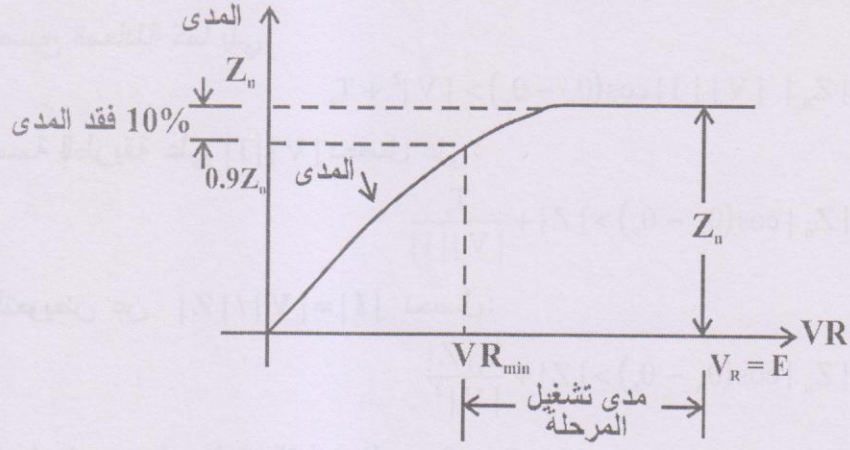
$$|Z| \leq \frac{|Z_n|}{1 + T_s / |V|^2}$$

إن المدى الحقيقي بالأخذ بنظر الاعتبار عزم نابض الإعاقه هو:

$$\text{Actual Reach} = \frac{Z_n}{1 + T_s / V^2} \text{ (Function of } V \text{)}$$

ولأجل الاختبار يهمل عزم النابض $T_s = 0$ فإن المدى الحقيقي Z_n هو ثابت ولا يعتمد على V .

يوضح الشكل (6-85) المدى مع خصائص الفولتية لمرحلة MHO. حيث الحصول على خصائص غير تقليدية وتحتاج إلى أن المدى Z_n يتغير بالاعتماد على طول الخط. وللحصول على المدى الحقيقي غير المعتمد على Z_n نقسم على $|Z_n|$.



شكل (6-85): المدى مقابل خصائص الفولتية

$$\chi = \frac{\text{المدى الحقيقي}}{\text{الدقة لمرحلة المسافة}} = \frac{\text{المدى الحقيقي}}{|Z_n|}$$

ولحذف الفولتية، للعطل عند نقطة المدى Z_n ، نحسب:

$$V_r = E - I Z_s = E - \frac{E}{Z_s + Z_n} Z_s$$

$$= \frac{E Z_n}{Z_s + Z_n}$$

وبقسمة المقام والبسط على Z_n نحصل:

$$V_r = \frac{1.0}{1.0 + Z_s / Z_n} E$$

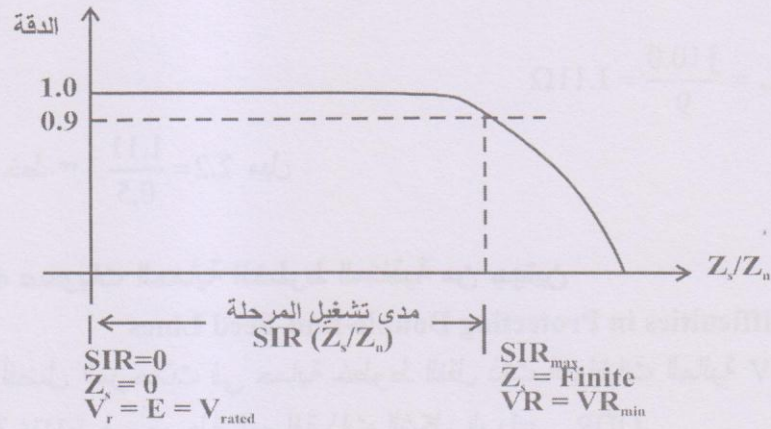
$$= \frac{1.0}{1.0 + SIR} E$$

$$= \frac{1.0}{1.0 + Y} E$$

حيث أن:

$$Y = Z_s / Z_n \text{ نسبة ممانعة المنظومة.}$$

ثم أنه بدلاً من رسم المدى مع الفولتية نرسم الدقة مع المدى. نلاحظ بأنه عند نظام الممانعة الصغير أو المدى أو Y تكون فولتية المرحلة $V_r \rightarrow E_r$ (الفولتية المقننة) وعند نظام الممانعة الكبير تكون $V_r \ll E$ وبإعادة رسم المنحني للشكل (85-6) للدقة مقابل المدى نحصل على الشكل (86-6). فالأعلى هو المدى أو ممانعة المصدر والأدنى هو الدقة أو المدى الحقيقي. بالإضافة إلى أنه الأقصر في الخط يكون الأعلى المدى أو SIR وهذا ما يقلل دقة المدى للمرحلة. فلو وضع حد للدقة سوف لا يقل عن 0.9 (المدى لا يقل عن 0.9 مرة من التنظيم الحقيقي)، وعليه فيوجد حد معين للخط الأقصر عند حمايته بمرحلة مسافة.



شكل (86-6): الدقة مقابل المدى

1-3-11-6 مثال عددي

عند حالة عدم وجود عطل، فإن مرحلة المسافة المرتبطة بالخط يكون لها دقة 1.0 عند الفولتية المقننة 110 V. وكانت ممانعة الخط 0.5 أوم لكل

ميل وممانعة المصدر $J. 10.0\Omega$. فإذا هبطت الدقة إلى 0.9 (أقصر المدى 10%) عندما تكون فولتية المرحلة 10 V عند نقطة المدى Z_n . أحسب:
 أ- SIR العظمى أو المدى للمرحلة.
 ب- أقصر خط يمكن للمرحلة أن تحميه.

الجواب:

$$V_{r.min} = \frac{1}{1 + Y_{max}} E$$

$$10 = \frac{1}{1 + Y_{max}} \times 110$$

$$Y_{max} = 10 = \frac{Z_s}{0.9 Z_\ell} \quad (Z_\ell \text{ من } 90\% \text{ على فرض أن المدى})$$

وعليه:

$$Z_\ell = \frac{j 10.0}{9} = 1.11\Omega$$

$$\text{أقصر خط} = \frac{1.11}{0.5} = 2.2 \text{ ميل}$$

4-11-6 صعوبات الحماية للخطوط المتغذية من جهتين

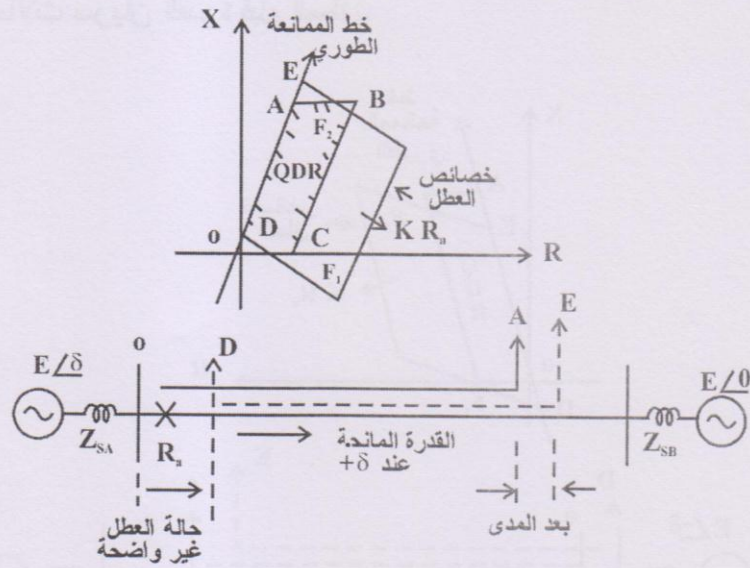
Difficulties in Protecting Double-End-Feed Lines

إن أفضل المرحلات في حماية خطوط النقل ذات الفولتيات العالية HV والفائقة EHV هي مرحلة المسافة ذات الشكل الرباعي QDR.
 عند الخطوط المتغذية من جهتين DEF فإن خصائص العطل لخطوط HV و EHV على مخطط R-X تتمثل في دوران مرحلة QDR. إن مقدار الدوران والتوسع يعتمد على حالة قبل العطل للقدرة المانحة والساحبة (Export and Import). اعتبر أن مخطط الخط المفرد للخط الرابط بين القضبان A و B. حيث يجب التركيز والانتباه على المرحلة R_A .

1-4-11-6 حالات قبل العطل المانحة / الساحبة

Prefault Export / Import Conditions

يوضح الشكل (87-6) خصائص العطل للخط الدائري باتجاه عقرب الساعة وأن توسعها يعتمد على مقاومة القوس الكهربائي R_{arc} . اعتبر بأن العطل يقع خلف نقطة المدى مع المرحلة R_A . يوضح الشكل بأن المرحلة ربما لا تستطيع العمل بسبب حصول حالة بعد المدى (Overreach) للمرحلة QDR. الآن نعتبر بأن عطل القوس الكهربائي يقع مباشرة بعد المرحلة. إن الممانعة المنظورة من قبل المرحلة يمكن أن تخرج من منطقة الإفلات، بسبب عدم استطاعة المرحلة الاستجابة للعطل. إن الشكل (87-6) يوضح خصائص التشغيل المنزاحة إلى اليمين، ويبين حالة بعد المدى وأن جزء من الخط لا يمكن حمايته.



شكل (87-6): سوء أداء المرحلة عند حالات قبل العطل المانحة

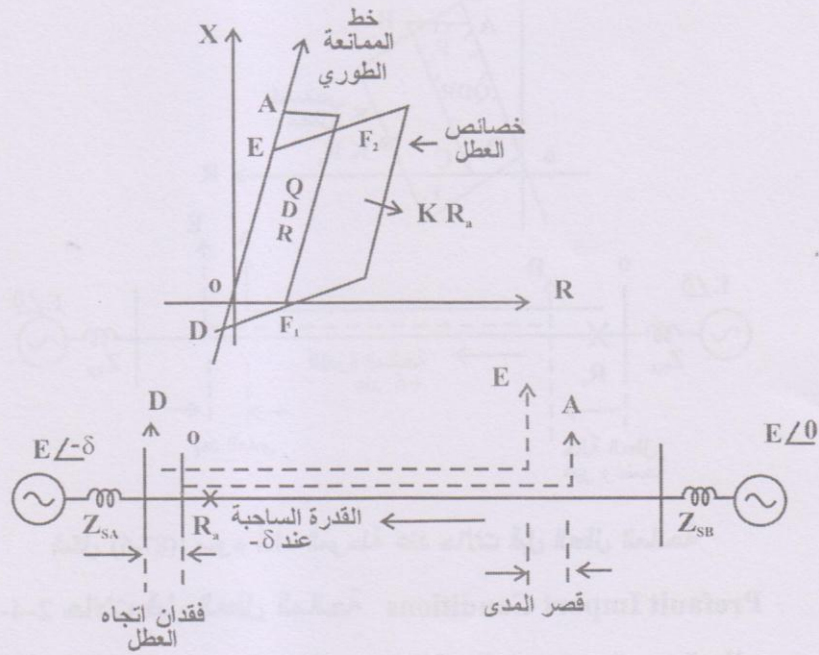
2-4-11-6 حالات قبل العطل المانحة Prefault Import Conditions

يوضح الشكل (88-6) خصائص مرحلة QDR وخصائص العطل عند حالات قبل العطل المانحة. حيث تدور خصائص العطل باتجاه عكس

عقرب الساعة. فلو اعتبر عطل القوس الكهربائي تحت نقطة المدى، كما يلاحظ من الشكل فإن بعض القيم للمرحلة R_A سوف تعتبر الممانعة المنظورة من قبل المرحلة QDR تكون خارج منطقة الإفلات بسبب قصر المدى للمرحلة (Underreach).

فإذا اعتبرنا أن هنالك عطل آخر في نفس الوقت يقع خلف موقع المرحلة كما في الشكل، فإن قيمة المرحلة R_A ربما تدفع ممانعة المرحلة إلى داخل منطقة الإفلات، مسببة للمرحلة فقدان ميزة الاتجاه. إن خصائص المرحلة المنزاحة إلى اليسار تعطى بوضوح قصر المدى وفقدان ميزة الاتجاه.

إن الحل هو بدوران المرحلة QDR، وهذا الدوران والتوسع يعتمد على حالات سريان القدرة قبل العطل.



شكل (88-6): سوء الأداء للمرحلة QDR عند حالات قبل العطل الساحبة

12-6 مراحل الخروج عن التزامن الملحق بها وحدات

الكبح والفصل

Out-of-Step Blocking and Tripping Schemes

من المعروف أنه يوجد نوعان من تأرجح القدرة عند ربط ماكنتين مع بعض بخط رابط، الأول هو الاضطراب الخارجي الصغير والذي يسبب تأرجح القدرة المستقر، والتي يمكن الماكنتين من الاستعادة والحفاظ على التزامن. لو حصل سوء في الأداء لمرحلة المسافة عند تأرجح القدرة المستقر، تصبح المنظومة في معضلة كبيرة. فتظهر الحاجة إلى مرحلة الخروج عن التزامن الملحق بها وحدات الكبح.

والثاني عند حدوث اضطراب كبير فإن تأرجح القدرة يكون غير مستقر، والماكنتين تتفصل. ويكون تشغيل وعدم تشغيل مرحلات المسافة غير مجدياً، وأن نقطة الانفصال النهائية بين الماكنتين، تجعل مرحلات المسافة تعمل بصورة عشوائية بحيث تكون المنظومات المنفصلة لها أقل حمل. وقبل حساب نقطة الانفصال تظهر الحاجة إلى مرحلة الخروج عن التزامن الملحق بها وحدات الفصل. في المثال التالي الموضح في الشكل (6-89) يبين بوضوح مواقع مرحلات الخروج عن التزامن الملحق بوحدة الفهمل. إن المولدتين G_A و G_B ترتبطان بخط رابط AE مع قضيب عمومي وسطي B. فالأحمال هي:

$$\left\{ \begin{array}{lll} L_A = 200 \text{ MW} & A & \text{قضيب} \\ L_B = 300 \text{ MW} & B & \text{قضيب} \\ L_C = 200 \text{ MW} & C & \text{قضيب} \end{array} \right\} \text{مجموع الأحمال (700 MW)}$$

سريان القدرة في الخط الرابط هي:

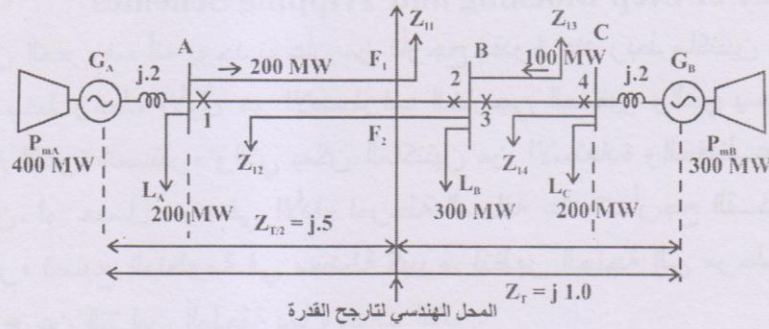
من قضيب A إلى قضيب B (200 MW)

من قضيب C إلى قضيب B (100 MW)

قدرة المولدات هي:

مولدة A (400 MW)

مولدة B (300 MW) المجموع (700 MW)



شكل (6-89): مواقع مرحلات الخروج عن التزامن الملحقة بها بوحدات الكبح والفصل

مفاعلات المولدات والخط هي:

المولدة A 0.2 PU J

المولدة B 0.2 PU J

الخط AB 0.4 PU J

الخط BC 0.2 PU J

في حالة الماكنتين تمر القدرة المتأرجحة خلال مركز المنظومة $(Z_T/2)$ ، حيث يتساوى البعد في نهايتي مفاعلة النقل الكلية من كلا المصدرين. وعليه فإن الممانعة الكلية تساوي $(J 1.0 \text{ PU})$ وقدرة التأرجح تمر من خلال $J 0.5 \text{ PU}$ من كلا المصدرين.

وللإلقاء نظرة على التشغيل العشوائي لمرحلات المسافة الأربعة (عند 1, 2, 3 و 4) والتفكك الحاصل في الأحمال يمكن اعتبار التشغيل وعدم التشغيل لوحدات القطاع الأول على طول مرحلات المسافة عند 1, 2, 3 و 4. خصائص المرحلة يمكن فرضها على أنها من نوع المسامحية MHO التي تغطي القطاع الأول وكما هو موضح بالشكل.

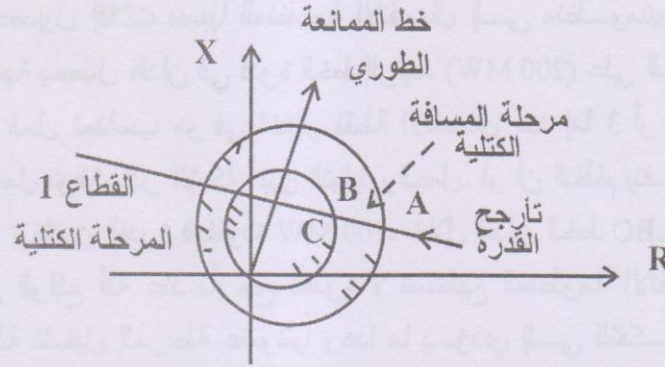
إن تأرجح القدرة المار خلال القطاع الأول للمرحلة R_A و R_B مسبباً حالة الإقلاط في القواطع. حيث يكون تأرجح القدرة خلف القطاع الأول للمرحلة

عند 3 وخارج القطاع الأول للمرحلة عند 4. بحيث لا توجد مرحلات ترتبط بقواطع الدورة تعمل عند حالة تأرجح القدرة. ويكون موقف قواطع الدورة 1 و 2 حصول إفلات مسبباً للمنظومة الانفصال إلى منظومتين ثانويتين وبالنتيجة يحصل فقدان في قدرة الخط الرابط (200 MW) على الخط AB. إن الحل المناسب هو في اختيار نقطة الانفصال عند إما 3 أو 4 أو كلاهما التي تعمل توافق قدر الإمكان بين التوليد والحمل. لو أن النظام ينفصل عند النقطة 3 تكون القدرة المفقودة 100 MW، خلال فقدان الخط BC. في الواقع أنه عند تأرجح القدرة لا تستطيع المنظومة الانفصال ذاتياً، بواسطة تشغيل المرحلة عشوائياً وهذا ما يؤدي إلى التفكك الواسع للأحمال. إن نقطة الفصل المحسوبة بالاستناد إلى سريان القدرة تجعل تفكك الأحمال أقل ما يمكن. وعليه فالقرار هو أنه عند نقطة الانفصال، تضاف مرحلة للخروج عن التزام الملحق بوحدة الفصل واستعمال مرحلات الخروج عن التزام الملحق بوحدة الكبح لجميع المواقع الأخرى.

1-12-6 مرحلات الخروج عن التزام الملحق بها وحدات الكبح Out-of-Step Blocking Scheme

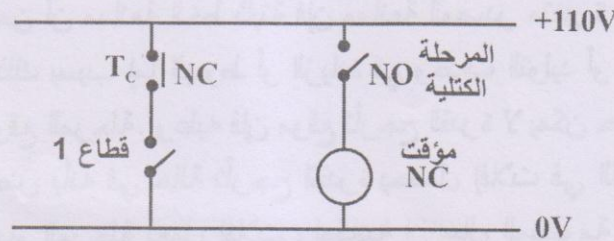
كما ذكر سابقاً، فإن مرحلة الخروج عن التزام الملحق بوحدة الكبح تكون مطلوبة في القطاع الأول، ولكن وحدات الكبح الملحق تكون ضرورية في موقع آخر في المنظومة يحصل فيه الانفصال. هذا بالإضافة إلى المحل الهندسي للموقع لتأرجح القدرة يعتمد على المصدر وممانعات الخط (القاطع العمودي حيث $(Z_t = Z_{SA} + Z_t + Z_{SB})$). بالرغم من أن ممانعة الخط ثابتة فإن ممانعة المصدر متغيرة من وقت إلى آخر. وذلك بسبب إما الهبوط أو الزيادة في وحدات التوليد أو فصل الخطوط خلف موقع المرحلة. وعليه فإن موقع تأرجح القدرة لا يمكن حسابها. نفترض بأنه في حالة تأرجح القدرة يحصل إفلات في القطاع الأول، مسبباً قيام المرحلة بعمل إفلات وإمكانية انفصال المنظومة يكون عند

الموقع الخاطئ. ولتجنب عمل مرحلة الخروج عن التزامن الملحقة بها وحدات الكبح شكل (6-90).



شكل (6-90): مرحلة الخروج عن التزامن الملحقة بها وحدة الكبح

إن مرحلة الخروج عن التزامن الملحقة بها وحدات الكبح تمثل خصائص دائرية متمركزة في القطاع الأول. هنالك احتمالات لإمكانية القطاع الثاني في العمل عند التأرجح، مما يسبب تمركز مرحلة الخروج عن التزامن في القطاع الثاني بالإضافة إلى القطاع الأول. وهذا ما يؤكد بأنه عند تأرجح القدرة سوف تدخل وحدة الكبح قبل دخولها المرحلة في القطاع الأول. يصبح التشغيل الآن أكثر سهولة. لنفرض بأن إدخال وحدة الكبح عند تأرجح القدرة عند الزمن $t = 0$. وعند $t = T_c$ في القطاع الأول، فإن مراحل المسافة سوف تكبح أو لا تشتغل بواسطة وحدات الكبح الملحقة عند الزمن أقل من T_c . إن دائرة الإفلات لمخطط المسافة ثلاثي المراحل عند ثبات مرحلة الكبح يوضحها الشكل (6-91).



شكل (6-91): مخطط الإفلات لمرحلة الخروج عن التزامن الملحقة بها وحدة الكبح

إن وحدة الكبح تمنع المرحلة من التشغيل، حيث يمكن ملاحظة بأن وحدة الكبح لا تتداخل مع المرحلة عند حدوث أعطال داخلية حقيقية على الخط. على اعتبار حدوث عطل داخلي وليس حالة تأرجح في القدرة. إن حالة تأرجح القدرة هي بالأساس ظاهرة بطيئة من خلال القصور الذاتي في المكائن، وعليه يجب أولاً إدخال وحدة الكبح وبعد زمن T_c يمكن إدخال القطاع الأول.

من خلال العطل فإن الممانعة المنظورة من قبل المرحلة تتغير فجأة من Z_{load} إلى Z_{fault} . وقبل أن تكبح وحدة الكبح المرحلة، فإن المرحلة سوف تعمل بوحدة الأعطال الداخلية الحقيقية.

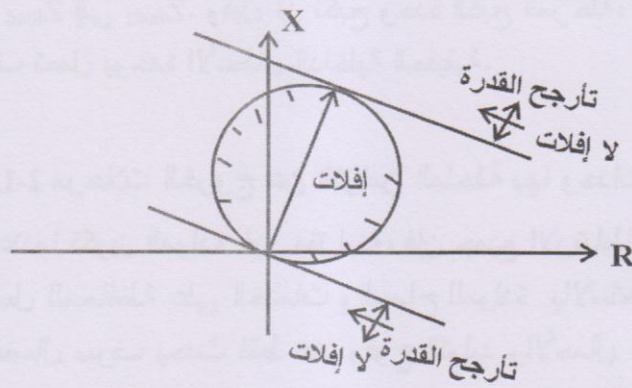
2-12-6 مراحل الخروج عن التزامن الملحقة بها وحدات الفصل

عندما تكون المولدة غير متزامنة، فإن جميع الارتباطات معها سوف تنفصل للمحافظة على الخدمات والسماح للمولدة بالاستعادة للترزامن. هذا الانفصال سوف يحدث فقط عند وقوع التوليد والأحمال على جانب نقطة الانفصال وهذا يحصل بتوافق بحيث يؤدي إلى تقليل الانقطاع في الخدمات. كما أن الفصل المتعمد لا يعتمد على عمل مرحلة المسافة. ولهذه الأسباب فإن حالة تأرجح القدرة في المواقع المتغيرة، يفترض بها أن تكون خارج القطاع الأول وكما هو موضح بالشكل (6-92).

إن مرحلة الخروج عن التزامن الملحق بها وحدة الفصل تحتوي على حاجبين (B_1 Blinder و B_2 ولها خصائص خط مستقيم وموازية لخط الممانعة الطوري شكل (6-93).

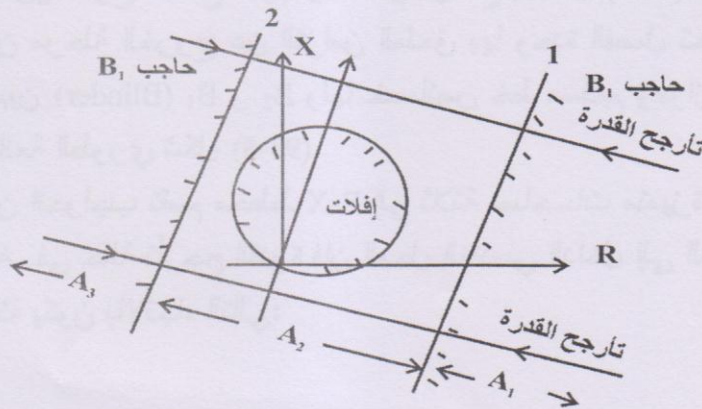
إن الحواجب تقسم مخطط R-X إلى ثلاثة مساحات متميزة A_1 و A_2 و A_3 . في حالة تأرجح القدرة فإن المحل الهندسي الداخل إلى المساحات الثلاثة يكون بالاتجاه التالي:

الزيادة في الزمن ←				
$A_3 \leftarrow$	$A_2 \leftarrow$	$A_1 \leftarrow$		تأرجح القدرة من اليمين إلى اليسار
فتح	فتح	\leftarrow غلق	B_1	حالة ملاسبات الحاجب
فتح	غلق	\leftarrow غلق	B_2	
$A_1 \leftarrow$	$A_2 \leftarrow$	$A_3 \leftarrow$		تأرجح القدرة من اليسار إلى اليمين
غلق	فتح	\leftarrow فتح	B_1	حالة ملاسبات الحاجب
غلق	غلق	\leftarrow فتح	B_2	



شكل (6-92): موقع وحدات الفصل لحالة تأرجح القدرة

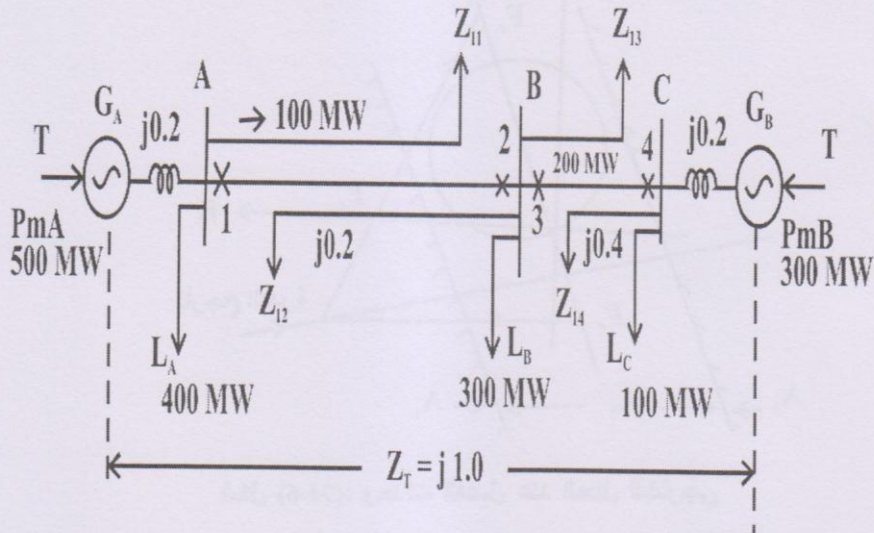
لو أن زمن التتابع للحواجب كان كما سبق، فإن دائرة الإفلات تلغي دائرة إفلات المرحلة وإفلات قاطع الدورة. يوضح الشكل (6-93) دائرة الإفلات.



شكل (6-93): الإفلات المنطقي لوحدات الفصل

الجواب

- i- قواطع الدورة 3 و 4 سوف تعطي إشارة إفلات، مع تفكك الخط الرابط BC مسبباً انقطاع 200 MW كحمل عند القضيب الوسطي.
- ii- نقطة الانفصال سوف تكون عند قاطع الدورة 1 وكذلك موقع مرحلة الخروج عن التزامن الملحق بها وحدة الفصل. وجميع المواقع الأخرى يكون لها مراحل الخروج عن التزامن الملحق بها وحدات الكبح.



شكل (6-95): المثال العددي

13-6 الأسئلة

- 1- وضح لماذا لا تستخدم مرحلات DTOC في خطوط HV و EHV؟
- 2- اشتق خصائص العطل لخطوط HV و EHV للتوفيق بين الأعطال المعدنية وأعطال القوس الكهربائي.
 - أ- عند الخط ذو التغذية من جهة واحدة.
 - ب- عند الخط ذو التغذية المزدوجة مع حالة قبل العطل المانحة للقدرة.
 - ج- عند الخط ذو التغذية المزدوجة مع حالة قبل العطل الساحبة للقدرة.
- 3- حدد أفضل خصائص للمرحلة من مرحلة الممانعة البسيطة، مرحلة المفاعلة، مرحلة المسامحة MHO ومرحلة الشكل الرباعي. مراعيًا ميزات الاتجاه وحالة قصر المدى عند عطل القوس الكهربائي وحالة تأرجح القدرة.
- 4- لماذا في مخطط المسافة ثلاثي المراحل:
 - أ- قطاع 1 يضبط بأقل من 100% من الخط عند الحماية.
 - ب- قطاع 2 يضبط ليصل 25% إلى 50% لأقصر خط مجاور.
 - ج- قطاع 3 يضبط ليصل خلف (110%) من أطول خط.
- 5- باستعمال مرحلة القدرح الحثي اشتق العزم ومكان الاستقطاب المناسب لملفات التشغيل والكبح. ما هي أهمية الاستقطاب؟
- 6- اشتق القطر أو تنظيم (Z_n) لدائرة المرحلة المسامحية MHO كدالة لنسبة CT/PT والاختلاف في زاوية ممانعة الخط (θ_r) من θ_r MTA للمرحلة المسامحية.
- 7- اشتق العلاقة المزدوجة يبين مقارن الطور ومقارن السعة للجيب تمام. وهل يمكن عمل مرحلة مسامحة؟
- 8- ما هو زمن التطابق (الموجب أو السالب) لأكثر من إدخال جيبي؟ وكيف أن هذه الخاصية تستعمل لإنشاء مرحلة مسافة ذات شكل رباعي؟
- 9- ما هي التقنيات الأخرى لإنشاء QDR؟

- 10- ما هي فوائد ومساوئ المرحلات الاستاتيكية مقارنة مع المرحلات الكهروميكانيكية؟
- 11- لماذا يقال بأن المرحلات المستندة على المعالج يمكن أن تعطى عدة خصائص؟ وضح استعمالها بمثال لمرحلة OC.
- 12- وضح التقنيات التالية عند حساب، الممانعة والمقاومة والمفاعلة من إدخلات الفولتية/ التيار. وكيف يكون أدائها عند وجود التوافقيات والزمن الحسابي؟
- أ- سلسلة فورير.
- ب- والش ذات الحد الواحد.
- ج- والش ذات الحدين.
- 13- كيف أن معدل العينة تعادل زمن المعالج في مرحلات المسافة المستندة على المعالج؟
- 14- كم عدد الوحدات القياسية المطلوبة لحماية خط نقل ثلاثي الطور عند حصول دوائر القصر العشرة؟
- 15- اشتق إدخلات وحدة القياس عند حدوث عطل ثنائي الطور B-C من أجل قياس ممانعة التتابع الموجب بصورة صحيحة عند نقطة العطل. وكيف تتصرف هذه الوحدة عند حدوث عطل B-C-G وعطل ثلاثي الطور؟
- 16- اشتق إدخلات وحدة القياس عند حدوث عطل أرضي A-E من أجل قياس ممانعة التتابع الموجب عند نقطة العطل. وكيف تتصرف هذه الوحدة عند حدوث عطل ثلاثي الطور؟
- 17- ما هو الفرق بين مخططات المسافة ثلاثية المراحل المفتاحية واللامفتاحية؟
- 18- ارسم مخطط لإفلات CB في مخطط المسافة ثلاثي المراحل.
- 19- ما هي محددات مرحلات المسافة من وجهات النظر التالية:
- أ- سرعة الترحيل عند الأعطال على الخط الكامل.

- ب- أقصر خط تستطيع مرحلة المسافة حمايته عند هبوط الفولتية باتجاه المرحلة من خلال العطل.
- ج- أطول خط تستطيع مرحلة المسافة حمايته بدون حدوث سوء في الأداء في حالة تأرجح القدرة المستقر.
- 20- كيف أن مرحلة QDR البسيطة تلائم الخط المغذي من جهة واحدة وكيف تتصرف بوجود خط مغذي من جهتين؟
- 21- استخدم مثال مناسب لنظام مكون من مآكنتين بينهما خط رابط وقضيب وسطي، حدد موقع مرحلات الخروج عن التزامن الملحق بها وحدات الكبح والفصل.
- 22- يقال بأن:
- أ- مرحلات الخروج عن التزامن الملحق بها وحدات الفصل تكون قليلة العدد.
- ب- مرحلات الخروج عن التزامن الملحق بها وحدات الكبح تكون كثيرة العدد.
- وضح أسباب ذلك.

الفصل السابع

المعدات الناقلة في خطوط

EHV و HV

الفصل السابع

المعدات الناقلة في خطوط HV و EHV

Carrier Schemes for HV and EHV

1-7 المقدمة

إن تحليل العطل في خطوط النقل الهوائية يعطي المعلومات الإحصائية التالية

أعطال الحالة العابرة 80%.

الأعطال شبه الدائمة 10%.

الأعطال الدائمة 10%.

يذكر بأن عطل الحالة العابرة هو مشابه لعطل عازل الشرر العرضي، والذي يعطي الإقلاط الفوري لقاطع الدورة وبدون تكرار عند إعادة غلق قاطع الدورة، وبتأخير زمني مسبق. إن عطل الحالة شبه الدائمة يكون بسبب سقوط فرع الشجرة على الخط. إن هذا العطل لا يمكن إزالته بواسطة الإقلاط الفوري لقاطع الدورة، لأنه يمكن أن يؤدي إلى احتراقه عند إعادة غلق قاطع الدورة، من هنا تتضح أهمية إعادة الغلق الذاتي لقاطع الدورة الذي يعمل على تقليل فترة انقطاع التجهيز.

إن مسائل تطبيق معدات الغلق الذاتي يمكن مناقشتها تحت عنوانين رئيسيين:

1- نظام الغلق الذاتي متوسط الفولتية MV، والذي يعتبر أن استمرارية التجهيز هو هدفه الرئيسي.

2- نظام الغلق الذاتي عالي الفولتية HV، والذي يعتبر مسائل الاستقرار والتزامن ضمن أولوياته القصوى.

2-7 الغلق الذاتي Autoreclosure

1-2-7 نظام الغلق الذاتي متوسط الفولتية

Medium-Voltage Autoreclosure

- إن فوائد نظام الغلق الذاتي في الشبكات متوسطة الفولتية هي:
- 1- إن فترة انقطاع التجهيز للمستهلكين تكون أقل ما يمكن ولا تستغرق فترة الانقطاع سوى بضع ثوانٍ، عند الأعطال العابرة فقط. لأن أغلب الأعطال هي أعطال الحالة العابرة.
 - 2- في المحطات الثانوية غير المحمية يمكن إلغاء كلفة إعادة الغلق اليدوي.

تستعمل في خطوط الفولتية المتوسطة عدة ضربات Multi Shot لقاطع الدورة الأوتوماتيكي. إن ثلاث ضربات لإعادة الغلق تستعمل بصورة واسعة وكما يلي:

- 1- إعادة الغلق الأول يكون لحظياً عند 80% من أعطال الحالة العابرة.
 - 2- إعادة الغلق الثاني يكون بعد فترة تأخير زمني، وتضبط من 15 إلى 45 ثانية عند 10% من أعطال الحالة العابرة المتبقية.
 - 3- إعادة الغلق الثالث يكون بعد فترة تأخير زمني، تضبط من 60 إلى 120 ثانية لتغطية 2% من أعطال الحالة العابرة.
- كما أنه بعد إعادة الغلق الثالث لو لم يتم تغطية العطل أو حصل احتراق خارجي فإن مرحلة إعادة الغلق ستقف.
- إن معدة آلية إعادة الغلق عادة تستخدم الأجهزة الزمنية مثل المحرك ألترامي الصغير (جهاز كهروميكانيكي) لتضبيب زمن إعادة الغلق الثلاثة.

2-2-7 نظام الغلق الذاتي عالي الفولتية High-Voltage Autoreclosure

إن جميع المعدات تستعمل في خطوط النقل الكبيرة، السرعة العالية والضربة المفردة (Single-Shot)، وذلك من أجل المحافظة على بقاء الخط في الخدمة. والسبب في ذلك هو أن مستويات الأعطال المرتبطة مع

هذه الخطوط تكون عالية جداً، ويكون جزء من العمل الشاق المفروض على قواطع الدورة، عند الصدمات والأخطار التي تواجه المولدات وتؤدي إلى عدم استقراريتها، مما يستوجب زيادة عدد الضربات.

إن التطبيقات الناجحة لنظام الغلق الذاتي أحادي الضربة عالي السرعة عند الخط المرتبط بالفولتية العالية، هي ربط نظامين تزامنيين، وتعتمد على العوامل الأربعة التالية:

1- أعظم وقت مسموح به في النظام لفتح أو غلق قواطع الدورة عند كل نهاية للخط الرابط وقبل أن ينحرف النظامين يقود إلى عدم الاستقرار.

2- إن هذا الوقت يمكن أن يسمح لمرور القوس بالتأين لكي يسمح بإعادة الضربة عندما تغلق قواطع الدورة بوجود العطل في الخط الرابط. إن الوقت المتأين يسمى بالوقت الميت، (Dead Time). وأن أنواع أوقات التأين للأقواس عند الفولتيات المختلفة لخطوط النقل يوضحها الجدول (1-7).

الجدول (1-7)

وقت التأين (sec)	فولتية خط النقل (KV)
0.10	66
0.17	132
0.28	220
0.50	400

3- سرعة تشغيل قواطع الدورة عند الفتح والغلق.

4- احتمالية أعطال الحالة العابرة التي تسمح لنظام الغلق الذاتي عالي السرعة عند الخط العاطل بالعمل من دون إعادة الضربة عند العطل. عملياً يجب التوفيق بين متطلبات عدم فقدان الاستقرار والانقطاع الكبير للتغذية عن المستهلكين. كما أن عدم نجاح إعادة الغلق تكون أكثر

مضرة للمنظومة من عدم وجود أنظمة إعادة الغلق. ولهذا السبب فإن زمن تأين مسار القوص يكفي لتحقيق أفضل النجاحات. إن المرحلات على كلا النهايتين يجب أن تكون ذات سرعة عالية. وهذا ليس ممكناً مع المعدات المسافية ثلاثية المراحل التقليدية. حيث تظهر الحاجة للناقل عند الأعطال اللحظية من كلا النهايتين. فمع المرحلات العالية السرعة وكذلك قواطع الدورة عالية السرعة مثل القواطع الهوائية فإن تيار العطل ينقطع من كلا النهايتين، بحوالي 3 دورات أو أقل عند تردد القدرة (50 Hz أو 60 Hz).

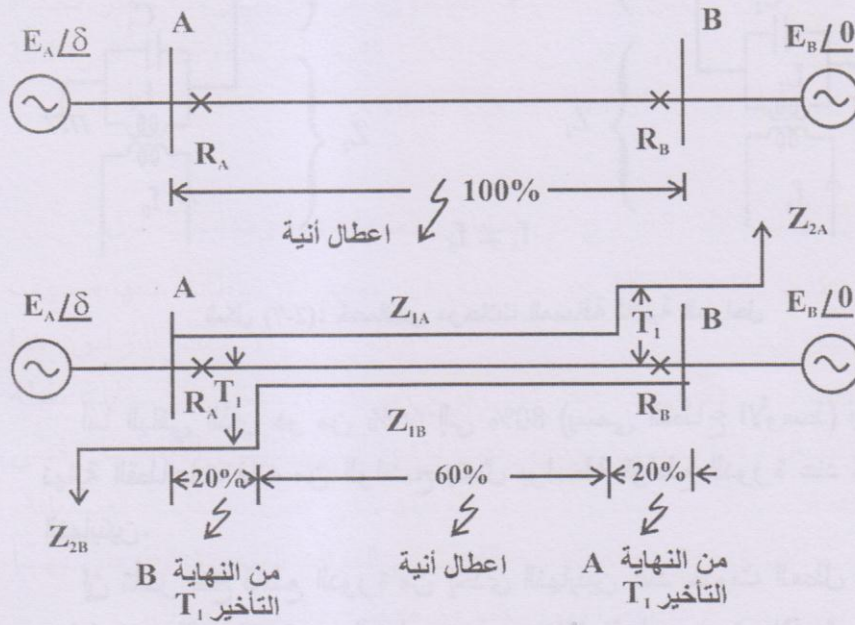
يحدد عادة زمن الغلق كزمن مأخوذ بواسطة قاطع الدورة عند فتح وغلق الخط ويقاس من بداية قيام المرحلة بتنشيط ملف الإفلات للقاطع إلى فتح ملامسات قاطع الدورة للخط الرابط. إن زمن الغلق الذي يتضمن زمن القاطع وزمن التأين يطلق عليه الزمن الميت (Dead Time).

يوضح الشكل (1-7) التتابع العام للتشغيل عند:

- 1- إعادة الغلق الصحيح.
- عطل الحالة العابرة ← إفلات عالي السرعة - إعادة الغلق عالي السرعة.
- 2- إعادة الغلق غير الصحيح.
- العطل الدائمي ← إفلات عالي السرعة ← إعادة الغلق عالي السرعة ← إفلات عالي السرعة ← إفلات

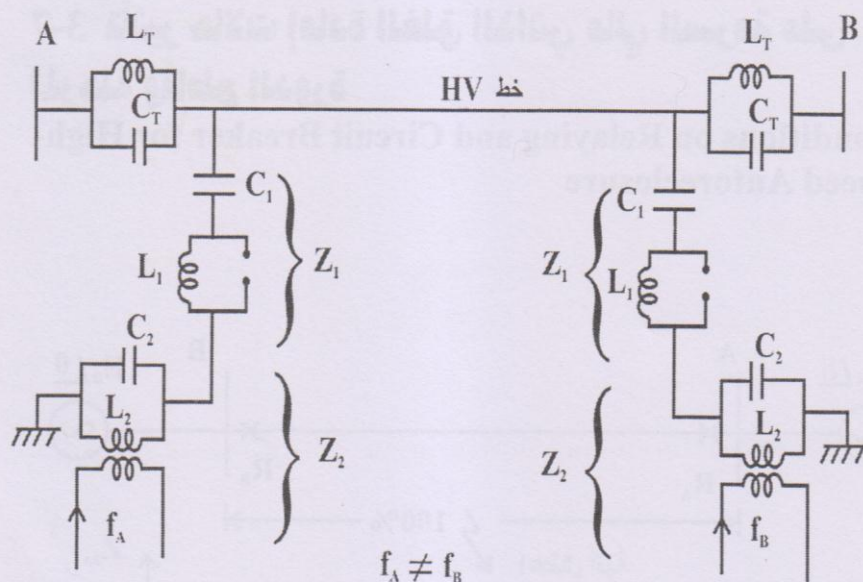
3-7 تأثير حالات إعادة الغلق الذاتي عالي السرعة على المرحلة وقاطع الدورة

Conditions on Relaying and Circuit Breaker for High-Speed Autoreclosure



شكل (1-7): إعادة الغلق الصحيح وغير الصحيح

يوضح الشكل (2-7) خصائص مرحلات المسافة ثلاثية المراحل. نلاحظ بأنه من 10% إلى 20% من القطاع يكون بقرب كل نهاية في الخط، والتي تكون فيها الأعطال واضحة بتعاقب الإفلات. إن نهاية هذه القطاعات عادة تمثل حوالي 20% إلى 40% من الخط المحمي.



شكل (2-7): خصائص مرحلات المسافة ثلاثية المراحل

أما الباقي الذي هو من 60% إلى 80% (يسمى القطاع الأوسط) بين نهاية القطاعات فإنه من الواضح يتمثل بواسطة قواطع الدورة عند كلا النهايتين.

إن تأخر فتح قاطع الدورة من إحدى النهايتين عند حدوث العطل في نهاية 10% إلى 20% من الخط يسبب عدم الاستقرار من خلال تأخير إعادة الغلق الذي يساوي زمن تشغيل القطاع الثاني. وللتغلب على هذه المصاعب، وللتأكد من الفتح اللحظي لقواطع الدورة عن الأعطال لكامل الخط تظهر الحاجة إلى القناة الناقلة (Carrier Channel).

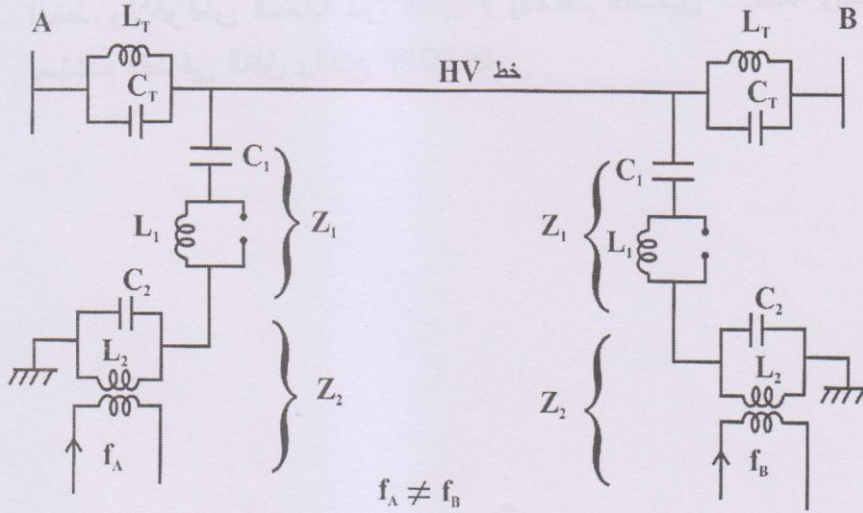
4-7 الناقل المزدوج Carrier Coupling

1-4-7 المقدمة

إن الناقل المزدوج بنمذجة الإفلات اللحظي لقاطع الدورة عند كلا النهايتين للخط الرابط عند حدوث الأعطال على طول الخط، يسمح لاستخدام نظام الغلق الذاتي عالي السرعة. وأن التردد الناقل هو من 50Hz إلى 500Hz Audio Frequency المسموع التردد، بحيث يكون التداخل أقل ما يمكن.

2-4-7 أشكال الناقل المزدوج Carrier Coupling Configurations

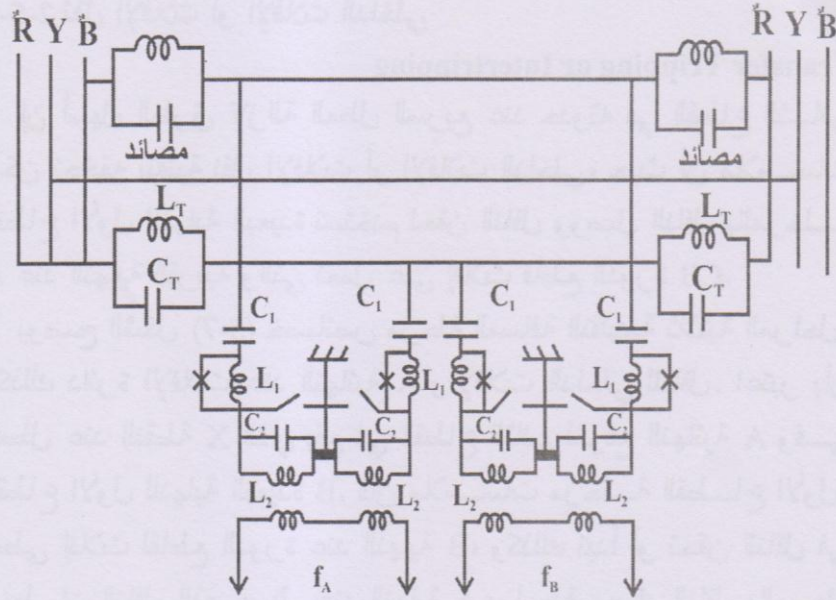
يوضح الشكل (3-7) ناقل بموصل أحادي الطور والذي يكون أكثر شيوعاً من استخدام موصلات ثنائية الطور والتي يعمل بها الناقل من الطور إلى الطور. الازدواج يجعل الناقل يستلم الإشارة بمقدرة مناسبة.



شكل (3-7): الناقل المزدوج أحادي الطور

إن حوامل التردد العالي التي هي بشكل رنين متوازي والتي تقوم باختيار التردد الناقل يطلق عليها مصائد الخط (Line Traps)، توضع عند نهايتي الخط، لكي تبقى الناقل ضمن الخط ولا ينتقل إلى الخط المجاور كما تقوم هذه المصائد بإلغاء الممانعة عند التردد 50Hz-60 Hz، وقد صممت لنقل تردد القدرة لتيار الحمل.

كما يتم منع تردد القدرة من العبور إلى معدات الناقل عن طريق متسعات الفولتية العالية التي ترتبط مع ملف التفريغ (Drainage Coil) لعزل أطراف المعدات عن فولتية الخط العالية، حيث يطلق على هذه المعدات بالمرشحات التي يضاف إليها فجوات التفريغ (Spark Gaps) لحماية المكونات من تمورات الخط Line Surges، كما يضاف أيضاً مفتاح كهربائي لغرض السماح بصيانة المرشحات وهذا يعني بأن الممانعة التبادلية لقابلوا التردد العالي يرتبط بالمعدات الداخلية ومرشح الخط. يوضح الشكل (4-7) التنظيم الكامل للناقل المزدوج من الطور إلى الطور للخط. ولأغراض الحماية فإن الناقل لا يستخدم لتضمين السعة ولكن يستخدم فقط في الغلق والفتح ON/OFF.



شكل (4-7): الناقل المزدوج من الطور إلى الطور

5-7 الناقل بمؤازرة المعدات المسافية

Carrier-Aided Distance Schemes

1-5-7 المقدمة

تستخدم إشارة الناقل المرتبطة مع مرحلات المسافة بإزالة العطل، الواقع في قطاع التأخير الثاني، من كلا النهايتين. إن التأخير الملازم للقطاع الثاني يمكن التغلب عليه وذلك بنقل مكونات الإفلات للمرحلة عند الأطراف البعيدة، عن طريق قناة الناقل، بحيث تستغل المرحلة ابتداءً من القطاع الأول ويقوم الناقل بتسهيل إعطاء إشارة إفلات سريعة عند كلا النهايتين للخط الرابط ويسمح كذلك بتطبيق معدات الغلق الذاتي.

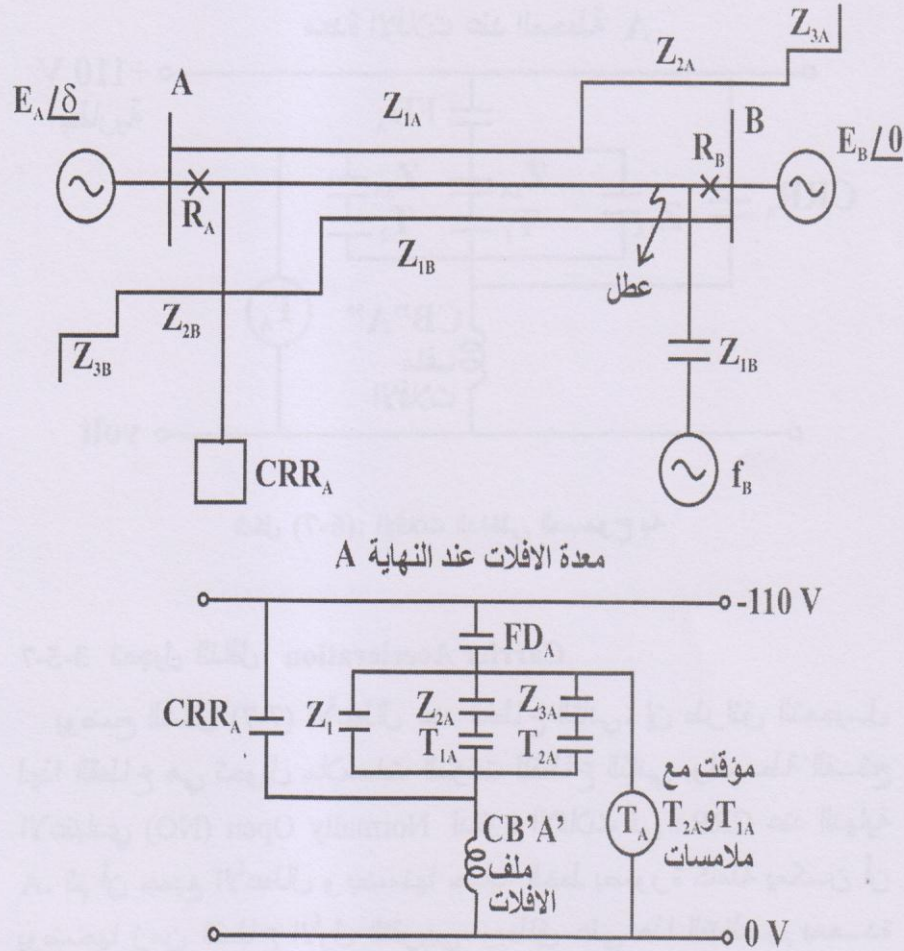
2-5-7 نقل الإفلات أو الإفلات الداخلي

Transfer Tripping or Intertripping

إن أسهل الطرق لإزالة العطل السريع عند حدوثه في القطاع الثاني يمكن تحقيقه بتقنية نقل الإفلات أو الإفلات الداخلي، حيث أن ملامسات القطاع الأول للنهاية البعيدة تستخدم لحقن الناقل ووصل الناقل بالمرحلة A عند النهاية القريبة والتي تعمل على إفلات قاطع الدورة CB.

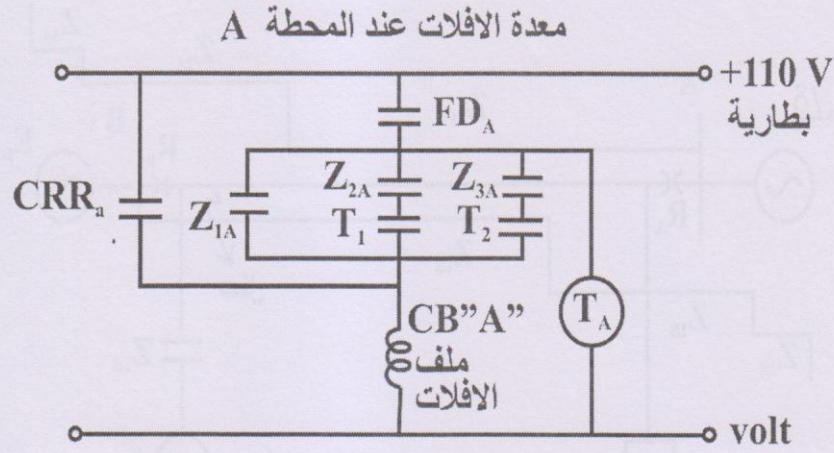
يوضح الشكل (5-7) خصائص مرحلة المسافة التقليدية ثلاثية المراحل، وكذلك دائرة الإفلات عند النهائية A والإفلات الداخلي للناقل. اعتبر بأن العطل عند النقطة X الذي يقع في القطاع الثاني لموقع النهائية A وفي القطاع الأول للنهاية البعيدة B. فإن ملامسات مرحلة القطاع الأول، تعطى إفلات لقاطع الدورة عند النهاية B، وكذلك تبدأ أو تحقق الناقل في الخط. إن الناقل الذي يستلم عند النهاية A بواسطة وصل الناقل بالمرحلة A (CRRa)، يقوم بنقل مكونات التوالي لكاشف العطل عن طريق ملامسات مرحلة القطاع الثاني ولامسات مؤقت القطاع الثاني (T1)، ليبتدئ بالإفلات السريع. مع هذه المعدة فإن الناقل مطلوب منه نقل العطل، وكذلك قدرة الناقل على القيام بواجباته.

بالإضافة إلى أنه في حالات العطل الخارجية، فإن الناقل الموصل بالمرحلة ربما يعمل من خلال توليد الضوضاء المفرطة، لضمان حماية القطاع وربما حدوث إفلات زائف.



شكل (5-7): نقل الإفلات أو الإفلات الداخلي

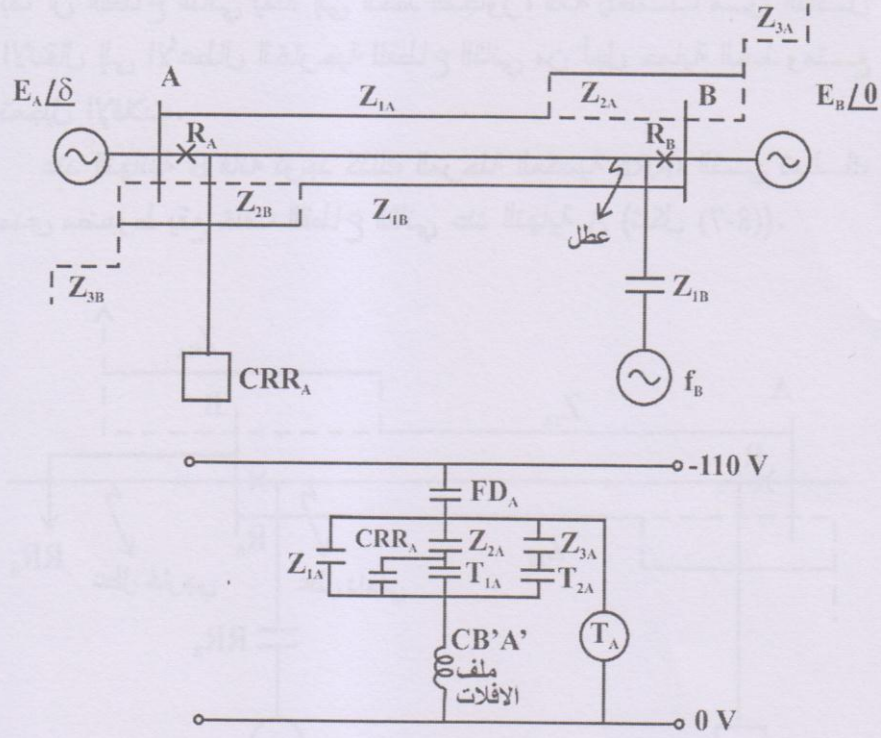
وللتقليل من الإفلات الزائف فان دائرة (CRRa) يمكن أن تراقب بواسطة كاشف العطل وكما هو موضح بالشكل (6-7)، وعليه فان CRRa تتجز العمل المطلوب منها عند حدوث عطل داخلي حقيقي. ويطلق على هذا التنظيم معدات الإفلات الداخلي المسموح به (Permissive Intertrip Schemes).



شكل (6-7): الإفلات الداخلي المسموح به

3-5-7 تعجيل الناقل Carrier Acceleration

يوضح الشكل (7-7) الأعطال عند القطاع الثاني. إن طرائق التعجيل لهذا القطاع هي تحويل ملامسات المؤقت للقطاع الثاني بواسطة الفتح الاعتيادي (NO) لدائرة الإفلات في CRRa عند النهاية A. ثم أن جميع الأعطال وضمنها حماية الخط بصورة كاملة يمكن أن يوضحها زمن القطاع الأول التقريبي. ويطلق على هذا التنظيم بمعدة تعجيل الناقل والتي تعتمد على مقدرة الناقل للانتقال عبر الخط العاطل.

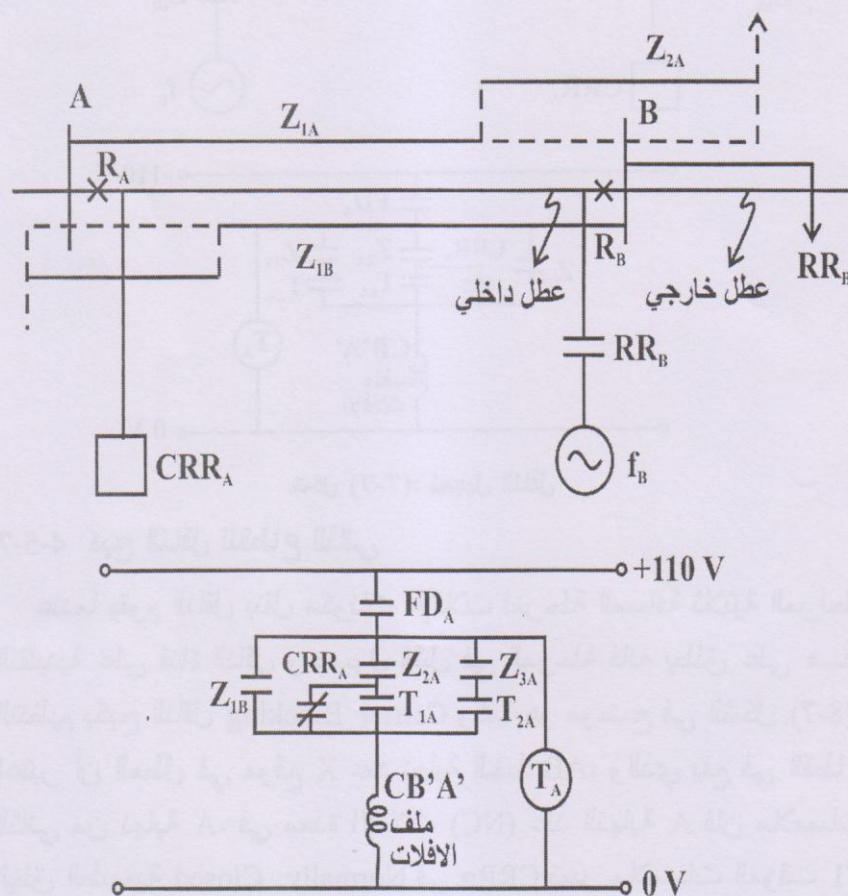


شكل (7-7): تعجيل الناقل

4-5-7 كبح الناقل للقطاع الثاني

عندما يقوم الناقل بنقل مكونات الإفلات لمرحلة المسافة ثلاثية المراحل التقليدية على قناة الناقل وحصول فشل في المرحلة فإنه يطلق على هذا التنظيم بكبح الناقل Carrier Blocking وكما هو موضح في الشكل (7-8). اعتبر أن العطل في موقع X عند نهاية الخط AB، والذي يقع في القطاع الثاني من نهاية A. في معدة الإفلات (NC) عند النهاية A فإن ملامسات الغلق الطبيعية Normally Closed في CRRa تعبر ملامسات المؤقت T1 للقطاع الثاني، عند التشغيل اللحظي الفعلي للقطاع الثاني قبل التعجيل. وعليه فإن الأعطال عند الخط دائماً تكون لحظية. وعليه فإن معدات كبح الناقل تدعى بحالة قبل التعجيل (Reacceleration).

عند النهائية B فانه توجد كذلك المرحلة العكسية RRa ، التي تمتلك مدى مضبوط يقع خلف القطاع الثاني عند النهاية A (شكل (8-7)).



شكل (7-8): كبح الناقل للقطاع الثاني

تستعمل ملامسات الفتح الطبيعي Normally Open في RRa لحقن الناقل لكي تعمل CRRa في أعطال القطاع الثاني فقط، مثلاً عند Y في

الخط المجاور، توضع الملامسات NC في CRRa، على التوازي مع ملامسات المؤقت T1 المفتوح. إن لقطاع الثاني لمخطط المسافة عند النهاية A سوف تنعكس عند التشغيل الطبيعي (تأخير T1). وعليه فإن الناقل يستعمل في كبح تشغيل القطاع الثاني لحظياً عند الأعطال خارج الخط.

نلاحظ بأن الناقل يحمل على الخط السليم وهذه أعظم فائدة. إن من مساوئ هذا الناقل هو فشله عند فقد الاختيارية. ثم أن الصيانة تعتبر من المهام الكبيرة. نلاحظ بأن المرحلات ذات الاتجاه الأمامي تحتاج إلى تأخير قليل في الزمن وكذلك جميع المرحلات ذات الاتجاه العكسي تكون لها أولوية مناسبة للكشف عن العطل الخارجي.

6-7 معدات الناقل الوحدوي Unit Carrier Schemes

إن معدات الناقل الوحدوي يقوم بتجهيز وحدة حماية بدون حماية سائدة. إن معدات المرحلة الوحدوية تقوم بمقارنة حالات الخط عند كلا النهايتين وتجهز الإقلاط بمساعدة الناقل، لحالتين لها تغيير مؤثر، عند العطل الداخلي على الخط.

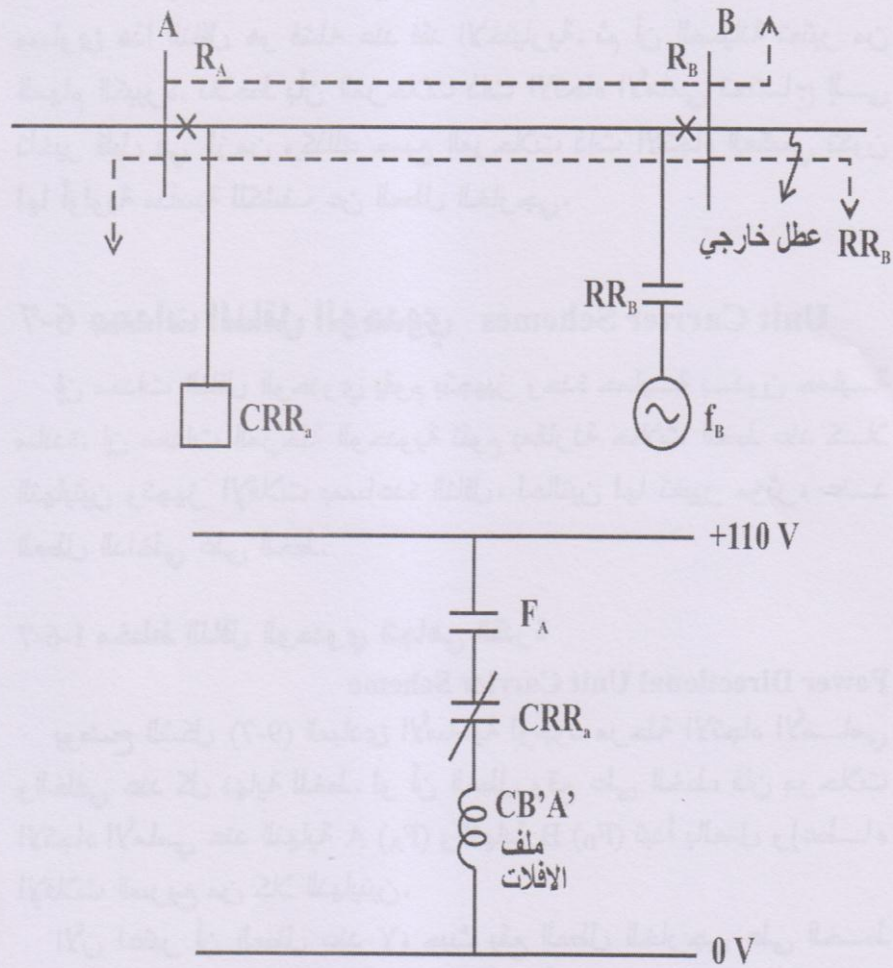
1-6-7 مخطط الناقل الوحدوي اتجاهي القدرة

Power Directional Unit Carrier Scheme

يوضح الشكل (7-9) المبادئ الأساسية لوجود مرحلة الاتجاه الأمامي والخلفي عند كل نهاية للخط. لو أن العطل وقع على الخط، فإن مرحلات الاتجاه الأمامي عند النهاية A (F_A) والنهاية B (F_B) تبدأ بالعمل وإعطاء الإقلاط السريع من كلا النهايتين.

الآن اعتبر أن العطل عند Y، حيث يقع العطل الخارجي على الخط المجاور خلف القضيب B. كما يجب التأكد بأن مدى مرحلة الاتجاه العكسي عند النهاية B (المرحلة R_{RB}). وعند حدوث العطل الخارجي في X، فإن R_{RB} تعمل ويبدأ الناقل بشحن الإقلاط عند النهائية A. إن تنظيم

الإفلات عند المحطة A موضح في الشكل أيضاً. من الواضح فإن التأخير القليل تجهز لجميع مراحل الاتجاه الأمامي، لأنه عندما يستلم الناقل CRRa سوف يمتلك الوقت الكافي للعمل ومنع إصدار الإفلات. نلاحظ بأن هذا الناقل يفشل بسبب الفقد الكلي للاختيارية. وعليه يجب إعطاء الانتباه الشديد لصيانة معدات الناقل.

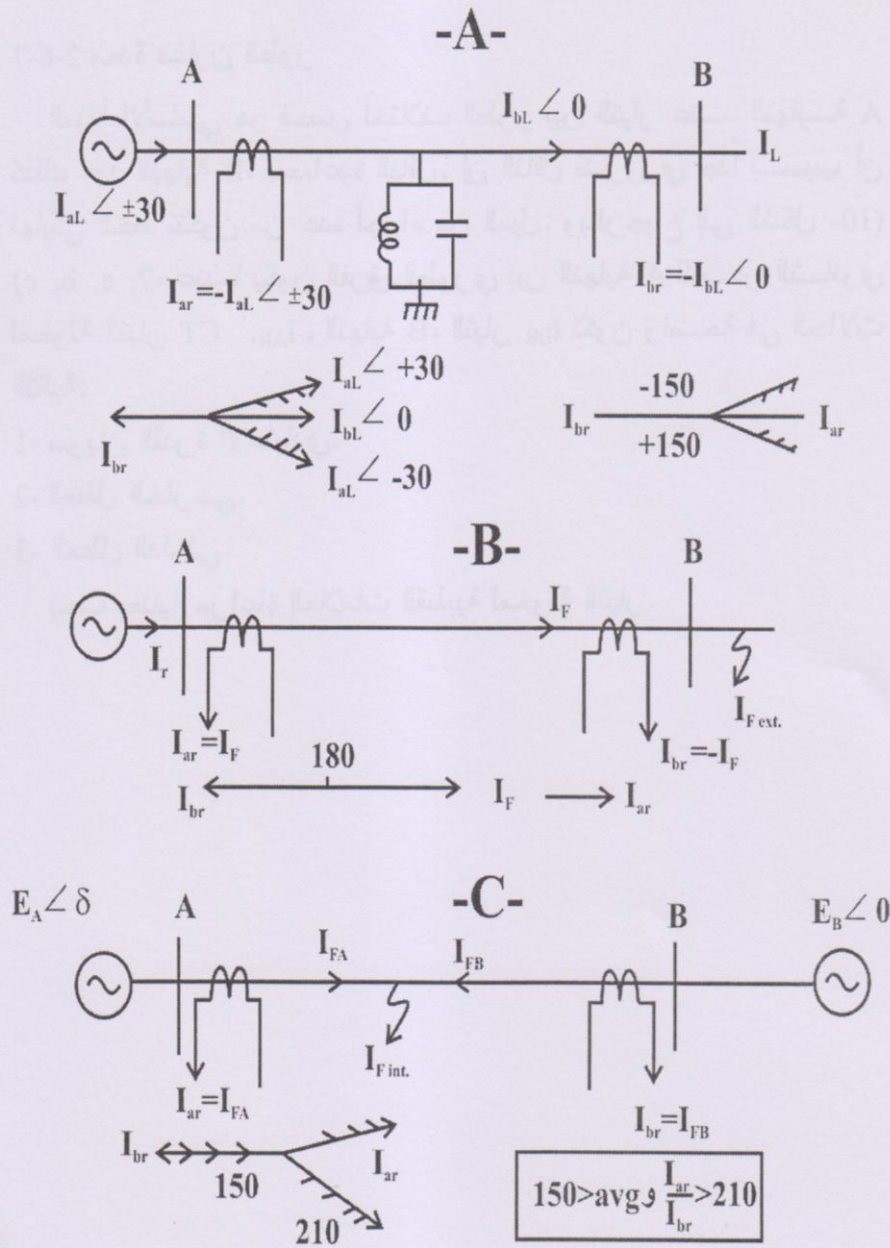


شكل (9-7) أسس معدة الناقل الودودي اتجاهي القدرة

2-6-7 معدة مقارن الطور

المبدأ الأساسي هو فحص اختلاف الطور بين التيار عند النهاية A كذلك عند النهاية B، بمساعدة الناقل. إن الناقل ضروري جداً بسبب أن نهايتي الخط تتكون من عدة أجزاء من الميل. وبالرجوع إلى الشكل (10-7, a, b, c)، عندما يكون الفرق الطوري بين النهاية A للتيار الثانوي لمحولة التيار CT و I_{AR} والنهاية B، التيار I_{BR} تكون واضحة في الحالات التالية:

- 1- سريان القدرة الاعتيادي.
 - 2- العطل الخارجي.
 - 3- العطل الداخلي.
- يجب بعناية مراعاة العلامات القطبية لمحولة التيار.



شكل (10-7): الفرق الطوري بين الخط والدائرة:
(A) سريان القدرة الاعتيادي (B) العطل الخارجي (C) العطل الداخلي

حيث أنه يظهر في حالات سريان القدرة الاعتيادية وكذلك العطل الخارجي، تيار الخط الداخل I_{AL} عند النهاية A وتيار الخط الخارج I_{BL} عند النهاية B تكون بقيمة أكثر أو أقل ويكونان بشكل طوري. وتكون هذه حقيقة على جانب الخط ليس على الجانب الثانوي لمحولة التيار، من خلال اختيار علامات القطبية لمحولة التيار.

عند حالات سريان الحمل الاعتيادية، فإن I_{AL} سوف يتقدم أو يتأخر عن I_{BL} عند الزاوية من 0° إلى 30° خلال متسعة التوازي وموصلية الخط. التيارات على جانب المرحلة تصمم I_{AR} و I_{BR} . كما أن الفرق الطوري بين I_{AR} و I_{BR} يوضحها الشكل (11-7).

1- سريان القدرة الاعتيادية.

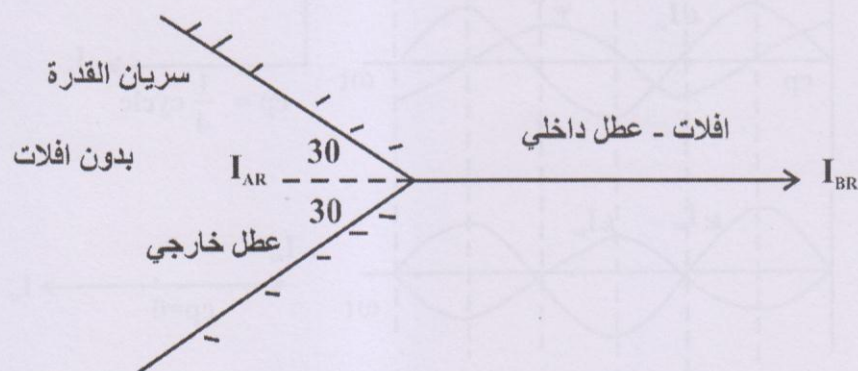
$$-150^\circ > \arg \frac{I_{AR}}{I_{BR}} > +150^\circ$$

2- العطل الخارجي.

$$\arg \frac{I_{AR}}{I_{BR}} = +180^\circ$$

3- العطل الداخلي.

$$+150^\circ > \arg \frac{I_{AR}}{I_{BR}} > +210^\circ$$

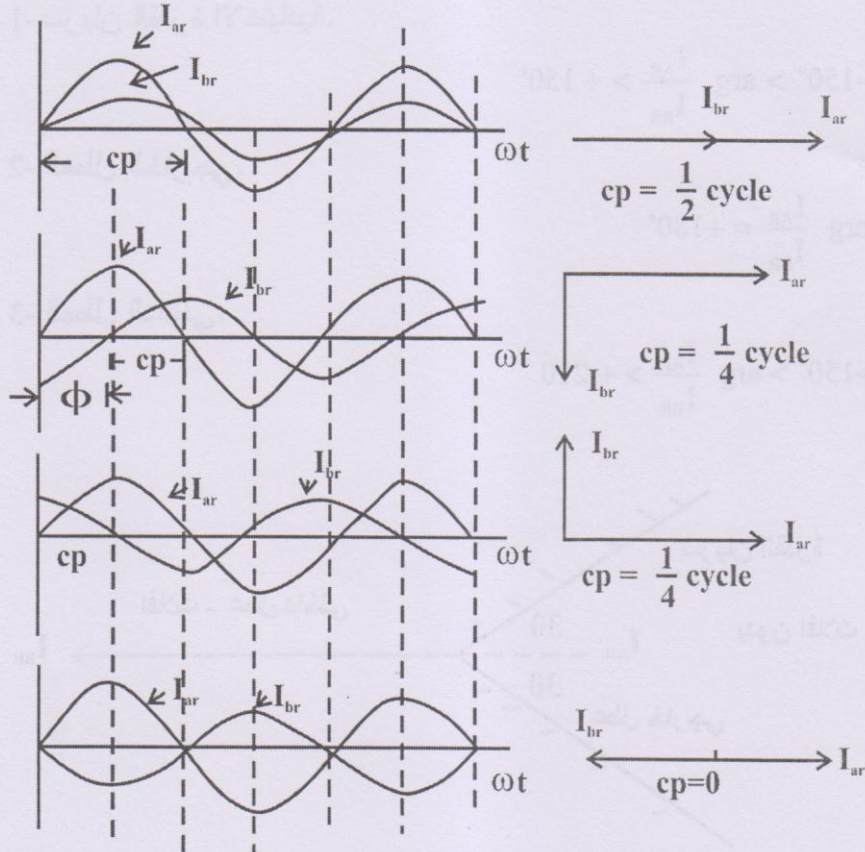


شكل (11-7): الفرق الطوري بين دخل / خرج تيار الخط للحالات المختلفة

إن منطقة الإفلات يوضحها الشكل (11-7)، كما أن الإفلات القياسي يكون كالآتي:

$$+150^\circ > \arg \frac{I_{AR}}{I_{BR}} > -150^\circ \text{ or } +210^\circ$$

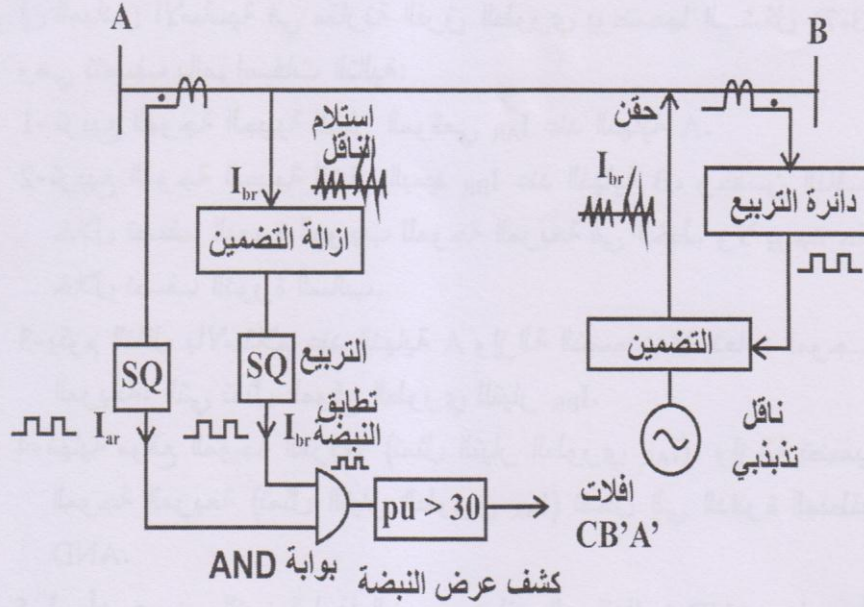
إن السؤال المهم هو كيف تتم المقارنة بين الفرق الطوري والتيار الموقعي (مثلاً عند النهاية A) والتيار البعيد عند النهاية B بوجود الناقل ومن ثم يتم أخذ القرار بوجود الإفلات أو عدم وجوده طبقاً للإفلات القياسي. إن المبادئ الأساسية لفحص الفرق الطوري تستند على أسس التطابق. إن فترة التطابق بين I_{AR} و I_{BR} موضحة في الشكل (12-7)



شكل (12-7): تطابق الفترة عن الحالات المختلفة

إن المبادئ الأساسية في مقارنة الفرق الطوري يوضحها الشكل (7-13) وهي تتصف بالموصفات التالية:

- 1- تربيع الموجة الجيبية للتيار الموقعي I_{AR} عند النهاية A.
- 2- تربيع الموجة الجيبية للتيار البعيد I_{BR} عند النهاية B، وحقن الناقل خلال نصف الدورة الموجب للموجة المربعة في الخط. ولا يوجد حقن خلال نصف الدورة السالب.
- 3- يقوم الناقل بالاستلام عند النهاية A وإزالة التضمين لاستعادة الموجة المربعة، التي تمثل الموقع الطوري للتيار I_{BR} .
- 4- نهاية موقع الموجة المربعة (تمثل التيار الطوري I_{AR})، وإزالة التضمين الموجة المربعة (تمثل التيار الطوري I_{BR}) تدخل إلى الدائرة المنطقية AND.
- 5- لو أن عرض النبضة لهذا الخرج يضاف إلى الدائرة AND يساوي أو أكثر من $\frac{1}{12}$ دورة (تطابق 30° أو 1.65 msec عند التردد 50 Hz أو 1.4 msec عند التردد 60 Hz) فإن إشارة الإفلات تصدر لإفلات قاطع الدورة عند A.



شكل (7-13): معدة مقارنة الطور الكتلي

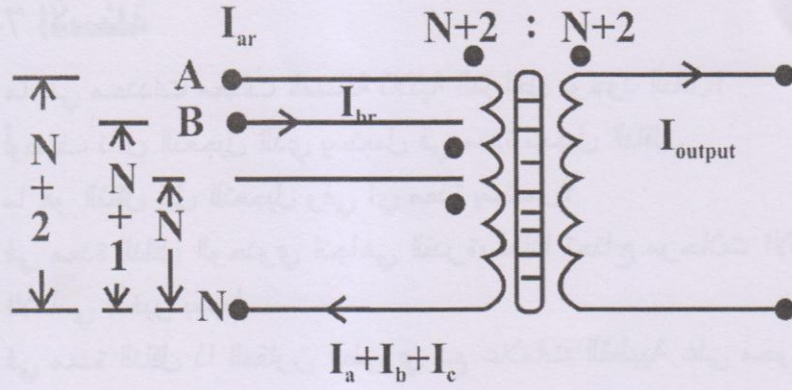
6- حيث أن هذه المعدة تستخدم ناقل واحد فقط، وليس من الجائز إرسال ثلاثة نواقل على التوالي لتيارات الخط الثلاثة الطورية. ولكي تعمل المعدة بقناعة لجميع الأعطال العشرة، فإن كمية الإشارة الجيبية، التي هي دالة لجميع تيارات الخط، تشتق بمساعدة محولة التجميع الموضحة في الشكل (7-14).

7- العلاقة العامة لخرج التيار، الذي يمثل كمية إشارة الطور متمثلاً في تيارات الطور الثلاثة هي:

$$I_{\text{Output}} = (N+2)I_A + (N+1)I_B + NI_C$$

ويكتب في صيغة المركبات المتماثلة كما يلي:

$$I_{\text{Output}} = I_1(2+a^2) + I_2(2+a) + I_0[3(N+1)]$$



شكل (7-14): تجميع محولة التيار

إن اختيار N كخاصية جدلية تعتمد على نقاط الحاجب (Blind Spots) (تيار الخرج يجب أن لا يساوي صفر) لجميع الأعطال العشرة الممكنة التي تحدث في المنظومة. إن النوع الآخر من الخرج يكتب في بعض الأحيان كما يلي:

$$I_{\text{Output}} = 5 I_2 - I_1$$

7-7 الأسئلة

- 1- ما هي محددات معدات المسافة ثلاثية المراحل بوجود الناقل؟
- 2- أوصف ناقل التعجيل الذي يستعمل في معدة تعجيل الناقل.
- 3- ما هو الناقل قبل التعجيل وفي أي معدة يستعمل؟
- 4- في معدة الناقل الوجدوي اتجاهي القدرة، لماذا تحتاج مرحلات الاتجاه الأمامي تأخير بسيط.
- 5- في معدة الناقل ذا المقارن الطوري مع علامات القطبية على محولات التيار برهن أن:
أ- عند العطل الداخلي فان تيارات الثانوي لمحولة التيار تكون بنفس الطور In phase.
- ب- عند العطل الخارجي تكون عكس الطور Out of Phase.
- 6- ما هو تأثير فشل الناقل على ما يلي:
أ - جميع معدات المسافة للناقل ثلاثي الطور؟
ب - معدات اثنين من الناقل الوجدوي؟

الفصل الثامن

حماية المولدات

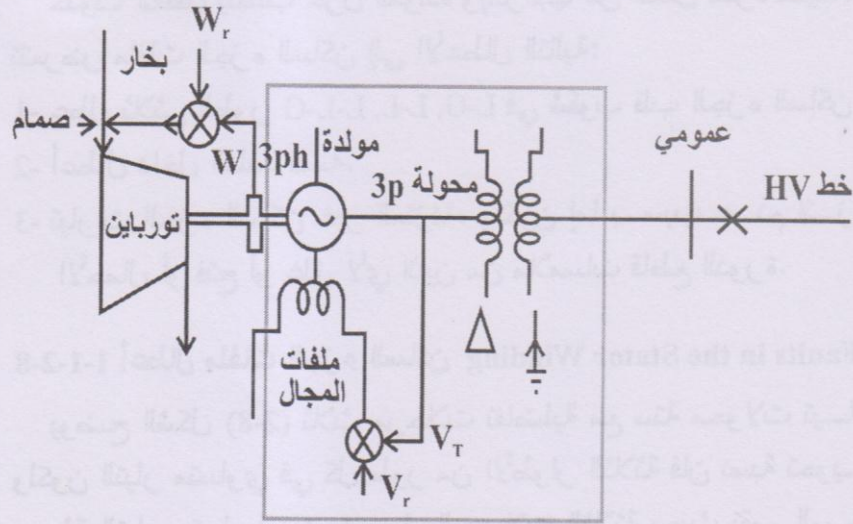
الفصل الثامن

حماية المولدات

Generators Protection

1-8 المقدمة

تمتلك المولدات الحديثة ذات السرعة العالية منظومتي سيطرة، تقوم الأولى بالسيطرة على سرعة المولدة، حيث تتم مقارنة السرعة مع سرعة مرجعية معينة وعلى ضوء الفرق بين سرعتين، يتم زيادة أو نقصان مقدار قوة الدفع للتوربين، أما السيطرة الثانية فهي على مقدار الفولتية المتولدة، حيث يتم مقارنة هذه الفولتية مع فولتية مرجعية وعلى ضوء الفرق بين القيمتين، يتم تغيير تيار المجال للحصول على الفولتية المطلوبة. وهذا ما يوضحه الشكل (1-8).



شكل (1-8): أنظمة السيطرة في المولدات الحديثة

- تتعرض المولدات لأعطال مختلفة يجب الكشف عنها وعزلها قبل أن تؤدي إلى توقف المولدة عن العمل ومن الأعطال الشائعة في المولدة هي:
- 1- أعطال الجزء الساكن (في ملفات الجزء الساكن ثلاثي الطور).
 - 2- أعطال الجزء الدوار (في ملفات المجال).
 - 3- أعطال بادئ الحركة Prime Mover.

2-8 أنواع الأعطال والكشف عنها

Types of Faults and Their Detection

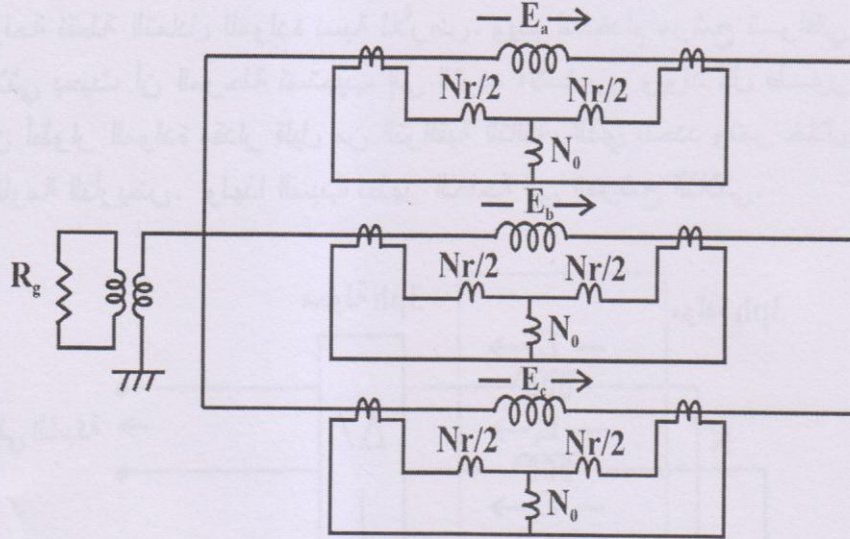
1-2-8 أعطال الجزء الساكن Stator Faults

- من المعلوم بأن الجزء الساكن يمتلك ثلاثة ملفات مربوطة بشكل Y، ونقطة تعادل مؤرضة بمقاومة عبر محولة توزيع. إن وظيفة هذه المقاومة هو تحديد تيار العطل إلى قيمة مقاربة لتيار الحمل التام. وهذه العملية تجنب أضرار إضافية في ملفات الجزء الساكن، حيث أن حدوث العطل يتطلب عزل المولدة وإخراجها من العمل لفترة معينة.
- تتعرض ملفات الجزء الساكن إلى الأعطال التالية:
- 1- عطل ثلاثي الطور L-G, L-L, L-L-G في شقوب قلب الجزء الساكن.
 - 2- أعطال داخل الملف نفسه.
 - 3- تيارات الجزء الساكن غير المتزنة، وتكون إما بسبب عدم اتزان الأحمال أو فتح أو غلق لأي اثنين من ملامسات قاطع الدورة.

1-1-2-8 أعطال ملفات الجزء الساكن Faults in the Stator Winding

يوضح الشكل (2-8) ثلاث مراحل تفاضلية مع ستة محولات تيار. ولكون التيار متساوي في كل طور من الأطوار الثلاثة فإن نسبة تحويل محولة التيار متساوية. يتم توصيل المرحلات الثلاثة بحيث تقوم المرحلة عند حدوث العطل بفصل تيار إثارة المولدة وكذلك فتح قاطع الدورة

الخارجي لعزل الحمل عن المولدة، كما تقوم بعزل بادئ الحركة وأخيراً إطفاء المرجل (Boiler).

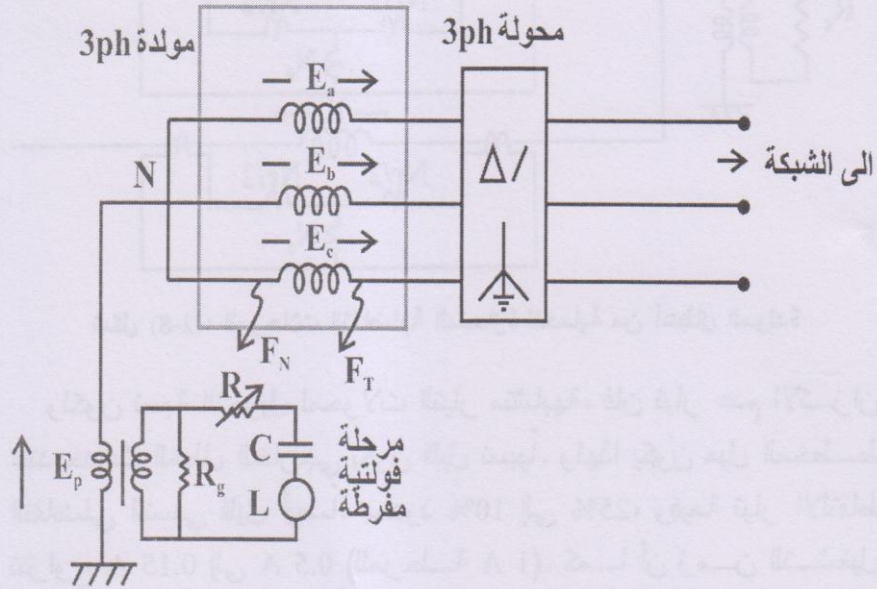


شكل (2-8): المرحلات التفاضلية المنحازة للحماية من أعطال المولدة

ولكون نسبة التحويل لمحاولات التيار متشابهة، فإن تيار عدم الاتزان عند حدوث العطل الخارجي يكون قليل نسبياً. ولهذا يكون ميل المخطط التفاضلي النسبي قليل أيضاً، بحدود 10% إلى 25%، وقيمة تيار الالتقاط تتراوح 0.15 A إلى 0.5 A (للمرحلة 1 A). كما أن زمن التشغيل للمرحلات الكهرومغناطيسية (80 msec إلى 180 msec)، وللمرحلات الساكنة (25 msec إلى 35 msec).

هذا بالإضافة إلى أنه من الشكل (3-8) نلاحظ بأنه عند حدوث عطل أرضي قريب من نقطة التعادل، فإن تيار هذا العطل يكون قليل بحيث لا يمكن للمرحلة التفاضلية التحسس به ولذلك يتطلب إضافة مرحلة عطل أرضي.

يبين الشكل (3-8) مولدة تغذي محولة رافعة (Δ -Y) ويسمى مثل هذا الربط التقليدي بربط من نوع الوحدة Unit Type، حيث تربط مرحلة الفولتية المفرطة لغرض الكشف عن العطل الأرضي، التي تستجيب إلى إزاحة نقطة التعادل للمولدة نسبة للأرض. ويتم استخدام مرشح توافق ثلاثي بحيث أن المرحلة تستجيب إلى التردد الأساسي، ويولد كل طور من أطوار المولدة مقدار قليل من التوافقية الثالثة، الذي تتحدد وتمر خلال مقاومة التأريض. ولهذا السبب تظهر الحاجة إلى المرشح الثلاثي.



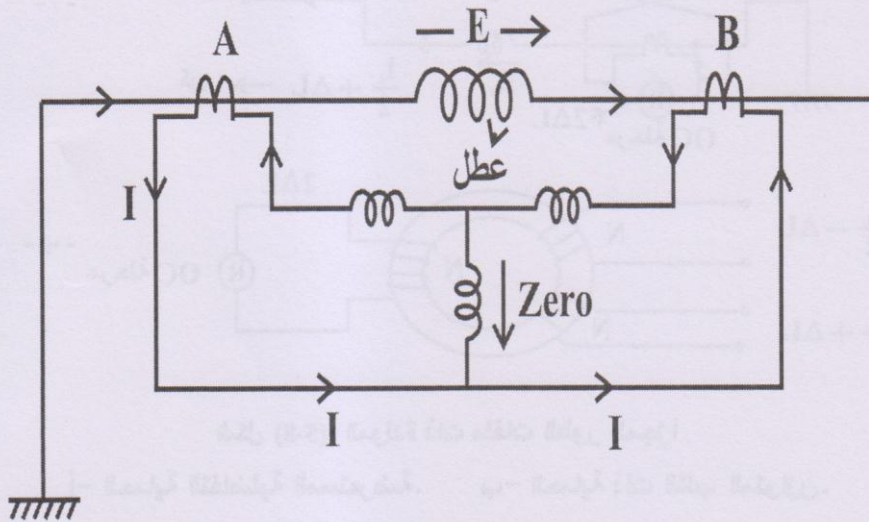
شكل (3-8): حماية الجزء الساكن من الأعطال الأرضية

إن مرحل العطل الأرضي يتحمل فولتية متواصلة بمقدار 67 V (عند حدوث عطل أرضي قريب من أطراف المولدة) وأن قيمة الالتقاط هي بحدود 5.4 V (8% من 67 V). وأن زمن التشغيل يتغير من 25 msec إلى حوالي 4.0 sec. وأن المرشح المتكون من ملف المرحلة والمتسعة الخارجية يلغي تيارات التوافقية الثالثة.

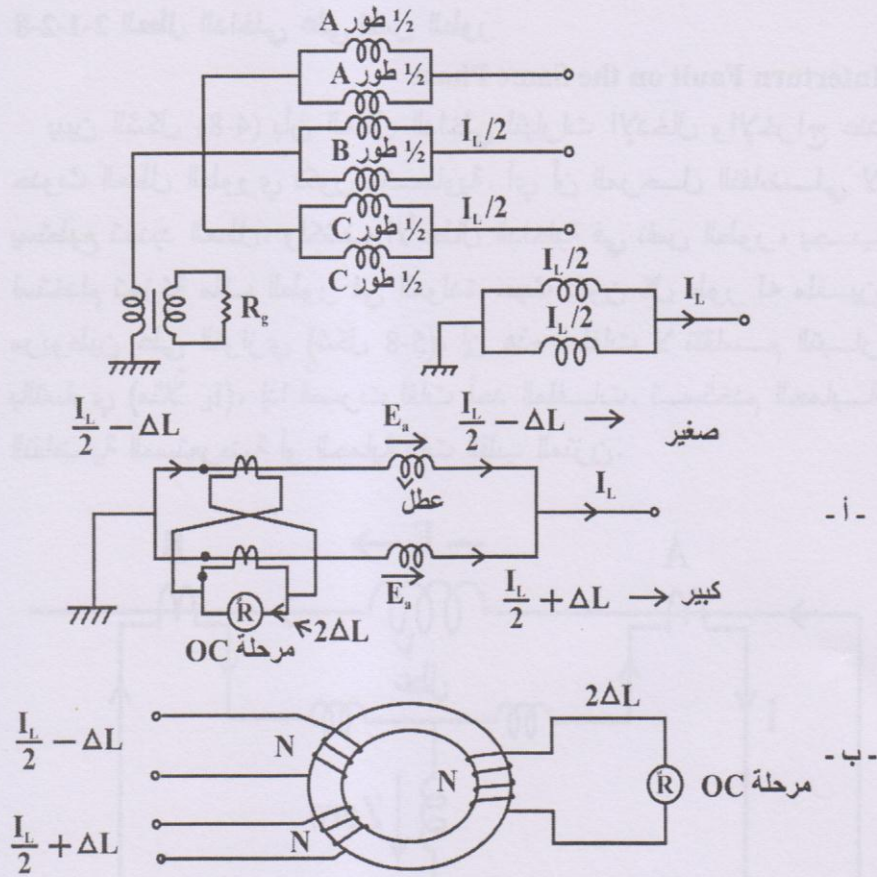
2-1-2-8 العطل الداخلي على نفس الطور

Interturn Fault on the Same Phase

يبين الشكل (4-8) بأن العطل الداخلي لتيارات الإدخال والإخراج عند حدوث العطل الطوري تكون متساوية. أي أن المرحل التفاضلي لا يستطيع تحديد العطل، ولكشف الأعطال الداخلية في نفس الطور، يجب استخدام تجزئة ملف الطور في المولدة. حيث يكون كل طور له ملفين مربوطين على التوازي (شكل 5-8). إن هذه الملفات لا تتقاسم التيار بالتساوي (مثلاً I_L)، إذا قصرت لفات أحد الملفات. تستخدم الحماية التفاضلية المستعرضة أو الحماية ذات القلب المتزن.



شكل (4-8): فشل المرحلة التفاضلية عند حدوث العطل الطوري



شكل (5-8): المولدة ذات ملفات الطور المجزأ

أ- الحماية التفاضلية المستعرضة. ب- الحماية ذات القلب المتوازن.

إن المبدأ الأساسي لعمل هذا النوع من المرحلات (عادة تكون من نوع مرحلة التيار المفرط اللحظي) هو حصول الفرق في الملفين المجزئين. إن العمل الصحيح التي تقوم به هذه المرحلات هو فصل قاطع المجال ثم قاطع الدورة الخارجي.

3-1-2-8 تيارات الجزء الساكن غير المتزنة

Unbalanced Starter Current

إن من أسباب عدم اتزان تيارات الجزء الساكن هو كون الحمل غير متزن، أو أن قاطع الدورة لا يغلق أو يفتح أحد الأقطاب. كما أن تيارات الجزء الساكن غير المتزنة تحتوي على مقدار كبير من مركبات التتابع السالب، التي تولد مجال يدور في الاتجاه المعاكس للمجال الأصلي، وأن ملفات المجال وملفات الإخماد يكون فيها تيارات دوامية بتردد مساوي لضعف تردد المصدر (120 Hz أو 100 Hz)، وهذه التيارات تعمل على رفع درجة حرارة الجزء الدوار إلى قيم عالية. يتحمل الجزء الدوار سعة حرارية معينة لبعض الوقت وعليه لا ينفصل المولد مباشرة. ويمكن حساب زمن قابلية المولد لتحمل تيار التتابع السالب بوحدة الثانية وكما يلي:

$$T = K / I_2^2$$

حيث أن:

K: قيمة ثابتة تساوي 5 للمولدات الكبيرة جداً وتساوي 90 للمولدات ذات السعات القليلة.

وكمثال، مولدة ثلاثية الطور قدرتها 1000 MVA، بفولتية 13.2 KV ثلاثية الطور، وأن $K = 10 \text{ sec}$. إذا:
1- تيار الحمل الكلي.

$$I_{FL} = \frac{1000 \text{ MVA}}{\sqrt{3} \times 13.2 \text{ KV}} = 43734 \text{ A}$$

2- لنفرض أن نسبة تحويل محولة التيار 50000/5.0 A.

3- تيار الالتقاط I_{PU} لمرحلة التتابع السالب من 0.1 A إلى 1.0 A.

4- افترض بأن أقل قيمة لقيمة تيار التتابع السالب المتوقع هو 15% من تيار الحمل الكلي لذلك فإن زمن قابلية تحمل المولدة بحسب ما يلي:

$$I_{2 \text{ Line Side}} = I_{\text{Full Load}} \times 0.15 = 50000 \times 0.15 = 7500 \text{ A}$$

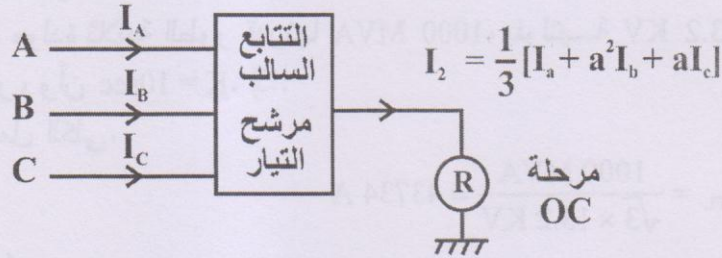
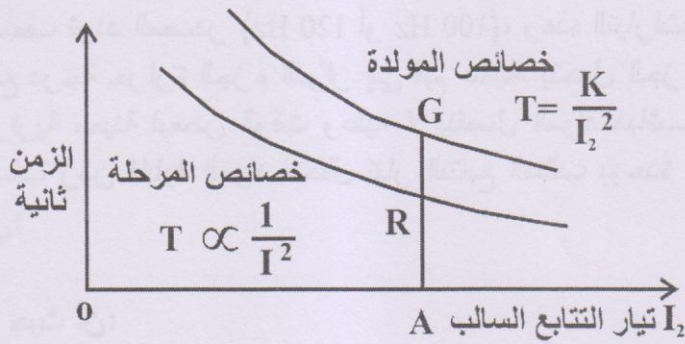
$$I_{2 \text{ Relay Side}} = \frac{7500 \times 5}{50000} = 0.75 \text{ A}$$

وعليه فان تيار الالتقاط يساوي 0.75 A.

وأن زمن التحمل لتيار موجب مقداره 3.25A هو:

$$T = \frac{K}{I_2^2} = \frac{10}{(0.75)^2} = 18 \text{ sec.}$$

يوضح الشكل (6-8) قابلية المولدات لتحمل تيار التتابع السالب مع خصائص المرحلة المختلفة.



شكل (6-8): خصائص مرحلة التتابع السالب

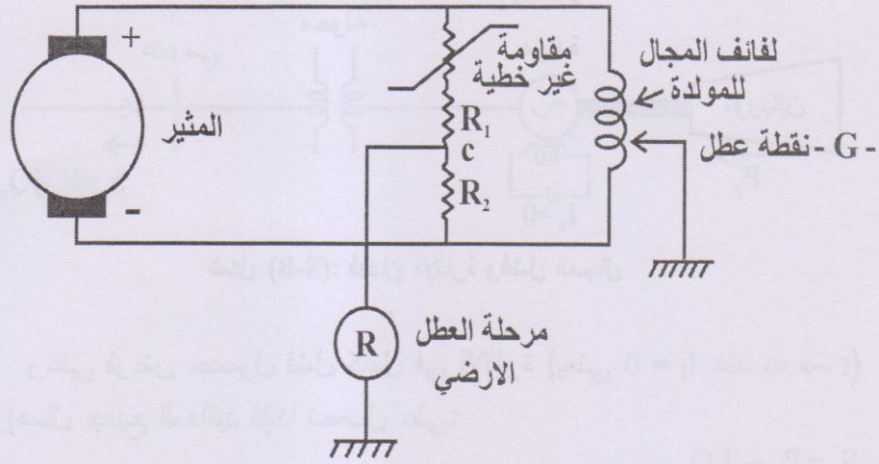
2-2-8 أعطال الجزء الدوار Rotor Faults

إن دوار المولدات الحديثة يكون من النوع الأسطواناني ذو ملف مجال، وأن هذا المجال يتعرض إلى الأعطال التالية:

- أ- دائرة قصر بين ملف المجال وقلب الدوار مؤدياً إلى عطل أرضي.
- ب- فقدان إثارة المجال جاعلاً الماكينة تدور كمولد حثي.

1-2-2-8 الأعطال الأرضية Ground Faults

إذا كان ملف المجال غير مؤرض، فإنه لا يوجد تأثير للعطل الأرضي. حيث يبقى تيار الحث كما هو قبل العطل، ولا يتأثر عمل المولدة. فإذا ما حدث عطل أرضي متعاقب على ملفات المجال فإن ملفات المجال سوف تتجزأ إلى عدد معين من الأجزاء وهذا يولد عدم تماثل في القوة الدافعة المغناطيسية (MMF) على الجزء الدوار، ومؤدياً إلى حصول اهتزازات وأضرار كبيرة على الجزء الدوار، ولهذا تظهر الحاجة إلى مرحلة عطل أرضية لفصل المولدة وكما يوضحه الشكل (7-8).



شكل (7-8): الحماية من العطل الأرضي للجزء الدوار

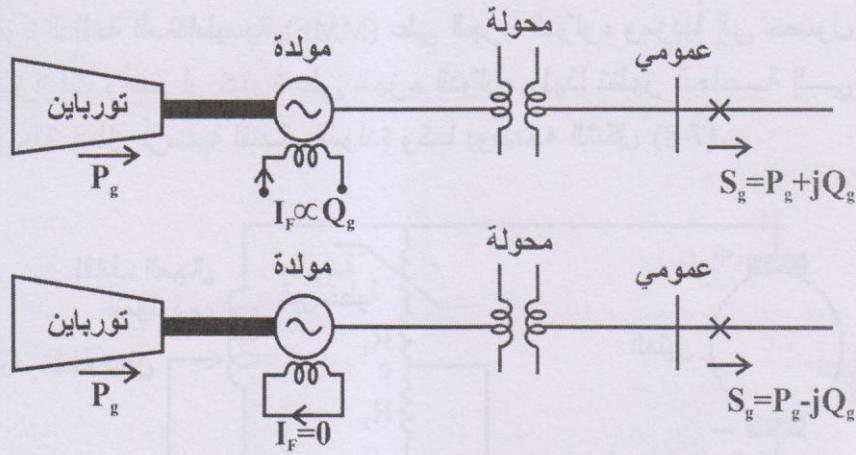
من الأفضل تأريض ملفات المجال عند نقاط معينة، بحيث يمكن كشف العطل الأرضي الأول واتخاذ التدابير الصحيحة قبل حدوث عطل أرضي ثانٍ. يبين الشكل (7-8) مخططات الحماية، حيث تم ربط مقاومة غير خطية على التوازي مع R_1 و R_2 ، والمجموعة على التوازي مع ملفات المجال. ويكون الربط بين R_1 و R_2 مؤرض خلال مرحلة من نوع الملف المتحرك ثنائي القطب منظم لغاية $\pm 0.15 \text{ mA}$.

2-2-2-8 فقدان الإثارة أو فشل المجال

Filed Failure or Loss of Excitation

يوضح الشكل (8-8) مولدة تجهز قدرة مركبة هي S_g تقاس بوحدة MVA.

$$S_g = P_g + j Q_g$$



شكل (8-8): فقدان الإثارة وفشل المجال

وعلى فرض حصول فشل كامل في الإثارة (يعني $I_F = 0$ عند $t \rightarrow \infty$) وإهمال جميع المفاقيد فإننا نحصل على:

$$S_g = P_g - j Q_g$$

نلاحظ انعكاس القدرة المتفاعلة. من الواضح فإن المولدة لها بادئ حركة يعتبر كدخل ميكانيكي بينما إثارة المجال تكون مفقودة. وبالنتيجة يحصل ما يأتي:

- 1- تدور المولدة كمولدة حثية وبسرعة أعلى من السرعة التزامنية.
- 2- كانت المولدة تجهز القدرة المتفاعلة Q_g إلى الشبكة. ولكن هذه القدرة المتفاعلة الآن تمتص من قبل المولدة لإنتاج الفيض المتبادل وبالنتيجة سوف يؤدي إلى تجهيز المولدة $-jQ_g$.

إن القيم R و X تعتبر كدالة للقدرة الفاعلة والمتفاعلة وهي تساوي:

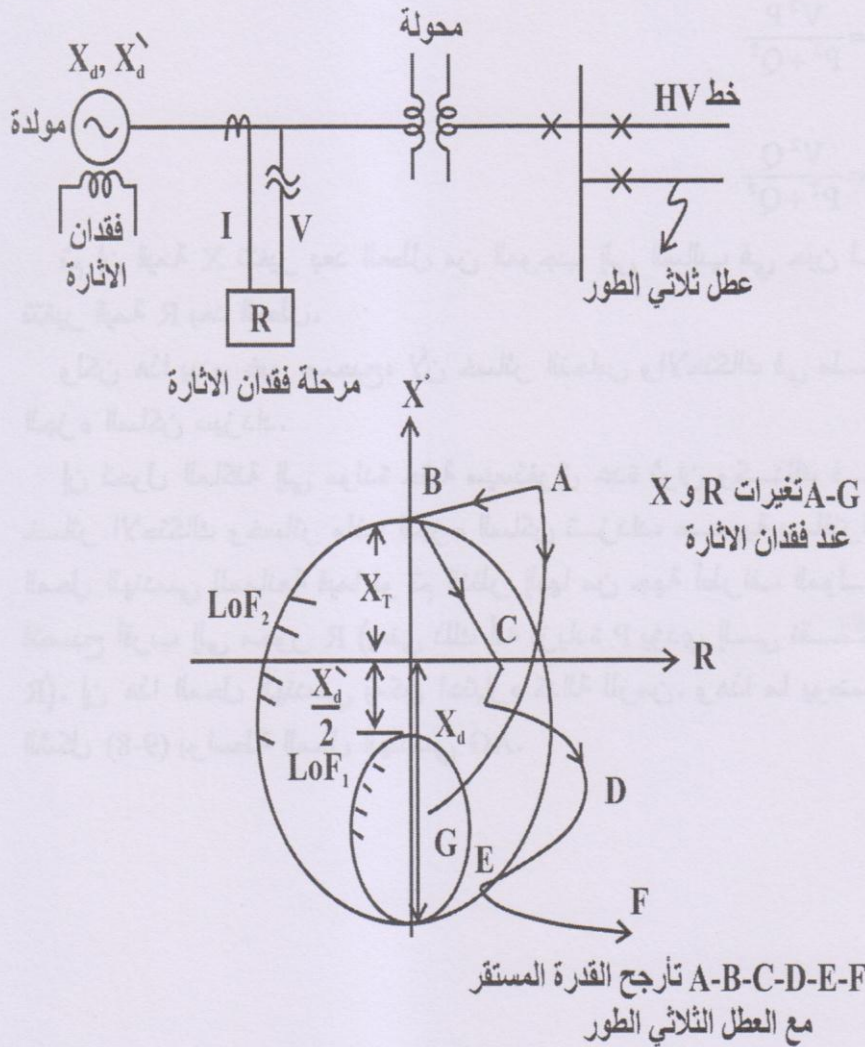
$$R = \frac{V^2 P}{P^2 + Q^2}$$

$$X = \frac{V^2 Q}{P^2 + Q^2}$$

ثم إن قيمة X تتغير بعد العطل من الموجب إلى السالب في حين لم تتغير قيمة R بعد العطل.

ولكن هذا يبدو غير صحيح، لأن خسائر النحاس والاحتكاك في ملف الجزء الساكن سيزداد.

إن تحول الماكينة إلى مولدة حثية سيستغرق عدة ثوانٍ وكذلك فإن خسائر الاحتكاك وخسائر ملف الجزء الساكن تزداد، مسببةً باقتراب المحل الهندسي للممانعة فيما لو تم النظر إليها من جهة أطراف المولدة فتصبح أقرب إلى محور R (يعني ذلك أنه بزيادة P يؤدي إلى نقصان R). إن هذا المحل الهندسي يمكن اعتباره كدالة للزمن. وهذا ما يوضحه الشكل (8-9) بواسطة المحل الهندسي AG.



شكل (9-8): مرحلة فقدان الإثارة

إن مرحلة فقدان الإثارة (LOE)، يجب أن لا تعمل عند حدوث تأرجح القدرة المستقر بعد زوال العطل الثلاثي الطور من جهة الفولتية العالية للمحولة الرافعة. حيث أن العطل يقع مباشرة بعد المحولة ومن ثم يزال. وهذا ما يبينه الشكل (9-8)، والذي يوضح المحل الهندسي A-B-C-D-E-F.

وعليه فإن عمل مرحلة فقدان الإثارة هو فقط عند فقدان الإثارة. حيث يجب أن يكون لهذه المرحلة صفة تمييزية بحيث لا تعمل عند حدوث تأرجح قدرة مستقر. إن الشكل (8-9) يبين مرحلة فقدان الإثارة والتي تمتلك ميزات ثنائية. الأولى هي دائرة ذات قطر $X_0 - X'_0 / 2$ والمسافة $X_0 / 2$ هي من نقطة الأصل للمخطط R-X والذي يعمل بصورة آتية بالزيادة والنقصان. والخاصية الثانية تكون أيضاً دائرة بقطر $X_0 - X_T$ ، لكنها تعمل بتأخير زمني معين من (1.0 إلى 3.0) ثانية. إن هذا النوع من الخصائص الثنائية له تطبيقات واسعة.

3-2-8 حماية الحمل المفرط والتسخين المفرط

Overload and Overheating Protection

تتعرض المولدة للأحمال المفرطة وكذلك للتسخين المفرط، لذلك يجب استخدام مرحلة الحمل المفرط. لإعطاء إشارة تحذير بوجود حمل مفرط، والعمل على تخفيضه.

كما تحتوي المولدات على متحسسات مقاومة، موضوعة في قنطرة (قنطرة ونستون)، فعندما تتجاوز درجة الحرارة (120°) تصبح القنطرة غير مترنة، وبذلك تعمل المرحلة على إصدار إشارة الإفلات.

4-2-8 الحماية من السرعة المفرطة Over speed Protection

عندما ينخفض الحمل المرتبط بالمولدة، فإن السرعة سوف تزداد. وهذه السرعة الديناميكية تعتمد على دخل بادئ الحركة، وثابت القصور الذاتي للماكنة وفاعلية متحكم السرعة. على أية حال تظهر الحاجة إلى جهاز السرعة المفرطة من أجل السيطرة على السرعة وإعطاء إشارة التحذير في الحالات التالية:

- 1- مرحلة التردد المفرط، حيث أن التردد يتناسب طردياً مع السرعة.
- 2- مولدة ذات مغناطيس دائم (Tachogenerator) محمولة على محور الدوران، حيث أن الفولتية المتولدة هنا تتناسب طردياً مع السرعة.

5-2-8 فقدان دخل بادئ الحركة (محرك المولدة)

Loss of Prime-mover Input (Motoring of Turbo Alternator)

عند فقدان دخل بادئ الحركة للمولدة ذات الإثارة الصحيحة فإنها تدور كمحرك تزامني (دخل بادئ الحركة هو القدرة الفاعلة مطروحاً منها الخسائر والتي جهزت إلى الشبكة). إن المولدة بدلاً من أن تجهز القدرة الفاعلة ستدور كمحرك يسحب قدرة فاعلة قليلة جداً من أجل التغلب على مفاويز الاحتكاك والهواء للمولدة المتعشقة مع بادئ الحركة.

6-2-8 حالات الخروج عن التزامن Out-of-Step Conditions

تخضع الماكينة التزامنية إلى نوعين من تأرجح القدرة:

- 1- تأرجح القدرة المستقر والتي تعود الماكينة ذاتياً إلى الوضع الطبيعي.
- 2- تأرجح القدرة غير المستقر (حالة الخروج عن التزامن) والتي لا تستطيع الماكينة من العودة إلى الوضع الطبيعي. حيث أنها تحتاج هنا إلى الفصل عن بعض النقاط في الشبكة لكي تتجزأ المنظومات حتى تستطيع تغذية الأحمال الفردية وتجنب خلع الأحمال الكبيرة.

3-8 الأسئلة

- 1- مولدة ثلاثية الطور تتعرض لأعطال تقليدية هي أعطال ثلاثية الطور، L.L.G و L.L و L.G عند أطرافها أو داخل لفائفها. ما هو نوع المرحلات المطبقة لكشف هذه الأعطال؟ وما هي فعالية السيطرة لهذه المرحلات؟
- 2- مرحلة تفاضلية تقليدية (مرحلة تفاضلية طولية)، عند تطبيقها على المولدة لا نحصل على ميل عالي النسبة (نسبة انحياز) وضح لماذا؟
- 3- اعتبر حدوث عطل داخلي بين اللفائف لنفس الطور. واستخدمت مرحلة تفاضلية طولية ولم تعط إشارة إفلات ما هو التغير الذي يمكن إحداثه في اللفائف الطورية وما هي المرحلة التي يمكن استخدامها؟
- 4- ما هو تأثير تيارات الجزء الثابت غير المتزنة على المولدة التزامنية؟ كيف يتم الكشف؟ هل يتم استخدام المرحلة الآتية أم ذات التأخير الزمني.
- 5- كيف يتم الكشف عن العطل الأرضي على أحد أطوار المولدة؟
- 6- لماذا يتم تأريض ملفات المجال؟ وما هو تأثير الأعطال الأرضية عند موقعين على ملفات المجال؟ وكيف يتم ربط المرحلة؟
- 7- وضح ماذا يحدث عند ربط المولدة بالشبكة عند الحالات التالية:
أ - فقدان مجال الإثارة.
ب - فقدان دخل بادئ الحركة.
ما هي المرحلات التي يمكن استخدامها؟

الفصل التاسع

حماية الحولات

الفصل التاسع

حماية المحولات

Transformers Protection

1-9 المقدمة

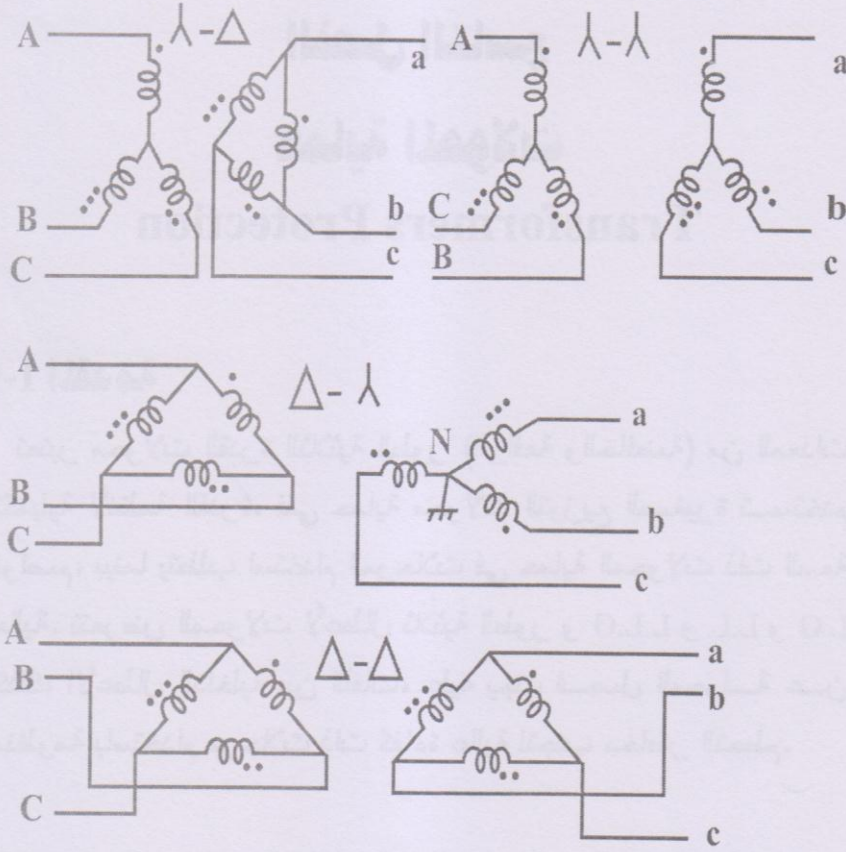
تعتبر محولات القدرة الثلاثية الطور (الرافعة والخافضة) من المعدات التكميلية لأنظمة القدرة، ففي حماية محولات التوزيع الصغيرة تستخدم الفواصم، بينما يتطلب استخدام المرحلات في حماية المحولات ذات السعة العالية. تتعرض المحولات لأعطال ثلاثية الطور و L.L.G و L.L و L.G وكذلك الأعطال الداخلية بين اللفات، عليه يجب فصل المحولة عن المنظومة باستخدام مرحلات ذات كفاءة عالية لتجنب مخاطر التحطم.

2-9 ترابطات المحولة وإزاحة الطور بين تيارات الدخل

والخرج

Transformer Connections and Phase Shift Between Input and Output Currents

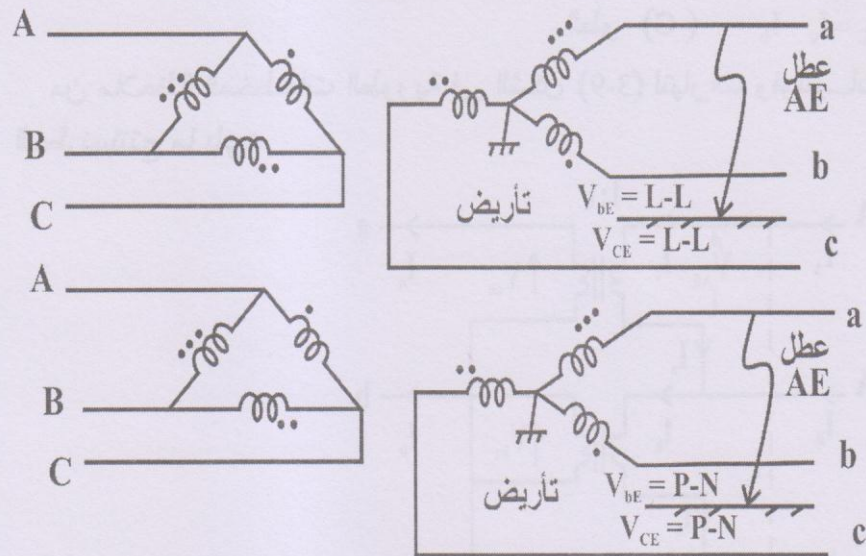
يبين الشكل (1-9) أربعة أنواع من ترابطات المحولة هي $(\Delta-\lambda)$ و $(\lambda-\lambda)$ و $(\lambda-\Delta)$ و $(\Delta-\Delta)$. وأن الربط المستخدم في المحولة الرافعة لفولتية



شكل (1-9): ترابطات المحولة ثلاثية الطور

المولدة لأغراض النقل هو $(\Delta-\lambda)$ ، مع خط التعادل عالي الفولتية H.V (يكون الربط الثانوي فيه λ) ذا التأريض المباشر. إن التأريض المباشر يضمن أقل عزل ممكن على جهة الفولتية العالية وبالتالي تقليل كلفة المحولة، حيث يمكن بسهولة إيجاد تأثير عطل الطور إلى الأرضي (A-E) على فولتيات الطور السليم. عند التأريض المباشر للخط المتعادل، فإن V_{C-E} و V_{B-C} تبقى غير متأثرة كطور إلى الأرضي (شكل 2-9). عند عدم تأريض الخط المتعادل فإن V_{C-E} و V_{B-C} سوف تزداد من فولتية

الطور إلى فولتية الخط - إلى - الخط شكل (2-9). إن الأطوار السليمة تتعرض لجهد عالي من الخط إلى الخط L.L، وعليه يتطلب عزل عالي مما يزيد من كلفة المحولة. إن الوضع العملي الطبيعي هو تأريض الخط المتعادل لجهة الفولتية العالية تأريضاً مباشراً.



شكل (2-9): تأثير تأريض الخط المتعادل

لإيجاد الإزاحة الطورية بين تيارات الدخل والخرج بأسهل طريقة، تربط ثلاثة محولات أحادية الطور (Δ-λ) شكل (3-9). يجب التأكد من علامات القطبية للمحولات الأحادية الطور الفردية عند ربطها (تربط جهة الفولتية الواطئة بشكل Δ). وبفرض أن نسبة التحويل هي 1:1. كما أن نقطة التعادل للربط النجمي تؤرض تأريضاً مباشراً، وتيارات الخطوط لجهة الربط النجمي تكون (I_c, I_b, I_a) للأطوار (c, b, a) على التوالي. في أية محولة فان الأمبير - لفة لجهة الابتدائي والثانوي تكون متوازنة (بإهمال التيار المغناطيسي). وعليه فان تيارات الدخل للمحولات

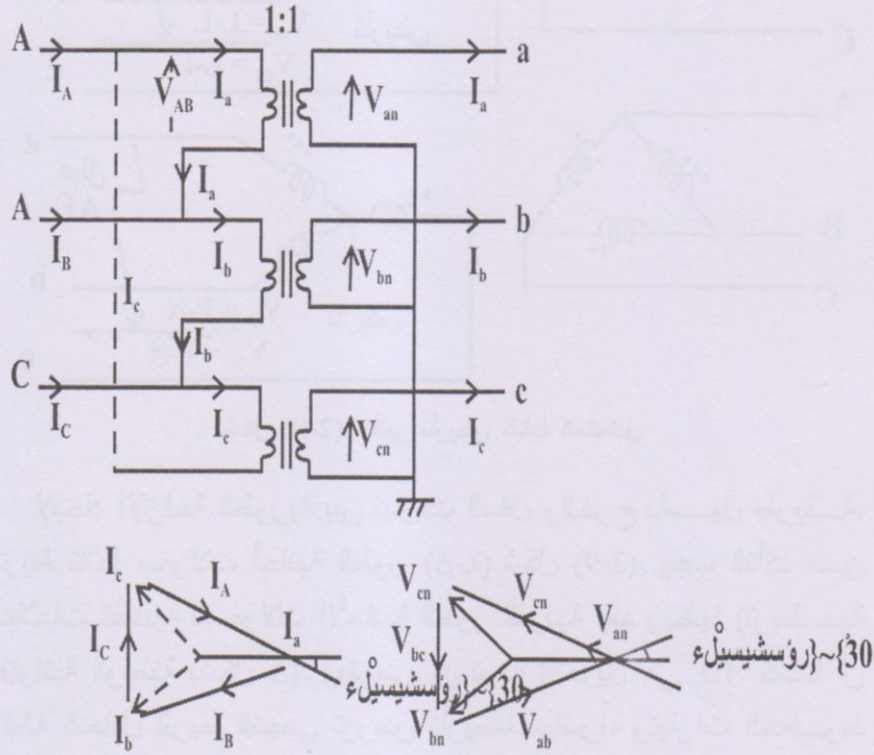
الأحادية الطور الفردية هي مشابهة لتيارات الخرج (I_c, I_b, I_a). وأن تيارات الدخول من جهة الربط Δ هي:

$$I_A = I_a - I_c \quad (\text{الطور A})$$

$$I_B = I_b - I_a \quad (\text{الطور B})$$

$$I_C = I_c - I_b \quad (\text{الطور C})$$

من ملاحظة المخططات الطورية في الشكل (3-9) لتيارات وفولتيات الخط نستنتج ما يلي:



شكل (3-9): ترابطات Δ - λ / إزاحات الطور

1- تيارات الخط الخارجة (جهة λ) تتقدم على تيار الخط الداخلة (جهة Δ) بزاوية 30° .

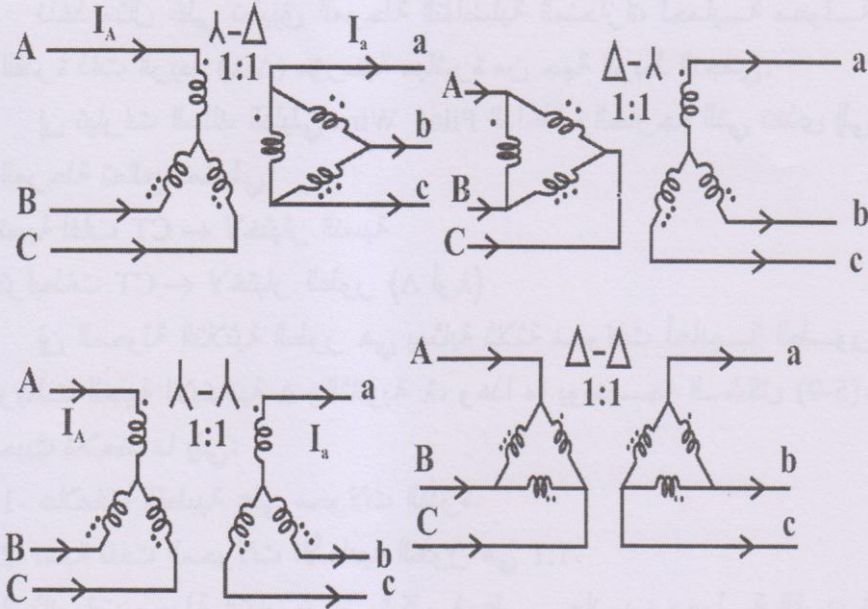
- 2- تيار الخط من جهة Δ تكون $\sqrt{3}$ مرة من تيارات الخط من جهة λ .
 3- فولتية الخط من جهة λ تكون $\sqrt{3}$ مرة من فولتية الخط من جهة Δ .
 4- فولتية الخط من جهة λ تتقدم على فولتية الخط من جهة Δ بزاوية 30° .

وعليه:

$$\left[\sqrt{3} V_L I_L \right]_{\Delta} = \left[\sqrt{3} V_L I_L \right]_{\text{star}}$$

VA on delta side = VA on star side

يوضح الشكل (4-9) خلاصة جميع النتائج لأنواع الترابطات.



شكل (4-9): إزاحات الطور عند الترابطات المختلفة للمحوّلة

3-9 الحماية الفرقية Differential Protection

لا يوجد تشابه بين المولدات ثلاثية الطور، التي لها تيارات دخل وخرج بنفس الطور بالإضافة إلى أنها متساوية والمحولات التي تكون

تياراتها مختلفة. وقد تم ايضاح ذلك في الفقرة (2-9) من الفصل. وعليه فانه من الضروري ضبط هذه التيارات في الطور بالإضافة إلى السعة قبل تغذية المرحلة التفاضلية للتأكد من عدم اشتغال المرحلة عند سريان الحمل الطبيعي فضلاً عن العطل الخارجي. يطلق على ضبط السعة باختبار السعة أو اختبار النسبة. كما يطلق على ضبط الطور باختبار الطور.

9-3-1 ترابطات محولة التيار لموازنة السعة والطور

CT Connections for Amplitude and Phase Balance

نأخذ مثال على تطبيق المرحلة التفاضلية المنحازة، لحماية محولة القدرة ذات الربط (Δ - λ) مؤرضة مباشرة من جهة الربط النجمي. إن تيارات السلك الدليلي Pilot Wire الداخلة والخارجة التي تغذى إلى المرحلة تعالج كما يلي:

نسبة لفات CT ← لاختبار النسبة

ترابطات CT ← لاختبار الطور (Δ أو λ)

إن المحولة الثلاثية الطور هي بمثابة ثلاثة محولات أحادية الطور ربطت الجهة الابتدائية Δ والثانوية λ ، وهذا ما يوضحه الشكل (5-9)، حيث نلاحظ ما يلي:

- 1- علامات القطبية على محولات القدرة.
 - 2- نسبة لفات المحولات الأحادية الطور هي 1:1.
 - 3- ثانويات محولة التيار تربط بشكل λ على جانب محولة القدرة المربوطة بشكل Δ .
 - 4- ثانويات محولة التيار تربط بشكل Δ على جانب محولة القدرة المربوطة بشكل λ .
 - 5- علامات القطبية على محولات التيار.
- كما نلاحظ ما يلي:

1- جهة الثانوي (λ) بفرض أن تيار الخط Ia (طور a)، Ib (طور b) و Ic (طور c).

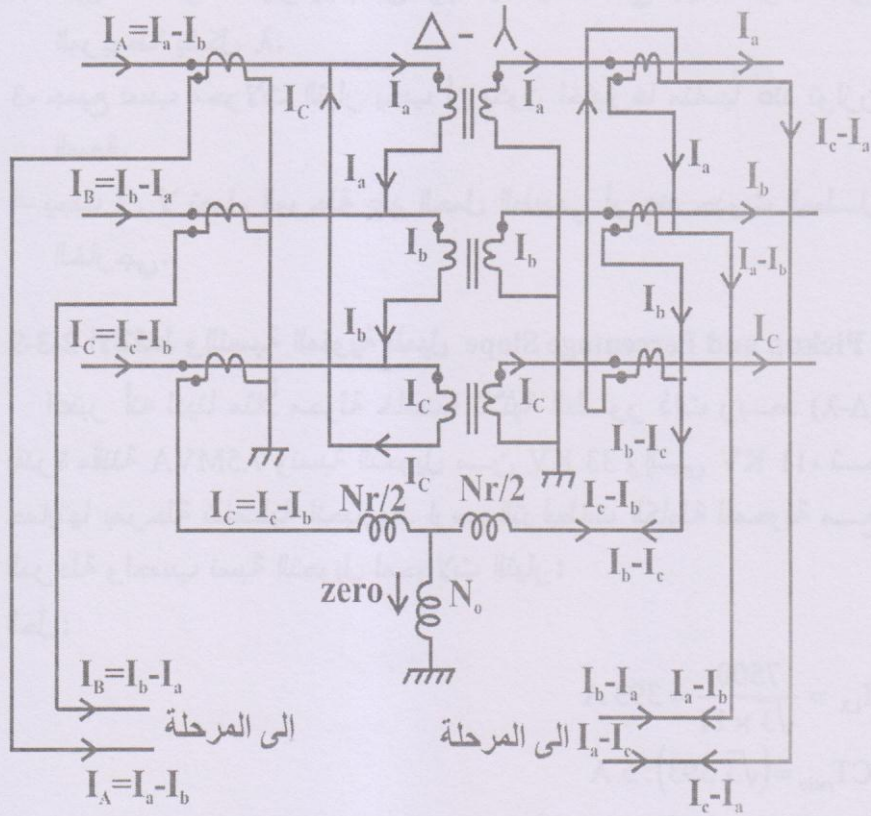
2- حساب تيار الخط الابتدائي (جهة Δ) كما يلي:

$$I_A = I_a - I_c$$

$$I_B = I_b - I_a$$

$$I_C = I_c - I_b$$

3- من المخطط الطوري الموضح بالشكل (3-9) نلاحظ:



شكل (5-9): ترابطات Δ - λ للمحولات

- أ- تيارات الخط عند جهة Δ تكون $\sqrt{3}$ من تيارات الخط عند جهة λ .
- ب- تيارات الخط عند جهة Δ تتأخر عن تيارات الخط عند جهة λ بمقدار 30° .
- ولإزالة السعة وفروقات الطور في تيارات الدخل والخرج التي تغذى إلى المرحلة، يجب أولاً ربط محولات التيار كما يلي:
- 1- ثانويات محولة التيار يجب أن تربط بشكل λ على جهة محولة القدرة المربوطة بشكل Δ .
 - 2- ثانويات محولة التيار يجب أن تربط بشكل Δ على جهة محولة القدرة المربوطة بشكل λ .
 - 3- جميع نسب محولات التيار يجب أن يكون اختيارها مناسباً عند توازن السعة.
 - 4- يجب أن لا تعمل المرحلة عند الحمل الطبيعي أو عند حدوث العطل الخارجي.

2-3-9 الالتقاط والنسبة المئوية للميل Pickup and Percentage Slope

اعتبر أنه لدينا مثلاً محولة خافضة ثلاثية الطور ذات ربط $(\Delta-\lambda)$ بقدرة مقننة 7.5MVA ونسبة التحويل من 33 KV وإلى 11 KV، تم حمايتها بمرحلة تفاضلية انحيازية. ارسم الترابطات الكاملة للمحولة مع المرحلة واحسب نسبة التحويل لمحولات التيار:

الحل:

$$I_{L\lambda} = \frac{7500}{\sqrt{3} \times 11} = 393 \text{ A}$$

$$CT_{ratio} = (\sqrt{3} \times 393) : 5 \text{ A}$$

$$= 750 : 5 \quad (\Delta \text{ ربط})$$

$$I_{L\Delta} = 131 \text{ A}$$

$$CT_{ratio} = 150 : 5 \quad (\lambda \text{ ربط})$$

تيارات السلك الدليلي أو التيارات التي تغذي المرحلة التفاضلية:

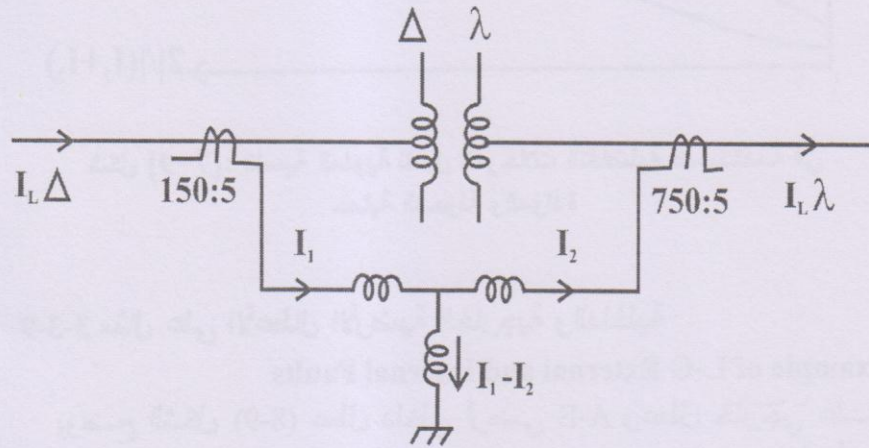
$$I_1 = \frac{131 \times 5}{150} = 4.37 \text{ A} \quad (\text{جهاز } 33 \text{ KV})$$

$$I_2 = \frac{\sqrt{3} \times 393 \times 5}{750} = 4.54 \text{ A} \quad (\text{جهاز } 11 \text{ KV})$$

$$I_1 - I_2 = 0.17 \text{ A} \quad \text{ac} \quad (\text{تيار CT غير المتزن})$$

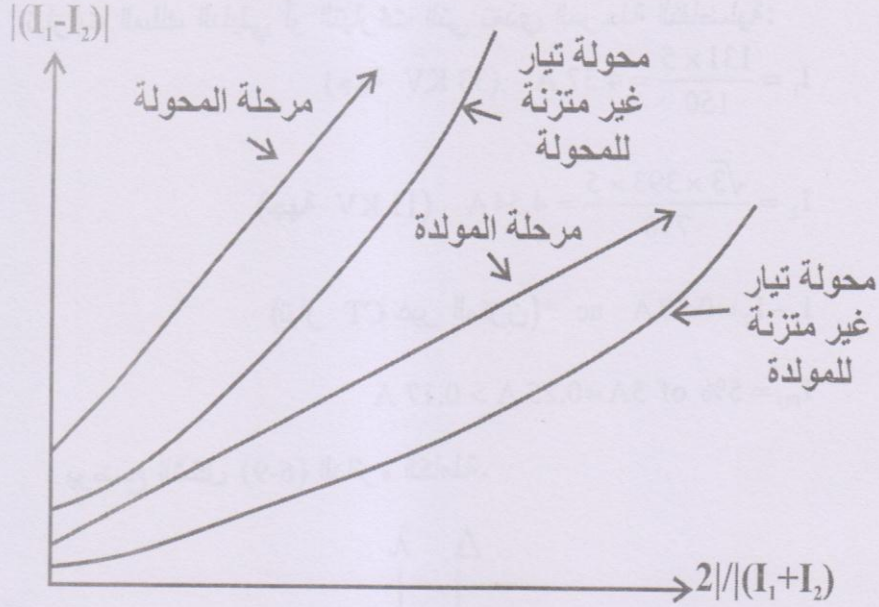
$$I_{PU} = 5\% \text{ of } 5 \text{ A} = 0.25 \text{ A} > 0.17 \text{ A}$$

يوضح الشكل (6-9) الدائرة الكاملة.



شكل (6-9): مثال عددي

كما ذكرنا سابقاً، فإنه لا يوجد تشابه بين المولدات التي لها تيارات دخل وخرج متماثل وكذلك نسبة التحويل ومحولات القدرة التي لها محولات تيار تكون مختلفة في نسبة التحويل وكذلك في مستوى التشبع، وعليه فإن تيار CT غير المتزن يكون أكبر بكثير في محولات القدرة مقارنة مع المولدات، وهذا ما يوضحه الشكل (7-9). حيث أن تيار الالتقاط والنسبة المئوية للميل تكون أيضاً كبيرة في مرحلات محولات القدرة مقارنة بمرحلات المولدات.



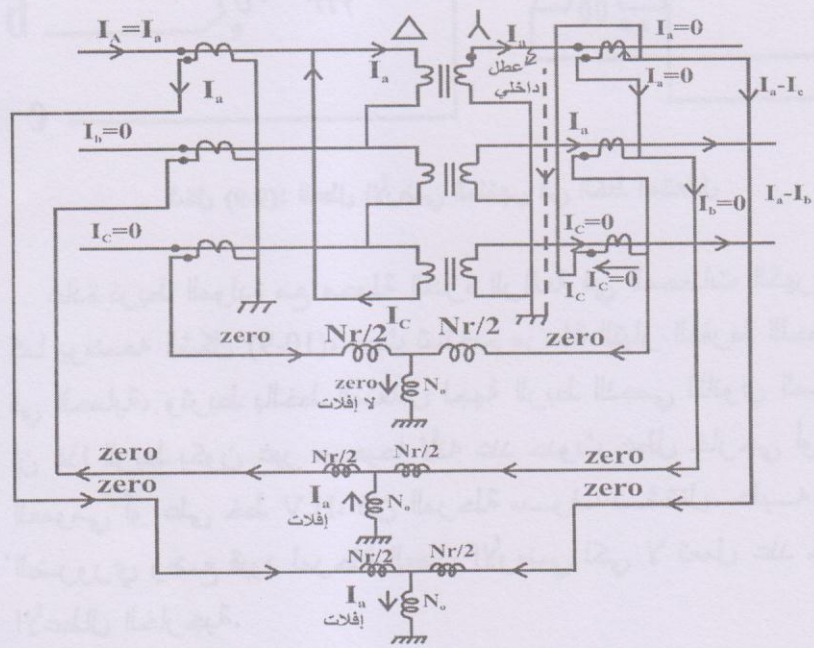
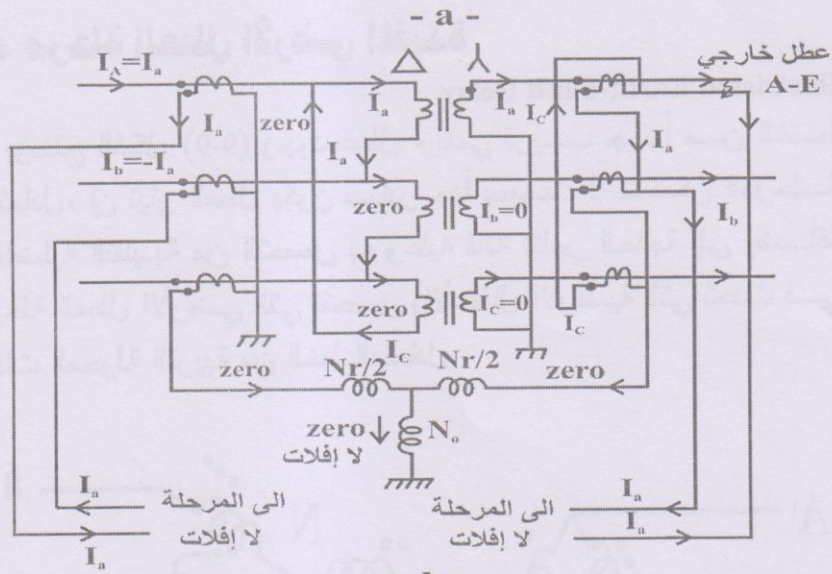
شكل (7-9): النسبة المئوية للميل للمراحل التفاضلية المستخدمة في حماية المحولة والمولدة

3-3-9 مثال على الأعطال الأرضية الخارجية والداخلية

Example of L-G External and Internal Faults

يوضح الشكل (8-9) عطل داخلي أرضي A-E وعطل خارجي على جهة λ لمحولة القدرة الثلاثية الطور ذات الربط $(\Delta-\lambda)$. نلاحظ بأنه العطل الذي يحدث قبل محولة التيار يطلق عليه العطل الداخلي، أما خارجها فيطلق عليه بالعطل الخارجي. ويمكن أن نستنتج ما يلي:

- 1- العطل المفرد (L-G) على جهة λ يظهر كأنه عطل (L-L) على جهة Δ .
- 2- يجب أن لا تعمل المرحلات التفاضلية عند العطل الخارجي.
- 3- عند العطل الداخلي (L-G)، تعمل اثنين من المرحلات.
- 4- من الممكن تشخيص نوع العطل الذي يحدث في المحولة عن طريق المرحلات العاملة.

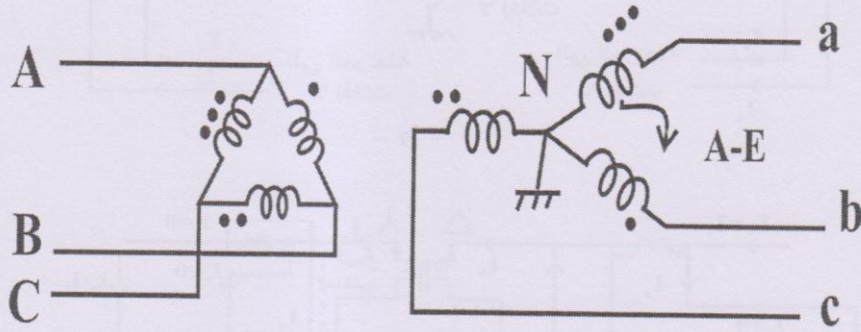


شكل (8-9): العطلات الأرضية الداخلية (a) والخارجية (b)

4-9 مرحلة العطل الأرضي المقيدة

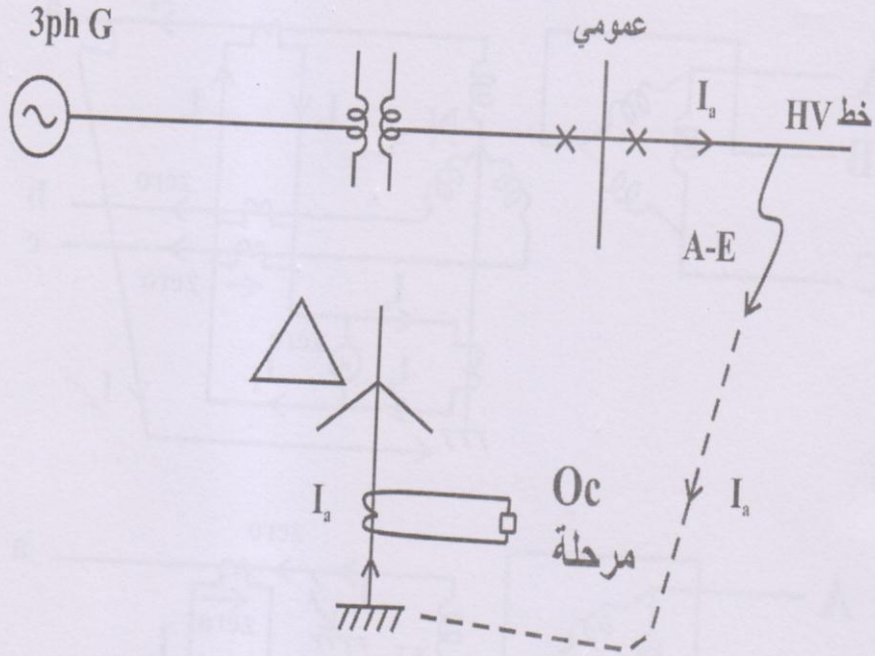
Restricted Earth-Fault Relay

يوضح الشكل (9-9) وجود عطل أرضي قريب جداً من الخط المتعادل، إن تيار العطل يكون صغير جداً بحيث لا تتمكن المرحلة التفاضلية التقليدية من التحسس به وعليه فإنه تظهر الحاجة إلى إضافة مرحلة العطل الأرضي التي تتحسس بالأعطال الأرضية التي تحدث في ملفات المحولة القريبة من الخط المتعادل.



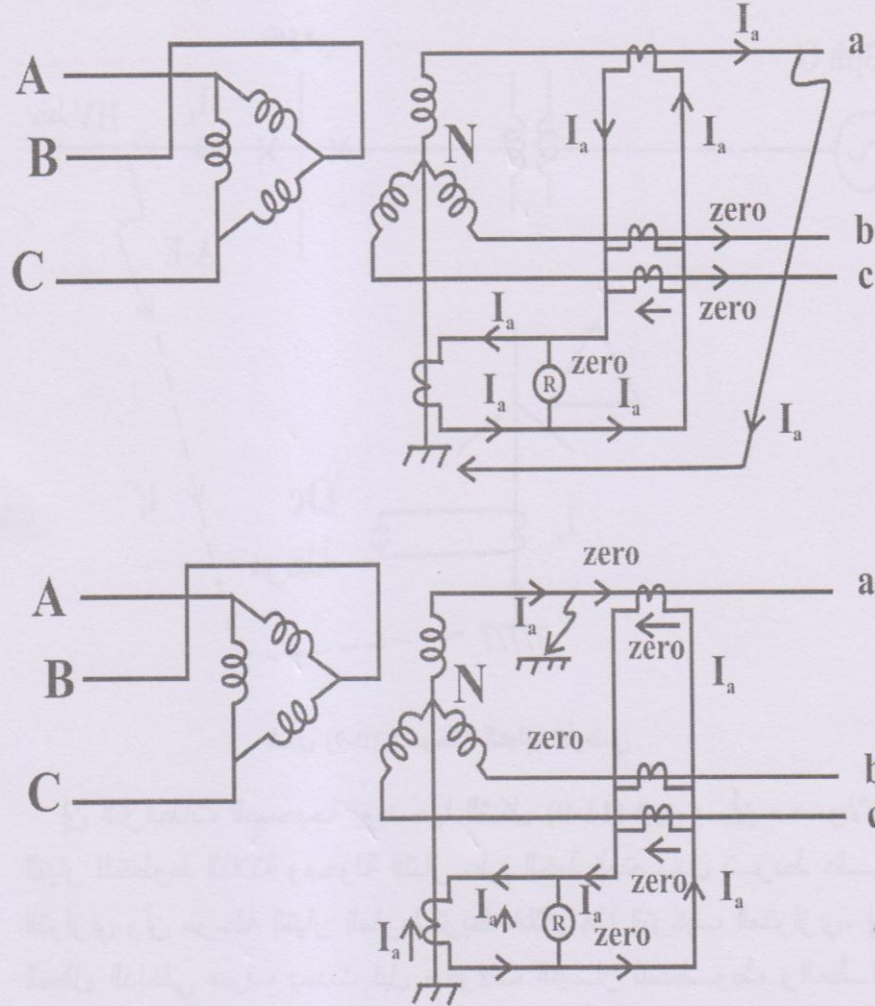
شكل (9-9): العطل الأرضي المنتهي في الخط المتعادل

عادة تربط المولدة مع محولة القدرة الرافعة في المحطات الكهربائية، كما يوضحه الشكل (9-10)، حيث تستخدم مرحلة التيار المفرط اللحظية في الحماية، وتربط بالخط المتعادل لجهة الربط النجمي لثانوي المحولة. إن هذا الربط يكون غير صحيحاً لأنه عند حدوث عطل خارجي أو على العمومي أو على خط H.V، فإن المرحلة سوف تشتغل. عليه من الضروري وضع قيود لمرحلة العطل الأرضي لكي لا تعمل عند حدوث الأعطال الخارجية.



شكل (10-9): مرحلة العطل الأرضي

إن الترابطات الصحيحة يوضحها الشكل (11-9) تبين بأن محولات التيار للخطوط الثلاثة ومحولة التيار على الخط المتعادل تربط على التوازي وأن مرحلة التيار المفترط تربط خلال هذا التركيب المتوازي. إن العطل الداخلي سوف يحدث قبل محولات التيار للخطوط، والعطل الخارجي سوف يحدث خلف محولات التيار للخطوط. إن الشكل (11-9) يوضح عمل المرحلة عند حدوث الأعطال الداخلية والخارجية.



شكل (9-11): مرحلة العطل الأرضي العامل عند حدوث الأعطال الداخلية

5-9 تيار الاندفاع المغناطيسي

Magnetizing Inrush Current

عند تجهيز محولة القدرة من جهة الابتدائي، وكانت جهة الثانوي دائرة مفتوحة، فإن التيار المسحوب من جهة الابتدائي هو التيار المغناطيسي في الحالة المستقرة، وهو حوالي 5% (أو أقل) من تيار الحمل الكلي. هذا

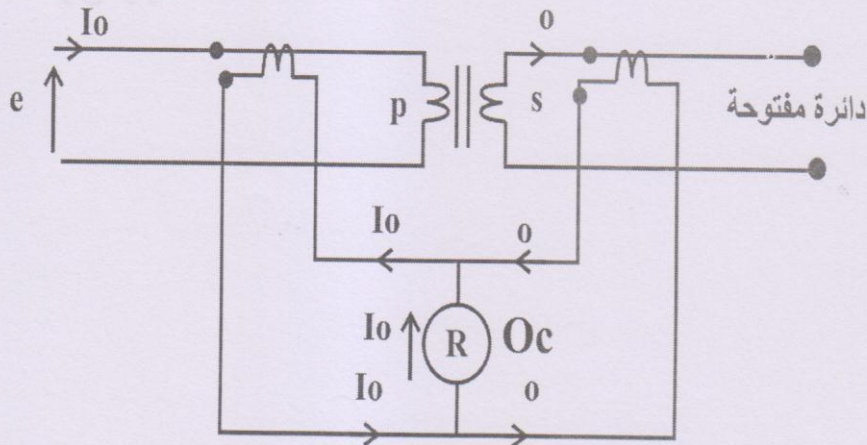
التيار في أول عدة دورات (يطلق عليه تيار الاندفاع) يكون كبير جداً ويمكن أن يتجاوز تيار الحمل الكلي.

1-5-9 تيارات المغنطة عند الحالة العابرة والمستقرة وتأثيرها على

المرحلات الفرقية

Steady-State and Transient Magnetizing Currents and Their Effect Differential Relays

نأخذ بنظر الاعتبار للتبسيط محولة أحادية الطور محمية بواسطة مرحلة تفاضلية كما هو مبين في الشكل (9-12). فعند أخذ الحالة المستقرة فقط، فإن التيار في الدائرة الساحبة أو المرحلة يساوي تقريباً 5% أو أقل من تيار الحمل الكلي للمحولة. بما أنه لا يوجد عطل فإن المرحلة تمنع اختبار قيمة تيار الالتقاط الذي هو أكبر من 5% من تيار الحمل الكلي في أول عدة دورات. بسبب كون تيار الالتقاط هو أكبر من تيار الحمل الكلي، فإن أقل تيار عطل داخلي، يجب أن تعمل عنده المرحلة سيكون كبير وهذا غير ممكن. إن الحل الصحيح هو تأخير عمل المرحلة لاجتياز تيار الاندفاع المغناطيسي العابر واختيار قيمة النقاط صغيرة عند حدوث العطل الداخلي.



شكل (9-12): سوء أداء المرحلة بوجود تيار المغنطة

2-5-9 تأثير الفيض المتبقي ومنحني B-H اللاخطي

Effect of Residual Flux, Instant of Energization and Nonlinear B-H Curve

يوضح الشكل (13-9) محولة أحادية الطور، دائرة الملف الثانوي مفتوحة، جهزت بفولتية جيبية في اللحظة التي تعبر فيها الفولتية قيمة الصفر. والملف الابتدائي يمتلك محاثّة ذاتية (L) ومقاومة (R) فالتيار يساوي:

$$i = I_m(-\cos\omega t + I_m e^{-t/T})$$

مركبة DC مركبة AC

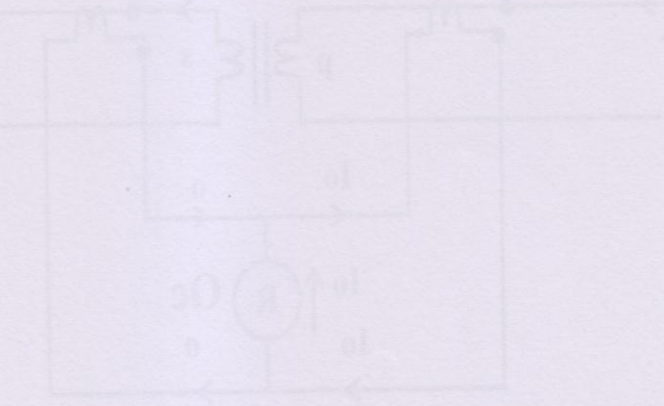
حيث أن:

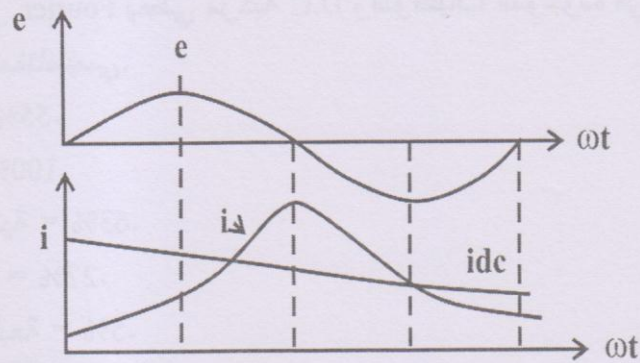
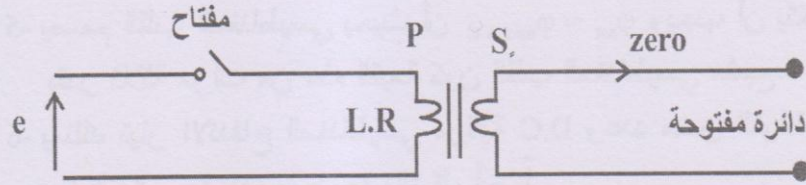
$$T = L/R$$

إن شكل موجة التيار والفولتية الداخلين يوضحه الشكل (13-9) من الواضح أنه في الدورات القليلة الأولى تكون قيمة RMS للتيار المغناطيسي:

$$I_m = \sqrt{I_{A.C}^2 + I_{D.C}^2}$$

ولأجل منع المرحلة التفاضلية من العمل يجب زيادة تيار الانتقال ولكن هذا ليس نهاية المشكلة.





شكل (13-9): مركبة D.C في تيار المغنطة

هنا يجب دراسة تأثير منحنى B-H غير الخطي والفيض المتبقي في تيار الاندفاع المغناطيسي وبالرجوع إلى الشكل (14-9) حيث أن المحولة الأحادية الطور جهزت مرة أخرى بفولتية جيبية عند قيمة الصفر عن طريق مفتاح. وبفرض وجود فيض متبقي بقيمة $\phi_{max.AC}$ ، حيث أن أعلى قيمة فيض للفولتية الجيبية الداخلة هي:

$$e = E_m \sin \omega t$$

وطبقاً للشكل فانه:

- 1- e هي شكل موجة فولتية الإدخال.
- 2- تحدث لحظة عملية الغلق عندما تعبر الفولتية قيمة الصفر.
- 3- قيمة الفيض من الفيض المتبقي هو $\phi_r = \phi_{max.AC}$.
- 4- أعلى قيمة للفيض هي $3\phi_{max.AC}$.

5- يصمم القلب المغناطيسي بحيث أن $\Phi_{sat} = \Phi_{max A.C}$ ويجب أن يتحمل بقدر ثلاثة مرات من هذه القيمة كون القلب المغناطيسي مشبع.

6- يمتلك تيار الاندفاع المغناطيسي مركبة D.C وعدد من التوافقيات وشكل الموجة هذه موضحة بالشكل أيضاً.

7- إن تحليل فوريير Fourier يعطي مركبة D.C والتوافقيات الموجودة في تيار الاندفاع المغناطيسي.

أ- مركبة DC = 55%.

ب- الأساسية = 100%.

ج- التوافقية الثانية = 63%.

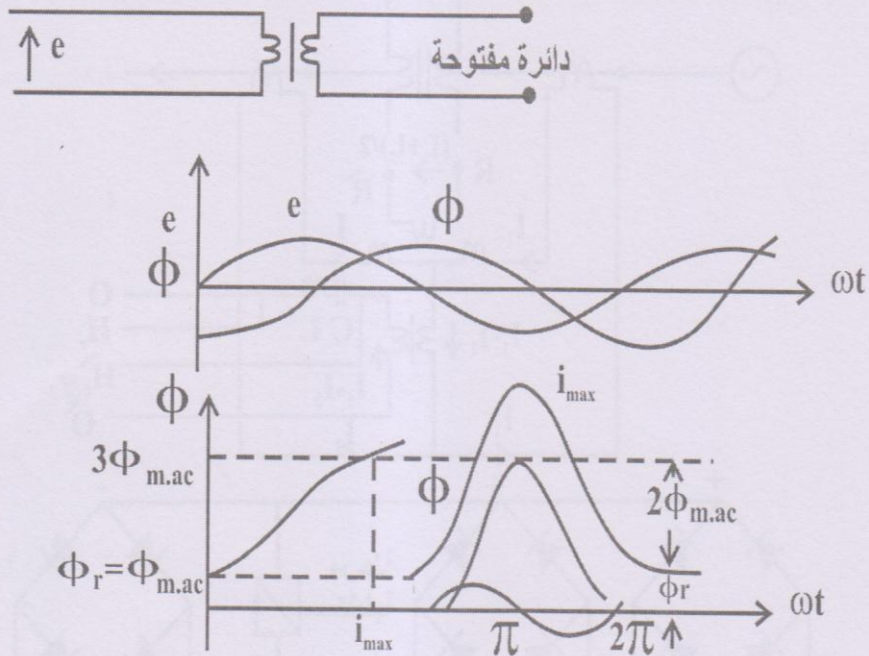
د- التوافقية الثالثة = 27%.

هـ- التوافقية الرابعة = 5%.

و- التوافقية الخامسة = 4%.

ز- التوافقية السادسة = 3.7%.

ر- التوافقية السابعة = 2.4%.



شكل (9-14): تأثير منحنى B-H والفيض المتبقي على تيار المغنطة

3-5-9 المرحلة الفرقية ذات التوافقيات المقيدة

Harmonic Restrained Differential Relay

هناك مقترحات لتجنب سوء الأداء في المرحلات التفاضلية بوجود

تيار الاندفاع المغناطيسي هما:

1- بما أن التوافقية الثانية هي السائدة، فإنه يمكن ترشيحاً بإضافة عنصر

حجز إلى المرحلة التفاضلية.

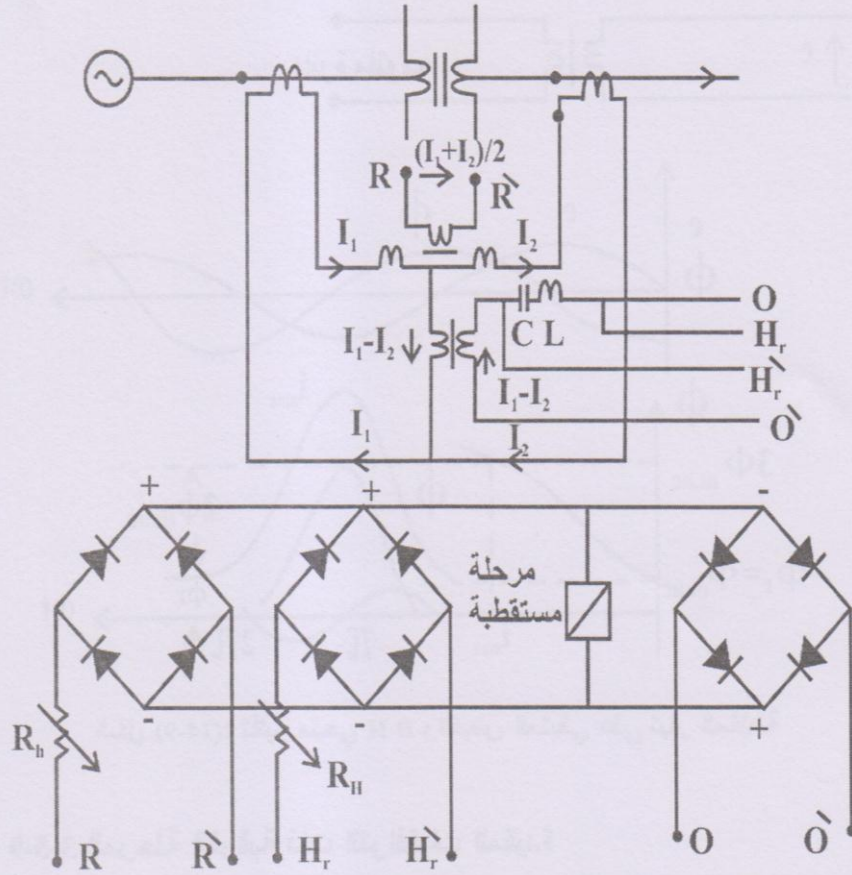
2- محاولة إزالة جميع التوافقيات وبضمنها مركبة D.C بإضافة عنصر

الحجز.

هذه المرحلات يطلق عليها بالمرحلات التفاضلية الحاجزة للتوافقيات.

في المرحلات الساكنة يتم استخدام قنطرة الدايودات كاملة الموجه مع

مرشح وهذا ما يوضحه الشكل (9-15).



شكا، (9-15): المرحلة التفاضلية المستندة على التوافقيات المتبقية

6-9 حماية الفيض المفرط Over Fluxing Protection

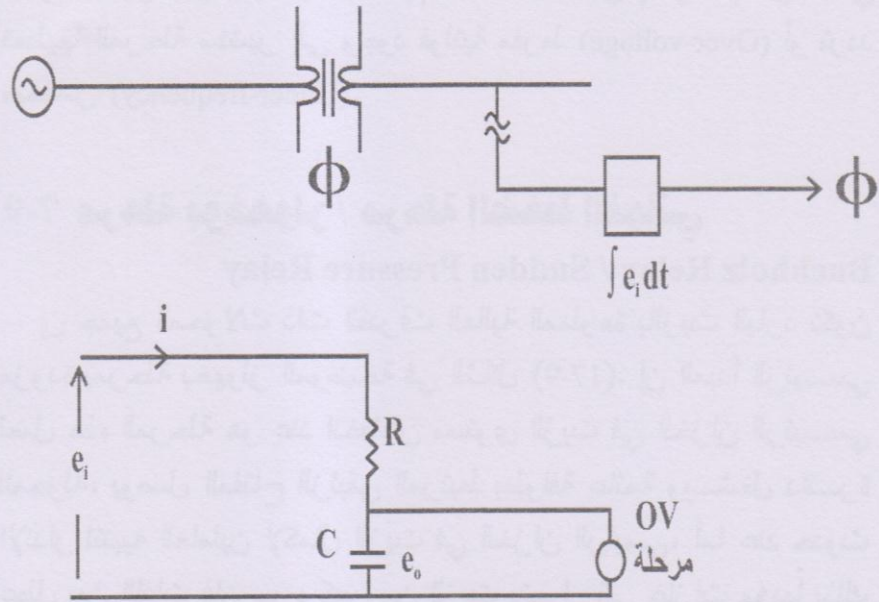
إن قانون فراداي Faraday's Law للحث يعطينا العلاقة التالية لأية محولة مثارة بواسطة الفولتية الجيبية:

$$e = N \frac{d\phi}{dt}$$

وبالتعويض عن قيمة $e = E_m$ وتكاملها نسبة إلى الفيض نحصل على العلاقة التالية:

$$E = 4.44 f N \phi$$

ثم أن قيمة r.m.s. للفيض تتناسب مع E/f أو مباشرة مع فولتية A.C المطبقة هي E وعكسياً مع التردد f للفولتية A.C. يوضح الشكل (9-16) مرحلة الفيض المفرط حيث أن الفولتية A.C المأخوذة من محولة الجهد PT يتم تكاملها، لو أن قيمة هذا التكامل تجاوزت 110% من القيمة المقننة، فإن مرحلة الفيض المفرط تعمل وتعطي إنذار.



شكل (9-16): مرحلة الفيض المفرط

إن تحليل هذه العلاقات يكون:

$$e = N \frac{d(\phi)}{dt}$$

Or

$$\phi = \frac{1}{N} \int e dt$$

تحتوي الدائرة هنا على مقاومة كبيرة R مربوطة على التوالي مع المتسعة C. فيكون التيار:

$$i = \frac{e_i}{R}$$

Now

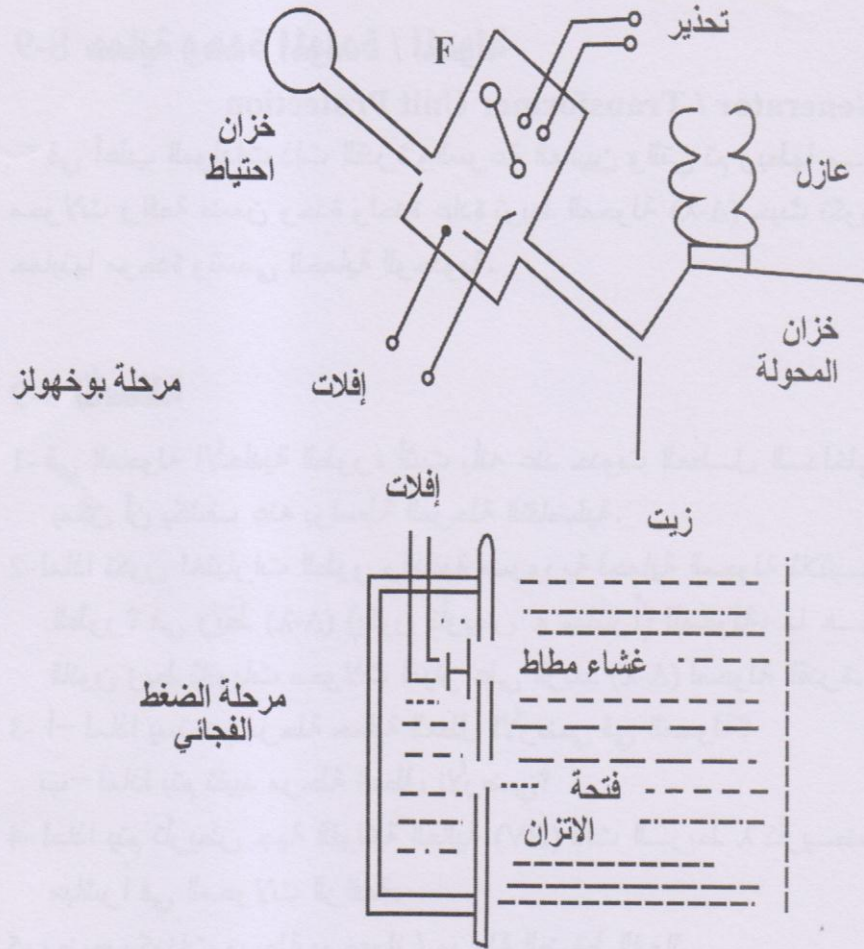
$$e_o = \frac{1}{C} \int i dt = \frac{1}{RC} \int e_i dt$$

إذا تجاوزت قيمة e_o قيمة التنظيم Set Value، فإن إشارة الإنذار التي تعطىها المرحلة ستشير إلى وجود فولتية مفرط (Over-voltage) أو تردد منخفض (Under-frequency).

7-9 مرحلة بوخهولز / مرحلة الضغط الفجائي

Buchholz Relay / Sudden Pressure Relay

إن جميع المحولات ذات القدرات العالية المملوءة بالزيت البارد تكون مزودة بمرحلة بوخهولز الموضحة في الشكل (9-17). إن المبدأ الرئيسي لعمل هذه المرحلة هو عند انخفاض مستوى الزيت في الخزان الرئيسي للمحولة، يوصل المفتاح الزئبقي المرتبط بطوافة عائمة ويشغل دائرة الإنذار لتنبيه العاملين لإكمال الزيت في الخزان الرئيسي، أما عند حدوث عطل بين اللفات فإن جزء كبير من الزيت يتحول إلى غازات مؤدياً بذلك انخفاض كبير في مستوى الزيت فيوصل المفتاح الزئبقي الثاني ويشغل دائرة الإفلات لقواطع الدورة التي تقوم بعزل المحولة عن المنظومة الكهربائية. إن هذا النوع من الحماية يقوم بتعزيز منظومة الحماية التفاضلية، ويعتبر حماية سائدة لها.



شكل (9-17): مرحلة بوخهولز / مرحلة الضغط الفجائي

أما المحولات التي من الصعب نصب لها مرحلة بوخهولز، تنصب لها مرحلة الضغط المفاجئ في الجهة العليا لخزان المحولة الرئيسي كما في الشكل (9-17). ففي حالة الاستقرار فإن النقب المتوازن الصغير يعادل الضغط بين خزان المرحلة وخزان المحولة الرئيسي. فعند حدوث الأعطال فإن الضغط يسلط على الغشاء الحاجز ويسبب في غلق ملامسات المرحلة والتي بدورها يقوم بفصل قواطع الدورة.

8-9 حماية وحدة المولدة / المحولة

Generator / Transformer Unit Protection

في أغلب المولدات ذات القدرة والسرعة العاليتين والتي تم ربطها مع محولات رافعة ضمن وحدة واحدة عادة تربط المحولة ($\Delta-\lambda$) حيث تكون حمايتها موحدة وتسمى الحماية الوجدوية.

9-9 الأسئلة

- 1- في المحولة الأحادية الطور، أثبت بأنه عند حدوث العطل الداخلي يمكن أن يكشف عنه بواسطة المرحلة التفاضلية.
- 2- لماذا تكون اختبارات الطور والنسبة ضرورية لحماية المحولة ثلاثية الطور؟ في ربط ($\Delta-\lambda$) (يكون تأريض λ مباشراً) للمحولة، ما هو قانون ربط ثانويات محولات التيار على الربط ($\Delta-\lambda$) لمحولة القدرة.
- 3- أ- لماذا يستخدم مرحلة حماية العطل الأرضي في المحولة؟
ب- لماذا يتم تقييد مرحلة العطل الأرضي؟
- 4- لماذا يتم تأريض جهة الفولتية العالية (HV) ذات الربط λ تأريضاً مباشراً في المحولات الرافعة.
- 5- وضح مكونات مرحلة بوخهولز / مرحلة الضغط الفجائي.
- 6- وضح لماذا يزداد التيار المغناطيسي في المحولة للحالات التالية:
a- التوصيل اللحظي بإدخال موجة الفولتية.
b- خصائص B-H غير الخطي لقلب المحولة.
c- الفيض المتبقي.

الفصل العاشر

حماية القضاة العمودية

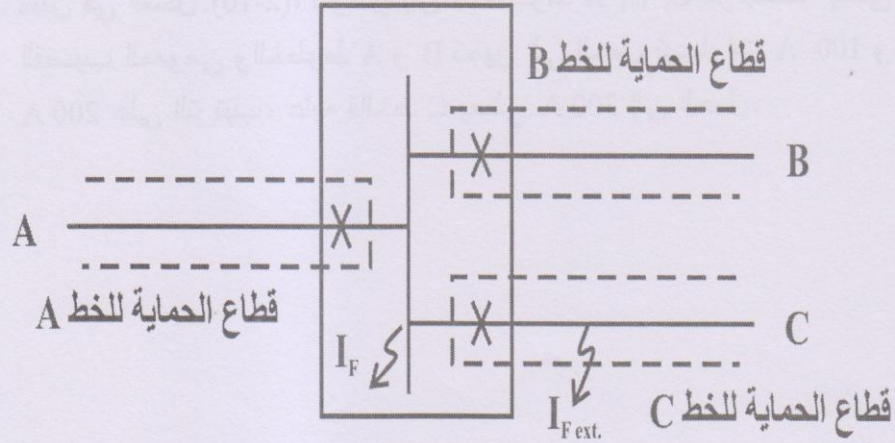
الفصل العاشر

حماية القضبان العمومية

Bus Bars Protection

1-10 المقدمة

القضبان العمومية هي أحد أجزاء نظام القدرة، حيث تربط إليها الخطوط الداخلة والخارجة عن طريق قواطع دورة مناسبة. تعتبر حماية القضيب العمومي كقطاع حماية رئيسية تتداخل مع قطاعات الحماية لجميع الخطوط المجاورة (شكل 1-10). وعليه تعتبر حماية القضيب العمومي حماية وحدوية لا تتمكن من إعطاء حماية سائدة. كما يوضح الشكل أيضاً مواقع الأعطال الداخلية والخارجية. فعند حدوث الأعطال الداخلية تقوم المرحلة بإعطاء إشارة الإفلات لجميع قواطع الدورة الواقعة ضمن قطاع الحماية، ولا تشتغل المرحلة عند حدوث الأعطال الخارجية.



شكل (1-10): قطاع حماية القضيب العمومي

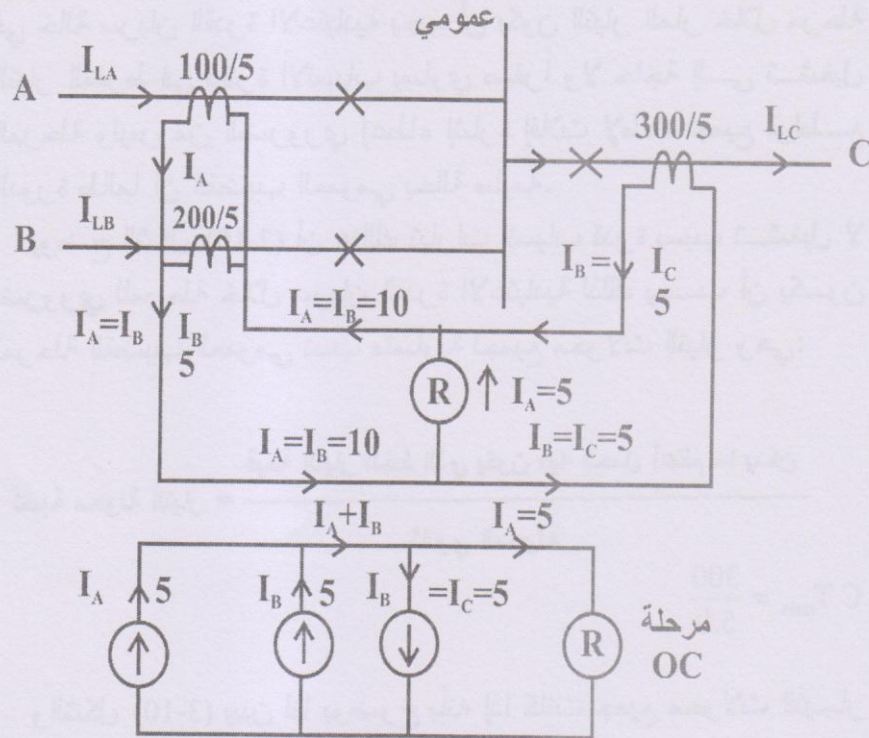
ولكون نهايات الإدخال والإخراج مغلقة فيزيائياً، تستخدم المعدات التفاضلية لحماية القضبان العمومية، والفرق بين المعدات التفاضلية التقليدية وتلك التي تستخدم مع القضييب العمومي هو وجود مقاومة الاستقرار في دائرة الانسياب (Spill Circuit) لأجل استقرار المرحلة (أو بمعنى آخر تجنب سوء الأداء)، عند حدوث الأعطال الخارجية. ولهذا السبب تسمى هذه المعدات بالمعدات التفاضلية ذات الممانعة العالية ومصطلح الممانعة العالية يشير إلى ممانعة دائرة الانسياب والتي تحتوي على مقاومة الاستقرار.

1-1-10 نسبة محولة التيار Current Transformer Ratio

الاختيار المناسب لنسبة محولة التيار يعتمد على أقصى قيمة لتيار الحمل نسبة إلى قيمة ثانوي المحولة.

$$CT_{ratio} = \frac{I_{Lmax}}{\text{Secondary CT}}$$

ولكون هذه القاعدة لا يمكن تطبيقها في حماية القضييب العمومي وكما مبين في الشكل (10-2)، نفرض بأن الخطوط A, B, C مرتبطة إلى القضييب العمومي والخطوط A و B تجهز إلى الحمل تيارات A 100 و A 200 على الترتيب، عليه فالخط C يعطي A 300 إلى الحمل.



شكل (2-10): نسبة محولات التيار غير الصحيحة

فتكون حماية القضييب العمومي هي كالآتي:
 بجميع محولات التيار للخطوط الثلاثة تربط على التوازي (بوجود
 علامات قطبية صحيحة) وتربط هذه المكونات خلال مرحلة تيار مفرط
 لحظية. وعلى فرض أن نسب محولات التيار هي كالآتي:

$$C T_A = \frac{I_{L,max,A}}{Sec. CT} = \frac{100}{5.0}$$

$$C T_B = \frac{I_{L,max,B}}{Sec. CT} = \frac{200}{5.0}$$

$$C T_C = \frac{I_{L,max,C}}{Sec. CT} = \frac{300}{5.0}$$

في حالة سريان القدرة الاعتيادية يجب أن يكون التيار المار خلال مرحلة التيار المفرط في دائرة الانسياب يساوي صفراً ولا حاجة إلى تشغيل المرحلة وليس من الضروري إعطاء إشارة إفلات لإطفاء جميع قواطع الدورة طالما أن القضيبي العمومي بحالة سليمة.

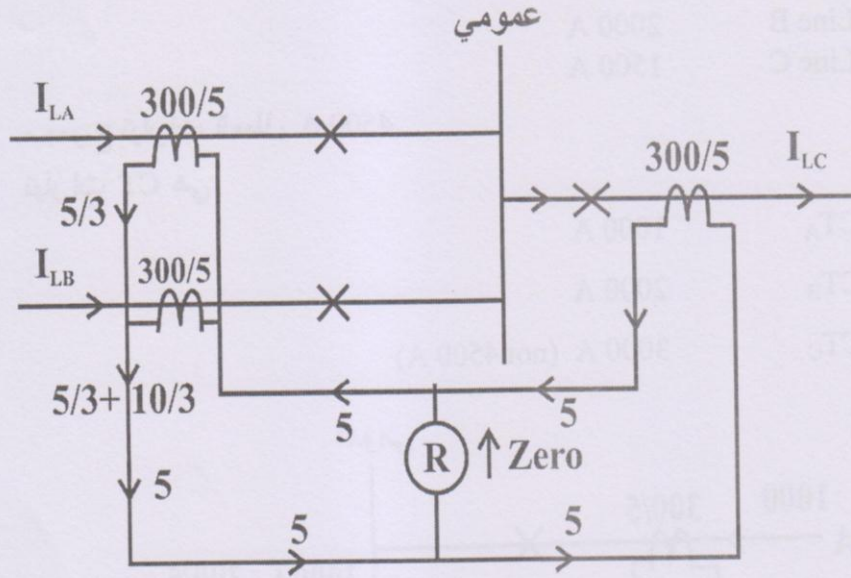
يوضح الشكل (2-10) أن هنالك تيارات انسياب قدرة بسبب تشغيل لا ضروري للمرحلة خلال سريان القدرة الاعتيادية لذلك يجب أن يكون لمرحلة القضيبي العمومي نسب متساوية لجميع محولات التيار وهي:

قيمة التيار للخط الذي يكون فيه الحمل أعظم ما يمكن

$$\text{نسبة محولة التيار} = \frac{\text{ثانوي المحولة}}{\text{ثانوي المحولة}}$$

$$C T_{\text{ratio}} = \frac{300}{5.0}$$

والشكل (3-10) يبين لنا بوضوح بأنه إذا كانت جميع محولات التيار متساوية فإن تيار مرحلة التيار المفرط يساوي صفر. يتم اختيار محولات التيار طبقاً لهذه الاعتبارات فقط إذا كان عامل قدرة حمل محولة التيار تتوافق مع عامل قدرة (نسبة X/R) لخطوط الفولتية العالية. فإذا كان حمل محولة التيار مقاومي فإن القدرة الظاهرية (VA) يجب أن تزيد بمقدار $(1 + X/R)$ مرة بقدر القدرة الظاهرية المقننة في الحالة المستقرة وذلك لتجنب حالة التشبع التي تحصل في محولات التيار.



شكل (3-10): نسب محولات التيار الصحيحة

2-1-10 العطل الخارجي External Fault

من الشكل (4-10) عندما ترتبط ثلاثة خطوط بالقضيب العمومي.
افرض بأن مصادر القدرة تقع خلف الخطوط الثلاثة.
إن سريان القدرة الاعتيادية بسبب أي عطل هي:

Line A	100 A
Line B	200 A
Line C	300 A

وكما في المثال السابق، فإن جميع نسب محولات التيار يجب أن تكون 300:5 A.

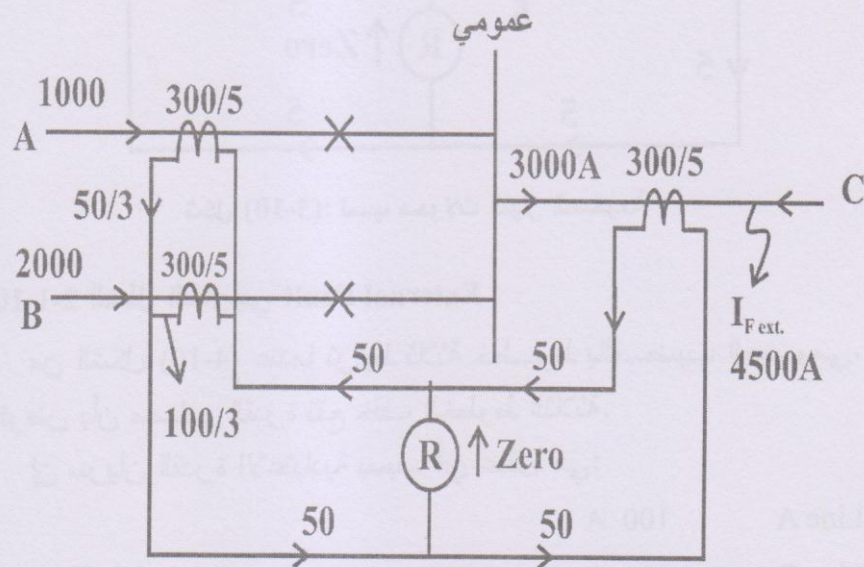
افرض بأن عطلاً خارجياً حدث عند الخط C (خلف موقع CT) فإن تيارات العطل المفروضة هي:

Line A	1000 A
--------	--------

Line B	2000 A
Line C	1500 A

مجموع تيارات العطل 4500 A
تيارات CT هي:

CT _A	1000 Å
CT _B	2000 Å
CT _C	3000 Å (not 4500 Å)

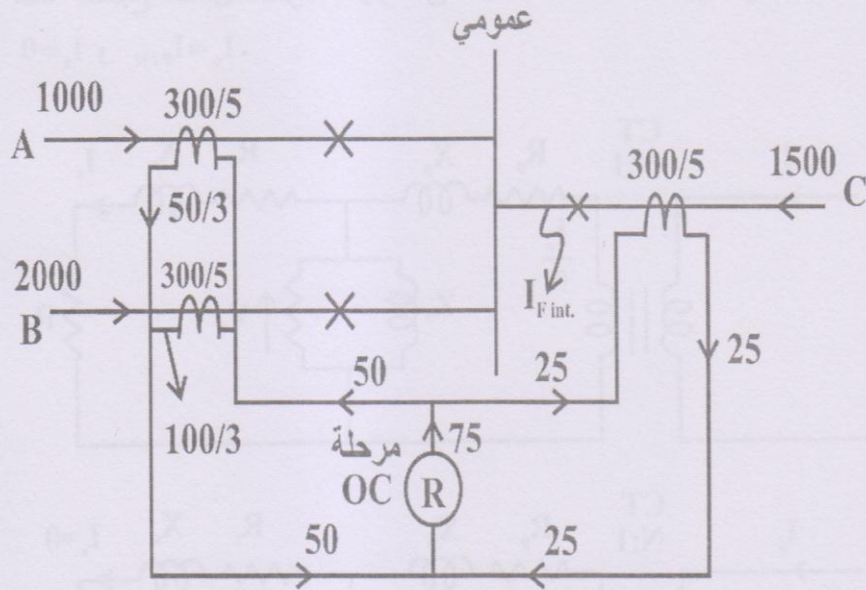


شكل (4-10): حالة العطل الخارجي

يوضح الشكل (10-4) كذلك الدائرة المكافئة للمرحلة التفاضلية على فرض أن جميع محولات التيار مثالية وغير مشبعة. إن التيار في دائرة الانسياب أو المرحلة OC هو صفر. بسبب كون العطل خارجي، فالمرحلة لا تعمل. لكن عند حدوث عطل بقيمة عظمى 3000 A فإن محاولة التيار ستصبح بحالة تشبع.

3-1-10 العطل الداخلي Internal Fault

إن الشكل (5-10) يشابه الشكل السابق فيما عدا أن العطل يقع في الخط C وهو عطلاً داخلياً حيث نلاحظ بأن التيارات في الملفات الابتدائية لمحولات التيار تشبه تلك التيارات في العطل الخارجي، ومن الدائرة المكافئة لمحولة التيار الموضح في الشكل (5-10) فإن تيار العطل في مرحلة التيار المفرط يكون بقيمة A 75 (وهو يعادل 15 مرة من التيار الثانوي المقنن لمحولة التيار) وهذا ما يسبب باشتغال المرحلة وفصل القضيبي العمومي عن جميع الخطوط الثلاثة وهذا هو الاشتغال الصحيح. هنا يمكن ملاحظة إهمال أي تشبع يحصل في محولات التيار.



شكل (5-10): حالة العطل الداخلي

2-10 المعدات الفرقية ذات الممانعة العالية

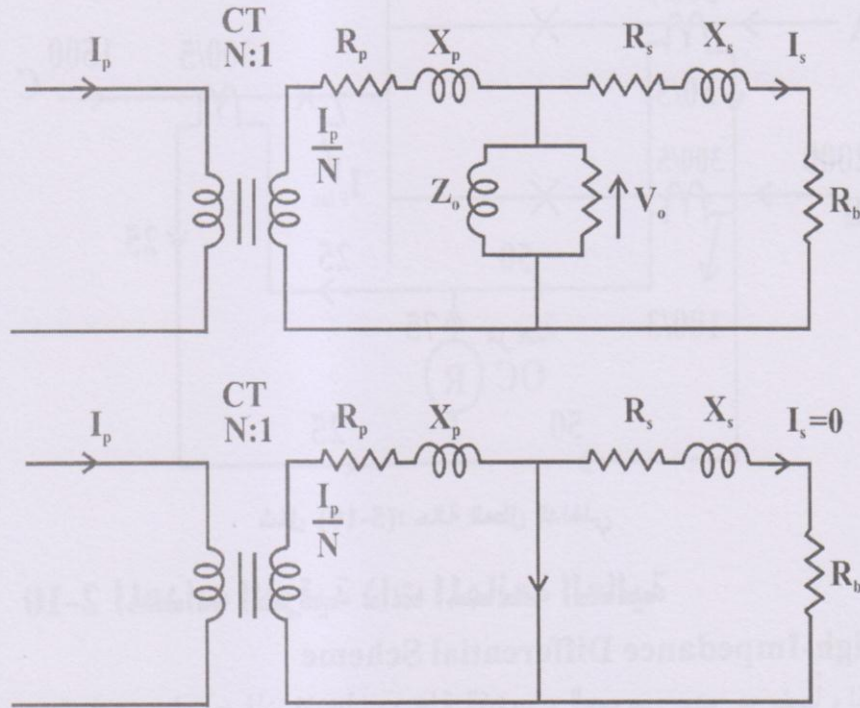
High-Impedance Differential Scheme

كما هو واضح فإن تشغيل مرحلة القضيبي العمومي يبدو مرضياً ولكن ليس بسبب التشبع غير المتساوي لمحولات التيار. من الملاحظ بأن كل

محولة تيار تحمل تياراً ابتدائياً مختلفاً، وكما يبدو فإن محولة التيار التي تحمل أقصى تيار ابتدائي تكون هي الأسرع في الوصول إلى حالة التشبع. في هذه المرحلة يجب معرفة ممانعة المغنطة عند حالة عدم التشبع وحالة التشبع الكامل لمحولات التيار.

1-2-10 الدائرة المكافئة لمحولة التيار عند حدوث العطل الخارجي

إن الدائرة المكافئة لحالة التشبع الكامل وعدم التشبع في محولات التيار يوضحها الشكل (6-10) وباختصار نفرض أنه في حالة عدم تشبع محولة التيار فإن ممانعة المغنطة $Z_o = \infty$ ولذلك فإن $I_o = 0$ و $I_s = I_{p/N}$ وفي حالة التشبع الكامل لمحولة التيار فإن ممانعة المغنطة $Z_o = 0$ ولذلك فإن $I_o = I_{p/N}$ و $I_s = 0$.



شكل (6-10): الدائرة المكافئة لحالة التشبع وعدم التشبع لمحولات التيار

يوضح الشكل (7-10) محولات تيار لثلاثة خطوط مربوطة على التوازي ومربوط بعدهم مقاومة ثانوي محولة التيار ومقاومة الأسلاك المساعدة للمرحلة (نلاحظ بأن محولات التيار تكون في غرفة السيطرة وحسب موقع المرحلة وليس عند لوحة المفاتيح، عادة تقع مرحلات التيار في جلبات قاطع الدورة (Bushings). إن مرحلة التيار المفرط الآنية مع مقاومة الاستقرار تربط على التوازي مع محولات التيار الثلاثة. نلاحظ بأن محولة التيار على الخط C عند المغذي العاطل يفترض بأن يكون مشبع كلياً ومقصود الدائرة. إن تيار العطل الخارجي يسري خلال دائرة التوازي المتكونة من مقاومة الملف الثانوي لمحولة التيار ودائرة المرحلة. ولأن مقاومة الملف الثانوي لمحولة التيار قليلة جداً فمن المفترض أن يكون الجزء الأكبر من تيار العطل يسري خلالها ولذلك فالفولتية عبر دائرة المرحلة V_{Set} تسمى فولتية التنظيم.

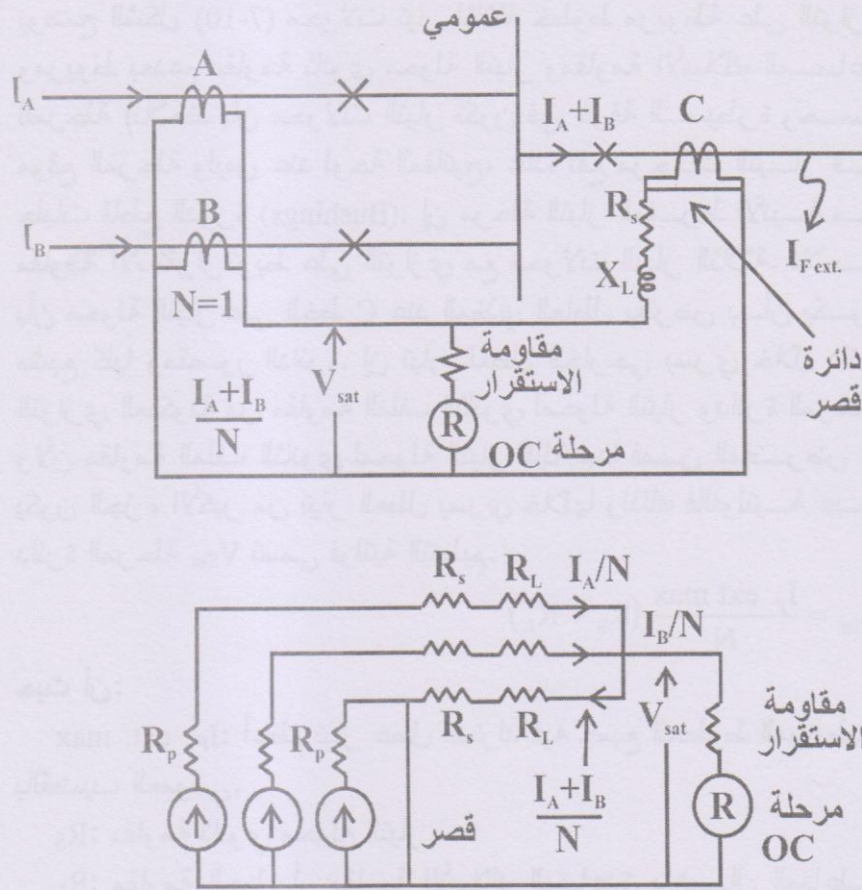
$$V_{Set} = \frac{I_{F \text{ ext max}}}{N} (R_S + R_L)$$

حيث أن:

$I_{F \text{ ext max}}$: أعظم تيار عطل تشترك فيه جميع الخطوط المرتبطة بالقضيب العمومي.

R_S : مقاومة ثانوي محولة التيار.

R_L : مقاومة الحمل أو مقاومة الأسلاك المساعدة. بإهمال المفاعلة التسريبية لثانوي محولة التيار.



شكل (7-10): ترابطات CT عند العطل الخارجي

كما أنه من المهم جداً بأن تكون فولتية التنظيم V_{Set} لجميع محولات التيار أكبر من فولتية الركبة V_{knee} وذلك لتجنب التشبع في محولات التيار في المغذيات السليمة. وبفرض أن دائرة الانسياب لمرحلة التيار المفرط تمتلك تيار النقاط I_{PU} ومقاومة كلية هي $R_{st} + R_{re}$. فللتأكد بأن المرحلة لا تشغل عند حدوث عطل خارجي، يجب ملاحظة العلاقات التالية بين عوامل المرحلة المختلفة والتنظيم:

$$I_{PU} \geq \frac{V_{Set}}{R_{st} + R_{re}}$$

$$I_{PU} \geq \frac{I_{F.ext} (R_{se} + R_L)}{N(R_{st} + R_{re})}$$

حيث أن:

R_{st} : مقاومة الاستقرار.

R_{ra} : مقاومة المرحلة.

R_{se} : مقاومة الثانوي.

وبمعرفة قيمة تيار الالتقاط I_{PU} ، يكون حساب مقاومة الاستقرار R_{st} ضرورية لتجنب حالة سوء الأداء للمرحلة. وبزيادة مقاومة الاستقرار سوف تزداد قيمة الممانعة الكلية في دائرة الانسياب أو دائرة المرحلة. وهذا ما يطلق عليه المعدات التفاضلية ذات الممانعة العالية.

2-2-10 الدائرة المكافئة لمحولة التيار عند حدوث العطل الداخلي

يبين الشكل (8-10) دائرة ثانوية بمحولة التيار مربوطة مع دائرة المرحلة وكما أشير سابقاً فإنه عند حدوث العطل الداخلي فإن تيارات الخطوط نسبياً تكون قليلة، بالمقارنة مع التيار الكلي الساري في المغذي العاطل. وبفرض أن محولة التيار وصلت إلى حالة التشبع وأن التيار المغناطيسي I_0 المسحوب عند الفولتية المثارة لفولتية V_{Set} تقرأ من خصائص الإثارة لثانوي محولة التيار فان:

$$V_{Set} = \frac{I_{F.ext.max} (R_{st} + R_L)}{N} < V_{knee}$$

وإذا كانت q تمثل عدد الخطوط (أو عدد محولات التيار) المربوطة إلى القضيب العمومي، فإن تيار المغنطة الكلي:

$$Total I_0 = q I_0$$

وتيار المرحلة:

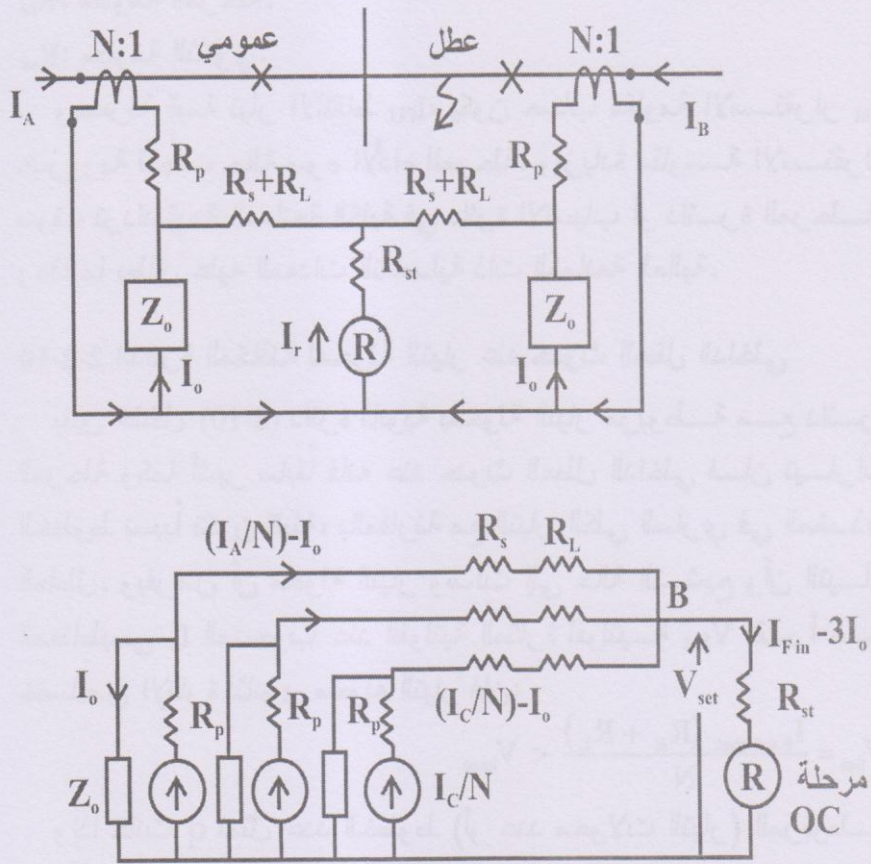
$$I_{re} = \frac{I_{F.int.min}}{N} - q I_0$$

وسوف تشتغل المرحلة عند:

$$I_{PU} \leq I_{re}$$

أو

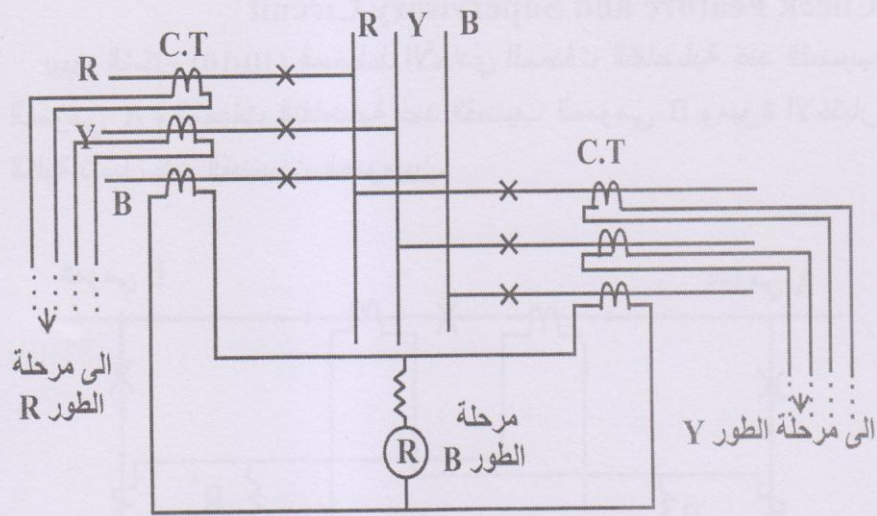
$$I_{F.int.min} \geq N (I_{PU} + q I_o)$$



شكل (8-10): الدائرة المكافئة لمحولة التيار عند العطل الداخلي

نلاحظ بأن أقل قيمة لتيار المغنطة لمحولة التيار هو تيار العطل الداخلي، الذي يتسبب في تشغيل المرحلة بصورة مرضية، وهذا من مستلزمات النوعية الجيدة لمحولات التيار.

عند استخدام المخططات ذات الخط المفرد للقضبان العمومية يكون غير مجدياً لأن القضبان العمومية هي ثلاثية الطور وتعرض إلى 10 أنواع من الأعطال منها أعطال ثلاثية الطور وعطل L.L و L.L.G و L.G وغيرها. وللكشف عن جميع الأعطال مطلوب مكونات حماية ثلاثية الطور. وهذا ما يوضحه الشكل (9-10).



شكل (9-10): المعدات التفاضلية لحماية القضيب العمومي ثلاثي الطور

3-10 نسبة الاستقرار Stability Ratio

إن تيارات العطل الداخلي والخارجي تتغير حسب نوع العطل (عادة عطل L.G يعطي أدنى تيار بينما عطل ثلاثي الطور يعطي أعظم تيار) وحسب التغيرات في ممانعة المصدر (أعظم ممانعة مصدر تعطي أدنى تيار عطل وأدنى ممانعة مصدر تعطي أعظم تيار). إن نسبة الاستقرار S يمكن إيجادها كما يلي:

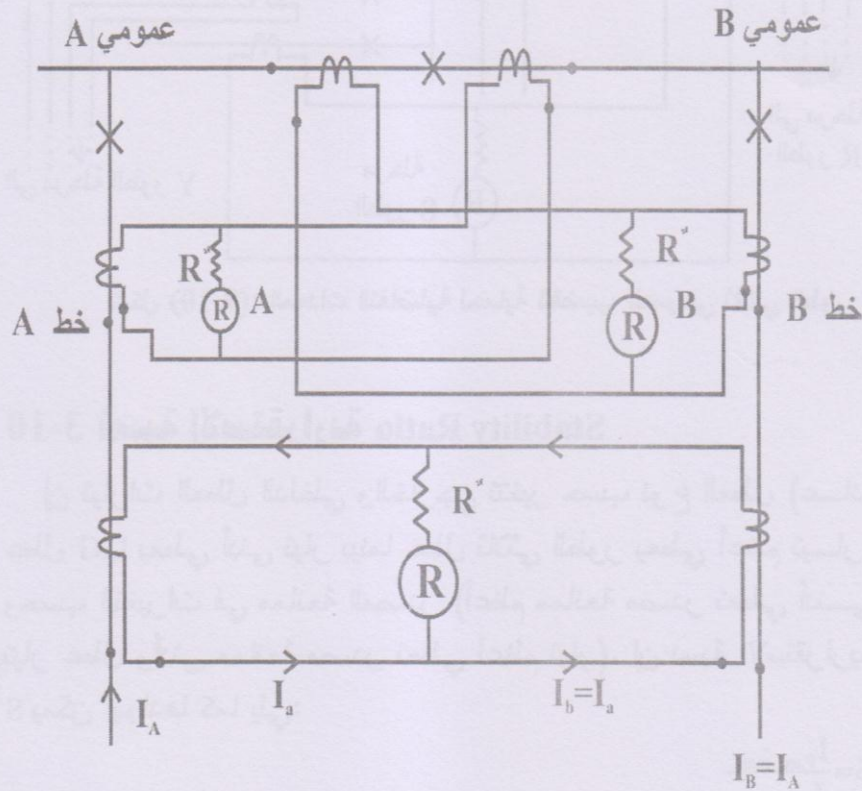
$$S = \frac{I_{F.ext.max.}}{I_{F.int.min}}$$

وأن قيمة S في أقصى ما يسمح به التصميم تكون أكبر من 30. حيث أنه عند $I_{F.ext.max}$ تكون المرحلة في حالة أداء جيد بينما عند $I_{F.int.min}$ تشتغل المرحلة بصورة مرضية.

4-10 الدائرة الإشرافية وميزات الاختبار

Check Feature and Supervisory Circuit

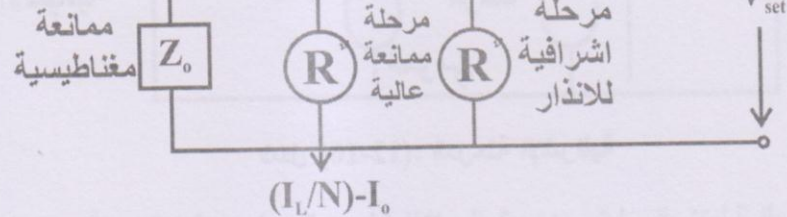
يبين الشكل (10-10) المخطط الأحادي للمعدات التفاضلية عند القضيبي العمومي A والمعدات التفاضلية عند القضيبي العمومي B وميزة الاختبار الكلية تشمل كلا القضيبين العموميين.



شكل (10-10): ميزات الاختبار

الداخلية وهي اي زمن شكل (10-11).

عمومي



شكل (10-11): تيار المرحلة عند سريان القدرة الطبيعي

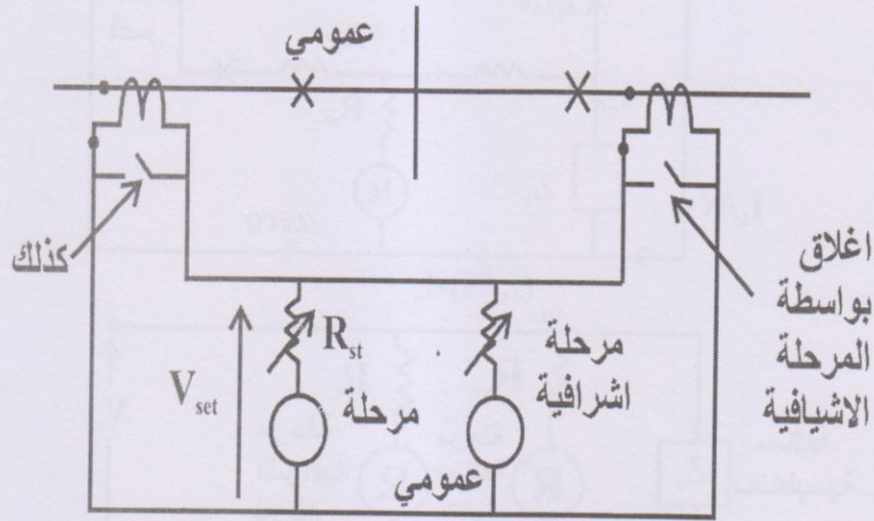
مع فقدان أحد محولات التيار

وعند حالات مختلفة فان تيارات الانسياب هي:

$$I_{\text{relay}} \text{ power flow} = (q-1) I_o$$

$$I_{\text{relay}} \text{ power flow, one CT out} = \frac{I_L}{N}(q-1) I_o$$

وهكذا فإن فقد محولة التيار أو الأسلاك المساعدة يعتبر عطلاً داخلياً والمرحلة التفاضلية تتصف بسوء الأداء، لذلك فإن فقد محولة التيار أو الأسلاك المرشدة يتوجب وجود مرحلة إشرافية وظيفتها كشف هذه الحالات وإعطاء إشارة تنبيه وإنهاء حالة سوء الأداء للمعدات التفاضلية للقضيب العمومي (لاحظ بأنه لا يوجد أي عطل داخلي) بقصر دائرتها عن طريق مرحلة إعادة يدوية، وهذا ما يوضحه الشكل (12-10) وعلى أساس الطور المفرد.



شكل (12-10): المرحلة الإشرافية

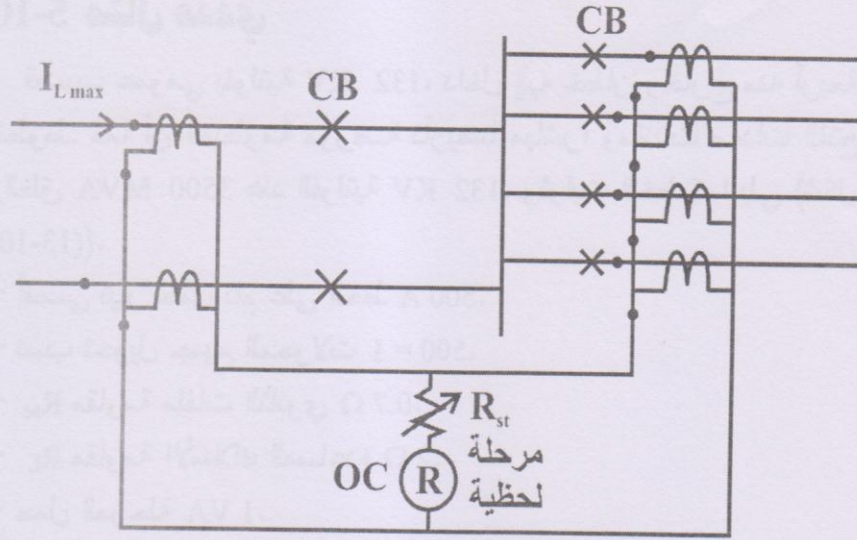
إن تأثير التنظيم على المرحلة الإشرافية يحدد بتيار المغنطة المسحوب من قبل محولات التيار وبواسطة التيار المقصور بواسطة المعدات التفاضلية للقضيب العمومي ذات الممانعة العالية والذي يجب أن يكون أقل ما يمكن، عند الحالة الاعتيادية يكون التنظيم 25 A أو 10% من أقل تيار حمل I_{Lmin} والذي يكون كبير. كما أنه عند فولتية تنظيم $V_{set} = 100\text{ V}$ للمعدات التفاضلية ذات الممانعة العالية مع تيار التقاط $I_{PU} = 0.8\text{ A}$ فإن تنظيم المرحلة الإشرافية أوطأ من 0.00123 A و $V_{set} = 2\text{ V}$.

5-10 مثال عددي

قضييب عمومي بفولتية KV 132، داخل إليه خطان وخارج منه أربعة خطوط. كما أن المنظومة مؤرضة تأريضاً مباشراً ومقننات معدات الفتح والغلق 3500 MVA عند الفولتية KV 132. وثابت الخط كما يلي (شكل (13-10)).

- أقصى تيار حمل تام على الخط A 500.
- نسب تحويل جميع المحولات 1 = 500.
- مقاومة ملفات الثانوي $R_{se} = 0.7 \Omega$.
- مقاومة الأسلاك المساعدة $R_L = 2 \Omega$.
- حمل المرحلة 1 VA.
- الحمل $R = VA/I^2 \Omega$.
- I_0 تيار المغنطة لمحولة التيار لأعلى من 120 V هو 0.28 mA/V خطي.
- فولتية الركبة لمحولة التيار أكبر من 120 V.
- أقصى تيار عطل.

$$I_{F.max} = \frac{3500 \text{ MVA}}{\sqrt{3} \times 132 \text{ KV}} = 15300 \text{ A}$$



شكل (10-13): مثال عددي

كما أن محددات المرحلة هي:

1- يجب أن لا تعمل المرحلة عند $I_{Fext.max} = 15300 A$.

2- يجب أن تعمل المرحلة عند $I_{Fint.min} = 500 A$.

3- يجب أن تكون نسبة الاستقرار:

$$S = \frac{15300}{500} \geq 30.6$$

أحسب ما يلي:

1- تنظيم فولتية المرحلة الذي يجنبها سوء الأداء عند تيار عطل $15300 A$.

2- تنظيم تيار المرحلة للتشغيل الصحيح عند أقل تيار عطل داخلي $500 A$.

3- مقاومة الاستقرار R_{st} .

4- نسبة الاستقرار S .

5- تنظيم مرحلة الإشراف أقل أو تساوي $25 A$.

الحل:

$$1- V_{set} = \frac{I_{Fext.max} (R_L + R_{se})}{N}$$

$$= \frac{13500 \times (2+0.7)}{500} = 82.6 \text{ V}$$

وهو أقل V_{knee} .

وعليه فان فولتية التنظيم بأخذ معامل الأمان بنظر الاعتبار تساوي 100 V.

2- At 100 V

$$I_o = 0.28 \times 100 \text{ mA}$$

$$= 0.028 \text{ A}$$

(لكل محولة تيار)

For six CTs

$$I_o = 6 \times 0.028 = 0.168 \text{ A}$$

وبفرض أن المرحلة 1 A مع تقنين 1 VA لذلك فان قيمة الحمل بالأوم

هو:

$$R_L = \frac{VA}{I^2} = 1 \Omega$$

يوضح الجدول (1-10) أحمال المرحلة عند قيم النقاط مختلفة.

جدول (1-10)

Relay I_{PU}	1	0.4	0.3	0.2	0.15	0.1
$R_L (\Omega)$	1	6.28	11	25	44	100

$$I_{F.int.min} = N (I_{PU} + q I_o)$$

$$500 = 500 (I_{PU} + 0.168)$$

$$I_{PU} = 0.832 \text{ A}$$

يمكن تقريب قيمة I_{PU} إلى 0.9 عليه

$$I_{F.int.max} = 500 (0.9 + 0.168) \\ = 534 \text{ A}$$

وهكذا فان تنظيم التيار بقيمة 0.9 A هو مرضياً ويكشف الأعطال الداخلية عند قيمة 534 A فأكثر.

$$3- I_{PU} \geq \frac{I_{F.ext} (R_L + R_{se})}{N (R_{st} + R_{re})}$$

$$I_{F.ext.max} = \frac{I_{PU} N (R_{st} + R_{re})}{(R_{se} + R_L)}$$

$$15300 = \frac{0.9 \times 500 (R_{st} + R_{re})}{0.7 + 2}$$

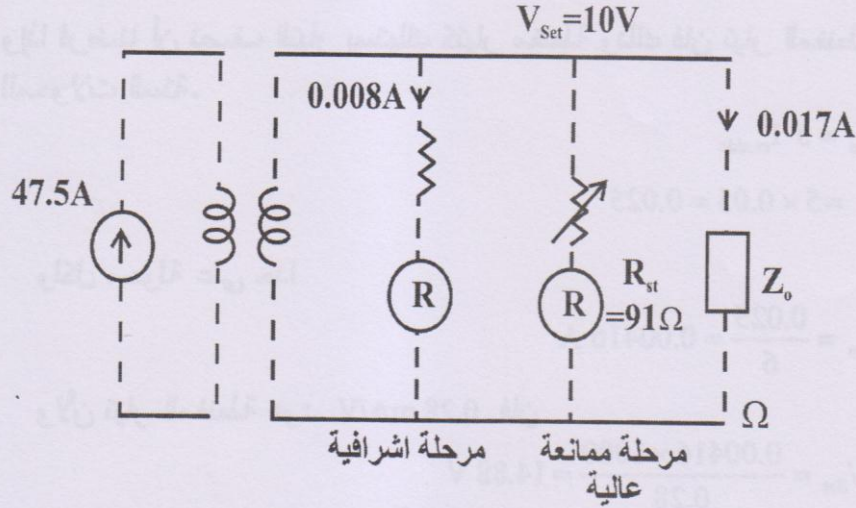
$$R_{st} + R_{re} \geq \frac{15300 + 2.7}{0.9 \times 500} \geq 92 \Omega$$

$$R_{st} \geq 92 - R_{re}$$

$$\geq 92 - 1 = 91 \Omega$$

$$4- S = \frac{I_{F.ext.max.}}{I_{F.int.min}} = \frac{15300}{534} \approx 29$$

5- من أجل تنظيم مرحلة الإشراف وبالعودة للشكل (10-14) الذي يبين لنا الدائرة المكافئة لمرحلة الإشراف المتكونة من التراكيب المتوازية التالية.



شكل (14-10)

- 1- تنظيم منخفض لمرحلة الإشراف.
 - 2- المعدات التفاضلية للعمومي ذات الممانعة العالية.
 - 3- ممانعة المغنطة الكلية.
- وبهذا فان تيار التشغيل الابتدائي الذي فقد نتيجة فقد محولة التيار هو:
نسبة محولة التيار \times [تنظيم مرحلة الإشراف + التيار المقصور بواسطة
مكونات المرحلة التفاضلية ذات الممانعة العليا + تيار المغنطة الكلي]
بفرض أن أقل قيمة تيار فقد خلال مفاقيد محولة التيار هو:

$$I_p \text{ Line Side} = 25 \text{ A}$$

$$I_{re} \text{ Side} = \frac{25 \times 1}{500} = 0.05 \text{ A}$$

q - هي عدد الدوائر البالغة 6

$$V_{Set, Sup} = 15 \text{ V}$$

$$I_{PU, Sup} = 0.0125 \text{ A}$$

$$R_{Sup} = 1200 \Omega$$

وإذا فرضنا أن نصف التيار يستهلك كتيار مغنطة وذلك فإن تيار المغنطة للمحولات الستة.

$$I_o = 5 I_{re.side} \\ = 5 \times 0.05 = 0.025$$

ولكل محولة على حدا

$$I_o = \frac{0.025}{6} = 0.00416 \text{ A}$$

ولأن تيار المغنطة هو: 0.28 mA/V فإن

$$V_{set} = \frac{0.00416 \times 1000}{0.28} = 14.88 \text{ V}$$

وعند إجراءات الأمان فإنه يجب اختبار $V_{set} = 10 \text{ V}$ بدلاً من 14.881
وعندها فإن تيار المغنطة الكلي:

$$I_o = \frac{0.28 \times 10 \times 6}{1000} = 0.017 \text{ A}$$

$$I_{PU} = 500 \left(0.017 + \frac{0.0125 \times 10}{14.88} + \frac{10}{91} \right) \\ = 500 \times 0.135 \\ = 67.5 \text{ A}$$

إن القيمة المفترضة قبل التنظيم هي 25 A .
عليه تكون أجوبة السؤال كما يلي:

- 1- تنظيم الفولتية 100 V .
- 2- مقاومة الاستقرار 91Ω .
- 3- تنظيم التيار 0.9 A .
- 4- نسبة الاستقرار 29.
- 5- تنظيم مرحلة الإشراف 67.5 A عند جانب الخط.

6-10 الأسئلة

- 1- وضح لماذا نسب محولات التيار تكون متماثلة للمعدات التفاضلية التي تقوم بحماية القضييب العمومي.
- 2- أثبت بأنه في محولات التيار:
a- $I_s = I_{P/N} - I_o$ عند عدم تشبع CT
b- $I_s = 0$ عند تشبع CT
- 3- اشتق المعادلات التالية:
أ- وقوع أعظم تيار عطل خلفي يسبب سوء الأداء.
ب- أدنى تيار عطل داخلي يعمل على تشغيل المرحلة.
- 4- حدد نسبة الاستقرار، لماذا تصميمها يكون بقيمة عالية؟
- 5- ما هو الهدف من المرحلة الإشرافية؟ ارسم الأفرع الثلاثة المتوازية التي تشكل مكونات المرحلة الإشرافية.
- 6- لماذا تكون ميزة الاختبار ضرورية، في ترتيب المقاطع المفردة للقضييب العمومي؟ وضح مواقع محولة التيار لمقطعين في العمومي وكذلك لجميع مقاطع العمومي.

الفصل الحادي عشر

حماية الحركات الكهربائية

الفصل الحادي عشر

حماية المحركات الكهربائية

Electrical Motors Protection

1-11 المقدمة

المحرك هو عبارة عن جهاز كهربائي يقوم بتحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة ميكانيكية. أصبحت المحركات الكهربائية اليوم شائعة الاستخدام بأنواعها العديدة في كثير من المجالات الصناعية والمنزلية. يتألف المحرك الكهربائي بصورة عامة من جزأين رئيسيين هما:

1- جزء ثابت Stator.

2- جزء متحرك دوار Rotor.

تفصل بينهما فجوة هوائية، وكل منهما يحتوي على ملفات وأحياناً لا يحتوي الجزء الدوار على ملفات وإنما على قضبان من الألمنيوم. إن لكل محرك كهربائي حدود تشغيل، وأن تجاوز هذه الحدود قد يسبب في تدمير المحرك ويؤثر على تشغيل المنظومة وقد يسبب لها انطفاء كلي (Shut Down). يتعرض المحرك الكهربائي إلى أعطال على نوعين إما كهربائية أو ميكانيكية.

تشمل الأعطال الكهربائية ما يلي:

1- القدرة العارمة Power Surges.

2- هبوطات الفولتية Voltage Drops.

3- عدم التوازن وفقدان أحد الأطوار يسبب تغيرات في التيار المسحوب.

4- دوائر فقد تؤدي بالتيار للوصول إلى مستوى يمكن أن يدمر المحرك.

أما الأعطال الميكانيكية فهي:

- 1- توقف الدوار Rotor Stalling.
 - 2- إطالة زمن الحمل المفرط والذي يؤدي إلى زيادة التيار المسحوب من قبل المحرك.
 - 3- مخاطر التسخين الذي تحدث في الملفات.
- وعليه فإن الحماية تكون ضرورية للتغلب على هذه الأعطال ومنع تحطم المعدات والأجهزة واضطراب مجهز القدرة.
- إن حماية المحرك تتضمن ما يلي:
- 1- الحماية من دوائر القصر لكشف وإيقاف التيارات غير الطبيعية التي تكون أكبر بعشر مرات من التيار المقنن وبالسعة الممكنة.
 - 2- الحماية من الأحمال المفرطة لكشف التيار الذي يزيد عن 10 مرات من التيار المقنن وفتح دائرة القدرة قبل تسخين المحرك إلى درجة تؤدي إلى تدمير العازل.
- تتجزأ هذه الحماية بأجهزة ومعدات مثل الفواصم وقواطع الدورة ومرحلات الحمل المفرط والدوائر التكاملية.

11-2 حماية المحرك من دوائر القصر

Short Circuits Motor Protection

تستخدم الحماية من دوائر القصر عند حدوث أعطال في أطوار الجزء الساكن وكذلك الشرر العرضي عند أطراف المحرك. إن وجود عازلية عالية بين ملفات الأطوار تجعل الأعطال بين الأطوار نادرة الحدوث، وبسبب كون ملفات الجزء الساكن محاطة بغطاء معدني مؤرض فإن العطل يتخذ من الأرضي مسلكاً له، وبذلك سوف تعمل منظومة الحماية الآتية من العطل الأرضي. حيث يتطلب هنا مرحلة تيار مفرط أحادية ذات الزمن المحدد (DTOC) وتكون ذات تنظيم من تيار البدء ولها تأخير زمني لتجنب أخطاء التشغيل بتأثير التيارات القادمة من محولة التيار CT.

إذا كانت تغذية المحرك عبر الفاصم، فيجب أن يكون تنسيق بين الفاصم والمرحلة. وهذا قد يستلزم زمن تأخير طويل نسبياً وهو عكس المطلوب بسبب كون الهدف من الحماية هو إعطاء عزل سريع لمنطقة العطل لتقليل التدمير الناتج منه، وهذا ما يجعل المرحلة ضعيفة الأداء. لذلك فهي تستخدم فقط للمحركات التي تتغذى عبر قاطع الدورة. وتستخدم الحماية التفاضلية للمحركات عالية الفولتية والتي تتغذى عبر قاطع الدورة وتقوم بحماية المحرك من أعطال الخط إلى الخط (L.L) والخط إلى الأرضي (L.G) وخاصة عندما تكون منظومة القدرة ذات تأريض مقاومي، ولا تستخدم حماية التيار المفرط ذا الزمن المحدد DTOC بسبب قلة الحساسية.

3-11 الحماية من الحمل المفرط Overload Protection

إن معظم الأعطال أو التلف الذي يتعرض له المحرك يكون ناتجاً بصورة مباشرة أو غير مباشرة من حالة الحمل المفرط. وذلك بسبب فولتية المصدر غير المتزن أو حدوث عطل في أحد الأطوار، مما يؤدي إلى توليد حرارة عالية قد تسبب تدمير العازل. إن زيادة درجة حرارة المحرك إلى 10°C أعلى من درجة الحرارة المقننة يؤدي إلى تقليل عمر المحرك وتلف العازل، بالإضافة إلى ذلك فإن إمكانية التحمل الحراري للمحرك تتأثر بالحرارة الناتجة من الملفات في الفترة قبل حدوث العطل، عليه فإن من المهم أن تصمم خصائص المرحلة بحيث نأخذ بنظر الاعتبار حالة اللاحمل وحالة الحمل التام للتيار في الفترة التي تسبق حدوث العطل وهذا ما يسمى بحالات البرودة والسخونة (Cold and Hot Conditions).

إن تنوع المحركات وتنوع تطبيقاتها وحالات العمل الغير طبيعية الممكنة الحدوث وأشكال العطل الناتجة منها، كل ذلك يجعل مسألة الحرارة مهمة جداً. وبصورة عامة فإن النموذج الرياضي الدقيق لا يمكن

استنتاجه هنا، ويمكن استنتاج نموذج تقريبي إذا افترضنا بأن المحرك يمتلك جسم متجانس يقوم بتوليد وامتصاص الحرارة ضمن معدل يتناسب مع ارتفاع درجات الحرارة، هذا هو المبدأ الذي يستند عليه القانون الحراري للمحرك والذي يستعمل لحمايته من حالة الحمل المفرط. إذا كانت T هي درجة الحرارة في أية لحظة فإنها تعطى بالعلاقة التالية:

$$T = T_{\max} (1 - e^{-t/\tau})$$

حيث أن:

T_{\max} : أعظم درجة حرارة في الحالة المستقرة.

τ : ثابت التسخين الزمني Heating Time Constant.

وأن ارتفاع درجة الحرارة يتناسب مع مربع التيار.

$$T = K I_R^2 (1 - e^{-t/\tau})$$

حيث أن:

I_R : تيار متواصل يؤدي سريانه إلى إنتاج حرارة عظمى لذلك يمكن إيجاد الزمن في المحرك المسموح به في المحرك عند سريان تيار الحمل المفرط (I).

وهو:

$$t = \tau \text{ Loge} \left[\frac{1}{1 - (I_R/I)^2} \right]$$

إن مصدر تجهيز المحرك يمكن أن يحتوي على مركبات تتابع السالب والموجب، وكلتاها ترفع من درجة حرارة المحرك لذلك فالقانون الحراري يجب أن يأخذها بنظر الاعتبار. وعليه يكون التيار المكافئ I_{eq} كما يلي:

$$I_{eq} = \sqrt{I_1^2 + K I_2^2}$$

حيث أن:

I_1 : تيار التتابع الموجب.

I_2 : تيار التتابع السالب.

K : نسبة مقاومة التتابع السالب للدوار إلى مقاومة التتابع الموجب. عند

السرعة المقننة فإن قيمة K تساوي 3.0.

يمتلك المحرك ثابت زمني للتبريد هو τ_r ، لذلك فالقانون الحراري

النهائي هو:

$$t = \tau \text{Loge}(K^2 - A^2) / (K^2 - 1) \quad \dots (11-1)$$

حيث أن:

K : هي نسبة التيار المكافئ إلى التيار الحراري المنظم.

$$K = I_{eq} / I_{th}$$

A^2 : حالة المحرك الابتدائية (بارد أم ساخن).

إن بعض المرحلات تستخدم الخصائص الثنائية الميل لمنحني ثابت التسخين، عليه يجب توفر قيمتين للثابت الزمني. إن ذلك يجعل الحصول على الإفلات بصورة أفضل خلال بدء التشغيل للمحركات التي تستعمل بادئ التشغيل من نوع (Δ-λ).

خلال عملية البدء فإن ملفات المحرك تحمل تيار الحمل التام للخط بينما في حالة الحركة فإن الملفات تحمل فقط 57% من التيار المار عبر المرحلة. أما عند فصل المحرك من المصدر فإن ثابت التسخين الحراري (τ) يساوي ثابت التربيع الزمني τ_r .

4-11 حماية البدء والتوقف Start-Stall Protection

عند بدء المحرك فإنه يسحب تياراً يتجاوز بكثير تيار الحمل التام لحين وصوله إلى السرعة المقننة. بينما يعمل تيار البدء قليلاً عند زيادة السرعة لذلك فإنه من الطبيعي في تطبيقات الحماية فرض ثبوت تيار البدء خلال

فترة البدء. إن تيار البدء سوف يتغير اعتماداً على تصميم المحرك وطريقة البدء، فللمحركات ذات البدء المباشر (DOL) Direct on Line يكون تيار البدء الاسمي (من 4 إلى 8) مرات بقدر تيار الحمل التام، أما عند استخدام طريقة بدء $(\lambda-\Delta)$ فإن تيار الخط يساوي $1/\sqrt{3}$ من التيار المسحوب بطريقة (DOL).

عند تحميل المحرك بحمل عالي جداً يؤدي ذلك إلى توقفه أي فشل عملية البدء وعليه فإن المحرك سوف يسحب تياراً مساوياً إلى تيار الدوار المقفل Locked Rotor Current لذلك يكون غير قادراً على التمييز بين التوقف بسبب الحمل العالي وبين عملية البدء الصحيحة.

إن الحماية تكون سهلة للمحركات ذات زمن بدء أقل من زمن التوقف الآمين Safe Stall Time، أما عندما يكون على المحرك أحمال ذات عزم عالي فإن زمن التوقف قد يكون أقل من زمن البدء. في هذه الحالة يتوجب توفر وسائل إضافية للتمييز بين الحالتين لإنجاز الحماية. إن المحرك قد يفشل في تعجيل سرعته من السكون للأسباب التالية:

1- فقدان أحد أطوار المصدر.

2- مشاكل ميكانيكية.

3- قلة فولتية المصدر.

4- عزم حمل عالي جداً (مفرط).

عند هذه الحالات فإن المحرك سوف يسحب تيار عالي من المصدر، مولداً درجات حرارة عالية جداً في المحرك، وما يزيد من سوء هذه الحالة هو أن المحرك ساكن لذلك فإن التبريد الناتج بسبب الدوران يكون غير موجود وتدمير الملفات يحدث بسرعة كبيرة للجزء الساكن أو الجزء الدوار اعتماداً على المحددات الحرارية Thermal Limitations الخاصة بكل جزء والمعتمدة على التصميم.

إن طريقة الحماية تختلف اعتماداً على كون زمن البدء أقل أو أكثر من زمن التوقف الآمين. في كلتا الحالتين فإن عملية البدء يمكن تحسّسها عن

طريق ملازمات التوصيل Contactor أو قاطع الدورة، كلتا الحالتين تحدثان في جزء صغير من زمن البدء.

1-4-11 زمن البدء أقل من زمن التوقف الآمين

تتم الحماية بواسطة استخدام خصائص مرحلة DTOC، حيث أن تيار التنظيم (I_{set}) يجب أن يكون أكبر من تيار الحمل التام (I_{FL}) ولكن أقل من تيار البدء (I_{sts}).

$$I_{FL} < I_{set} < I_{st}$$

أما زمن التنظيم فيكون

$$t_{st} < t_{set} < t_{sts}$$

حيث أن:

t_{sts} : زمن التوقف الآمين.

11-4-2 زمن البدء أكبر من أو يساوي زمن التوقف الآمين

في مثل هذه الحالة تصبح خصائص مرحلة DTOC غير ملائمة لكون زمن التأخير أكبر من أعظم زمن توقف آمين والذي يمكن للمحرك أن يتحملة. لذلك يجب إضافة عنصر إضافي وهو مفتاح تحسس السرعة Speed Sensing Switch.

إن من أسباب جعل عملية البدء ناجحة وأمينة هي:

- 1- يكون الزمن أكبر من زمن التوقف الآمين.
 - 2- وجود نقصان في التيار المسحوب خلال البدء.
 - 3- وجود تحسين في عملية التبريد.
- لو أن مفتاح تحسس السرعة لم يعمل فإن المرحلة سوف تستخدم زمن التوقف الآمين لإصدار إشارة الإفلات.

3-4-11 الحماية من حالة التوقف Stall Protection

عند توقف المحرك بسبب الحمل العالي أو عدم تمكنه من البدء بالدوران فإنه سوف يسحب تياراً عالياً من المصدر يكافئ تيار الدوار المقفل لذلك يجب تجنب تلف المحرك من خلال فصله بالسرعة الممكنة عند حدوث هذه الحالة. إن توقف المحرك يمكن تميزه عن طريق تيار المحرك، فإذا تجاوز تيار البدء كان ذلك دليلاً على حالة التوقف بسبب الحمل المفرط، فإذا ما استمر زمن هذه الحالة وتجاوز زمن تنظيم التوقف تصدر إشارة الإقلاط من مرحلة التيار المفرط.

4-4-11 محددات حالات البدء Starts Limitation

يقيد كل محرك بعدد من محاولات البدء ضمن فترة زمنية محددة، عند هذه المحاولات ترتفع درجة حرارة المحرك، إن عملية البدء يجب أن تتوقف إذا تجاوز عدد المحاولات الحد المسموح به، وأن الحالة تصبح أكثر تعقيداً عند الأخذ بنظر الاعتبار كون عدد محاولات البدء الساخنة أقل من عدد المحاولات الباردة. إن المرحلة يجب أن تحتفظ بعدد مستقل لحساب عدد مرات البدء الساخن والبارد بالاستفادة من القانون الحراري للمحرك.

5-11 الحماية من العطل الأرضي Earth Fault Protection

من المعروف أن عطل ملفات الجزء الساكن هي أكثر الأعطال شيوعاً، وتكون هذه الأعطال إما بين ملفات الأطوار أو عطل الطور إلى الأرضي، إن وجود هيكل معدني يحيط بالمحرك سوف يضمن سريان تيار العطل خلاله مهما كان نوع العطل، لذلك فإن وجود حماية من العطل الأرضي مهماً جداً، وهذه الحماية تكون معتمدة كلياً على منظومة التأسيس التي تكون على عدة أنواع منها:

1-5-11 التأسيس الصلب (المباشر) Solid Earthing

إن معظم محركات الفولتية المنخفضة يكون تأريضها مباشراً، تربط مرحلة العطل الأرضي التقليدية بالمحرك عن طريق محولات التيار شكل ((1-11)). إن المرحلة يجب أن لا تعمل عند بدء المحرك، لأن تيارات البدء العالية سوف تقوم بإشباع محولات التيار وعليه تستخدم مقاومة تربط على التوالي مع المرحلة تسمى بمقاومة الاستقرار وتحسب كما يلي:

$$R_{stab} = \frac{I_{st}}{I_o} (R_{CT} + K_{RL} + R_r) \quad \dots (11-1)$$

حيث أن:

I_{st} : تيار البدء منسوب إلى ثانوي محولة التيار (A).

I_o : تيار تنظيم المرحلة للعطل الأرضي (A).

R_{stab} : مقاومة الاستقرار (أوم).

R_{CT} : مقاومة ثانوي محولة التيار (أوم).

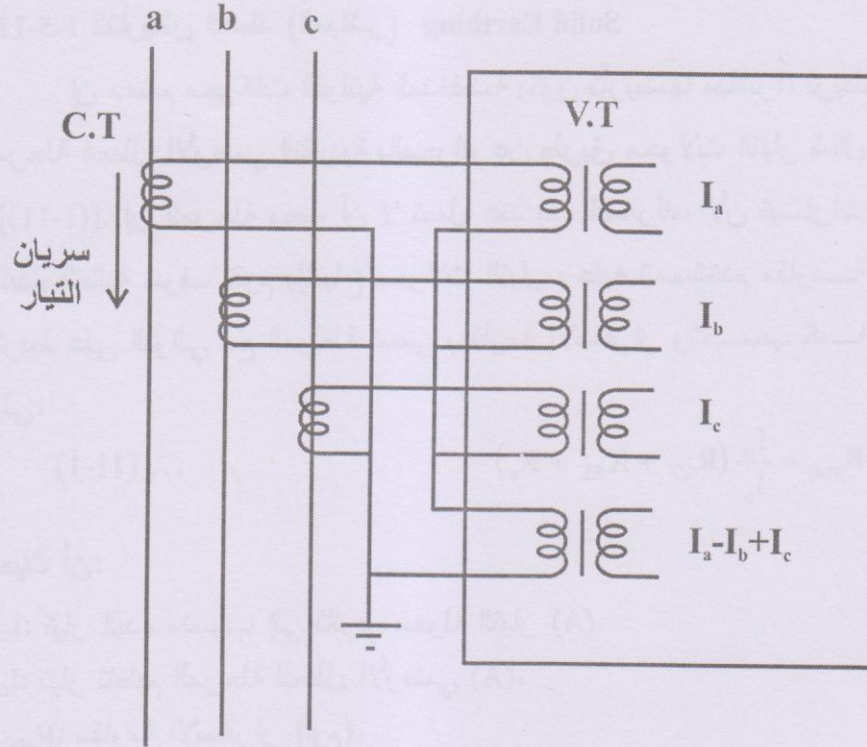
R_L : مقاومة أسلاك محولة التيار (أوم).

K : معامل الربط لمحولة التيار CT Connection Factor.

$K = 1$: عند الربط النجمي لمحولة الفولتية من جانب محولة التيار.

$K = 2$: عند الربط النجمي لمحولة الفولتية من جانب المرحلة.

R_r : مقاومة الإدخال للمرحلة (أوم).

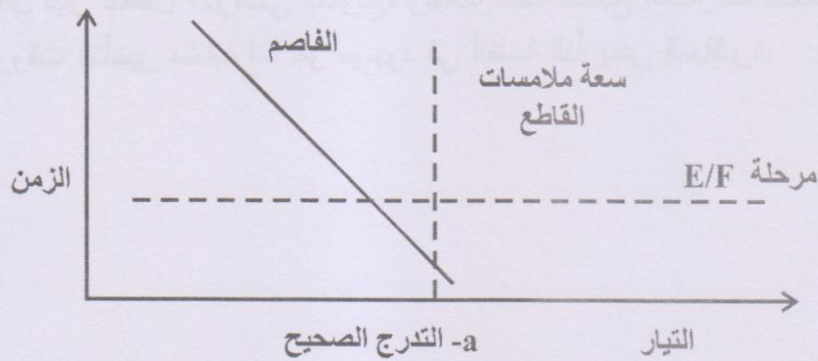
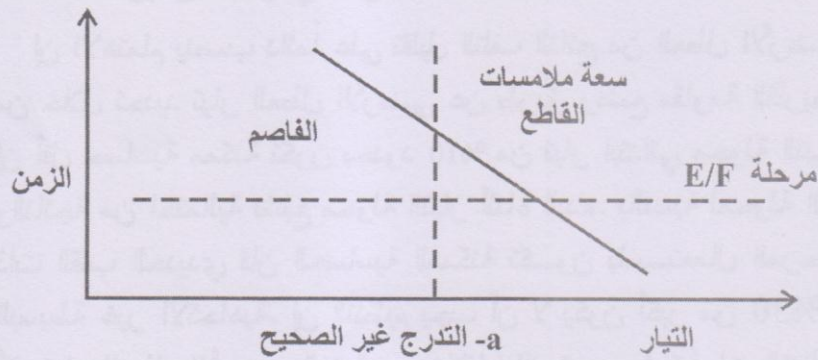


شكل (1-11): حماية العطل الأرضي

إن استخدام مقاومة الاستقرار هي لتأخير إصدار إشارة الإفلات التي تكون بالأساس لحظية، والطريقة الأخرى المستخدمة بدلاً من مقاومة الاستقرار هو استخدام خواص زمن التأخير المحدد للمرحلة، حيث أنه يمنح التشغيل غير الصحيح للمرحلة أثناء عملية البدء للمحرك.

تكون تغذية المحرك عن طريق ملامسات التوصيل Contactor والفاصم Fuse. إن ملامسات التوصيل ليست قادرة على فصل تيار العطل عند قيمة معينة والتي تكون عادة أقل من أعظم تيار عطل للمنظومة، والاعتماد في هذه الحالة يكون على الفاصم. عند إصدار إشارة الإفلات من المرحلة إلى ملامسات التوصيل الذي يجب أن يحدث بعد تأخير زمني

يساوي الزمن اللازم لعمل الفاصم. يوضح الشكل (2a-11) التدرج غير الصحيح بين المرحلة والفاصم، والشكل (2b-11) يبين التدرج الصحيح بينهما.



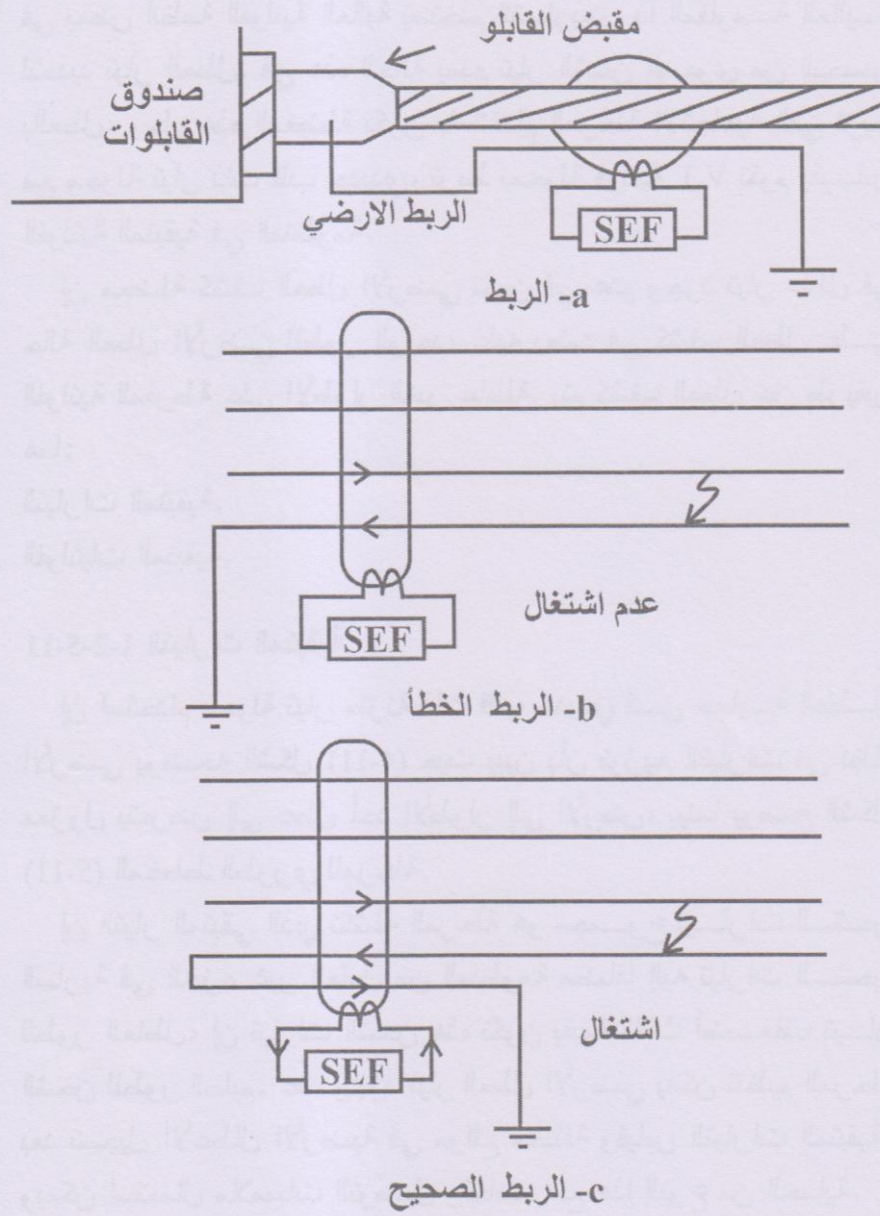
شكل (2-11): حالات التدرج بين المرحلة والفاصم

يكون تنظيم المرحلة أكثر حساسية عند استخدام محولة تيار متزنة ذات قلب حديدي Core Balance، وهي من النوع الحلقي Ring Type التي يمر خلالها جميع الأطوار القادمة من المصدر والداخلية إلى المحرك بالإضافة إلى المحايد في الأنظمة رباعية الأسلاك، في هذه الحالة تصبح نسبة اللفات لا علاقة لها بالتيار الطبيعي للخط لذلك يمكن اختيار نسبة لفات تجعل تيار الالتقاط بصورة أفضل. وللتقليل من تيار المغنطة يمكن استخدام محولة تيار أحادية بدلاً من الثلاثية وهذا ما يحسن عملية التنظيم.

يبين الشكل (3-11) محولة متزنة ذات قلب حديدي متضمن ربط السلك لضمان العمل الصحيح في حالة العطل الأرضي.

2-5-11 التأسيس المقاومي Resistance Earthing

إن الاهتمام ينصب دائماً على تقليل التلف الناتج من العطل الأرضي من خلال تحديد تيار العطل الأرضي عن طريق وضع مقاومة التأسيس. إن أقل حساسية ممكنة تكون بحدود 10% من تيار ابتدائي محولة التيار والناتجة من احتمالية تشبع محولة التيار أثناء البدء. بالنسبة لمحولة التيار ذات القلب الحديدي فإن الحساسية الممكنة تكون باستعمال المرحلة البسيطة غير الاتجاهية. إن التنظيم يجب أن لا يكون أكبر من 30% من أقل تيار للعطل الأرضي المتوقع، وخلافاً لذلك تصبح اعتبارات التنظيم ووقت التأخير مشابه لما هو موجود في أنظمة التأسيس المباشرة.



شكل (3-11): توازن قلب محوطة التيار

في بعض أنظمة الفولتية العالية يستخدم التأسيس ذا المقاومة العالية لتحديد تيار العطل. في هذه الحالة يمنع تيار الشحن السعوي من التحسس بالعطل، وحل هذه المعضلة يكون باستخدام المرحلة الاتجاهية التي تربط مع محولة تيار ذات قلب حديدي، تربط بمحولة فولتية V.T تقوم بقياس الفولتية المتبقية في المنظومة.

إن معضلة كشف العطل الأرضي تكمن في عدم وجود تيار عطل في حالة العطل الأرضي للطور الواحد، عليه يعتمد في كشف العطل على الفولتية المفرطة على الأطوار الغير عاطلة. يتم كشف العطل عن طريقين هما:

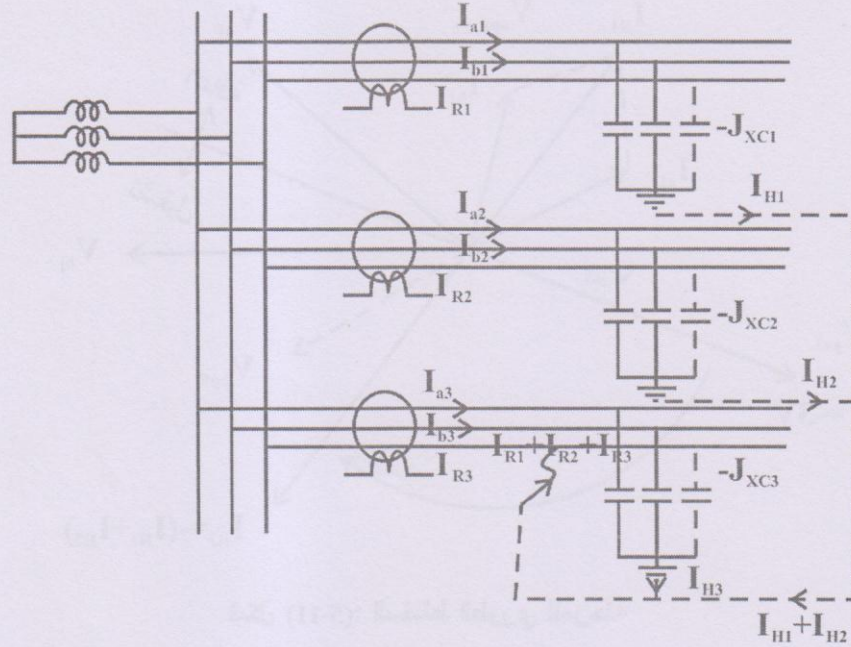
التيارات المتبقية.

الفولتيات المتبقية.

11-5-2 التيارات المتبقية

إن استخدام محولة تيار مترنة ذات قلب حديدي في حماية العطل الأرضي يوضحه الشكل (11-4) حيث يبين بأن توزيع التيارات في نظام معزول يتعرض إلى عطل أحد الأطوار إلى الأرض، بينما يوضح الشكل (11-5) المخطط الطوري للمرحلة.

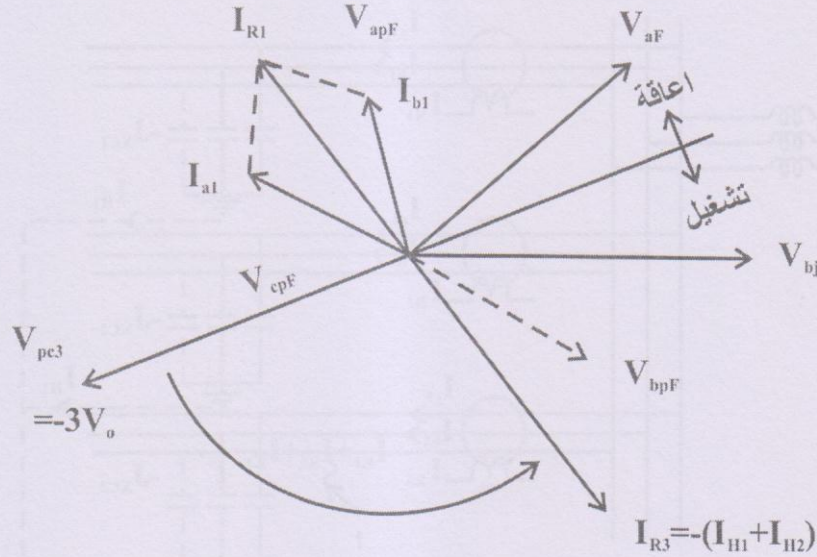
إن التيار المتبقي الذي تكشفه المرحلة هو مجموع تيارات الشحن السارية في الجزء غير العامل من المنظومة مضافاً إليه تيارات الشحن للطور العاطل، إن تيارات الشحن هذه تكون بقيمة ثلاث أضعاف تيار الشحن للطور السليم. عند وجود تيار العطل الأرضي يمكن تنظيم المرحلة بعد تسجيل الأعطال الأرضية في مواقع مختلفة وقياس التيارات المتبقية. ويمكن استعمال ملامسات التوصيل والفاصم مع هذا النوع من الحماية.



شكل (4-11): توزيع التيار في منظومة الأرضي المعزولة عند العطل الأرضي

2-2-5-11 الفولتيات المتبقية

عند حدوث عطل الطور إلى الأرضي تحدث زيادة في الفولتية بين محايد المنظومة والأرضي والتي يمكن كشفها بواسطة مرحلة تعمل على قياس الفولتية المتبقية في المنظومة والتي تكون بقيمة صفر للمنظومة السليمة والمتوازنة تماماً. فتنفي الحاجة هنا إلى استخدام محولة التيار لأن استعمالها يكون متعزراً بسبب وجود محددات فيزيائية واقتصادية. إن المرحلة عادة تمتلك عنصر للتحديد وآخر لإصدار إشارة الإفلات وبتنظيم معين وكلاهما يمتلك زمن تأخير قابل للتغيير والمعايرة. يجب إجراء عملية تدرج للمرحلة بعناية، وتشمل تقديم تحذير كمرحلة أولى وتنظيم دقيق لإصدار إشارة الإفلات في وقت محدد كمرحلة ثانية وهي تعتبر حماية سائدة.



شكل (5-11): المخطط الطوري للمرحلة

3-5-11 التأسيس باستخدام ملف بترسون Earthing by Peterson Coil

في أنظمة القدرة ذات الفولتية العالية يكون التأسيس باستعمال مفاعل Reactor يساوي متسعة التوازي للمنظومة يعرف بملف بترسون أو ملف الرنين. في هذا النوع من التأسيس فانه عند حدوث العطل الأرضي ينتج تيار عطل أرضي مساوياً للصفر وذلك عند التوازن التام بين محاثية التأسيس ومتسعة التوازي للمنظومة. وبذلك يمكن للمنظومة أن تعمل لمدة قصيرة من الوقت لحين تحديد العطل وتصليحه.

6-11 الحماية من طور المتابع السالب

Negative Sequence Phase Protection

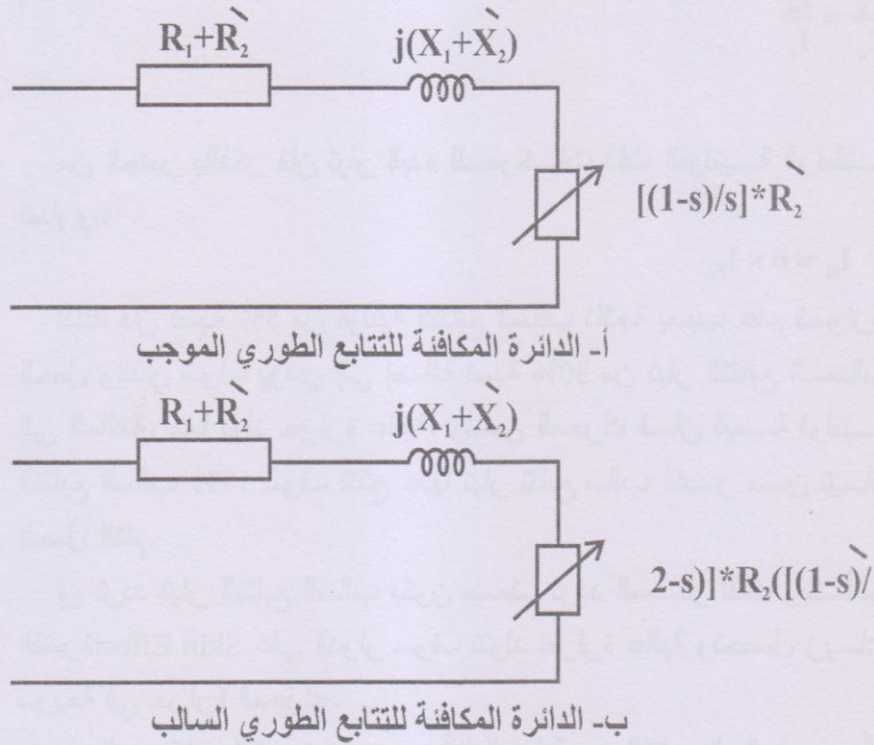
تنتج تيارات المتابع السالب من أية حالة من حالات عدم توازن فولتية المصدر، أو عدم توازن الحمل عند فقدان أحد الأطوار. إن القيمة الحقيقية لتيار المتابع السالب تعتمد على درجة عدم التوازن في فولتية المصدر

ونسبة ممانعة التتابع السالب للماكنة إلى ممانعة التتابع الموجب (Z_n/Z_p).
 إن درجة عدم التوازن تعتمد على العديد من العوامل ولكن ممانعة التتابع السالب هي الأكثر سهولة من حيث تحديدها. من الدائرة المكافئة للمحرك الحثي وبإهمال ممانعة التمعنط فانه: شكل (6-11).
 ممانعة التتابع الموجب عند الانزلاق S تساوي:

$$Z_p = \sqrt{(R_{1p} + R_{2p}''/2 - S)^2 + [X_{1p} + X_{2p}']^2}$$

عند حالة السكون $S = 1$

$$Z_p = \sqrt{[R_{1p} + R_{2p}']^2 + [X_{1p} + X_{2p}']^2}$$



شكل (6-11): الدائرة المكافئة للمحرك الحثي

أما ممانعة التتابع السالب عند الانزلاق S فهي:

$$Z_n = \sqrt{[R_{1n} + R'_{2n}/S]^2 + [X_{1n} + X'_{2n}]^2}$$

عند السرعة الاعتيادية

$$Z_n = \sqrt{[R_{1n} + R'_{2n}/2]^2 + [X_{1n} + X_{2n}]^2}$$

عند إهمال المقاومة لأنها قليلة مقارنة مع المحاثية فيمكن ملاحظة أن محاثية التتابع السالب عند حالة الدوران تساوي محاثية التتابع الموجب عند السكون.

$$L_p = L_n$$

$$\frac{Z_p}{Z_n} = \frac{I_{st}}{I_r}$$

من الجدير بالذكر فإن تيار البدء للمحركات ذات الفولتية الواطئة تساوي:

$$I_{st} = 6 \times I_{FL}$$

لذلك فإن نسبة 5% من فولتية التتابع السالب ناتجة بسبب عدم توازن الحمل والذي سوف يؤدي إلى إضافة نسبة 30% من تيار التتابع السالب إلى الماكنة، مما يولد حرارة عالية، ولنفس المحرك فإن قيمة فولتية التتابع السالب 17% سوف تنتج عنها تيار تتابع سالب أكبر من تيار الحمل التام.

إن تردد تيار التتابع السالب يكون ضعف تردد المصدر لذلك وبتأثير القشرة Skin Effect على الدوار سوف تتولد حرارة عالية وتحصل زيادة سريعة في حرارة المحرك.

في المحركات الكبيرة تصبح مسألة الحماية من التتابع السالب مسألة ضرورية جداً.

إن المرحلات الحديثة تمتلك القدرة على قياس مقدار تيار التتابع السالب، حيث تقوم هذه المرحلات بإزالة مصدر تيار التتابع السالب بسرعة عالية تجنباً لتعرض المحرك إلى مخاطر الحرارة المفرطة، وهذا يعني أن خصائص إشارة الإفلات تكون باستخدام عنصرين الأول هو عنصر التأخير ذو الزمن المحدد DTOC لإصدار إشارة التحذير والثاني عنصر IDMT لإصدار إشارة الإفلات في حالة ازدياد تيار التتابع السالب. إن التنظيم المثالي يكون 20% من التيار الاعتيادي لابتدائي محولة التيار بالنسبة لعنصر DTOC ويكون 50% لعنصر IDMT.

إن زمن تأخير عنصر IDMT يجب اختياره لحماية المحرك بحيث يعمل متوافقاً مع تنظيم المرحلات الأخرى الخاصة بالتتابع السالب والمربوطة بالمنظومة.

7-11 أعطال الجزء الدوار Rotor Faults

بالنسبة للمكائن ذات الدوار الملفوف Wound Rotor فإنه يمكن توفير الحماية من الأعطال التي تحدث في ملفات الدوار وذلك من خلال استخدام مرحلة التيار المفرط اللحظية على الجزء الساكن. من المألوف تحديد تيار البدء كحد أعلى بقيمة ضعف تيار الحمل التام لذلك يمكن تنظيم الحماية اللحظية بقيمة ثلاث أضعاف تيار الحمل إذا كان زمن التأخير قليلاً. ومن الجدير بالذكر أن الأعطال في الجزء الدوار لا يمكن كشفها باستخدام الحماية التفاضلية في جهة الساكن.

8-11 الحماية من الفولتية المنخفضة

Under Voltage Protection

إن المحرك من الممكن أن يتوقف عند تعرضه إلى فولتية منخفضة ولفترة طويلة. إن حالات الفولتية المنخفضة العابرة قد تسمح للمحرك باستعادة دورانه عند استعادة الفولتية ما لم يكن مصدر الفولتية ضعيف. إن المحرك الذي يتغذى عن طريق ملف التوصيل Contactor، يمتلك حماية ضمنية من الفولتية المنخفضة. حيث يستعمل في هذا الصدد عنصر الحماية من الفولتية المنخفضة ذو الوقت المحدد والذي يكون له إصداران أحدهما لإشارة التنبيه والآخر سوف يكون لإصدار إشارة الإفلات. يجب أن يكون هنالك توافق بين الملفات وبادئ الحركة لكي يبطل عمل المرحلة عندما يكون بادئ الحركة مفتوحاً وإلا فإن البدء لن يتم. إن قيم التنظيم لوقت التأخير والفولتية سوف يكونان منظمين ومتوافقين، حيث تسمح قيم التنظيم هذه بحدوث هبوط في الفولتية خلال الأعطال العابرة المألوفة الحدوث وعمليات البدء ... الخ وذلك لتجنب إصدار إشارة الإفلات الغير صحيحة. بما أنه عند بدء المحرك تهبط الفولتية حيث تصل إلى 80 من الفولتية الاسمية لذلك فإن تنظيم الفولتية يجب أن يكون أقل من هذه القيمة. إن إعادة بدء الحركة تعتبر ممكنة لعمليات هبوط الفولتية التي تستمر من (0.5-2) Sec اعتماداً على النظام نفسه وعلى خصائص السوق للمحرك، ولذلك فإن وقت التأخير يجب أن يأخذ بالاعتبار هذه العوامل.

9-11 الحماية من فقدان الحمل Loss of Load Protection

إن الحماية من فقدان الحمل لها عدة وظائف منها مثلاً حماية المضخة عند كونها غير محملة أي غير مملوءة بالسائل أو لإيقاف المحرك عند حدوث عطل في عمليات النقل الميكانيكي كما في الرافعات أو المصاعد الكهربائية. ويمكن أيضاً تطبيق هذه الحماية من فقدان مصدر القدرة في

المحركات التزامنية. إن توظيف عمل الحماية أعلاه يتم بواسطة مرحلة ذات القدرة الأمامية Forward Power Relay والتي تكون متوافقة مع بادئ الحركة وذلك لكي يوقف العمل بعد فصل المحرك وبذلك تمنع عملية بدء الحركة للمحرك.

عندما تواجه عملية البدء حملاً خفيفاً جداً (مثل الضاغطات) فإن وظيفة الحماية يجب أن تتوقف عن العمل أو يتم إبطال عملها خلال عملية البدء وذلك لمنع العمل الغير صحيح. إن عملية التنظيم تعتمد على وظيفة المرحلة. إن زمن التأخير قد يكون مطلوباً لكي يمنع العمل أثناء الحالات الاعتيادية العابرة. إن هذا يعتبر مهماً بصورة خاصة في حماية فقدان مصدر الفولتية في المحركات التزامنية.

10-11 الحماية من فقدان التزامني Out of Step Protection

تختص هذه الحماية بالمحركات التزامنية، إن المحرك التزامني يبدأ بالتباطؤ وفقدان التزامن إذا كان الحمل الميكانيكي أكبر من الحد الأعلى للعزم الذي يمكن أن يوفره للمحرك. والحالة الأخرى التي تؤدي إلى ذلك هي هبوط الفولتية المسطرة على الجزء الساكن من المحرك أو هبوط الفولتية على ملفات الإثارة. بعض من هذه الحالات أي حالات هبوط الفولتية قد لا تحتاج إلى وقت طويل لكي تؤدي بالمحرك إلى التوقف فان وقتاً بحدود عدة ثوانٍ قد يؤدي إلى توقف المحرك. إن خروج المحرك عن التزامن يؤدي بالمحرك إلى سحب تيار عالي جداً وتوليد عزم نبضي. إن المحرك قد لا يعود إلى التزامن ولكن بالنتيجة سوف يتوقف ولذلك يجب فصله عن المصدر.

إن التيار المسحوب من قبل المحرك في حالة خروجه عن التزامن يمتلك عامل قدرة واطئ لذلك فان عنصر المرحلة التي تستجيب إلى عامل قدرة واطئ يمكن أن تستعمل هنا لتوفير الحماية. إن هذه المرحلة يجب إبطال عملها عن حالة البدء حيث يكون أيضاً عامل القدرة واطئ.

يمكن تحقيق ذلك عن طريق ...مال زمن تأخير محدد. بحيث يكون التنظيم بزمناً أكبر قليلاً من زمن البدء. إن تنظيم عامل القدرة يعتمد على عامل القدرة المقنن للمحرك والذي يكون بحدود 0.1 أقل من عامل القدرة المقنن للمحرك. مثلاً إذا كان عامل القدرة المقنن للمحرك 0.85 فإن التنظيم سوف يكون 0.75.

11-11 الحماية من استعادة المصدر الفجائية

Protection Against Sudden Restoration of Supply

إذا فصل المحرك التزامني من المصدر فإنه من الضروري بأن يفتح قاطع الدورة بالسرعة الممكنة إذا كان هنالك أي احتمالية من استعادة المصدر بصورة تلقائية، وذلك لمنع استعادة المصدر بطور يختلف عن طور الفولتية المتولدة في المحرك. هنالك طريقتان شائعتان لكشف هذه الحالة ومن أجل تغطية جميع حالات عمل المحرك.

1-11-11 الحماية من التردد المنخفض Under Frequency Protection

تعمل مرحلة التردد المنخفض عند فشل المصدر للمحرك المحمل، حيث يؤدي ذلك إلى تباطؤ المحرك بسرعة، عليه يتطلب وجود عنصري حماية إحداهما لإصدار إشارة التنبيه والآخر لإصدار إشارة الإفلات. يجب تنظيم قيمة التردد الواطئ للمرحلة بحيث تأخذ بالاعتبار مميزات منظومة القدرة. في بعض منظومات القدرة فإن فترات طويلة من العمل بتردد أقل من التردد الاعتيادي قد تكون مألوفة الحدوث ويجب عندها عدم إصدار إشارة الإفلات للمحرك وبذلك يجب تحديد أقل تردد أمين يعمل عنده المحرك عند حالة الحمل المنخفض وهو بالطبع يمثل تردد منظومة القدرة.

2-11-11 الحماية من القدرة الواطئة الأمامية

Law Forward Power Protection

يمكن تطبيق هذه الحماية مترافقة مع زمن تأخير لكي تكتشف حالة فقدان المصدر وذلك عندما يشترك المحرك مع أحمالاً أخرى بالتغذية من نفس القضيبي العمومي.

إن المحرك قد يقوم بتغذية الأحمال الأخرى بالقدرة وذلك من الطاقة الكامنة المخزونة الناتجة من الدوران. إن مرحلة القدرة الواطئة الأمامية يمكنها كشف هذه الحالة والتي تتطلب زمن تأخير وذلك لمنع عمل المرحلة خلال الحالات العابرة التي تنتج عند سريان القدرة بالاتجاه المعاكس.

12-11 أمثلة في حماية المحركات

1-12-11 أمثلة في حماية محركات الفولتية العالية

يوضح الجدول (1-11) العناصر المناسبة لمحرك الفولتية العالي موضحاً كذلك قيم التنظيم المهمة لمرحلة حماية المحرك.

جدول 1-12-11: عناصر المحرك

القيمة	العنصر
1000 KW	الخرج المقنن
3.3 KV	الفولتية المقننة
50 Hz	التردد المقنن
0.9	عامل القدرة المقنن
92%	الكفاءة
7/20	زمن التحمل البارد / الحار
550% DOL	تيار البدء
2/3	سماحية البدء البارد / الحار
250/1	نسبة محولة التيار
4 sec.	زمن البدء عند 100% فولتية
25/75 Min.	ثابت الزمن البارد / الحار
مباشر	نظام التأريض
قاطع الدورة	جهاز السيطرة

1-1-12-11 الحماية من الحرارة

إن تنظيم التيار يثبت بقيمة تيار الحمل التام للمحرك والذي يمكن حسابه:

$$P_{in} = \frac{1000}{0.92} = 1087 \text{ KW}$$

$$I_{in} = \frac{1087}{\sqrt{3} \times 3.3 \times 0.9} = 211 \text{ A}$$

لذلك يكون تيار ثانوي محولة التيار

$$I_{th} = \frac{211}{250} = 0.844 \text{ A}$$

تستعمل 0.85 كأقرب قيمة للتنظيم
تمتلك المرحلة العامل K الذي يؤخذ بالاعتبار تأثير زيادة درجة
الحرارة بسبب تيارات التتابع السالب.
وتؤخذ عادة بقيمة 3.

إن ثوابت التسخين الحرارية هي τ_1, τ_2 .
حيث تستخدم τ_2 لطرق بدء المحرك الأخرى عدا طريقة DOL، وما
عدا ذلك فإن $\tau_1 = \tau_2$.
إن τ_1 ينظم بقيمة ثابت زمن التسخين وهو 25 Min.
أما ثابت زمن التبريد τ_r فينظم بحيث يكون ثلاثة أضعاف ثابت
التسخين وهي 75 Min.
 $\tau_r = 3\tau_1$

2-1-12-11 الحماية من تيار القصر

بما أن تيار البدء يساوي 550% من تيار الحمل التام لذلك فإن تنظيم
تيار دائرة القصر يكون:

$$I_{s.c} = 1.25 \times 5.5 \times 211 = 1450 \text{ A}$$

وعليه تكون قيمة التنظيم بدلالة التيار الاسمي للمرحلة كما يلي:

$$= \frac{1450}{250} = 5.8 I_n$$

حيث أن زمن التأخير 100 msec كأقل قيمة للتيارات إلى حدود
120% من القيمة المثبتة وذلك للسماح بالحالات العابرة بالمرور في حالة
تشبع المحولة عند البدء. وبقيمة 40 msec عند تيارات الحمل.

3-1-12-11 الحماية من العطل الأرضي

إن تنظيم العطل الأرضي يثبت بقيمة 0.3 إلى 30% من التيار المقنن وهذا ما يجعل تنظيم مرحلة التيار للعطل الأرضي كما يلي:

$$0.3 \times 211/250 = 0.25 I_n$$

إن قيمة المقاومة المستقرة تحسب وفقاً للمعادلة (1-11) وذلك لتجنب سوء الأداء الناتج من التيارات التدفقية لمحولة التيار عند البدء حيث عندها تنشعب CT وعند معرفة المقاومة المستقرة فإن إصدار إشارة الإفلات بصورة آنية يصبح ممكناً.

والطريقة الأخرى هي بحذف المقاومة المستقرة واستعمال زمن تأخير محدداً خاص بتيار العطل الأرضي. هذا الزمن يحدد عن طريق التجربة والمحاولة.

4-1-12-11 قفل الدوار أو حماية تجاوز زمن البدء

إن عنصر التيار يجب أن ينظم بقيمة أكبر من التيار المقنن للمحرك ولكن أقل من تيار البدء وذلك لكي يتم تميز حالة البدء وهذا يمكن تحقيقه من خلال استخدام ملاسمات مساعدة بين قاطع الدورة والمرحلة. إن التنظيم يكون بقيمة.

$$500 \times 2 \times I_n$$

إن زمن التأخير المتعلق بهذا يجب أن يثبت بقيمة أكبر من زمن البدء ولكن أقل من زمن التوقف البارد (15 sec.).

5-1-12-11 الحماية من التوقف

يمكن استخدام تنظيم للتيار بقيمة مساوية إلى قيمة تيار الدوار المقفل والتي هي 500 A للمثال أعلاه. إن زمن التأخير يجب أن يكون أقل من زمن التوقف الساخن (7 sec.) ولكن أكبر من زمن البدء بقيمة كافية وذلك لتجنب الإصدار الخاطئ لإشارة الإفلات.

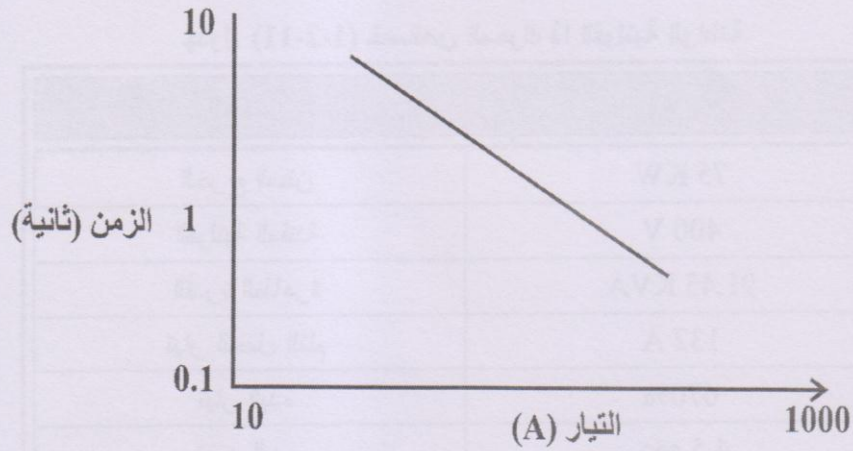
6-1-12-11 حماية تتابع الطور السالب

يتم تجهيز عنصرين للحماية.

الأول يمثل عنصر زمن التأخير ذو الوقت المحدد (DTOC) لإصدار إشارة التنبيه والثاني يمثل عنصر (IDMT) لإصدار إشارة الإفلات عند المستويات العالية من تيارات التتابع السالب مثل تلك التي تحدث عند فقدان أحد الأطوار عند البدء.

طبقاً للفقرة (6-11) يستخدم تنظيم 20% من وقت التأخير بقيمة 30 sec. وذلك لعنصر (DTOC) ويستخدم تنظيم 50% مع مضاعف تنظيم الزمن TMS للقيمة 1.0 وذلك لعنصر (IDMT).

إن الخصائص الناتجة يوضحها الشكل (7-11). إن الحماية الحرارية للمحرك والتي تعتمد على مركبات التتابع السالب تستخدم لحماية المحرك في مستويات واطئة من تيارات التتابع السالب.



شكل (7-11): خصائص حماية طور التتابع السالب للمحرك في المثال

7-1-12-11 اعتبارات الحماية الأخرى

إذا كان بالإمكان تجهيز المرحلة بإشارة فولتية مناسبة، فإن حماية التوقف يمكن إبطالها أثناء معاودة تعجيل المحرك بعد هبوط الفولتية وذلك

باستعمال عنصر الفولتية المنخفضة (تنظيم بقيمة 80% من الفولتية مع استخدام وقت تأخير بحدود عدة ثوانٍ، اعتماداً على خصائص المنظومة). كما يمكن استخدام الحماية من الطور العكسي وذلك لتوفير حماية إضافية.

2-12-11 أمثلة في حماية المحركات واطئة الفولت

إن محركات الفولتية الواطئة، عادة تتغذى عن طريق عناصر ملفات التوصيل والفاصم Fused Contactors ولذلك فإن أوقات إصدار إشارة الإفلات لمرحلة الحماية من التيار المفرط يجب أن تتوافق بعناية مع الفاصم وذلك لضمان عدم اشتغال ملف التوصيل Contactor وقطع التيار عند زيادة التيار إلى قيمة أكبر من التيار المقنن. يوضح الجدول (2-11) عناصر المحرك ذا الفولتية الواطئة مع ملف التوصيل والفاصم.

جدول (2-11) خصائص المحرك ذا الفولتية الواطئة

القيمة	العنصر
75 KW	الخرج المقنن
400 V	الفولتية المقننة
91.45 KVA	القدرة الظاهرة
132 A	تيار الحمل التام
670%	تيار البدء
4.5 sec.	زمن البدء
300 A	ملف التوصيل المقنن
650 A	سعة الكبح لملف التوصيل
250 A	الفاصم المقنن

جدول (2-2-11) تنظيم المرحلة

العنصر	الرمز	القيمة	الوحدة
التيار المفرط	OC	-	-
تنظيم الحمل المفرط	I_b	4.4	A
زمن تأخير الحمل المفرط	$I_b > t$	15	Sec.
عدم التوازن	I_2	20	%
زمن تأخير عدم التوازن	$I_2 > t$	25	Sec
زمن تأخير الطور المفقود	$< I_p$	5	Sec

1-2-12-11 نسبة محولة التيار CT Ratio

إن المرحلة تنظم بدلالة كميات الثانوي وبذلك يجب حساب نسبة التحويل المناسب لمحولة التيار. ومن مميزات هذه المرحلة يكون مقنن ثانوي محولة التيار 5.0 A والتيار المقنن للمحرك 6.4 A عند تنسيبه إلى الثانوي لمحولة التيار وبذلك تكون هي القيمة المطلوبة.

2-2-12-11 حماية التيار المفرط (دائرة القصر)

إن عنصر الفاصم يوفر حماية للمحرك من التيار المفرط وذلك عندما لا يكون مسموحاً لمرحلة الحماية بإصدار إشارة الإفلات إلى عنصر ملف التوصيل عند التيار المفرط وذلك من حالة كون التيار الذي يراد قطعه أكبر من سعة القطع لعنصر ملف التوصيل. إن الفائدة التي تقدمها حماية التيار المفرط من خلال المرحلة تكون غير مجدية.

3-2-12-11 الحماية الحرارية (الحمل المفرط):

إن المعلومات المتوفرة من الكاتلوك Catalogue لا تتضمن ثابت زمن السخونة للمحرك، عليه في هذه الحالات يجب تنظيم الحماية الحرارية بحيث تقع مباشرة فوق تيار البدء.

إن تنظيم تيار المرحلة I_b يحدد بالمعادلة التالية:

$$I_b = 5 \times I_n / I_p$$

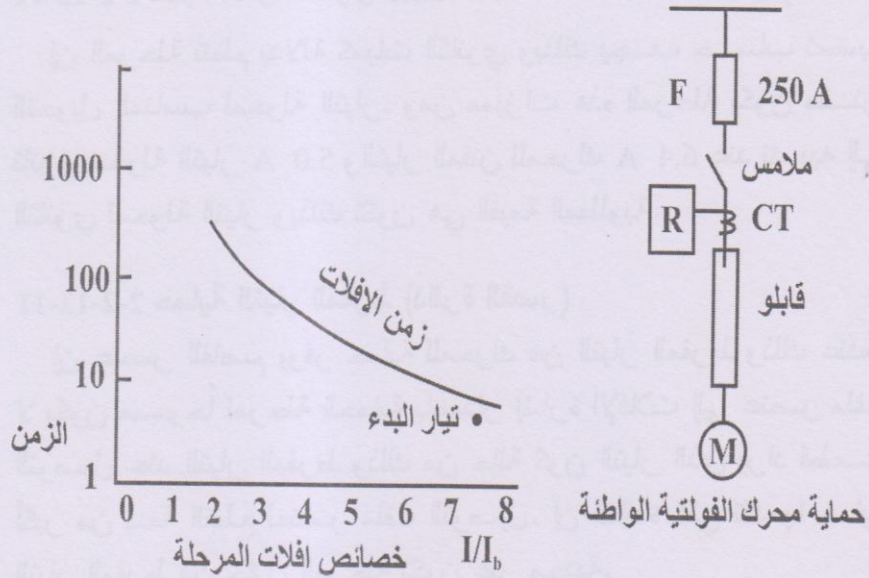
حيث أن:

I_n : التيار الابتدائي المقنن للمحرك.

I_p : التيار الابتدائي لمحولة التيار.

$$I_b = 5 \times 132 / 150 = 4.4 \text{ A}$$

عند الأخذ بالاعتبار قيمة تيار البدء للمحرك 670% من القيمة الاسمية عليه يكون تنظيم ثابت زمن التسخين للمرحلة في حالة اعتبار الحالة الحرارية الأولية 50% هو 15 sec وكما هو موضح في الشكل (8-11).



شكل (8-11): ربط معدات الحماية وخصائص الإفلات للمحرك ذي الفولتية

4-2-12-11 الحماية من التتابع السالب (حالة عدم الاتزان)

إن خصائص المحرك تتفق مع القياسات العالمية والتي تسمح بفولتية تتابع سالب (عدم التوازن) بقيمة 1% وذلك كحالة مستمرة، وهذا سوف يجعل تيار التتابع السالب في المحرك حوالي 7% (فقرة (6-11)) بسبب كون المرحلة مجهزة فقط بعنصر (DTC) وعليه فان تنظيم 20% يعتبر مناسباً مع أخذ زمن التأخير بقيمة 25 sec. وذلك للسماح بمرور الحالات العابرة من التتابع السالب العالية القيمة وذات الزمن القصير.

5-2-12-11 الحماية من فقدان أحد الأطوار

تمتلك المرحلة عنصر مستقل مسؤول عن الحماية من فقدان أحد الأطوار. إن فقدان أحد الأطوار يؤدي إلى ظهور تيارات تتابع سالب كبيرة القيمة وبذلك فان المطلوب يكون تنظيم زمن تأخير أقل والذي يكون بحدود 5 sec، إن قيم التنظيم للمرحلة يوضحها الجدول (2-2-11).

13-11 الأسئلة

- 1- ما هي أنواع الحماية للمحرك الحثي؟
- 2- تكلم عن حماية المحرك من الحمل المفرط.
- 3- ما هي أسباب فشل المحرك في تعجيل سرعته من السكون؟
- 4- ما هي أسباب جعل عملية بدء المحرك ناجحة؟
- 5- تكلم عن حماية المحرك من العطل الأرضي.
- 6- تكلم عن أعطال الجزء الدوار وبين كيفية الحماية.
- 7- كيف تتم حماية المحرك من فقدان الحمل وفقدان التوازن.

الفصل الثاني عشر

الحماية باستخدام السيطرة

المركزية للحاسوب

الفصل الثاني عشر

الحماية باستخدام السيطرة المركزية للحاسوب

Central Computer Control and Protection

1-12 المقدمة Introduction

استعملت الحاسبات الالكترونية في البداية في نظم القدرة الكهربائية لإجراء دراسة انسيابية الحمل (Load Flow) ودراسة دوائر القصر ودراسة الاستقرار والتنبؤ بالأحمال فضلاً عن استخدامها في الحماية السريعة ... الخ.

أما في الوقت الحاضر فقد استعملت في الترحيل عالي السرعة بالزمن الحقيقي والسيطرة على المحطات الفرعية ومراقبة المتغيرات ... الخ. إن تطور المكونات الأساسية الرخيصة التي تشمل المعالجات والدوائر التكاملية مكنت من إنجاز عدة مهام في مستويات التوزيع. كما انتشر استعمالها في الحماية ووظائف السيطرة.

إن الاتصالات السهلة والسريعة بين المعالجات والحواسيب الأخرى يوفر مدخلاً إلى البيانات في مستويات أخرى لأوامر ومواقع السيطرة، هذه المهام يتم نقلها الآن من الكيان المادي إلى برامج متطورة وبذلك يجعل تحويل الأنظمة وتوسيعها عن طريق تركيب البرامج. إلا أن إضافة وحدات جديدة مثل المحولات وخطوط النقل تتم ذاتياً عن طريق برامج الحاسبة بدون الحاجة إلى تدخل الإنسان.

الميزة الأساسية للتقنيات الرقمية هي قابليتها للمراقبة الذاتية المستمرة للدوائر المهمة والوظائف الأساسية لضمان عدم انقطاع مصادر الطاقة.

تتطلب الأجهزة الكهربائية اندماج مختلف الوظائف مع بعضها كالسيطرة والقياس والحماية والتشخيص. إن الاستخدامات العديدة للفولتية والتيار وعامل القدرة وإمكانية ربط البيانات من مختلف المصادر والمواقع لتحسين الاتصال، والعديد من الامكانيات الأخرى يساند هذا التطور الجديد. ومن جانب آخر على الجهاز أن يضمن وظائف حيوية تعمل بالزمن الحقيقي مثل الحماية التي لا تتأثر عكسياً عند ربطها بوظائف أخرى غير الحماية وذلك لضمان الحفاظ على دقة ووثوقية وانتقائية الحماية والزمن التشغيلي.

1-1-12 البنية الهيكلية Hierarchical Structure

نظراً لبعد المسافة بين محطات التوليد والأحمال والطلب غير المتوقع على الطاقة ومتطلبات الأمان وإدارة أنظمة القدرة الكبيرة فإنه يتطلب أن يكون هنالك تنظيم على هيئة تسلسل للمستويات النموذجية للبنية الهيكلية وكما يأتي:

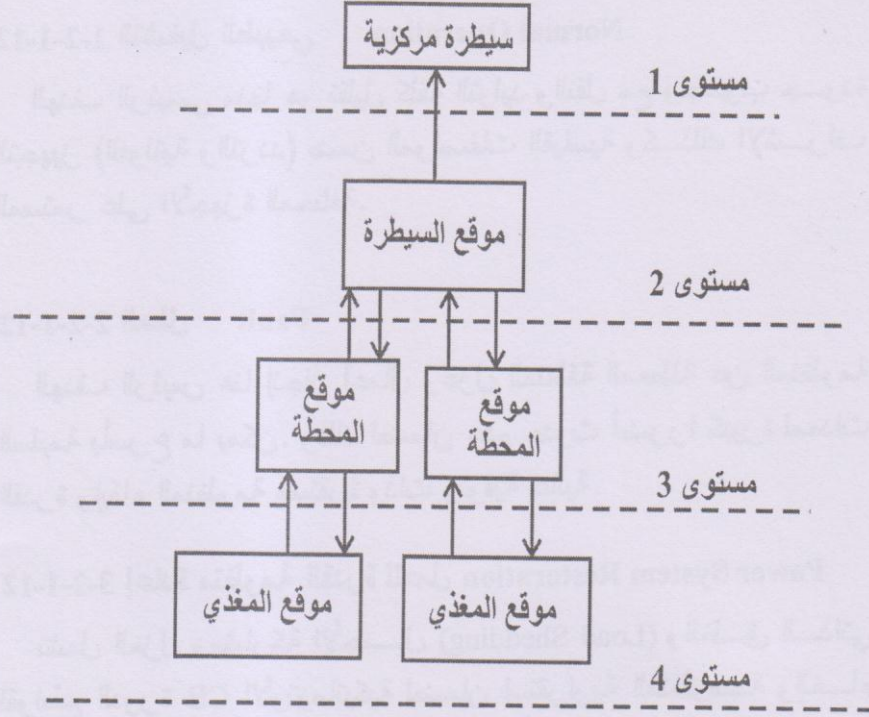
1- سيطرة نظام القدرة المركزية.

2- سيطرة نظام القدرة المحلية.

3- سيطرة المحطة الفرعية.

4- سيطرة المغذيات.

والهيئة المقترحة المبينة في الشكل (1-12) أطلق عليها بالتركيبة الهرمية، حيث يعتبر التنظيم الهرمي من المبادئ المناسبة للحماية والمراقبة والاتصال لكافة محطات التوزيع والنقل لأنها توفر حلاً لمرحلات الحماية أحادية الوظيفة أو لوحدة الحماية ذات التحكم عن بعد. كما أن هنالك مرونة كاملة لملائمة المتطلبات المتعددة للمستهلكين.



شكل (1-12): البنية الهيكلية للسيطرة على منظومة القدرة

بصرف النظر عن النظام فإن المهام الأساسية التي تتجزئ في مستويات سيطرة نظام القدرة سواء كانت مركزية أو محلية فهي كالآتي:

2-1-12 المسؤوليات ضمن مستويات السيطرة المختلفة

Responsibilities at Different Control Levels

إن الأعمال المنجزة عند كل مستوى سيطرة من التنظيم الهرمي بصورة عامة تقسم الأعمال إلى ثلاثة أجزاء هي: التشغيل الطبيعي وحدوث العطل وإعادة المنظومة للعمل.

1-2-1-12 التشغيل الطبيعي Normal Operation

الهدف الرئيسي منها هو تقليل كلفة التوليد والنقل مع وجوب جودة التجهيز (الفولتية والتردد) ضمن المواصفات القياسية وكذلك الإشراف المستمر على الأجهزة المختلفة.

2-2-1-12 العطل Fault

الهدف الرئيس هنا إنجاز أعمال وعزل المنطقة المعطلة عن المنظومة السليمة بأسرع ما يمكن. وذلك لضمان عدم حدوث أضرار كبيرة لمعدات القدرة وإبقاء المنظومة مستقرة وذات وثوقية عالية.

3-2-1-12 إعادة منظومة القدرة للعمل Power System Restoration

تشمل العزل ومشاركة الأحمال (Load Shedding) والغلق الذاتي لقواطع الدورة CB الأتوماتيكية لضمان استقرارية المنظومة وإلغاء الأعطال الشبه العابرة على خطوط الفولتيات المتوسطة.

3-1-12 تركيب الحاسوب في المحطات الثانوية

Computer Structure in Substations

إن معظم الأعمال المهمة التي يتطلب إنجازها سرعة في مستوى المغذيات التي تحتاج إلى معلومات موقعية (تيار، فولتية، حماية، قياس، تسجيل) وهذا ينطبق بصورة خاصة على حالة العطل والذي يضيف طلب إضافي على زمن التشغيل.

إن مستوى سيطرة المغذي تعمل على تنظيم أجهزة الحماية للمنظومة بالاعتماد على مستوى سيطرة المحطة، إذ أن التفكير والاستنتاج المنطقي يعني تركيب سيطرة تضع كافة الوظائف في معالج دقيق واحد أو أكثر وأن هذه الوظائف هي الحماية والسيطرة على المغذيات، والقياس والتشخيص.

إن وضع هذه الأعمال في معالج واحد أو أكثر يعتمد على فولتية المغذي وفلسفة التشغيل والحماية الابتدائية والسائدة ... الخ.

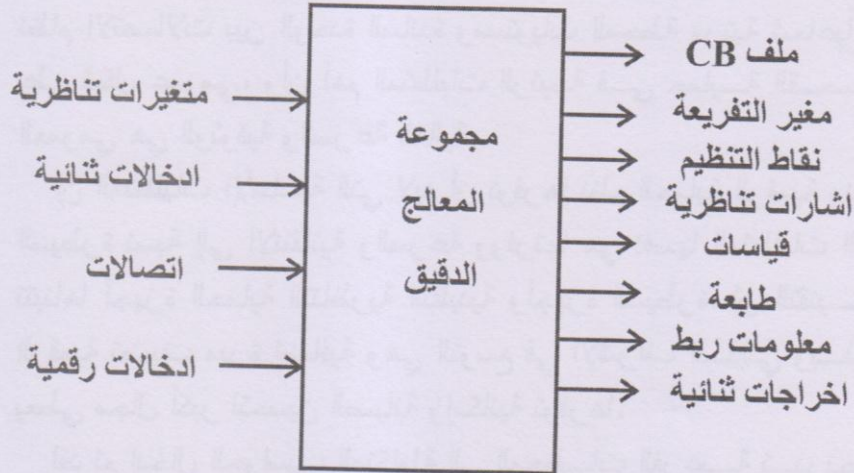
غالباً ما يحدث بأن قسم من وظائف لوحة المفاتيح يمكن إنجازها بالمعالجات الدقيقة وأخرى يمكن إنجازها بالأجهزة التناظرية التقليدية وهذا يتطلب موائمة مناسبة بين المعالج الدقيق والأجهزة التناظرية، إن التشغيل المتوازي هي إحدى الطرق المفضلة في أنظمة المعالجات الدقيقة وأن المهمات على مستوى سيطرة القضيبي العمومي والمحطة هي نفسها حماية القضيبي العمومي وحماية المحطة. إن النقاط السابقة المتعلقة بالاستخدام المتعدد لمتغيرات الإدخال تطبق على معدات الإسناد. كما أن نظام الاتصالات بين الوحدة السائدة ومستويات المحطة مرتبة شعاعياً أو على شكل عمومي، وأن أهم المتطلبات الرئيسية في حماية القضيبي العمومي هي الوثوقية والسرعة العالية.

إن المتطلبات الأساسية التي لا بد أن توفرها نظم الحماية الرقمية ونظم السيطرة نسبة إلى الانتقائية والسرعة ووفرته هي نفسها المتطلبات التي تتبناها أجهزة الحماية التناظرية التقليدية وأجهزة السيطرة. إن التقنيات الرقمية تضيف ميزة إضافية وهي التوسع في الإشراف الذاتي وبذلك يعطي مجال أكبر لتحسين الصيانة وإمكانية توفرها.

لقد تم إدخال الحواسيب المتكاملة إلى المحطات الفرعية تدريجياً. وخلال المرحلة الانتقالية من المرحلات التناظرية إلى الرقمية والتقنية التقليدية إلى الرقمية حيث أصبحت المعالجات الدقيقة معياراً أساسياً في الحماية والسيطرة ووحدات القياس. وبغض النظر عن التصميم التقني فإن السيطرة المستندة على الحاسبة تستلم إشارات الإدخال من أجهزة القياس وتولد إشارة خارجة قابلة للسيطرة على المنظومة، إن الشكل (2-12) يوضح أن الإشارات الداخلة يمكن أن تكون تناظرية ورقمية أو ثنائية Binary وأن الحالات التناظرية تأتي من محولات التيار (CTs) و (PTs) أما الحالات الثنائية فهي تنتج أساساً من وضعية قواطع الدورة

والعوازل ونقاط التفريع حيث يتم نقل الإشارات الرقمية عن طريق الاتصالات الرقمية.

إن الإشارات الخارجة المتولدة من قبل الحماية المستندة على الحاسبة وأنظمة السيطرة تغذي ملف قاطع الدورة والمفاتيح ونقاط تفريع محولات القدرة وأن الإشارات تقوم بتغيير معايير الأجهزة التناظرية وتعرض على شاشات مراقبة ملونة مربوطة بأجهزة تسجيل وتنتقل للمواقع البعيدة بقنوات الاتصال وفي بعض الحالات فإن الإشارات الخارجة التناظرية توفر مراقبة مستمرة للمحطة.



شكل (2-12): منظومة السيطرة على المحطة الثانوية

4-1-12 الميزات الخاصة للقياس الرقمي وطرائق السيطرة

Special Features of digital Measurement and Control Methods

إن تحويل المتغيرات التناظرية إلى رقمية تختلف تماماً عن معالجة متغير تناظري بواسطة جهاز تناظري والاختلافات الرئيسية هي كآآتي:

- 1- إن الأنظمة التي تعتمد على الحاسوب يكون من السهولة الوصول إليها وبرمجتها وذلك لامتلاكها سعة خزن كبيرة نسبياً وهذه المواصفات تفتقدها الأجهزة التناظرية.

- 2- سرعة إجراء الحسابات في فترة قصيرة وسرعة إجراء عدد كبير من العمليات.
- 3- أنظمة الحاسبات لها قابلية على التكيف مع الإشارة التناظرية والنائية بإيجاد العلاقات المتداخلة بينهما.
- 4- الإشارات الرقمية لا تعطي معلومات مباشرة عن سلوك متغيرات الإدخال بين العينات.

2-12 تحويل الإشارات التناظرية إلى رقمية A/D

A/D Conversion of Analog Inputs:

1-2-12 المقدمة

إن السياق النموذجي لتحويل متغيرات الإدخال من الحالة التناظرية إلى الرقمية يبينها الشكل (3-12) حيث أن الإشارات المتغيرة دورياً (التيارات والفولتيات الجيبية في CT و VT) تسلط على إدخال المغير (Converter). إن الإشارات يمكن أن تحتوي على تداخل ترددي عالي، وتوافقيات ومركبة d.c بالإضافة إلى تردد 50 Hz أو 60 Hz - إن المعادلة العامة- لإشارة الإدخال هي:

$$V(t) = V_0 e^{t/\tau} + V_1 \cos(\omega_0 t - a) + \sum V_k \cos(\omega_0 t - ak)$$

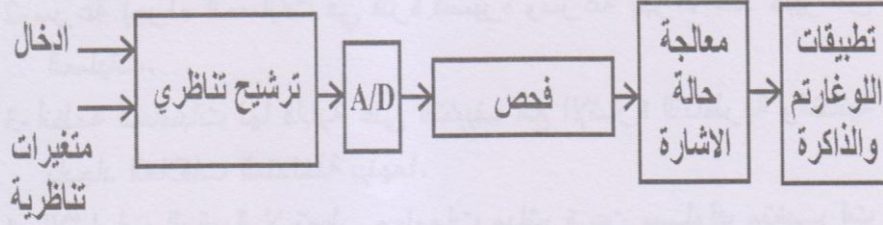
حيث أن:

V_0 : القيمة الابتدائية لمركبة d.c التي تضمحل بثابت الزمن T.

V_1 : سعة التوافقيات (التوافقية الأولى بالتردد المقنن).

V_k : السعة لعدد k من التوافقيات.

في المعادلة أعلاه تعد التوافقية الأساسية للتردد المقنن ω_0 هي الأكثر أهمية. وقبل تنفيذ عملية التحويل من التناظري إلى الرقمي من المهم معرفة التوافقية ذات الإدخال المتغير التي تحمل المعلومات المطلوبة وعليه لابد من تحويلها بدقة والتي تصنف على أنها إشارة تداخل يجب حذفها.



شكل (3-12): معدات التغيير للإشارات التناظرية

2-2-12 مرشح الإشارة التناظرية Analog Signal Filter

يوضح الشكل (4-12) مركبة التردد الأساسي $V = V_p \sin \omega t$ والتي لها مركبة d.c بقيمة V_0 . فلو كان تردد العينة يساوي التردد الأساسي فان:
Sampling Value = $V_0 + v$

حيث أن:

V_0 : هي خطأ ثابت وإذا كان معدل العينة ضعف التردد الأساسي فان:

$$S_1 = V_p \sin \omega t + V_0$$

$$S_2 = V_p \sin (\omega t - 90) - V_0$$

وبذلك فان الأخطاء الناتجة من مركبة التيار المستمر يمكن حذفها بأخذ معدل العينات.

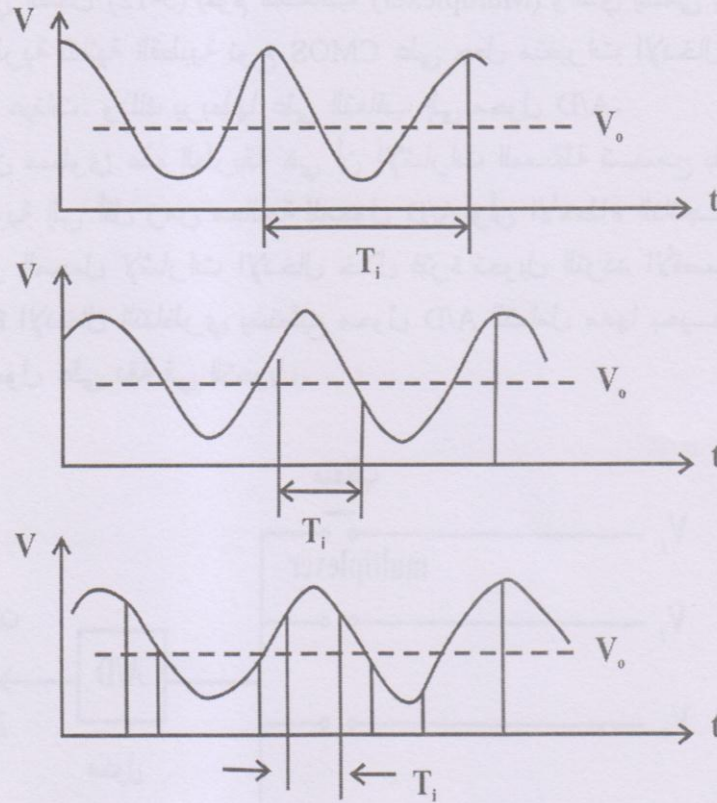
إن نظرية شانون (Shannon) تنص على أن يكون تردد العينة ضعف التردد الأساسي للمركبة التوافقية في إشارة الإدخال. ولتلافي الأخطاء يتبع الآتي:

1- معدل العينة يجب أن يكون أربعة أضعاف تردد المكونات في متغير الإدخال، أي تساوي:

$$F_{\text{sampling}} = 4 \times \text{Fundamental Frequency}$$

2- إن خواص المرشح التناظري والذي يسبق العينة وتحويل A/D يجب أن يقوم بترشيح الترددات ذات القيم الأعلى من $0.5F_{\text{sampling}}$. هذا

المرشح يسمى بمرشح Antialiasing. إن متغيرات الإدخال التناظري المسجلة على محول A/D يجب أن تتظم بحيث تقع ضمن مدى التشغيل. وأن مغير A/D الشائع الاستعمال قبل إدخال ثنائي القطبية يكون له مدى $\pm 10 \text{ V}$.



شكل (4-12): تداخل العينات المقننة عند تميز الخطأ

3-2-12 متغيرات الإدخال لمحول A/D

A/D Conversion of Input Variables

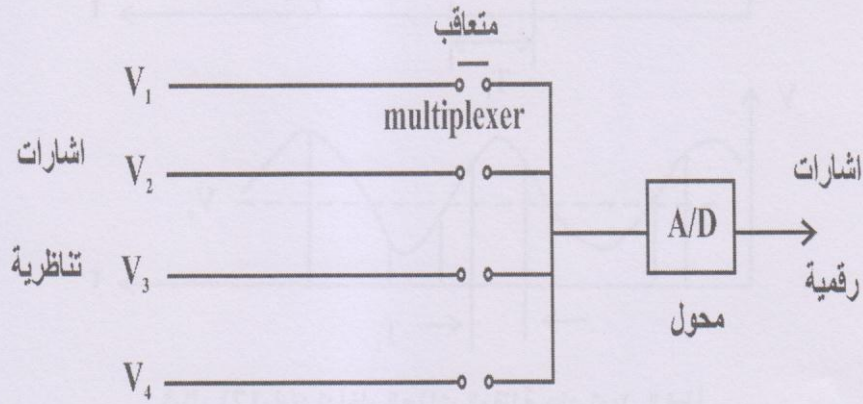
تستعمل عادة شريحة واحدة لتحويل A/D مع المتعاقب (Multiplexer) لعدد من متغيرات الإدخال التناظرية وأن الغرض منه هو تسليط متغير

الإدخال على محول A/D من أجل عمل العينات، وهنالك طريقتين لمعرفة الهدف من المتعاقب أنظر شكل (5-12) و (6-12).

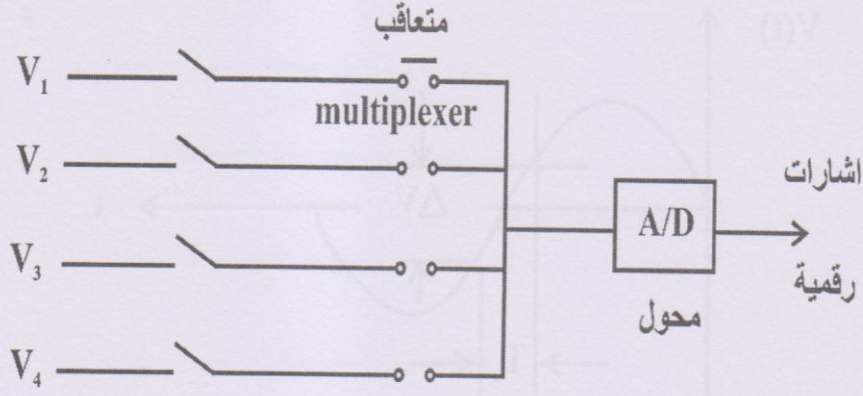
Method I

1-3-2-12 طريقة I

في الشكل (5-12) يقوم المتعاقب (Multiplexer) والذي يسمى بالمفاتيح التناظرية ثنائية القطبية نوع CMOS على جعل متغيرات الإدخال على شكل عينات. وذلك بربطها على التعاقب إلى محول A/D. من مساوئ هذه الطريقة هي أن الإشارات المستقلة تسمح بفترات متساوية إلى أقل زمن معالجة للمحول A/D وأن الأخطاء الناتجة من التغير المحمل لإشارات الإدخال خلال فترة تحويل التردد الأقصى من إشارة الإدخال التناظري يستطيع محول A/D التعامل معها بحيث يتم الحصول على دقة في التحويل.



شكل (5-12): المسح المتعاقب لإشارات الإدخال



شكل (6-12): التمثيل والنمذجة للإشارات الداخلة

- مثال رقمي Numerical Example

أعطيت المواصفات المتعاقبة التقريبية التالية للمحول A/D وكما يلي:
 زمن التحويل: $T_a = 10 \mu\text{sec}$ و $V_{a.c} = \pm 5V \text{ peak}$ و $m = 16 \text{ bits}$
 احسب نتائج أقل عدد محسوب (RES) وأقصى تردد يضمن التحويل الصحيح للنموذج؟
 الحل:

$$R.E.S = \frac{10V}{2^{16} - 1} = 152.6 \mu V$$

من الشكل (7-12) نلاحظ بأن إشارة الإدخال التناظرية يجب أن لا تتغير بأكثر من نصف (LSB) (Least Signification Bit) خلال عملية تحويل A/D لتكون إشارة الإدخال $v(t)$.

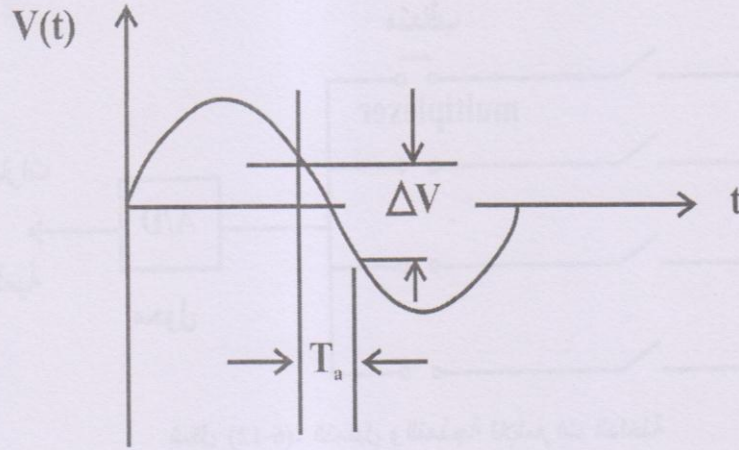
$$v(t) = V \sin \omega t$$

$$\frac{d}{dt} [V(t)] = V\omega \cos \omega t$$

$$= V\omega \quad \text{for} \quad (\omega t = 0)$$

ومن الشكل (7-12) فانه:

$$= \frac{\Delta V}{T_a}$$



شكل (7-12): تمثيل إشارة الدخل المتعاقبة A/D

لو كان تغير الإدخال خلال فترة التحويل أقل من نصف LSB فان:

$$V\omega \geq \frac{RES/2}{10 \mu\text{sec}} \geq \frac{76.3 \text{ V}}{10 \mu\text{sec}}$$

ولإيجاد: $\omega = 2\pi f$ ، $V = 5$ فان: $f \leq 0.24$

لذلك فان تردد الإشارة الداخلة يجب أن يكون أقل من 0.24 Hz للحصول على تحويل مضبوط وهذا قليل لأننا نريد تحويل (50 – 600) Hz مضافة إليها الترددات العالية لذلك فانه من الضروري استعمال الطريقة الثانية.

Method II 2-3-2-12 طريقة II

يوضح الشكل (6-12) بأن كل إشارات الإدخال هي عينات عند نفس اللحظة وخزنت عبر المتسعة. إن تحويل A/D يتم بالتعاقب.

إن الفائدة من ذلك هي أن عينات كل متغيرات الإدخال تشير إلى نفس اللحظة الزمنية، وبعد أن يتم تحويل كافة الإشارات التناظرية المخزونة بشكل رقمي تبدأ عملية جديدة للعينات. عند استعمال اللاتريقتين كان هنالك متغيرين مهمين.

- 1- العينات المقننة أو العينات لكل دورة من دورات تردد القدرة.
- 2- طول الكلمة بدلالة عدد البتات Bits المستعملة لتمثيل القيمة العظمى المتوقعة من إشارة الإدخال وكذلك الدقة عند إشارات الإدخال التناظرية الواطئة.

نفرض بأن N: العدد العشري لكل البتات المتناظرة في كل موقع.
M: تمثل أقصى عدد من البتات أو (طول الكلمة).

$$N = 2^m - 1 \quad \dots (1-12)$$

مثال:

ما هي القيمة العشرية للرقم الثنائي 1111 1111 (FF hex)؟

$$1111 \ 1111 = 2^7 + 2^6 + 2^5 + 2^4 + 2^3 + 2^2 + 2^2 + 2^1 + + 2^0 \\ = 2^8 - 1 = 255$$

لو كانت إشارة الإدخال 10 V فان FF hex 255 يمثل 10 V
وأن أدنى قيمة يمكن قياسها هي:

$$\Delta V = \frac{10}{255} V \approx 40 \text{ mV}$$

لذلك فان الخطأ عند الإشارة الدنيا Vmin هي:

$$\frac{\Delta V}{2 V_{\min}} \quad \dots (2-12)$$

لو أنه عند العينات اللحظية وقعت القيمة التناظرية بين قيمتين رقميتين متجاورتين (FF-FE) فان العينة يجب أن تعدل إما على FF أو FE أي (255 أو 254). وبذلك تكون قيمة الخطأ العظمى $\pm 0.5 \Delta V$ أو ΔV .

ليكن V_{\min} و V_{\max} تساوي القيمة العظمى والصغرى للإشارة و ΔV هو الخطأ المسموح به عند أوطاً قيمة فانه من المعادلتين (1-12) و (2-12) تساوي:

$$N = 2^m - 1 \geq \frac{V_{\max}}{(2\Delta V)V_{\min}}$$

لاحظ أنه عندما $m = 8$ و $N = 255$ فانه يمكننا احتساب الطول المرغوب فيه لمعلومات الكلمة m بالبتات، المعلومات القياسية لأطول كلمة هي 8, 16, 32 Bits ومع ازدياد طول الكلمة فان قيمة الإشارة الدنيا يمكن قياسها بدقة معقولة.

4-2-12 التحقق من المعلومات Verification of Data

- التحقق هو فحص الصيغة الرقمية للإدخال المتغير فيما إذا كان حاوياً على خطأ معين، فإذا كان الأمر كذلك سيقوم البرنامج الفرعي للتحقق وتصحيح القيمة إذا كان ذلك ممكناً، إن تصحيح الخطأ يكون على أساس الوفرة في البيانات. ووفرة البيانات يمكن أن تحقق بالنقاط الآتية:
- 1- القياسات المتكررة لمتغيرات الإدخال أو قياس متغيرات إضافية تسمح بإيجاد المتغيرات في المسألة بصورة غير مباشرة.
 - 2- الانتناف من المعلومات المتوفرة في المدى الذي يقع ضمنه المتغير أو علاقته مع متغيرات أخرى.
 - 3- توسيع مساحة المعلومات وتكوين مناطق محرمة.

أهم الأسباب المؤدية إلى الأخطاء

- 1- الأخطاء الواضحة ناتجة عن الدائرة المفتوحة أو عن دائرة القصر لمحولات (CT) أو (PT) أو فشل نقاط التوصيل.
- 2- الأخطاء في إشارة متغيرات الطاقة (Transducers) أو المرسلات نتيجة الحمل المفرط (التشبع في محولات التيار وغيرها).

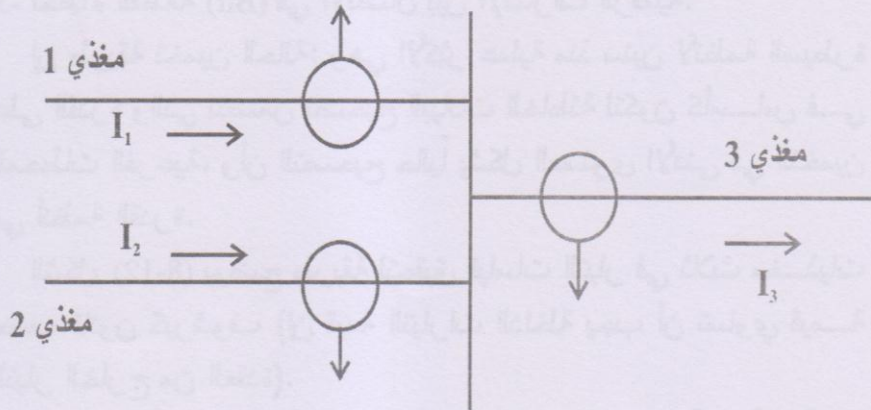
3- أخطاء القطعة (Bit) في الاتصال بين الإشارات الرقمية.
 إن طريقة تخمين الحالة: وهي الأكثر عملية منذ سنين لأنظمة السيطرة على القدرة والتي تتضمن تصحيح البيانات الخاطئة لتكون كأساس في المحطات الفرعية، وأن التصحيح حالياً يشكل المستوى الأدنى في التخمين في أنظمة القدرة.

الشكل (8-12) يوضح طريقة لتحقيق قياسات التيار في ثلاث مغذيات حسب قانون كيرشوف (إن قيمة التيارات الداخلة يجب أن تساوي قيمة التيار الخارج من العقدة).

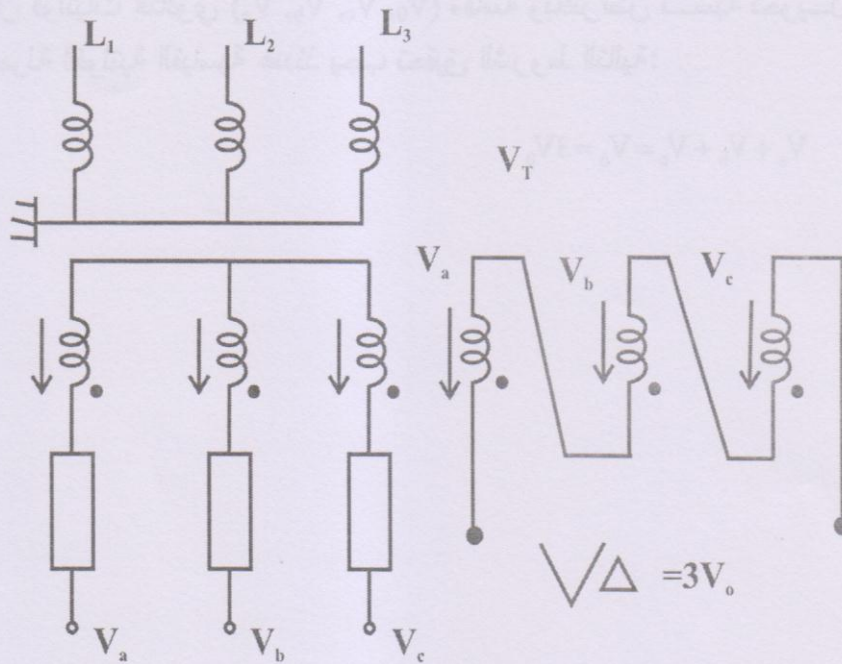
$$I_1 + I_2 = I_3$$

ويحصل الخطأ ما لم يتحقق هذا الشرط.
 إن الطريقة الثانية والموضحة بالشكل (9-12) تستخدم إشارة إضافية.
 وأن فولتيات الثانوي (V_0, V_c, V_b, V_a) مقاسة وبافتراض نسبة تحويل محولة الفولتية القياسية عندئذ يجب تحقيق الشروط التالية:

$$V_a + V_b + V_c = V_\Delta = 3V_0$$



شكل (8-12): استخدام قانون كيرشوف للتحقيق من الإشارة



شكل (9-12): استخدام المعلومات الإضافية للتحقيق من الإشارة

والخطأ يحصل عندما لا يتحقق هذا الشرط.
 إن المعلومات من المناطق المحرمة (Forbidden) تتضمن تثبيات
 الشفرات عند تخمين أخطاء التحويل للبتات الخاصة بالإشارة الفردية وهي
 تعتبر أبسط أنواع الشفرات والبت الجزئي (Parity Bit) وبعبارة أخرى
 فإن البت سيضاف إلى الكلمة ليجعل الوحدات الكلية زوجياً والبت الجزئي
 من الصفر إلى 9 يوضحه الجدول (1-12).

جدول (1-12)

Number	Word	Parity Bit
0	0000	0
1	0001	1
2	0010	1
3	0011	0
4	0100	1
5	0101	0
6	0110	0
7	0111	1
8	1000	1
9	1001	0

وهذه الشفرة تكشف الأخطاء الفردية للكلمة ولكن ليس لها القدرة
 لتكشف الأخطاء المزدوجة.

إن الشفرة الذي يطلق عليها شفرة الملحق المتشابهة (Same Index)
 أكثر فعالية ولكنها معقدة وتعتمد على حقيقة أن نفس العدد من الوحدات
 موجود في كل كلمة لها عدد (m) من البتات وإن عدد الوحدات في
 الكلمات هو K عليه.

عدد الحالات الرقمية يساوي $\frac{n!}{k!}(n-k)$

وعدد الحالات الرقمية للكلمة بدون الشفرة تساوي $2^m - 1$ فإذا كان عدد الوحدات المطلوبة هو (2) في كلمة تتكون من (5Bit) بمعنى أن عدد الوحدات في كلمة مؤلفة من (5 Bit) يثبت عند (2).
أما الكلمات لأول عشرة أرقام عشرية فهي كما في الجدول (2-12).

جدول (2-12)

Number	Word
0	10000
1	00011
2	00101
3	00110
4	01001
5	01010
6	01100
7	10001
8	10010
9	10100

وهذه الشفرة تكشف الأخطاء المتعددة بالإضافة إلى الأخطاء الفردية والمنطقة المحرمة سوف تكون ضعف الحجم المسموح به وهذا سيكون سبب في تقليل إمكانية كتابة الأرقام.

3-12 الحماية الحاسوبية Computer Protection

1-3-12 محاسن الحماية الحاسوبية

Advantage of Computer Relying

1. المرونة Flexibility

يستخدم الكيان المادي ذو الأهداف العامة لتنفيذ حماية مختلفة ووظائف سيطرة بحيث يتغير البرنامج فقط. إن العديد من هذه الوظائف ممكن أن تكون موجودة آنياً في الذاكرة ROM حيث يمكن استدعائها وقت الحاجة، وبصورة مشابهة فإن أي إضافة أو تغييرات كبيرة لنظام الحماية يمكن عمله مع قليل أو بدون تغييرات في المكونات المادية للحاسبة.

2. قابلية التكيف Adaptive Capability

يمكن برمجة المعالج لتغير (اتجاهه أو تصرفه) أوتوماتيكياً اعتماداً على الظروف الخارجية والتي تتغير مع الزمن يستند التغير على المعلومات المتوفرة والتي تتجه مباشرة إلى المعالج كسريان القدرة قبل حدوث العطل للجهاز المحمي، أو أن التغير ممكن أن ينشأ من مصدر خارجي ذكي كمشغل المحطة أو بيانات حاسوبية مرتبطة بأنظمة السيطرة المركزية، والتغيير ربما يكون فقط بالتنظيم والتوقيت عن طريق برنامج فرعي يمكن اختياره عند الحاجة.

3. حرية تناقل المعلومات Data Interface Access

تجهز أنظمة الحاسوب المستخدمة للأهداف العامة دائماً بنقاط إدخال وإخراج حيث يمكن للبيانات وأوامر السيطرة ان تنتقل بحرية وكمثال على ذلك متابعة البرمجيات التي تحصل في المعالج استجابة للعطل والتي يمكن خزنها خلال العطل وإخراجها إلى نقاط ربط البيانات بعد ذلك يمكن

السيطرة عليها بواسطة المسر الذي يزود بمعلومات تفصيلية للأعطال الخاصة وبالنتيجة سوف يتم تغييرها في البرامجيات عند حدوث العطل. كما يمكن إدخالها إلى ذاكرة المعالج لتطوير وتحديث خصائص المرحلات.

4. قابلية الفحص الذاتي Self-Checking Ability

المرحلات التقليدية تعتبر مثالية نسبة إلى عمرها قد تحدث الأعطال ربما بضع ثواني خلال (20 أو 30) سنة. من الناحية الأخرى ومن أجل استمرار المرحلة لأداء عملها بصورة صحيحة يجب إجراء فحصاً دورياً عليها.

إن المعالج الرقمي هو جهاز ديناميكي وان أي إخفاق للكيان المادي للمعالج يؤدي إلى التوقف. يقوم المعالج بالفحص الذاتي لكل مكونات منظومة الحماية، مما يؤدي إلى زيادة وثوقيتها.

5. الفوائد الاقتصادية Economic Benefits

بينما تزداد كلفة المرحلات التقليدية زيادة ثابتة فان كلفة المرحلات الرقمية التي تستخدم المعالج الرقمي تكون رخيصة ومناسبة للحماية. وعلى المستخدم أن يعلم أنه بالرغم من أن تكاليف تطوير البرامجيات لا تنخفض وأنها ستتجاوز تكاليف الكيان المادي ما لم يتم بناء نظم متماثلة.

6. الإمكانيات الحسابية والمنطقية Logical Mathematical Abilities

إن مصمم المرحلات التقليدية يكون مقيداً بخصائص وحدود المرحلات الكهروميكانيكية والمرحلات الساكنة مع أن مبرمج المرحلات الرقمية يكون حر في التعامل مع أي وظيفة تقع ضمن حدود خياله أو فهمه. وحيث يمكن تقسيم أي شكل إلى أجزاء صغيرة يتم التعامل معها بدقة وتفصيل أكثر.

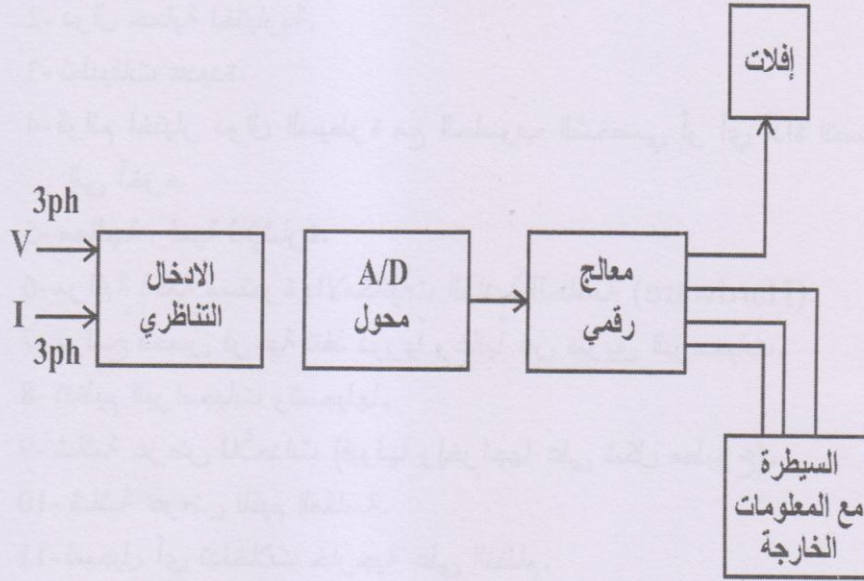
إن شركة آسيا براون وشركة سيمنس أصدرت مواصفات لمرحلاتها
العديدية. وهي:

- 1- تصميم مدمج بأجزاء مادية قليلة.
- 2- دوال حماية اختيارية.
- 3- تطبيقات عديدة.
- 4- قوائم اختيار دوال السيطرة مع الحاسوب الشخصي أو أي أداة اتصال إلى آخره.
- 5- معالجة رقمية للإشارة.
- 6- مراقبة ذاتية مستمرة بالامكانيات المادية للحاسبة (Hardware).
- 7- برامج فحص فرعية تنفذ دورياً وغالباً عن طريق البرمجيات.
- 8- تنظيم البرامجيات وتسجيلها.
- 9- شاشة عرض للأحداث (قبولها وإخراجها على شكل مطبوع).
- 10- شاشة عرض للقيم المقاسة.
- 11- تسجيل أي تداخلات خارجية على النظام.
- 12- التوثيق الذاتي للعمل.
- 13- ثبات نسبي طويل.
- 14- مأخذ متوالية للاتصال.

إن المثال البسيط المتعلق بحماية المسافة لخطوط النقل يكون سهلاً مع
مرحلة ذات خواص (R-X) يمكن تمييزها. بالإضافة إلى ذلك مشاكل
القياسات يمكن التعبير عنها بمعادلات رياضية تطبق مباشرة.
وأن كثير من باحثي المرحلات الحاسوبية وجدوا المعادلات الممكنة
واقترحوها لتكون أساس للحماية من نوع المسافة لخطوط الضغط الفائق
EHV.

بالرغم من أن المجال الواسع في التطبيقات باستخدام الحاسوب كمرحلات
فان التطبيق الأكثر صعوبة هو في حماية خطوط الضغط الفائق (EHV).

إن الشكل (10-12) يبين مخطط مبسط للكيان المادي (Hardware) لحماية المسافة.



شكل (10-12): الكيان المادي المبسط لمرحلة المسافة

إن المنظومة الفرعية للإدخال التناظري تستقبل كميات ثلاثية الطور متناوبة عن طريق محولات القياس التقليدية CTs و PTs لكل الكميات التي تعمل بالعينات وبمعدل منتظم من 16 إلى 32 مرة يجري عمل العينات وعلى كل الكميات أنياً لكل دورة متناوبة وتحولها إلى صيغ رقمية ثم تنقل إلى المعالج الرقمي حيث أن المعالج ينظم القرارات على أساس قيم العينات لأن الغرض الأساسي هو إعطاء إشارة إفلات لقاطع الدورة عند حدوث العطل في الخط المحمي، كما أن هنالك أنواع أخرى من السيطرة الثانوية وإخراج البيانات والتي يمكن الحصول عليها.

إن المخزون في المعالج ROM هو برنامج ينفذ عملية التحسس لحالة الخط وربطه مع برنامج خاص لعملية الترحيل المحتوي على خوارزمية

أو معادلة تعمل مع البيانات الداخلة لتعطي مؤشرات مفيدة حول وجود العطل وموقعه.

2-3-12 قائمة خوارزميات حماية خط النقل

Listing of Line Protection Algorithm

الخوارزميات المقترحة هي:

- 1- تحليلات فورير - لدورة واحدة.
- 2- تحليلات فورير - عرض بيانات قصير.
- 3- تحليل والش.
- 4- خوارزمية العينة ومشتقاتها.
- 5- خوارزمية المشتقة الأولى والثانية.
- 6- حل المعادلات التفاضلية.
- 7- حل المعادلات التفاضلية مع اختيار حدود التكامل.
- 8- المنحني المضبوط للموجة الجيبية Curve Fit.
- 9- المنحني المضبوط للموجة الجيبية - عرض قصير.
- أ- بدون ترشيح مسبق.
- ب- مع ترشيح رقمي مسبق.
- 10- أصغر منحني مضبوط.

1-2-3-12 تحليل فورير - عرض موجة واحدة (دورة واحدة)

Fourier Analysis-One-Cycle Window

تستخدم هذه الطريقة على نطاق واسع لجميع أنواع المرحلات للحماية والقياسات. إن البيانات المتناوبة القادمة من دورة واحدة يتم معالجتها ومطابقتها مرجعياً مع موجات جيبية وجيب تماماً مخزونة بهدف استخراج المركبات الأساسية بصيغة الموجة المربعة. المركبات حسب التعبير العام لمركبات الجيب والجيب تمام للفلتية في نقطة النموذج (K) هي:

$$V_s = \frac{1}{N} \left[2 \sum_{i=1}^{N-1} V_{k-N+i} \sin \frac{2\pi}{N} \right]$$

$$V_c = \frac{1}{N} \left[2 \sum_{i=1}^{N-1} V_{k-N+i} \cos \frac{2\pi}{N} \right]$$

$V_i = i_{th}$ Voltage Sample.

$N = \text{No. of Samples Taken Per Fundamental Cycle.}$

حيث أن:

V_i : فولتية العينة.

N : هو عدد العينات المأخوذة لكل دورة أساسية.

وبتعبير مشابه يمكن الحصول على مركبات التيار I_s و I_c ومن النتائج الأربعة يمكن حساب قيمة الممانعة الطورية بالصيغة القطبية أو بصيغة متوازي الأضلاع.

بصيغة القطبية تكون:

$$Z = \left| \frac{V_s^2 + V_c^2}{I_s^2 + I_c^2} \right|^{\frac{1}{2}}$$

$$\theta_k = \tan^{-1} \frac{I_s}{I_c} - \tan^{-1} \frac{V_s}{V_c}$$

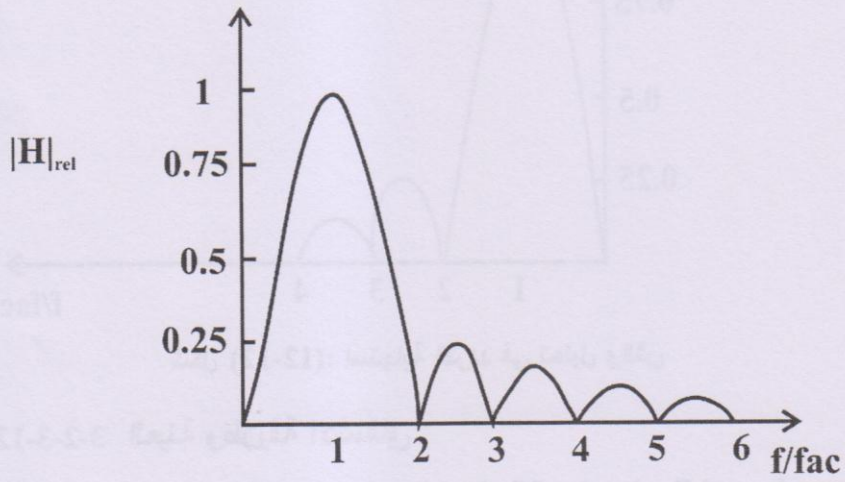
ومن ضمن تحليل فورير ما يلي:

1- التحليل الشامل (الترشيح) للبيانات: مركبة dc وجميع التوافقيات الأعلى من $\frac{N}{2}$ يتم ترشيحها خارجاً بشكل كامل.

2- الاستجابة البطيئة: استجابة الإخراج بطيئة ولكنها دقيقة ليشكل الموجات المشوهة الناتجة بعد العطل.

3- زمن المعالجة العالي: الزمن يكون كبير بسبب عمليات الضرب الكبيرة ويمكن تقليصه باستخدام المعالجات المتوازية أو المعالجات الحسابية أو معالجات الإشارة الرقمية.

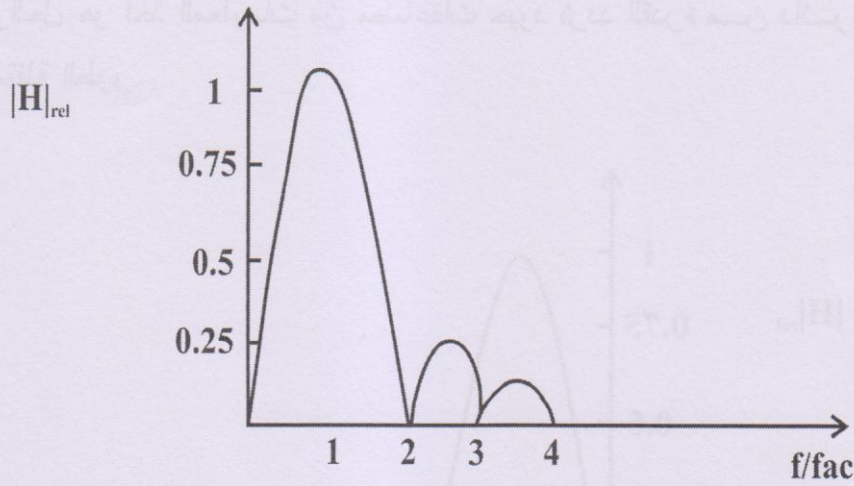
إن تقنية فورير تستخدم بشكل واسع في المرحلات حيث أن ثمن المكونات المادية للحاسبة بدأ ينخفض. واستجابة التردد تعمل بشكل ممتاز كما في الشكل (11-12) وبوجود ترشيح كامل للنقاط الضيقة (Null Points) لمركبة التيار المستمر وأن التوافقيات أعلى من نصف معدل النماذج $\left(\frac{N}{2}\right)$ (نظرية شانون) والميل بين النقاط الضيقة تدعى (التسريب Leakages) ويمكن أن يعزى السبب له بحيود تردد القدرة والحل هو أخذ المعلومات من مضاعفات حيود تردد القدرة من دائرة مقفلة الطور.



شكل (11-12): استجابة التردد في تحليل فورير

2-2-3-12 تحليل والش Walsh Analysis

إن خوارزمية والش قريبة جداً من تحليل فوريير من حيث تعاملها مع موجة الجيب والجيب تمام وهنا يتم التعامل مع الموجة المربعة ويتم التعبير عنها إما (+) أو (-) ومن الناحية الأخرى فإن بعض فوائد هذه الطريقة هو الحاجة لاستخراج كل التوافقيات اللازمة لمركبات الموجة المربعة مع الأساسية وبذلك فإن مركبة الجيب تمام الأساسية يمكن إعادة بناؤها بصورة مشابهة لتحليل فوريير، وإن ترشيح البيانات يكون شامل ومحصلة الإخراج يتم إخمادها بسرعة، والدقة جيدة حتى بالنسبة لموجات الإدخال المشوهة. يبين الشكل (12-12) استجابة التردد لمعدل تقطيع النموذج إلى ثمانية عينات لكل دورة.



شكل (12-12): استجابة التردد في تحليل والش

3-2-3-12 العينة وطريقة الاشتقاق

Sample and Derivative Method

إن خوارزمية العينة ومشتقاتها تم اقتراحها لتمييز شكل موجة الجيب من نماذج البيانات المتزامنة. وليكن:

$$V = V_m \sin(\omega_t + \theta_v)$$

والمشتقة لها ستكون:

$$V' = \frac{dv}{dt} = V_m \omega \cos(\omega t + \theta_v)$$

هذه المعادلات يمكن حلها للحصول على قيمة الذروة وزاوية الطور بدلالة V أو V' عليه فان:

$$V = \left| V_k^2 + (V'_k)^2 \right|^{\frac{1}{2}}$$

$$\theta = \tan^{-1} \left| \frac{V'_k}{V_k} \right|$$

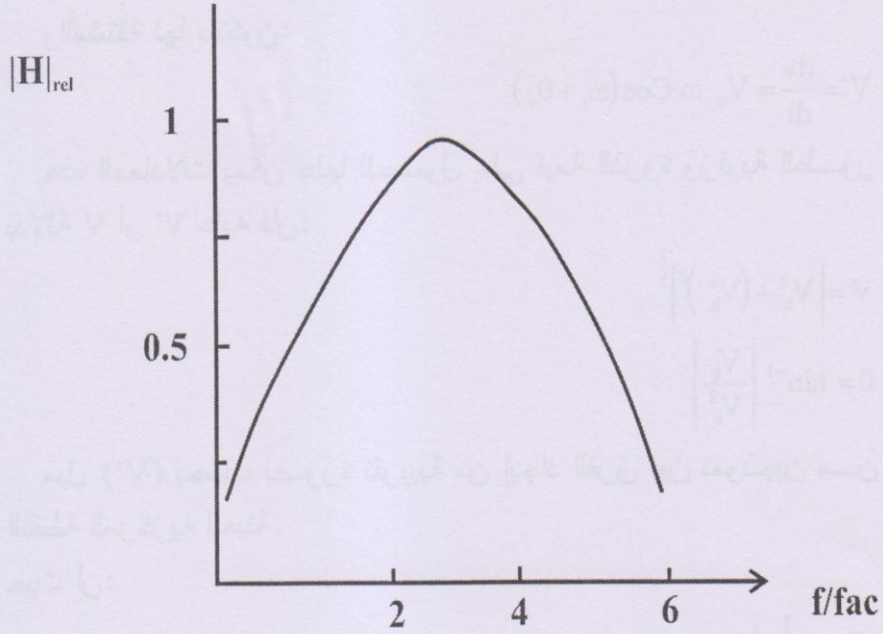
ميل (V') يحسب بصورة تقريبية من إيجاد الفرق بين نموذجين من النقطة المركزية للعينة.
حيث أن:

$$v'_k = \frac{1}{h\omega} |V_{k+1} - V_{k-1}|$$

h : فاصل زمني مختار بالثانية.

ω : التردد الزاوي الأساسي $2\pi f$.

مع عرض لثلاثة نماذج متقاربة، فان الخوارزمية تستجيب بسرعة إلى التغيير المفاجئ في شكل موجة فولتية العطل إن مركبة d.c offset، بالرغم من تشوش العلاقة المتوقعة بين قيمة النموذج ومشتقته الأولى يكون عن تغيير فقط الصيغ السابقة. فالتوافقيات سوف تعطي أخطاء كبيرة. إن شكل (12-13) يوضح استجابة التردد. ورسم الاستجابة يبين أن هناك ذروة في التوافقية الثالثة بدلاً من الأساسية ولا يوجد نقاط صفرية في أي من المضاعفات الأساسية.



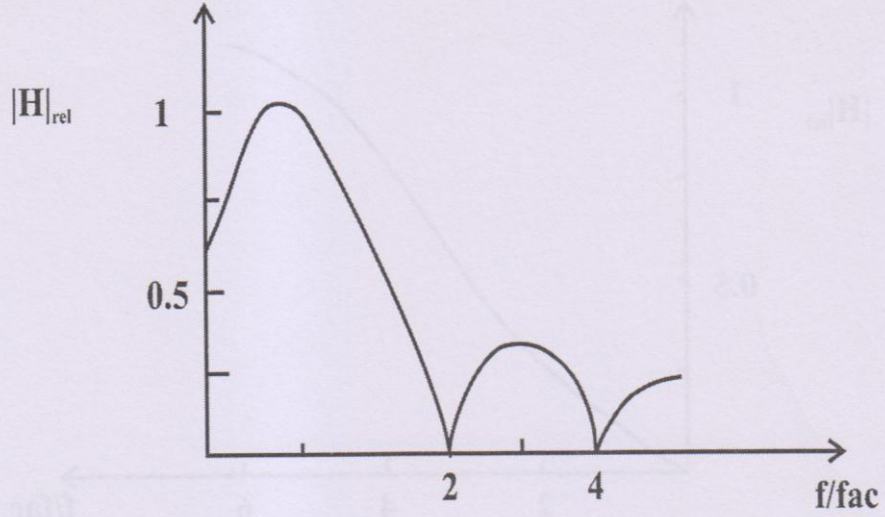
شكل (13-12): التردد بطريقة العينة ومشتقاتها

4-2-3-12 طرائق أخرى Other Methods

بدون كتابة المعادلات سوف نعطي استجابة التردد طرائق أخرى هي:

- حسابات المشتقة الأولى والثانية

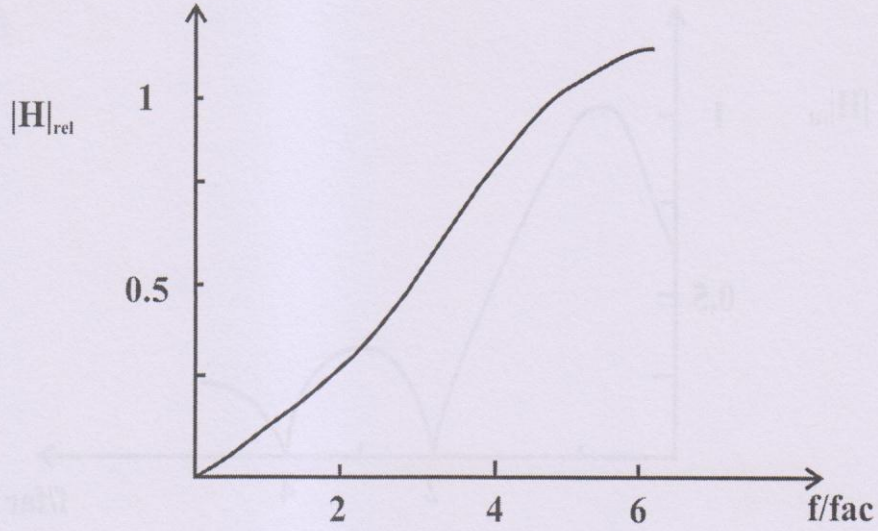
إن رسم استجابة التردد للشكل (14-12) يبين أن مركبة d.c. ترشح خارجاً ولكن التوافقيات الفردية والزوجية تكون موجودة. ويمكن تكبيرها.



شكل (14-12): استجابة التردد باستخدام خوارزمية الاشتقاق الأول والثاني

- تحليل فوريير مع عرض بيانات قصير

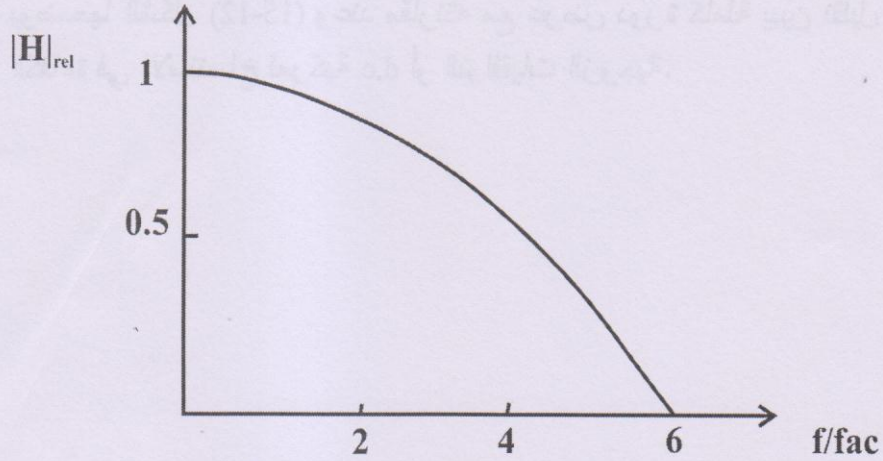
أساس عمل هذه الطريقة يشبه تحليل فوريير ولكن دورة التكامل أو عرض البيانات يتم تقليصها إلى نصف دورة، إن رسم استجابة التردد يوضحها الشكل (15-12) وعند مقارنته مع عرض دورة كاملة يبين تقليل الكفاءة في الاستنساخ لمركبة d.c أو التوافقيات الزوجية.



شكل (15-12): استجابة التردد باستخدام تحليل فوريير مع معلومات قصيرة

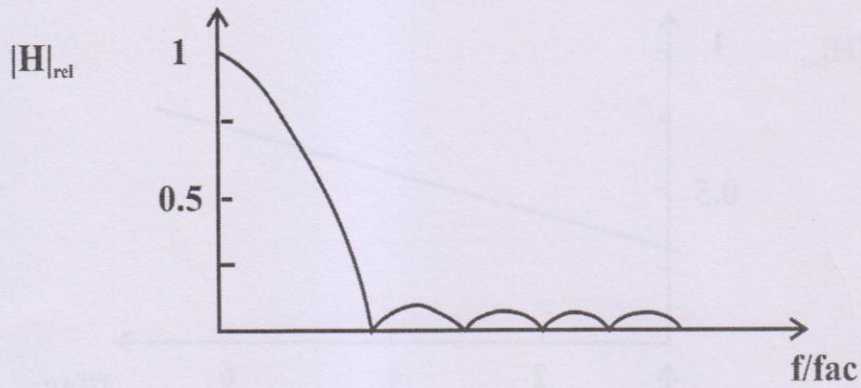
- حل المعادلة التفاضلية

إن شكل استجابة التردد الموضحة في الشكل (16-12) تبين أن هنالك توهين لا بأس به في مركبات التردد العالية ولكن مركبة d.c. تبقى بشكل كامل.



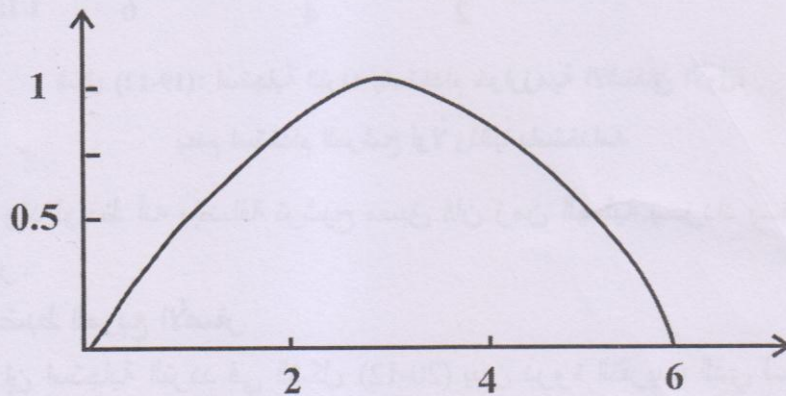
شكل (16-12): استجابة التردد باستخدام المعادلة التفاضلية

- حل المعادلة التفاضلية مع حدود مختارة
 إن استجابة التردد الموضحة بالشكل (12-17) تبين الشكل كذلك توضح
 تحسين الإخماد للتوافقيات الزوجية والفردية العالية ولكن ليس في مركبة
 .d.c



شكل (12-17): حل المعادلات التفاضلية مع اختيار تحديد للتكامل

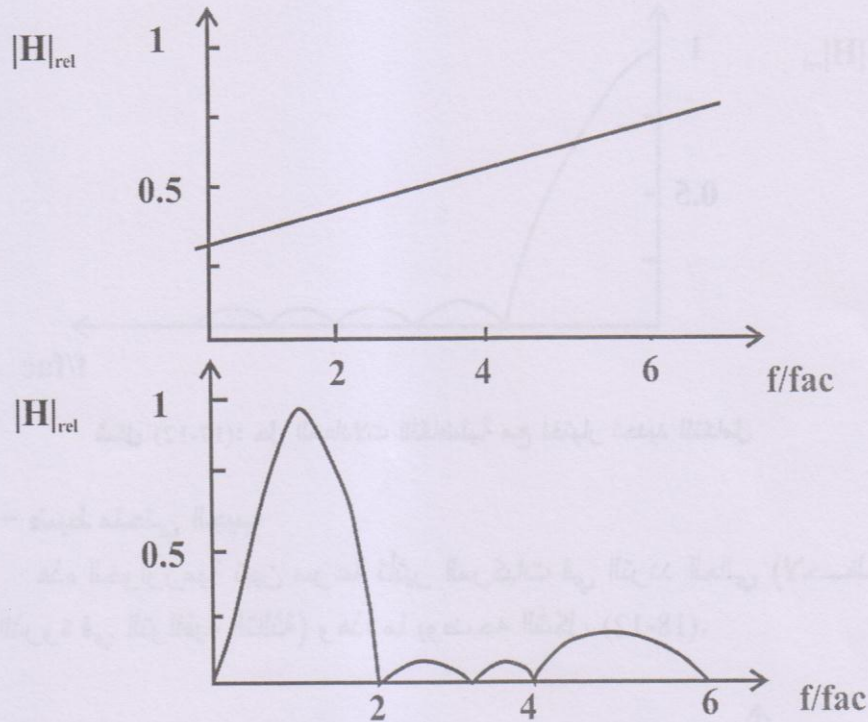
- ضبط منحنى الجيب
 هذه الخوارزمية تبين سرعة تأثير المركبات في التردد العالي (لاحظ
 الذروة في التوافقية الثالثة) وهذا ما يوضحه الشكل (12-18).



شكل (12-18): استجابة التردد عند ضبط المنحنى الجيبى

- ضبط المنحني الجيبي مع عرض قصير للبيانات

إن الشكل (19-12) يعرض خطأ واضح في جميع الترددات عليه فإن العلماء افترضوا إضافة رقمية قبل الترشيح والتي تعطي استجابة ترددية محسنة وكما هو موضح في الشكل (19-12).



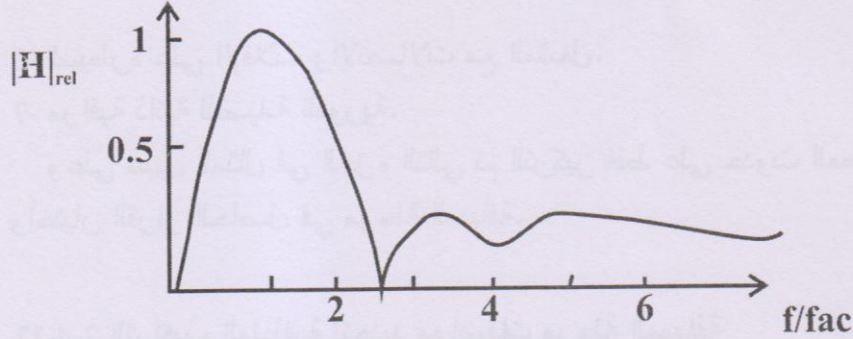
شكل (19-12): استجابة التردد باستخدام خوارزمية الاشتقاق الأول،

بعد استخدام المرشح أولاً وثانياً باستخدامه

وقد لوحظ أنه بإضافة ترشيح مسبق فإن زمن العملية يزداد بشكل كبير.

- ضبط المربع الأصغر

إن استجابة التردد في الشكل (20-12) يبين ذروة التقريب الذي ليس بالضبط في التردد الأساسي مع استجابة أقل للترددات العالية.



شكل (20-12): استجابة التردد عند ضبط المربع الأصغر

4-12 التراكيب المنطقية للحماية الرقمية

Logical Structures for Digital Protection

1-4-12 المقدمة Introduction

من الفوائد المهمة لبرمجة المرحلات الرقمية هي سهولة تعاملها مع بعض الحالات المنطقية أو العلاقات التي يراد فحصها. إن الأجهزة الرقمية الحديثة تستطيع معالجة الكم الكبير من المعلومات ذات المعيار المنطقي. وهذا ما جعل إمكانية توسيع عملية تبادل المعلومات بين الوحدة المحمية ومعدات الحماية لزيادة سرعة ودقة الكشف عن العطل وموقعه وقابليته على أداء مهام جديدة.

والتركيب المنطقي لنظام وحدات ومعدات الحماية المركبة يمكن تقسيمها إلى مساحات العمل الآتية:

- 1- كشف بدء العمل.
- 2- تحديد هل أن العطل في المنطقة المحددة المحمية.
- 3- اختيار منطقة الحماية لتلائم حالة النظام وهذا يقلل أو يولد اختصار في المنطقة الأولى لمرحلة المسافة بعد أول عملية إعادة غلق ذاتية.
- 4- اختبار الأطوار العاطلة.
- 5- تبادل المعلومات مع أنظمة أخرى أو معدات حماية أخرى.

6- السيطرة على الإفلات والاتصالات مع المشغل.

7- مراقبة ذاتية للصيانة الدورية.

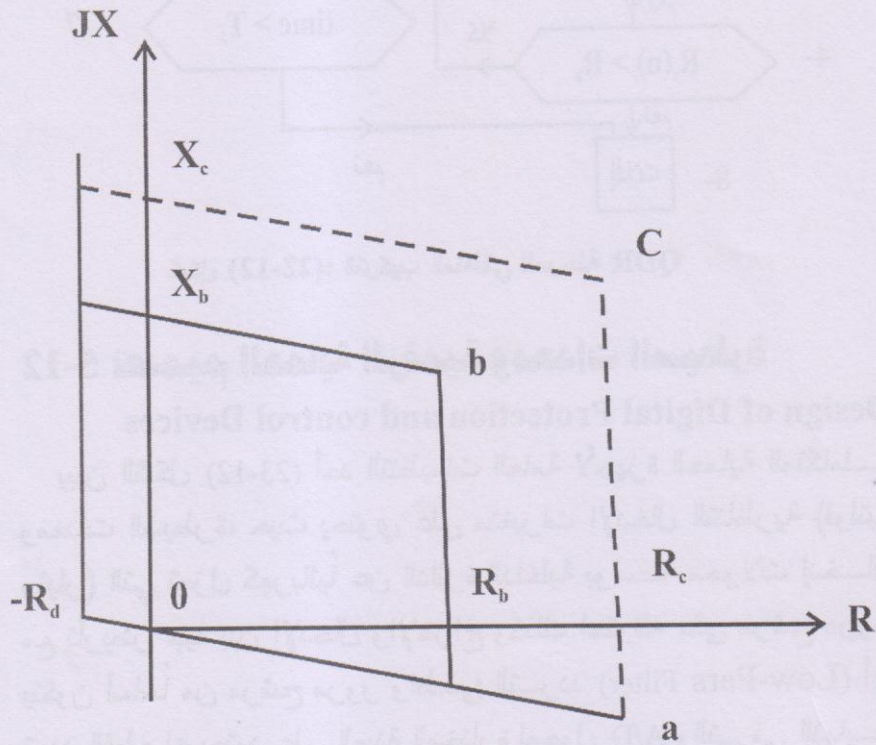
وعلى سبيل المثال في الجزء التالي تم التركيز فقط على حدوث العطل واختيار القرار الحاصل في مرحلة المسافة.

2-4-12 التراكيب المنطقية لتحديد مواصفات مرحلة المسافة

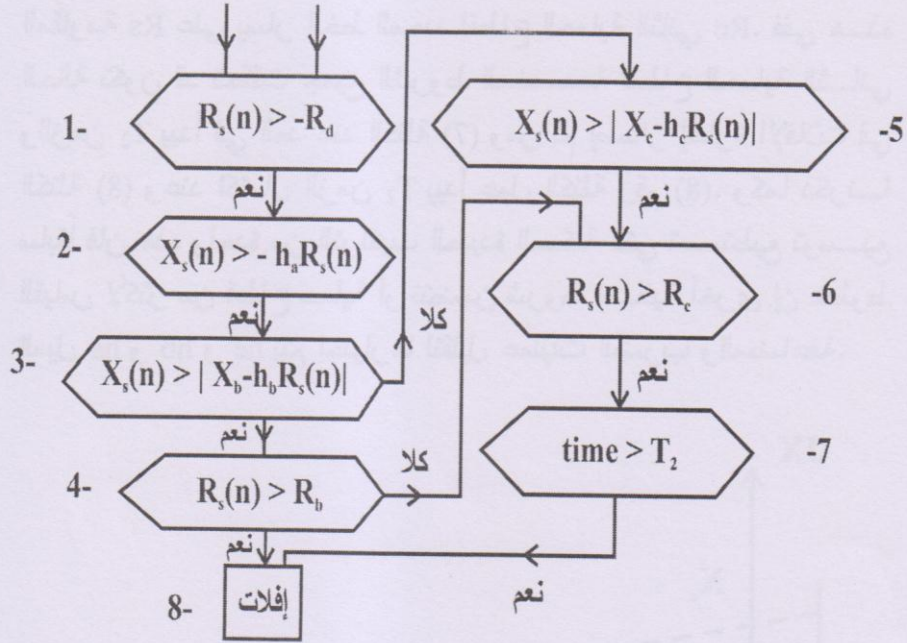
Logical Structure for Determining the Operating Characteristics of Distance Relay

التركيب المنطقي لمرحلة المسافة معقد قليلاً، إذ يقوم بأداء مهمات مباشرة وهي تنفيذ أو عدم تنفيذ حالة عمل مرحلة المسافة المعلومة ويتضمن الأداء كذلك تحديد أو قياس مقاومة أو مفاعلة خط الحماية الواقع ضمن مواصفات التشغيل المبينة في الشكل (12-21) وعلى فرض أن مرحلة الحماية تعمل بقطاعين بحيث أن القطاع الأول يعمل مباشرة دون زمن تأخير ($t = 0$) والقطاع الثاني يعمل بزمن تأخير مقداره T_2 . واحد التراكيب المنطقية المتوفرة لأجهزة الحماية المسافية مبين في الشكل (22-12) وفيه أن الكتلة (1) تحدد مقاومة معلومة القياس R على يمين الخط المستقيم ($R = - R_d$)، أما الكتلة (2) فهي تحدد هل أن مفاعلة معلومة القياس X_s فوق الخط المستقيم o_a مع ميل h_a - . فإذا تحققت هذه الشروط فإن الكتلة (3) تفحص هل أن كلاً من المقاومة والمفاعلة يقعان أسفل الخط المحدد للمنطقة الأولى من X_b إلى b مع ميل h_b -) وإذا تحقق هذا الشرط فإن الكتلة رقم (4) تفحص هل أن المقاومة R_s أقل من حدود قطاع الحماية الأول R_b وإذا تحقق هذا الشرط كذلك فالعطل يقع في قطاع الحماية الأول وعلى مرحلة المسافة أن تعمل وتقوم بإصدار إشارة الإفلات. وإذا فرضنا أن الشرط المحدد بالكتلة رقم (3) لم يتحقق فإن الكتلة (5) تفحص هل أن المفاعلة تحت الخط المحدد من X_c إلى C وهو قطاع الحماية الثاني، فإذا تحقق هذا الشرط فالكتلة رقم (6) تحدد هل أن

المقاومة R_s على يسار الخط المحدد لقطاع الحماية الثاني R_c . ففي هذه الحالة تكون قد تحققت جميع الشروط المخصصة لقطاع الحماية الثاني والزمن T_2 يبدأ في العد عند الكتلة (7) ومن ثم إصدار إشارة الإفلات في الكتلة (8) وعند اكتمال الزمن T_2 يبدأ عمل الكتلة رقم (8). وكما ذكرنا سابقاً فإن هذه واحدة من التراكيب العديدة الممكنة التي تستطيع توسيع القياس لأكثر من قطاع حماية أو تتضمن شروط إضافية أخرى إن خطوط الميل h_a و h_b و h_c يتم اختيارها لتقليل عمليات الضرب والمضاعفة.



شكل (21-12): خصائص التشغيل للمرحلة QDR



شكل (22-12): التركيب المنطقي للمرحلة QDR

5-12 تصميم الحماية الرقمية ومعدات السيطرة

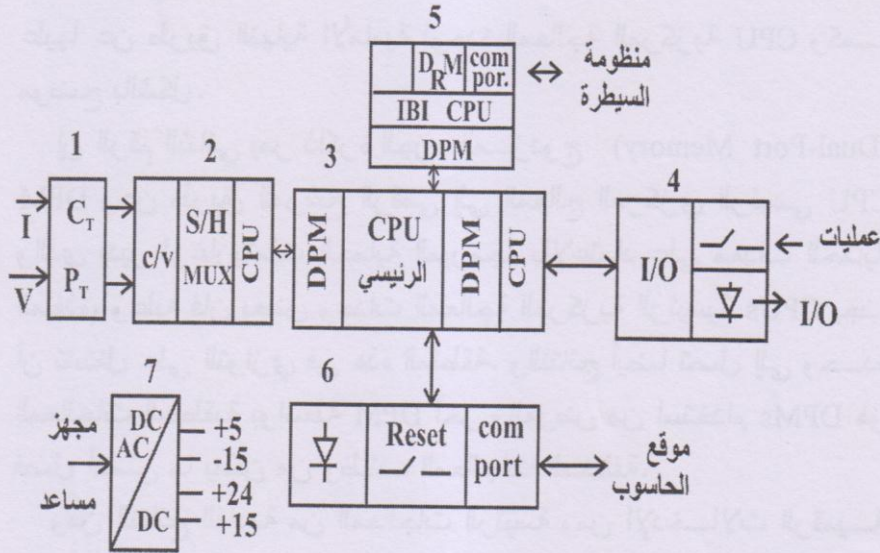
Design of Digital Protection and control Devices

يبين الشكل (23-12) أحد التنظيمات العامة لأجهزة الحماية المتكاملة ومعدات السيطرة، حيث يحتوي على متغيرات الإدخال التناظرية (فولتية والتيار) التي تعزل كهربائياً عن الدائرة الداخلية بواسطة محولات إدخال مع تأريض جيد بين الإدخال والإخراج وكذلك احتوائه على مرشح مزور يتكون أساساً من مرشح مرور واطئ التردد (Low-Pass Filter) أي تردد القطع له يعتمد على العينة المختارة لمحول A/D والتي في النهاية يحدد حزمة التردد المنقول. يقوم المتعاقب (Multiplexer) بمسح متغيرات الإدخال بالتعاقب، حيث يجهز بمتسعات مسك العينة (Sample-Hold Capacitors). إن القيم الآنية المحجورة خلال المتسعة تتحول بواسطة محول A/D بالتعاقب الواحدة تلو الأخرى. وجميع هذه العمليات يسيطر

عليها عن طريق النهاية الأمامية لوحدة المعالجة المركزية CPU وكما موضح بالشكل.

إن الرقم الثنائي يمر ذاكرة الجزء المزدوج (Dual-Port Memory) DPM وعن طريق المرشح الرقمي إلى المعالج المركزي الرئيسي CPU والذي يدير لوغاريتمات الحماية المبرمجة بالاعتماد على معدات الحماية المنفذة، وعليه فإن بعض وحدات المعالجة المركزية الرئيسية CPUs يجب أن تشتغل على التوازي في هذه المنطقة. والنتائج أيضاً تصل إلى وحدة المعالجات المنطقية بواسطة DPM آخر والغرض من استخدام DPMs هو فصل أقصى ما يمكن من وظائف المعالجات المختلفة.

ومن النتائج القادمة من المعالجات الرئيسية ومن الإدخالات الرقمية يجمع وينظم المعالج الرقمي ويصدر الأوامر التي يحتاجها لإعطاء إشارة الإفلات أو التحذير أو أي إشارة أخرى وأن أوامر الإشارات تذهب إلى وحدات إدخال / إخراج ومنافذ تنقلها إلى إشارات الإفلات لقواطع الدورة، والمهمات الأخرى وكما في حالة إشارة الإدخال التناظرية فإن إشارات الإخراج تعزل بواسطة مرحلات عالية السرعة أو الاقتران البصري (Opto Couplus). تتألف إدخالات لوحة وحدة السيطرة المحلية من حاسوب شخصي ولوحة مفاتيح للتشغيل وتسمى بأجهزة وظيفة الإدخال OBI (Object Bus Interface) والتي تربط كذلك إلى المعالجات الرئيسية عن طريق (DPM). تعمل (OBI) حسب زمن خاص لجمع المعلومات المطلوبة من النبائط والمعدات. إن قيم المتغيرات التناظرية والرقمية تخزن في الجهاز قبل وخلال وبعد عمليات الاضطراب (Disturbance) والتي تقدرها وحدة السيطرة المنطقية عندما يعمل الجهاز كوحدة مستقلة (Start Alone) أو بواسطة (OBI) عندما يربط إلى محطة سيطرة المنظومة.



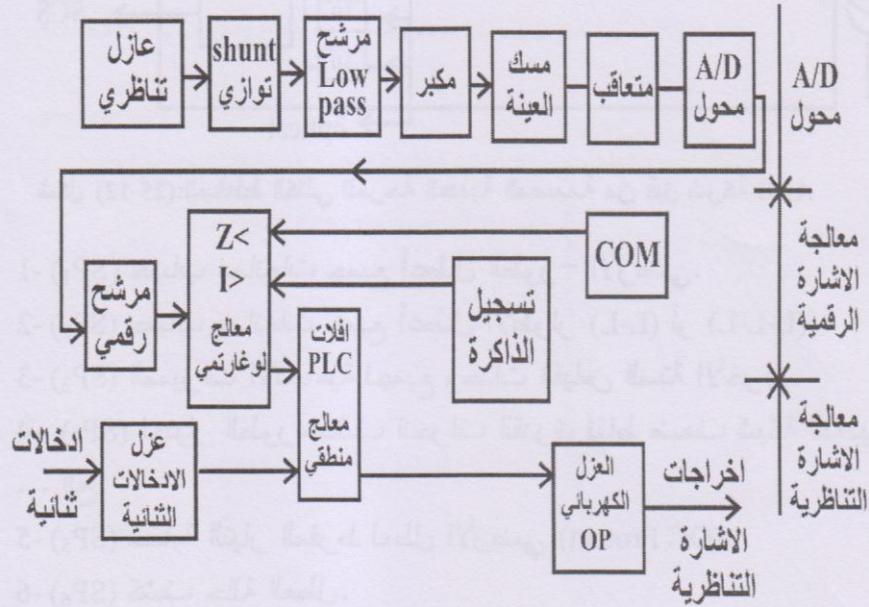
شكل (23-12): المخطط الكتلي للحماية الرقمية ومعدات السيطرة

تقوم وحدة القدرة المجهزة بالعزل الكهربائي بين الجهاز وبطارية المحطة وتزود جميع مصادر التجهيز المساعدة بالطاقة الكهربائية التي يحتاجها. كما تقوم وحدة القدرة المجهزة بالإشراف المستمر على وحدات الجهاز.

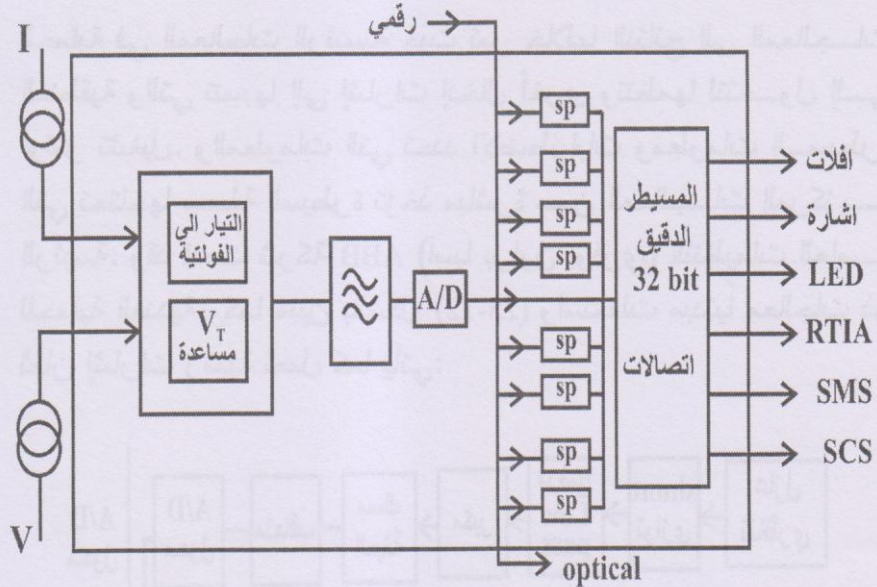
1-5-12 سريان الإشارة Signal Flow

انسياب الإشارة أو ما ندعوه بالمخطط الانسيابي للشكل (23-12) والذي يمكن توضيحه في الشكل (24-12) يحتوي على محولات إدخال تعزل كهربائياً وكذلك يحتوي على متغيرات إدخال تناظرية تعزل عن الدائرة الداخلية (الابتدائية) قبل تجزئته وتحويل التيارات إلى ما يناسبها من فولتيات، وإن الإشارات تمر بموازاة مرشح المرور الواطئ التناظري (LPF) ومكبر وذاكرة مسك العينة إلى المتعاقب الذي يحولها بشكل متوالي من وإلى المحول A/D. في المحول A/D تنقل جميع المعلومات وتعالج بصورة متوالية. يتم التعامل مع الإشارات وفق لوغاريتمات

الحماية في المعالجات الرئيسية حيث تمر خلالها النتائج إلى المعالجات المنطقية والتي تنسبها إلى إشارات إدخال أخرى وتنظمها لتتحول إلى أوامر تشغيل. والمعلومات التي تحدد الاضطرابات ومعلومات السيطرة التي تحتاجها محطة السيطرة تؤخذ مباشرة من المعالجات المركزية الرئيسية. وقد قدمت شركة ABB (آسيا براون بوفري) التنظيمات العامة للحماية العددية وكما مبين بالشكل (25-12) واستعملت مبدئياً معالجات ذو ثمان إشارات رقمية تعمل كما يأتي:



شكل (24-12): اتسبابية المعلومات والإشارات لأجهزة السيطرة والحماية

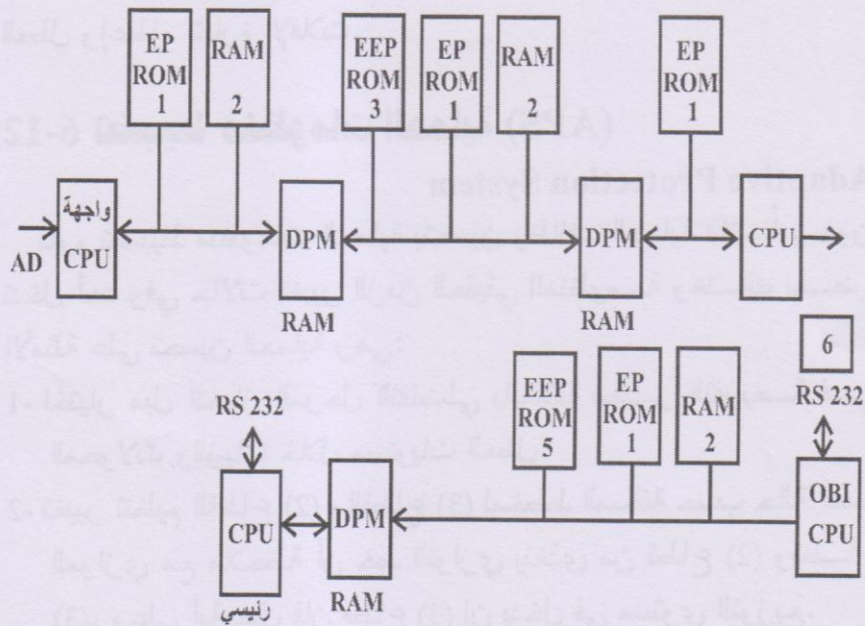


شكل (12-25): المخطط الكتلي للمرحلة العددية المصممة من قبل شركة ABB

- 1- (SP_1) حساب ممانعات جميع أعطال الطور - الأرضي.
- 2- (SP_2) حساب ممانعات جميع أعطال الأطوار (L-L) أو (L-L-L).
- 3- (SP_3) المميزات الاتجاهية لجميع وحدات القياس الستة الأخرى.
- 4- (SP_4) اختيار الطور، كشف انحراف القدرة، نقاط ضعف شبكة التغذية ... الخ.
- 5- (SP_5) حماية التيار المفرط لعطل الأرضي (OC Protect).
- 6- (SP_6) كشف حالة العطل.
- 7- (SP_8) قطاعي حماية مسافية إضافية (عند الحاجة).
- 8- (RTIA) إداخلات الماكينة الرئيسية.
- 9- (SMS) مراقبة نظام المحطة الثانوية.
- 10- (SCS) نظام سيطرة المحطة الثانوية.

2-5-12 بنية النظام System Architecture

بنية النظام للمثال الذي في الشكل (23.12) يوضحها الشكل (26-12).
 إن وحدة إدخال الذاكرة العشوائية (Random Access Memory) (RAM) تستعمل في الذاكرة الرئيسية وتسمح بكتابة المعلومات الوسيطة وقراءتها أو تغييرها خلال عملية المعالجة وتطبيق البرنامج اللوغاريتمات حيث ترمج في وحدة ذاكرة القراءة فقط (ROM) ونستطيع قراءة التراكيب والمعلومات المشفرة برموز بواسطة وحدة (ROM) فقط وتبقى محتفظة بالمعلومات في حالة فشل مصدر التيار المباشر المساعد في تجهيز المعالجات بالقدرة. إن تنظيم وتركيز معلومات منظومة الحماية تخزن في وحدة EEPROMs وهذه المعلومات يمكن قراءتها بإدخال الكلمات المارة وفي حالة فشل مصدر التيار المباشر تبقى المعلومات محفوظة.



شكل (26-12): هيئة المنظومة

3-5-12 سيطرة المشغل Operator Control

عادة يسيطر المشغل على الجهاز بواسطة حاسبة مركزية (PC) تربط إلى نظام سيطرة المحطة الثانوية أو إلى مجموعة الإدخال ويصنع ويسيطر عليه ذاتياً بنافذة حاسوب مركزية تربط إلى نظام سيطرة المحطة الثانوية.

والحديث عن قائمة التسهيلات للجهاز بالإضافة إلى عروض جيدة. وفي بعض الأحيان فان LED تضاف إلى العارضات ليستمر عرض معظم المعلومات المهمة مثل التيارات والفولتيات المقاسة، وحسابات القدرة الفاعلة والمتفاعلة والتردد والتنظيم، واستجابة للمرحلة. يقوم المعالج بخزن القيم للإشارات التناظرية والرقمية قبل وخلال وبعد الاضطرابات مع إشارات زمنية معينة ليتمكن من تقديرها وهذه المعلومات يمكن كذلك إخراجها ونقلها إلى المعالجة أو الطابعة بشكل مخطط نظام أحادي Single Line Diagram للمساعدة في تشخيص العطل وإعطاء إشارة الإقلاط.

6-12 تضبيب منظومات الحماية (APS)

Adaptive Protection System

تقوم تضبيب منظومات الحماية بتحسين وظائف الحماية ذاتياً بدون تدخل أحد وفي حالات تغيير الزمن الحقيقي للمنظومة وهناك بعض الأمثلة على تحسين الحماية وهي:

- 1- اختيار ميل انحياز المرحل التفاضلي بالعلاقة معبر التفرعة في المحولات والزيادة خلال مستويات العطل.
- 2- تغيير تنظيم القطاع (2) والقطاع (3) لمخطط المسافة حسب حالة الخط الموازي مع ملاحظة أن خط التوازي يتغذى من قطاع (2) وقطاع (3)، وعلى أية حال فان قطاع (3) لن يدخل في مستوى التوزيع.

- 3- استخدام برنامج مشاركة الحمل الذكي لمرحل الترددات الواطئة ومرحل تغير التردد المقنن حسب الفقد الحقيقي للقدرة الفاعلة والحمل لمختلف المغذيات يعمل على تحسينها.
- 4- تحويل برنامج الفتح والغلق الذاتي نسبة إلى حالة كون خط التوازي هو داخل أو خارج قطاع الحماية.

7-12 المنظومات الخبيرة (ES) Expert Systems

إن البحوث المتتالية لمنظومات التجريب التطبيقية (ES) تستحق الدراسة لحل مسائل حماية التيار بواسطة هذا المنهج.

منظومات التجريب (ES) هو برنامج حاسوبي يستعمل لمعرفة الاستنتاجات اللازمة لحل المسائل التي تحل عادة من خلال الخبرة الشخصية. معرفة المهندس تأخذ ضرورتها من خبرة الشخص الذي يضعها في قاعدة المعرفة. وهذه المعرفة سوية مع الاستنتاجات اللازمة المستعملة يمكن أن تكون كموديل للخبرة في مجال الاختصاص أو ميدان الاهتمام والمكونات الأساسية لخبرة النظام هي:

- 1- قاعدة المعرفة.
 - 2- الاستنتاجات اللازمة.
 - 3- قاعدة المعلومات.
 - 4- لوحة إدخال المستخدم.
- إن حل مسائل السيطرة يستخدم استراتيجيات التسلسل الأمامي والتسلسل العكسي كلاهما، وإن استنتاج التسلسل الأمامي لإستراتيجية السيطرة هي جوهر وتخطيط المسائل المرتبة. والتسلسل العكسي استراتيجية يتم اختيارها للتشخيص ومسائل الحماية التالية يمكن حلها بخبرة الأنظمة وكما يلي:
- 1- فشل معدات الحماية وتشخيص الأحداث.

- 2- اختيار الحماية وتنظيمها واحداثياتها.
- 3- إعادة الخدمة وتصحيح العمل.
- 4- تشخيص وتحديد العطل.
- 5- حماية مغذيات التوزيع.

ويمكن توضيح الإجراءات اللازمة لحل المسائل كما يلي:

- خبرة النظام تحلل كل حالة ماضية متضمنة المعلومات الحاضرة والتوصل إلى قرار وبمفهوم أوضح وجميع التغيرات في الحماية وتنظيم السيطرة والإجراءات اللازمة.
 - التحليلات تعطي اتجاهاً للميل في تغير المعلومات وتبادل المعلومات معها فقط هذه الحالة فحصت مثل تأثير القرارات وصيغها.
 - إذا كانت المعلومات غير كاملة فإن خبرة النظام يوصلها إلى قرارات أساسية بالتجربة والإقناع مع اعتبار احتمالية الحوادث والتخمين قرارات خاطئة.
- ولا زالت خبرة النظام باقية في مرحلة الصياغة بسبب صعوبة تطوير المعدات المتوفرة والاعتبارات الصارمة المطلوبة في سرعة اتخاذ قرارات الحماية المصممة ولا زالت البحوث مستمرة لتطوير خبرة الأنظمة.

12- 8 الأسئلة

- 1- اعتبر أن محول A/D له 8-Bit. لو أن المحول A/D يولد كلمة [1111] أو [F F]_{hex} ضمن فولتية الدخل التناظرية وهي 10 V+. ما هي الفولتيات المتوقعة لكلمات المعلومات التالية FE و FD و 02 و 01 في hex؟ ارسم الاستنتاجات لو وجدت.
- 2- لو أن كلمة m-Bit تكون مطلوبة لقياس التيارات من (1.0 + إلى +80.0) أمبير. والدقة المطلوبة للقياس ولأدنى تيار وهو 1.0 A هي 1.0%. أحسب أقل طول لكلمة m.
- 3- قدر أن:

$$I = \int_{x=-\pi}^{x=\pi} \sin nx \sin x dx$$

For $n = 1$ and $n \neq 1$

- 4- برهن أن دالة والش ذات المرتبة الأولى (موجة مربعة ± 1)

$$f(x) = \begin{cases} -1.0 & -\pi \leq x < 0 \\ +1.0 & 0 \leq x < \pi \end{cases}$$
 يمكن أن تتوسع كما يلي:

$$f(x) = \sin x + \frac{1}{3} \sin 3x + \frac{1}{5} \sin 5x + \dots$$

- 5- ارسم استجابة التردد للمرشح

$$\frac{v_o(s)}{V_i(s)} = \frac{1}{S^3 + 2S^2 + 2S + 1}$$

- 6- محول A/D له المواصفات التالية:

- a- $T_{\text{Conversion}} = 50 \mu \text{sec.}$
- b- $\pm 10 \text{ V Bipolar Sinusoidal Input.}$
- c- 12 Bit.

أوجد نتائج المحول وأعلى تردد لفولتية الإدخال الجيبية، بدون متسعة مسك العينة Sample-Hold Capacitor لكي يمكن للمحول أن يحول مع دقة $\pm 1/2 \text{ bit}$.

الفصل الثالث عشر

الآفاق المستقبلية والتطور الحديث

الفصل الثالث عشر

الآفاق المستقبلية والتطور الحديث

Recent Advances and Futuristic View

1-13 المقدمة

من الملاحظ أن جميع المرحلات التي تم مناقشتها سابقاً تعتمد على التردد الأساسي للفولتية والتيار عند التشغيل الصحيح. حيث يعمل العطل على زيادة سعة التيار وتقليل سعة الفولتية وتغيير الإزاحة الطورية بينهم، كما يسبب العطل أيضاً حالات عابرة وضوضاء مثل مركبات d.c Offset والتوافقيات وتشوه في المجال المغناطيسي والكهروستاتيكي الذي يحيط بعناصر منظومة القدرة، إضافة إلى الموجات المتقلبة وغيرها. إن الحالات العابرة التي تحدث يمكن أن تقود المرحلة إلى حالة من سوء الأداء، ومن المعلوم فإن المرحلة تتغذى بكميات جيبية، وعند حدوث العطل فإنه يولد ضوضاء يتطلب إزالتها أو ترشيحها بعدها يمكن تغذية المرحلة.

إن بعض مهندسو الحماية رصدوا بعض الملاحظات منها أن المرحلات المتطورة تعمل على الضوضاء إضافة إلى مركبات التردد الأساسي عند موقع المرحلة، حيث تكون هذه المرحلات هي الأسرع من تلك التي تعتمد على التردد الأساسي فقط. كما أن المرحلات المتطورة والحديثة تستخدم الموجات المتقلبة أو التوافقيات.

إن التطورات الحديثة الأخرى للمرحلات تتضمن:

- مرحلات التضبيب Adaptive Relays التي تعمل على تضبيب خصائص العطل المختلفة بالاعتماد على سريان القدرة قبل العطل، على سبيل المثال خصائص العطل على الخط يتحدد بالاعتماد على حالة القدرة

قبل العطل هل هي داخلة أم خارجة. إن خصائص المرحلة هنا تتحدد بخصائص العطل مع التأكيد على التقليل من حالة سوء الأداء.

- المرحلات المستندة على التوافقيات وهي مرحلات العطل الأرضي المستندة على التوافقيات التي تقررها المكائن التزامنية.

- المرحلات الاستاتيكية مثل مرحلات حماية الخط النقل الهوائي من العطل الأرضي عالي الممانعة. إن العطل الأرضي ذا الممانعة العالية لا يعطي تردد أساسي كبير لتيار العطل وعليه فإنه عادة لا يمكن ملاحظته. كما العطل الأرضي ذا الممانعة العالية يتغير من خلال تحطم موصل الطور في الفولتية المتوسطة عند حدوثه في الأرض الجافة.

- الإفلات الداخلي بدون الناقل Intertrippiy Without a Carrier في حالة الغلق الذاتي عالي السرعة أحادي الضربة، فإن قواطع الدورة تعطي إشارة إفلات بسرعة وانسيابية من كلا نهايتي الخط ذا الفولتية العالية. ففي الحالة العملية الطبيعية، فإن معدات المسافة للموجة الحاملة ومعدات الوحدة الحاملة، كلاهما يتطلب تحميل (من 50 Hz إلى 500 KHz) لنقل المعلومات من إحدى نهايتي الخط إلى النهاية الأخرى.

2-13 المرحلات المستندة على الموجات المتنقلة

Relays Based on Traveling Waves

يعمل هذا النوع من المرحلات على حماية خطوط النقل ذات الضغط العالي (HV) والضغط الفائق (EHV) والتي تعمل بالتيار المتناوب A.C والتيار المستمر D.C، حيث أن هذا النوع من المرحلات ما يزال قيد البحث والتطوير.

في خطوط النقل ذات الضغط الفائق EHV، يتطلب إزالة العطل بسرعة عالية وباختيارية جيدة. في الأنظمة الكبيرة يسعى إلى تقليل زمن

التشغيل مباشرة بعد العطل، وأن الموجات المتنقلة تقوم بتشويه الفولتية والتيار الجيبين عند موقع المرحلة.

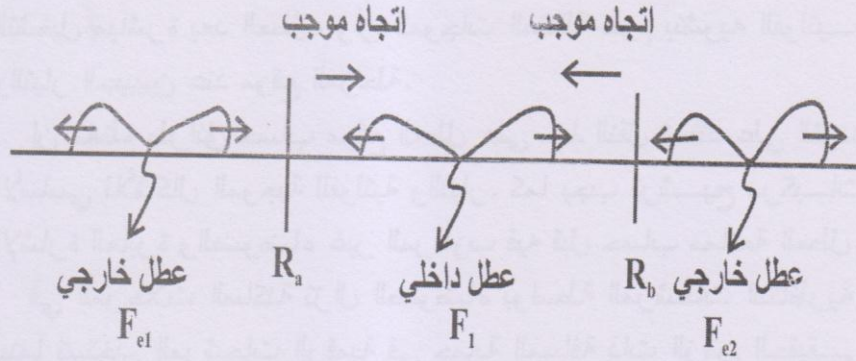
إن معظم طرائق حساب موقع العطل على خط النقل تستند على التردد الأساسي للأشكال الموجية للفولتية والتيار. كما يجب ترشيح مركبات الإشارة العابرة والضوضاء غير المرغوب فيه قبل حساب ممانعة العطل. في المرحلات الساكنة تزال الضوضاء بواسطة المرشحات التناظرية، بينما تستخدم المرشحات الرقمية في حماية المسافة ذات الزمن الحقيقي (Real-Time) المستندة على الحاسبة الرقمية، إن كلا الطريقتين تسبب تأخير زمني غير مرغوب فيه، وعليه فإن الهدف الرئيسي هو تقليل هذا الزمن.

إن هذا المقطع يصف مخطط الطور المفرد للمرحلة الاتجاهية ذات السرعة الفائقة المعتمدة على اتجاه الموجات المتنقلة، التي تنشأ بسبب العطل. إن معدات مرحلة الموجة المتنقلة الاتجاهية تقوم بضبط الكميات التي يتم الحصول عليها من المقترن Coupler الذي يوضع تحت خط القدرة، ويأخذ منه المجال الكهربائي والمغناطيسي وهو بذلك يحل محل كلا من محولات التيار والفولتية.

1-2-13 الموجات المتنقلة القادمة من الأعطال الخارجية والداخلية

Traveling Waves From Internal and External Faults

إن خط النقل بين القضيبي A والقضيبي B بفرض أن انتشار الموجة الموجبة الاتجاهية عند موقعين للمرحلة يوضحه الشكل (1-13).



شكل (1-13): الموجات المتنقلة من الأعطال الداخلية والخارجية

فعند حدوث العطل الفجائي على خط النقل، فإن سعة الموجات المتنقلة تساوي فولتية قبل العطل عند نقطة العطل وتنتشر في كلا الاتجاهين وتتعدى مواقع المرحلة. عند حدوث عطلين خارجيين وعطل واحد داخلي، فإن الانتشار الاتجاهي من مواقع المرحلة R_A و R_B يمكن اختصارها في الجدول (1-13).

جدول (1-13): الموجات المتنقلة الاتجاهية

العطل	الموجات المتنقلة الاتجاهية		
	المرحلة R_B	المرحلة R_A	إفلات، لا إفلات
الداخلي F1	سالب	سالب	إفلات
الخارجي Fe1	سالب	موجب	لا إفلات
الخارجي Fe2	موجب	سالب	لا إفلات

في معدة الوحدة الحاملة الاتجاهية R_A و R_B يتطلب تحديد اتجاه انتشار الموجة واتصال أحدهما بالآخر على القناة الحاملة لإعطاء قرار إفلات أو لا إفلات. في الحالة القهرية للعطل قرب أي قضيب فإن المخطط له زمن تشغيل يساوي:

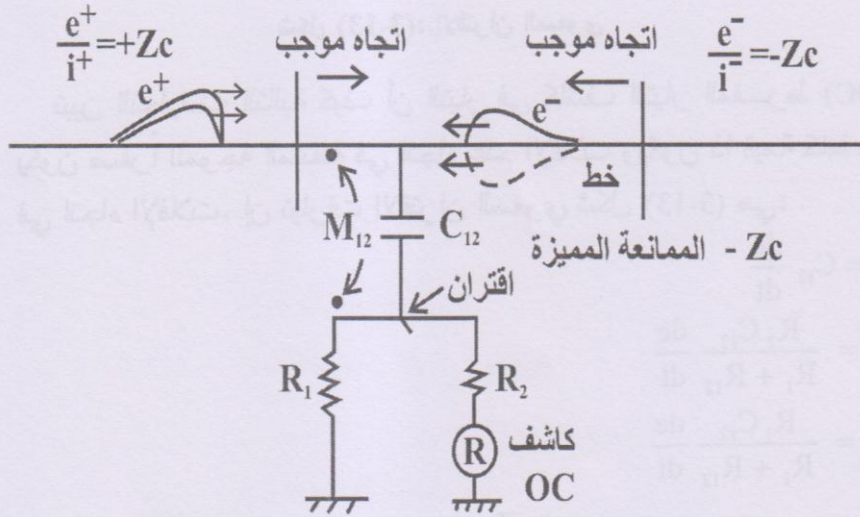
زمن التشغيل $T =$ الزمن المطلوب للموجة المتنقلة المنتشرة على كامل الخط.

عند سرعة الضوء (300,000 Km/sec.) فإن زمن تشغيل المرحلة لخط طوله 300 Km تساوي 2.0 msec.

2-2-13 مرحلة الموجة المتنقلة الاتجاهية

Traveling Wave Directional Relay

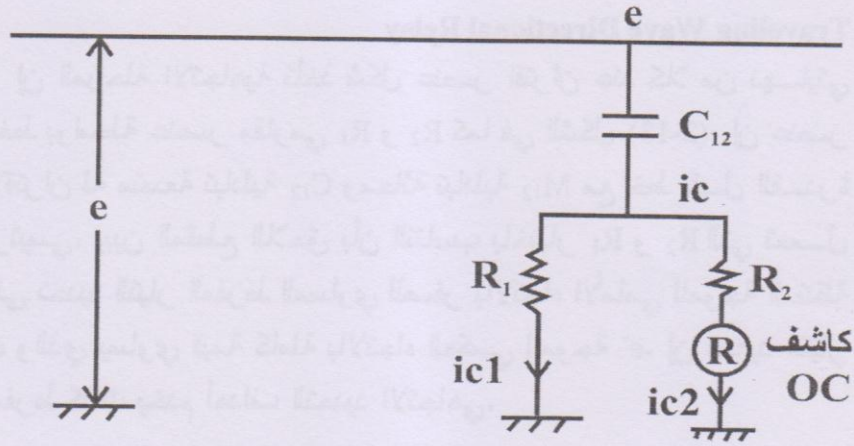
إن المرحلة الاتجاهية تأخذ شكل عنصر اقتران عند كلا من نهايتي الخط بواسطة عنصر مقاومي R_1 و R_2 كما في الشكل (2-13)، إن عنصر الاقتران له متسعة تبادلية C_{12} ومحاثة تبادلية M_{12} مع خط نقل القدرة الرئيسي. يبين المقطع اللاحق بأن التناسب باختيار R_1 و R_2 التي تعمل على تحديد التيار المفرط المساوي للصفر بالاتجاه الأمامي للموجة المتنقلة e^+ والذي يساوي قيمة كاملة بالاتجاه العكسي للموجة e^- . إن تحديد التيار المفرط كذلك يخدم أهداف التحديد الاتجاهي.



شكل (2-13): عنصر الاقتران كمرحلة اتجاهية

3-2-13 مبادئ التشغيل Operating Principles

إن الاقتران السعوي بين خط القدرة والمقترن يوضحه الشكل (3-13). أما الاقتران المغناطيسي فيوضحه الشكل (4-13). إن الاقتران السعوي يسري في نفس الاتجاه خلال R_1 و R_2 ، بينما تيار الاقتران الحثي يسري بالاتجاه العكسي في R_1 و R_2 .



شكل (3-13): الاقتران السعوي

تبين التحليلات التالية كيف أن التيار في كاشف التيار المفرط (OC) يكون صفراً للموجة المنتقلة في اتجاه عدم الإفلات ويكون ذا قيمة كاملة في اتجاه الإفلات. إن تيارات الاقتران السعوي شكل (3-13) هي:

$$i_c = C_{12} \frac{de}{dt}$$

$$i_{c1} = \frac{R_2 C_{12}}{R_1 + R_2} \frac{de}{dt}$$

$$i_{c2} = \frac{R_1 C_{12}}{R_1 + R_2} \frac{de}{dt}$$

وللاقتران المغناطيسي شكل (4-13) فإن التيارات هي:

$$i_{1m} = i_{2m} = \frac{M_{12}}{R_1 + R_2} \frac{di}{dt}$$

وننتائج التيارات هي:

التيار في R_1 هو i_1 ويساوي:

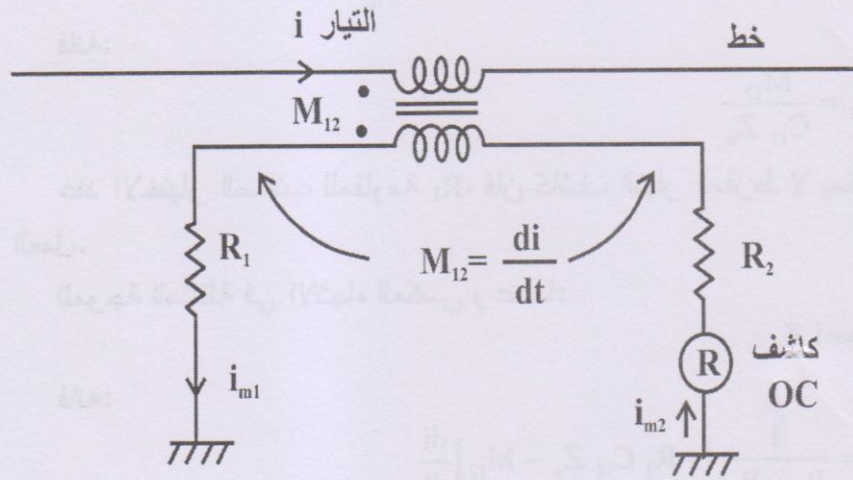
$$i_1 = i_{c1} + i_{m1}$$

$$= \frac{R_2 C_{12} \frac{dc}{dt} - M_{12} \frac{di}{dt}}{R_1 + R_2}$$

$$i_2 = i_{c2} - i_{m2}$$

التيار في المقاومة R_2 هو i_2 ويساوي:

$$i_2 = \frac{R_1 C_{12} \frac{de}{dt} - M_{12} \frac{di}{dt}}{R_1 + R_2}$$



شكل (4-13): الاقتران الحثي

للموجات المنتقلة الأمامية والعكسية على خط النقل، فيكون لها العلاقات التالية:

للموجة المنتقلة في الاتجاه الأمامي:

$$\frac{e^+}{i^+} = + Z_o$$

للموجة المنتقلة في الاتجاه العكسي:

$$\frac{e^-}{i^-} = - Z_o$$

للموجة المنتقلة ذات الاتجاه الأمامي وعندما:

$$e = i Z_o$$

فانه:

$$i_1 = \frac{1}{R_1 + R_2} [R_2 C_{12} Z_o + M_{12}] \frac{di}{dt}$$

$$i_2 = \frac{1}{R_1 + R_2} [R_1 C_{12} Z_o - M_{12}] \frac{di}{dt}$$

عندما:

$$i=0$$

فانه:

$$R_1 = \frac{M_{12}}{C_{12} Z_o}$$

عند الاختيار الصائب للمقاومة R_1 ، فإن كاشف التيار المفرد لا يمكنه العمل.

للموجة المنتقلة في الاتجاه العكسي وعندما:

$$e = -i Z_o$$

فانه:

$$i_1 = \frac{1}{R_1 + R_2} [-R_1 C_{12} Z_o - M_{12}] \frac{di}{dt}$$

إن التيارات السعوية والحثية تطرح من الكاشف OC، بينما تضاف إلى الكاشف الآخر للموجة المنتقلة، ثم أن كواشف OC تسلك مسلك كواشف اتجاهية عندما تكشف العطل بالاتجاه الأمامي أو العكسي. إن الكواشف

عند نهايات خط EHV مع الناقل تكون ضرورية في عنصر الوحدة الحاملة.

Conclusion المحصلة 4-2-13

في هذه المقاطع وصف للمرحلة الاتجاهية المعتمدة على اتجاه انتشار الموجات المنتقلة المتولدة بواسطة العطل. تكون هذه المرحلة ملائمة لوحدة الحماية الحاملة ذات المقارنة الاتجاهية لخطوط EHV/UHV. إن زمن التشغيل يكون قليل جداً ويساوي أو أقل من زمن الانتشار لحماية خط نقل قدرة ذو طول مضاعف. لا يتطلب استخدام محولات تيار أو فولتية منفصلة وإنما يعوض عنها بمقترن سعوي أو مغناطيسي. إن تطوير وتوسيع هذا العمل في خطوط النقل ثلاثية الطور هو قيد البحث.

3-13 المرحلات المستندة على الضوضاء الطبيعية الاستاتيكية

Relays based on Statistical Nature of Noise

1-3-13 المقدمة

واحدة من المسائل الصعبة والتي لم تحل هي الكشف عن العطل الأرضي ذي الممانعة العالية في خطوط الفولتية المتوسطة. ومن الأمثلة على ذلك هي:

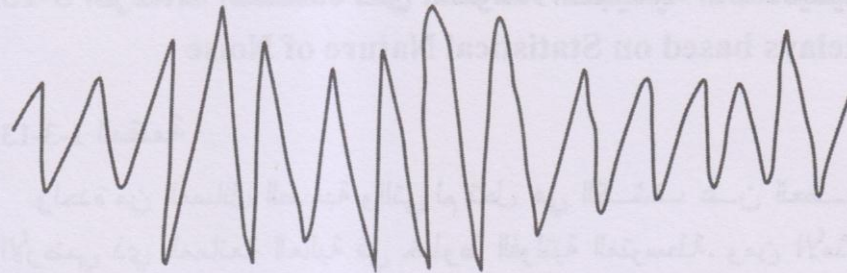
- تعرض موصل القدرة للقرض وسقوطه على أرض جافة.
- تلامس موصل القدرة مع فرع شجرة.
- التلوث الجزئي لعازل الموصل.

مرحلات الحماية الفعلية (مثل التيار المفرط)، لا تستطيع الكشف عن الأعطال، وعليه يهمل تيار العطل. بالرغم من أن العطل لا يدمر الخط فقط ولكن يمكن أن يُعرض الناس والحيوانات لخطر فولتيات الخطوة

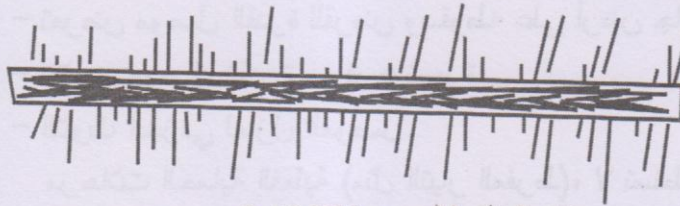
واللمس Touch and Step Voltages التي قد تكون مميتة. وهذا ما يحفز مهندسو الحماية للتفكير الجدي في أنواع جديدة من الحماية.

2-3-13 أسس عمل المرحلة Principle of Relay

إن الصفة الشائعة لتحديد الأعطال الأرضية عالية الممانعة هي الأقواس. وللبحث في هذه الصفة فإنه تم البحث في 86 عطلاً منفصلاً على ستة خطوط مختلفة الفولتية، حيث الصفة الأهم، تكمن في زيادة فعالية الترددات العالية شكل (5-13). إن مدى التردد يتراوح من 2.0 KHz إلى 10 KHz حيث أن كل تردد يكون له نسبة من الترددات الأساسي (50 أو 60 Hz). كما أن عملية فتح وغلق الأحمال يسبب أيضاً ما يشبه فعالية التردد العالي، ولكن فترة الزمن للأقواس عند العطل تكون أطول من خلال حدوث عمليات الفتح والغلق.



تيار العطل الطوري غير المحدد



تيار العطل الطوري 2-10 KHz

شكل (5-13): فعالية التردد العالي لإدخال المرحلة

عند حدوث عطل أرضي عالي الممانعة

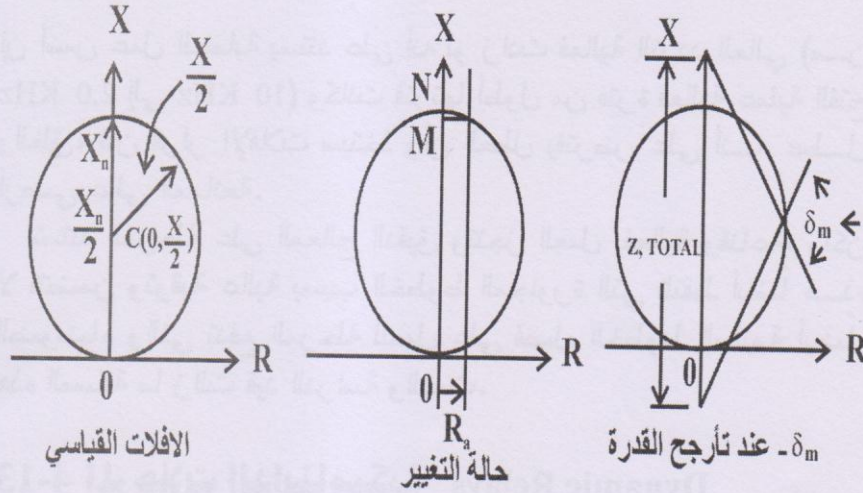
إن أسس عمل الحماية يستند على أنه لو زادت فعالية التردد العالي (من 2.0 KHz إلى 10 KHz) وكانت فترتها أطول من فترة فعالية عملية الفتح والغلق، فإن قرار الإفلات سيتخذ وأن العطل يفترض على أنه عطل أرضي عالي الممانعة.

تستند المرحلة على المعالج الدقيق وتنجز العمل بفعالية وقناعة، ولكن لا تتضمن وثوقية عالية بسبب الخطوط المجاورة التي تلتقط أيضاً هذه الضوضاء والتي تدفع المرحلة للعمل على فصل الخطوط السليمة أيضاً. هذه المسألة ما زالت قيد الدراسة والبحث.

4-13 المرحلات الديناميكية Dynamic Relays

معظم المرحلات التي نوقشت سابقاً، كانت تعمل على الحالة المستقرة لإدخال الفولتيات الجيبية أو التيارات أو كليهما. إن خصائص المرحلة تعمل عن الحالة المستقرة، حيث لا يؤخذ بنظر الاعتبار إلى معدل تغيير كميات الإدخال (الزمن المشتق من التيار، أو الفولتية أو الممانعة وهكذا). من المعروف بأن إداخلات المرحلة تتغير فجأة عند حدوث العطل، بينما عند الحالات الأخرى (مثلاً تأرجح القدرة، تغيير الحمل) فإن هذا التغيير يكون تدريجياً مع الزمن. حيث أن المرحلة يمكن أن تتحسس بالعطل لو أن الإفلات القياسي أو السيطرة على المرحلة المحمية يمكن زيادته عن طريق مشتقات الإدخلات، حيث تكون خصائص المرحلة ديناميكياً أو نعتبره يكون ديناميكي وتكون مشتقات الزمن فاعلة، وأنه عند الوصول إلى الحالة المستقرة فإن مشتقات الزمن يجب أن تساوي صفر. نأخذ على سبيل المثال المرحلة المسامحية MHO شكل (6-13) حيث يوضح الشكل بأن الخصائص المسامحية على مخطط R-X مع زاوية أعظم عزم تساوي 90°. ترسم الخصائص كدائرة نصف قطرها $X_n/2$ وإحداثيات المركز $R = 0$ و $X = X_n/2$. إن معادلة الإفلات للمرحلة المسامحية هي:

$$R_2^2 + \left(X - \left(\frac{X_n}{2} \right)^2 \right) \leq \left(\frac{X_n}{2} \right)^2$$



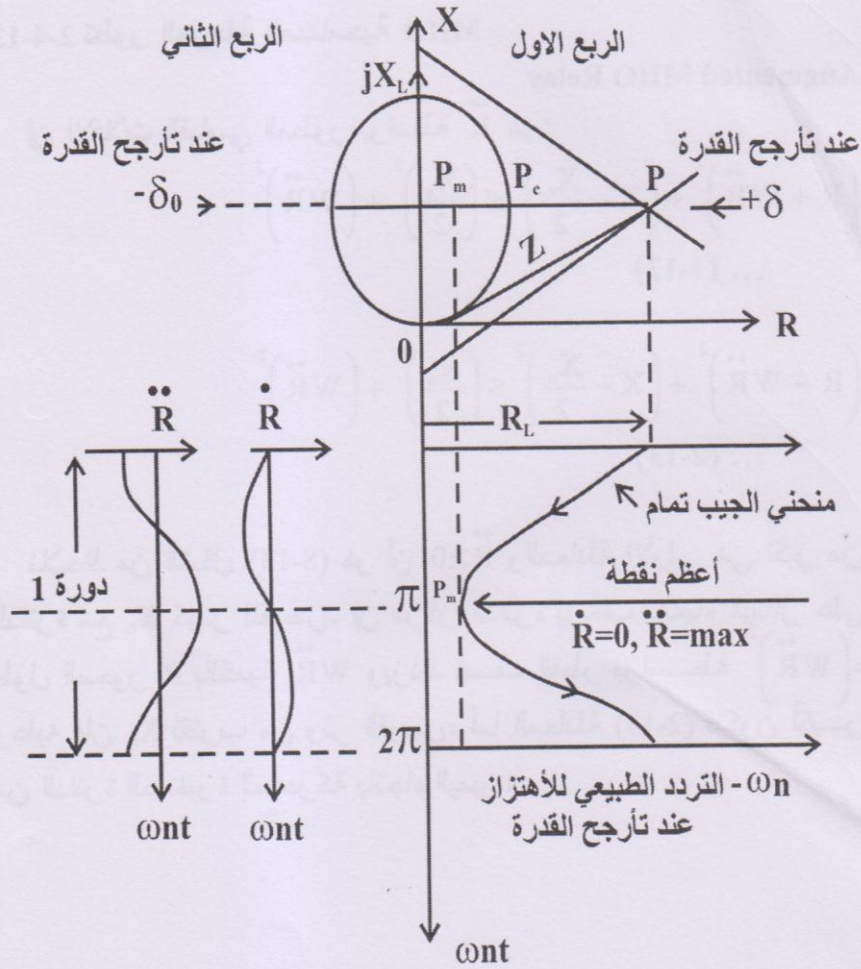
شكل (6-13): المرحلة المسامحية MHO

حيث أن منطقة الإفلات تكون داخل الدائرة ومنطقة الإعاقة تكون خارجها، كما يوضح الشكل أيضاً سلوك المرحلة عند أعطال القوس الكهربائي وتأرجح القدرة. لو أن R هي مقاومة العطل للمرحلة عند حالة قصر المدى بواسطة MN ، فإن أعظم زاوية قدرة يمكن للمرحلة أن تحققها بدون حدوث سوء في الأداء وهذا ما يوضحه الشكل أيضاً. فعند حدوث العطل فإن ممانعة الحمل قبل العطل هي Z_L لحظياً ستتحول إلى Z_F . وعند حدوث تأرجح القدرة فإن الممانعة ستتحرك على طول المحل الهندسي لتأرجح القدرة وتُقارن بصورة تدريجية مع العطل.

إن الهدف هو توسيع خصائص المرحلة المسامحية MHO على طول المحور R لكي يحقق أكبر مقاومة عطل، وكذلك أعلى ممانعة عطل أرضي وكذلك ملائمة خصائص المرحلة لحالات حدوث تأرجح القدرة، وتحقيق أكبر زاوية تأرجح للقدرة δ . وهذا ما يؤكد بتحسين أداء المرحلة خلال تأرجح القدرة المستقر، مما يعطي المنظومة استطاعة لتغطية فقدان التزامن ذاتياً. هذه الميزات تعوض عن الحاجة لمرحلة إضافية، وهي مرحلة الخروج عن التزامن الملحق بها وحدة الكبح. وتتفني الحاجة هنا إلى مرحلة الخروج عن التزامن الملحق بها وحدة الفصل أيضاً.

1-4-13 اختيار المشتقات Choice of Derivatives

يوضح الشكل (7-13) المحل الهندسي لتأرجح القدرة ونقطة الحمل P مع خصائص المرحلة المسامحية (MHO). إن تأرجح القدرة يبدأ من النقطة P تتخللها أعظم P_m لخصائص MHO، ثم تعود لو أن تأرجح القدرة أصبح مستقرًا. إن المرحلة MHO تحاول تحسين الأداء عند تأرجح القدرة المستقر ما لم تضاف مرحلة الخروج عن التزامن الملحق بها وحدة الكبح.



شكل (7-13): R و \dot{R} و \ddot{R} عند تأرجح القدرة

التغيير في R هو أولاً اشتقاق \dot{R} وثانياً اشتقاق \ddot{R} بالنسبة إلى الزمن وهذا ما يوضحه الجزء السفلي للشكل (7-13). إن أعظم دخول لتأرجح القدرة \dot{R} يصل إلى الصفر، بينما \ddot{R} يصل أعظم قيمة. إن الهدف هنا هو الحصول على أعظم خصائص للمرحلة عند تلك النقطة، وعليه يجب وصف الزيادة في الإفلات القياسي أو السيطرة بواسطة \ddot{R} للمقاومة الظاهرية $R_e (V/I)$ المنظورة من قبل المرحلة.

2-4-13 تطور المرحلة المسامحية MHO

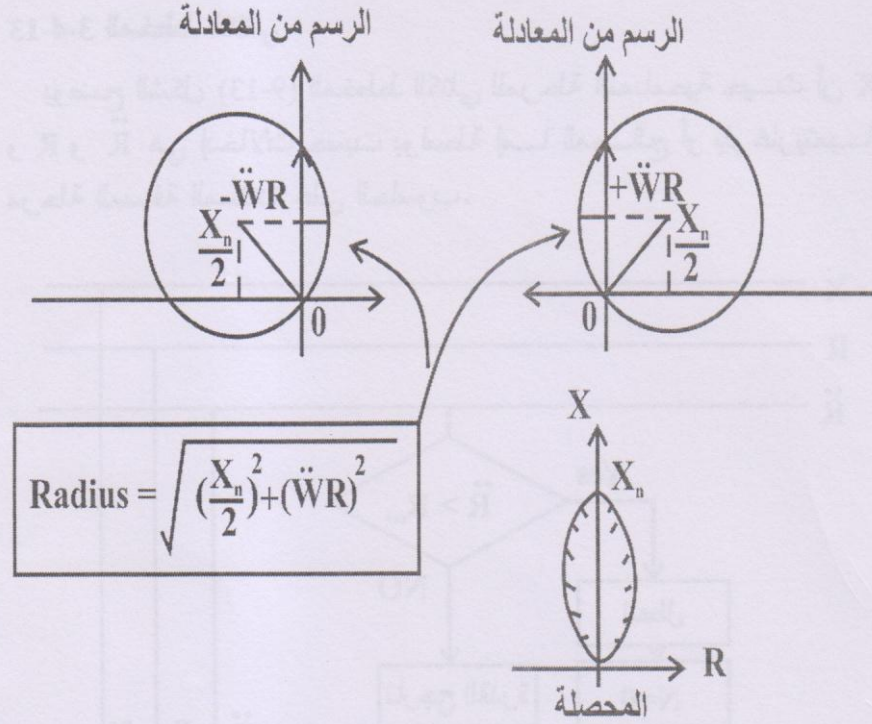
Augmented MHO Relay

إن الإفلات القياسي المطور بواسطة \ddot{R} هو:

$$\left(R + W\ddot{R}\right)^2 + \left(X - \frac{X_n}{2}\right)^2 \leq \left(\frac{X_n}{2}\right)^2 + \left(W\ddot{R}\right)^2 \quad \dots (1-13)$$

$$\left(R - W\ddot{R}\right)^2 + \left(X - \frac{X_n}{2}\right)^2 \leq \left(\frac{X_n}{2}\right)^2 + \left(W\ddot{R}\right)^2 \quad \dots (2-13)$$

نلاحظ من الشكل (8-13) هو أن $\ddot{R} \geq 0$ والمعادلة الأولى هي أكبر من الدائرة مع X_n كوتر للقوس. إن مركز الدائرة يزحف باتجاه اليسار على طول المحور R بالكمية $W\ddot{R}$ ويزداد نصف القطر بواسطة $\left(W\ddot{R}\right)^2$ ، وعليه فإن X_n تقترب من وتر القوس، أما المعادلة (2-13) فتكون أكبر من الدائرة الصغيرة المتحركة باتجاه اليمين.



شكل (8-13): تطور المرحلة المسامحية MHO بواسطة \ddot{R}

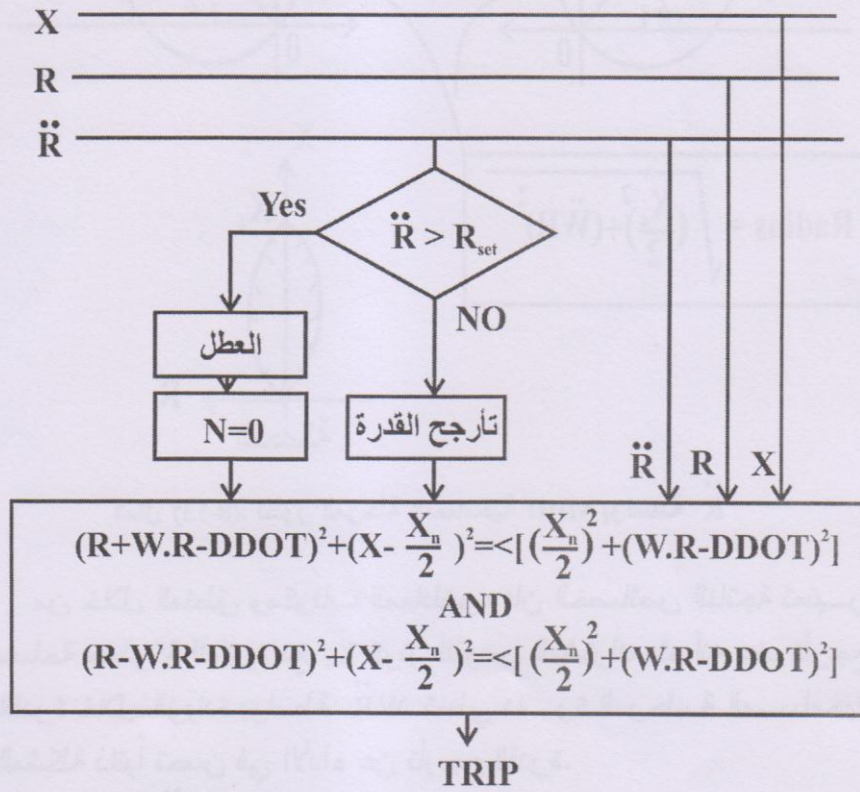
من خلال المنطق ومكونات المعادلتين، فإن الخصائص الناتجة تعتبر مساحة مشتركة للدائرة مع X_n كوتر للقوس المشترك. ثم أنه عند تأرجح القدرة خلال الزيادة بواسطة \ddot{W}_R تعطي دائرة المرحلة المسامحية المشكلة ذاتياً تحسن في الأداء عن تأرجح القدرة.

عندما $\ddot{R} \leq 0$ ، فإن الدائرتان تتولدان بواسطة معادلتين الإفلات المتغيرة والخصائص الناتجة تبقى ثابتة.

إن خصائص مكونات المرحلة المسامحية ثابتة ما عدا قطبية \ddot{R} . وهذا يعني بأن مكونات المرحلة المسامحية المطورة لا تعتمد على حركة تأرجح القدرة من الربع الأول إلى الربع الثاني وبالعكس.

3-4-13 المخطط الكتلي

يوضح الشكل (9-13) المخطط الكتلي للمرحلة المسامحية حيث أن X و R و \ddot{R} هي إدخلات حسبت بواسطة إما المعالج أو بلوغاريتمية مرحلة المسافة المستندة على الحاسوب.



شكل (9-13): المخطط الكتلي للمرحلة المسامحية المطورة

في التصميم الكتلي تتم مقارنة \ddot{R} مع قيمة مرجعية، تقرر فيما إذا كان الذي يحدث هو عطل أو تأرجح قدرة. ففي حالة العطل، لا تتأثر معادلة الإفلات في المقطع السابق بالمشتقات (معامل الوزن $W = 0$) وعليه فإن المرحلة تواجه عطل عالي الممانعة. أما في حالة تأرجح القدرة فإن

معادلات الإفلات التي أصبحت مطورة بواسطة \ddot{R} تتأثر لتؤدي خصائص المرحلة واجبها عند حالة تأرجح القدرة.

1-3-4-13 وحدة القرار The Decision Block

إن قيمة تنظيم \ddot{R} في وحدة القرار، يرتبط عن طريق مفتاح بالمرحلة المطورة بالاعتماد على القيمة أثناء حدوث العطل وتأرجح القدرة. عند حالات العطل فإن مركبة المقاومة مثل العطل للممانعة المطورة بواسطة المرحلة تسقط فعلياً إلى الصفر لحظياً، للحصول على \ddot{R} عالية جداً. عند حالات تأرجح القدرة فإن \ddot{R} تحتاج إلى تقدير وتضمن للمنظومة من خلال التخمين، إذا كان الافتراض بأن قيمة المقاومة قبل الاضطراب هو $R = R_L$ في الشكل (7-13) تسقط فعلياً إلى الصفر (تأرجح القدرة تدخل تقريباً إلى المركز الكهربائي للشبكة) في فترة النصف دورة للجيب تمام، معتمداً على التردد الطبيعي للاهتزازات التي تعطىها معادلة التأرجح الكهروميكانيكية.

في الشكل (7-13) أفرض:

$$R = R_L \cos \omega_n t$$

حيث أن: $\omega_n = 2\pi f_0$ ، قيمة f_0 ربما تقترب من 1 إلى 3 Hz وبعد الاشتقاق لمرتين نحصل على:

$$R_{\max} = -R_L \omega_n^2$$

فان قيمة التنظيم في وحدة القرار ربما تساوي أكثر من هذه القيمة.

2-3-4-13 معامل الوزن Weighting Factor

إن أكبر قيمة لمعامل الوزن W لأكثر خصائص المرحلة تكون عند حالات تأرجح القدرة. إن الخصائص (المركبة من دائرتين) تتلاشى لو أن:

$$\ddot{W}R_{\max.} \geq \frac{X_n}{2} \quad \text{or} \quad W_{\max.} \geq \frac{X_{n/2}}{\ddot{R}_{\max.}}$$

حيث أن:

$$\ddot{R}_{\max.} = -R_L \omega_n^2$$

5-13 المرحلات المكيفة

Swiveling Distance Relays (Adaptive Relays)

إن خصائص عطل الشكل الرباعي للخط يصل إلى تأرجح باتجاه عقرب الساعة عن حالة قبل العطل المانحة (Export). وهي تصل إلى تأرجح القدرة باتجاه عكس عقرب الساعة لحالة قبل العطل الساحبة (Import)، وهذا يعطي إمكانية أوتوماتيكية لخصائص المرحلة. وهذا يقود إلى محاولة تعويض تيار التتابع الصفري لدخل المرحلة، لكن هذه النتيجة لا تكون مقنعة وتحتاج إلى مزيد من الدراسة والبحث.

6-13 تنظيم المرحلة رقمياً Software For Relay Setting

معظم التنظيمات يمكن تطويرها بواسطة البرامج الجاهزة الفعالة لسريان الحمل وتحليل الأعطال وتحلل الاستقرار وبرامج ومعلومات وملفات للحصول على النتائج، وعرض نتائج الأعطال ومخطط R-X لغرض الفحص لكل من تنظيم مرحلة المسافة ومرحلة OC.

7-13 الإفلات الداخلي بدون ناقل

Inter-tripping Without A Carrier

في حماية المسافة التقليدية فإنه فقط 60% يعطي حماية عالية السرعة. وهذا هو مناسب لنظام الغلق الذاتي ذا الضربة المفردة عالية السرعة في خطوط EVH. إن تحقيق حماية عالية السرعة بنسبة 100% للخط يمكن بمساعدة الناقل.

إن التقريب الحديث لهذه المسألة يهدف إلى إلغاء الناقل. وهذا ممكن باستخدام المعلومات بصورة جيدة ومستمرة. والفكرة يمكن توضيحها كما يلي:

اعتبر بأن خط النقل LM مع مصدر تغذية عند كل نهاية ومحامي بمرحلة الممانعة Z موضوعة عن النهاية L شكل (10-13). إن الزمن المتتابع للحالات هي:

- سريان الحمل الطبيعي.
- حدوث العطل عند النقطة P في القطاع 2 عند النظر من جهة النهاية L. التيار والفولتية عند موقع المرحلة تتغير عن القيم السليمة وهذا هو التغير الأول.
- العطل واضح من النهاية M في القطاع 1 والزمن لحظي. ولهذا السبب فإن الفولتيات والتيارات تتغير مرة أخرى عند المرحلة في الموقع L. وهذا ما يدعى بالتغير الثاني.

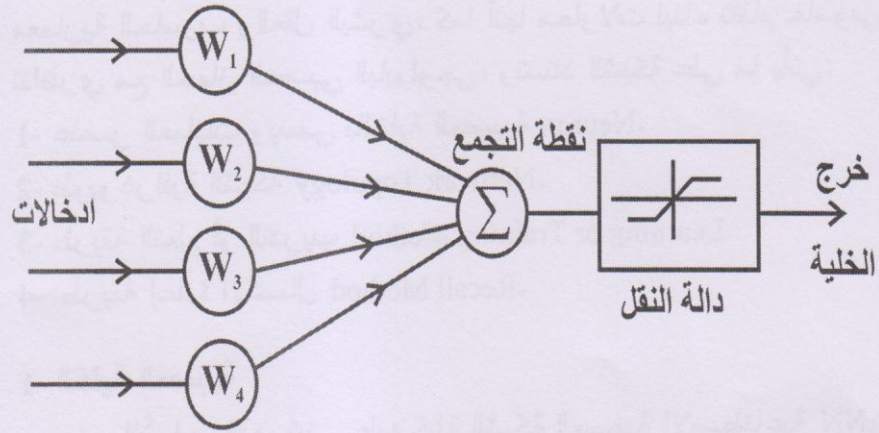
يحدث سوء الأداء عندما يكون الخط التالي قصير مع الحماية المساعدة Pilot. جرت عدة محاولات للتغلب على هذه الثغرات بواسطة التعويض المناسب بكميات التيار والتغيير الثاني بإضافة فولتيات الطور السليمة. يظهر المخطط عمليات كبيرة في المرحلة الرئيسية وحيث لا يوجد سبب لحصول تميز معقد ولا يمكن تشكيله وتطبيق الإفلات الداخلي بدون ناقل.

8-13 النظرية المستقبلية Futuristic View

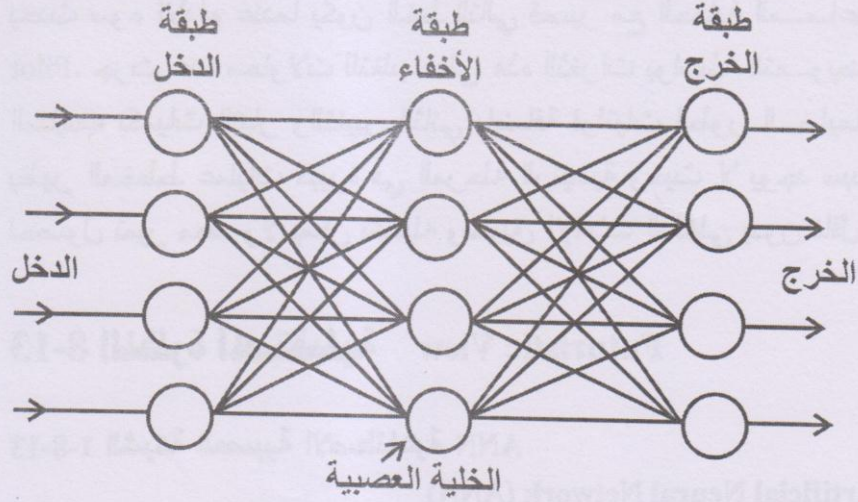
1-8-13 الشبكة العصبية الاصطناعية ANN

Artificial Neural Network (ANN)

إن الأشكال (11-13) و (12-13) توضح ماهية الشبكة العصبية الاصطناعية (ANN)؟



شكل (11-13): موديل الخلية العصبية



شكل (12-13): الشبكة العصبية

إن الشبكة العصبية الاصطناعية هي محاولة للربط بالإحياء بين معمارية الحاسوب والعقل البشري، كما أنها محاولات لبناء نظام حاسوبي تتاطري مع الجهاز العصبي البيولوجي، وتستند الشبكة على ما يأتي:

- 1- عنصر العمليات ويسمى بالخلية العصبية Neuron.
- 2- طوبوغرافية الشبكة Network Topology.
- 3- طريقة التعلم أو التدريب Learning or Training Method.
- 4- طريقة إعادة الاتصال Recall Method.

1- الخلية العصبية

وهي الأساس الذي تبنى عليه كتلة الشبكة العصبية الاصطناعية ANN والتي تحتوي على عدة ممرات لإدخال ترابطات دالة النقل بإخراج واحد. تحسب الخلية العصبية كدالة للإخراج عن طريق أخذ أوزان مجموعة الإدخالات الكلية بإمرارها خلال دالة النقل Transfer Function. إن كل خلية عصبية تكون كاملة الاكتفاء الذاتي وتعمل بمعزل عن العمليات التي تحدث في الخلايا المجاورة. وفي نفس الوقت فإن جميع عناصر العمليات

تؤثر بصورة كاملة على سلوك الشبكة حيث أن كل خرج للوحدة العصبية يأتي من عدة إداخلات.

2- طوبوغرافية الشبكة

تتكون ANN بواسطة تداخلات الوحدات العصبية. والطوبوغرافية تعتمد على التطبيقات وحجم الشبكة وطرق التدريب. إن ANN تقسم إلى عدة طبقات الأولى هي طبقة الإدخال ثم تليها الطبقات الوسيطة والتي تسمى طبقات الإخفاء Hidden Layers، وأن الخرج النهائي نحصل عليه عن طريق طبقة الإخراج.

3- طرائق التدريب (التعليم)

في ANN ولإنجاز عمل مفيد يجب تدريبها بمساعدة الدخل / الخرج. إن قوانين التعلم تسمح لعناصر العمليات المتتابعة للتغيير مع الزمن بالاعتماد على إشارة الدخل الحقيقة وهذا يعني بأن الشبكة تنظم المعلومات ذاتياً للحصول على إخراج معين.

إن عملية التدريب تنظم الأوزان بين الوحدات العصبية للحصول على إخراج ملائم. باستعمال قانون التعلم الواسع الذي يسمى بقانون الانتشار الخلفي Back Propagation Law. في هذه الطريقة فإن خرج الوحدة العصبية في الطبقات الخارجية تقارن مع القيمة الملائمة وتحسب الخطأ وتوزع الأوزان لجميع الترابطات من الخرج إلى طبقات الإدخال والتي تتكرر حين تتجه العمليات إلى نقطة واحدة.

4- طريقة إعادة الاتصال

وهي عمليات إيجاد استجابة للخرج عند إعطاء دخل للشبكة. إن الشبكة العصبية تتعلم وقانون التعلم ربما لا يستطيع تحقيق الهدف وتجميد الأوزان.

ربما لا تظهر الحاجة إلى بناء شبكة حقيقية لكي يتم اختبار إنجازها. إن عدة مكونات متمثلة برمجياً Software يمكن توفرها لكي تسمح للمستخدم بتمثيل وتدريب الشبكة وتجربتها مع طوبوغرافيات مختلفة والتعلم قبل توحيدها مع التركيب البرمجي الثابت Hardware.

توجد بعض المشاكل التي تواجه ANN منها صعوبة إيجاد علاقة بين الدخل والخرج رياضياً، عليه فانه يمكن حلها بعدد من الاختبارات للدخل والخرج وتحديدتها بسهولة من قبل الإنسان.

إن العمل اللاحق في مجال الحماية المستند على ANN تم توثيقها وكما يأتي:

- كشف الأعطال الأولية في مغذيات التوزيع.
- تحسين تقنيات نظام الغلق الذاتي للقطب المفرد في خطوط EHV.
- التمييز بين الأعطال الداخلية وتيار الاندفاع المغناطيسي.

2-8-13 تشوه المجال المغناطيسي والكهربائي

Electric and Magnetic Field Distortion

كل عنصر لنظام قدرة في الحالة الطبيعية له مجالات كهربائية ومغناطيسية تحيط به. وأن أعطال عدم التوازن تعمل على تشوه هذه المجالات بينما العطل المتوازن يسبب بهبوط Collapse بالمجال الكهربائي وبناء المجال المغناطيسي. وهذا ما يجعل المرحلات لا تستطيع كشف التغيرات في المجال. تستخدم مرحلة الموجة المنتقلة لهذا النوع.

3-8-13 الدوال قائمة الزاوية السريعة حاسوبياً

Computationally Fast Orthogonal Functions

إن اكتشاف المعالجات الدقيقة ساهم مساهمة كبيرة في نظم الحماية. حيث أن هذه الأنظمة يمكن أن تعمل بلوغاريتمات الزمن الحقيقي Real-Time السريع حاسوبياً من أجل إزالة مكونات التردد الأساسي الساقطة في الضوضاء بعد العطل. ولهذا الغرض توثق دوال قائمة الزاوية لسلسلة

فورير أو والش Walsh وعدد آخر من الدوال الأخرى. إن اللوغاريتمية المستندة على هذه الدوال تكون بطيئة حاسوبياً، بالاعتماد على المضاعفات المطلوبة. إن مكونات هذه المضاعفات حسابياً تكون بطيئة. نخبة جديدة من هذه الدوال قائمة الزاوية تسمى (1-Shift) توثق لإزالة المكونات الأساسية. هذه الدوال تكون سريعة مع استجابة جيدة للتردد. في الدوال القائمة الزاوية من نوع الجيب والجيب تمام تتزاح جميع المضاعفات إما إلى اليمين أو إلى اليسار لو أن عدد الإزاحات إلى اليمين هي n فإن العتبة سوف تقسم على $1/n^2$. إن الإزاحات المتعددة تتجمع بسرعة عالية عند المضاعفات الاعتيادية.

4-8-13 العينات الدورية A Periodic Sampling

في معظم ما يسمى بالطرائق الرقمية لإزالة مركبات التردد الأساس فان الإشارات تكون على شكل عينات دورية وذات صلة بالدوال قائمة الزاوية من نوع الجيب والجيب تمام. إن الصلة تكون أساساً لأغراض التكامل (تكامل والش أو الفورير). باستخدام طريقة كاوس Gauss تكون العينات الدورية ذات نتائج أكثر دقة في التكامل. لو أن $\int f(x) dx$ حسبت من العتبة $f(x)$ حيث أن هذه العينات لحساب التكامل تكون بأعلى دقة. من الناحية الأخرى فان حدود التكامل (a و b) سوف تقسم لإعطاء أفضل النتائج.

القيمة تحدد بالتكامل بواسطة كاوس و Tchebycheff:

$$I = \frac{1}{n} [f(x_1) + f(x_2) + \dots + f(x_n)]$$

حيث أن:

n : عدد العينات لكل دورة.

$f(x)$: قيمة n^{th} لعينة الإشارة.

إن المضاعفات تتضمن حساب التكامل بسرعة عالية حاسوبياً وبدقة ويعطي نتائج ممتازة برفض الضوضاء. وكذلك يمكن إيجاد نقاط العينات التي ليست دورية لكنها متناسقة وتقع عند نقطة الوسط لفترة التكامل. على سبيل المثال فإن معدل العينة لعدد ستة من العينات لكل دورة، وأن حدود التكامل من -1 إلى +1 فإن العينات هي:

$$X_{-3} = -[0.433123] = -X_{+3}$$

$$X_{-2} = -[0.211259] = -X_{+2}$$

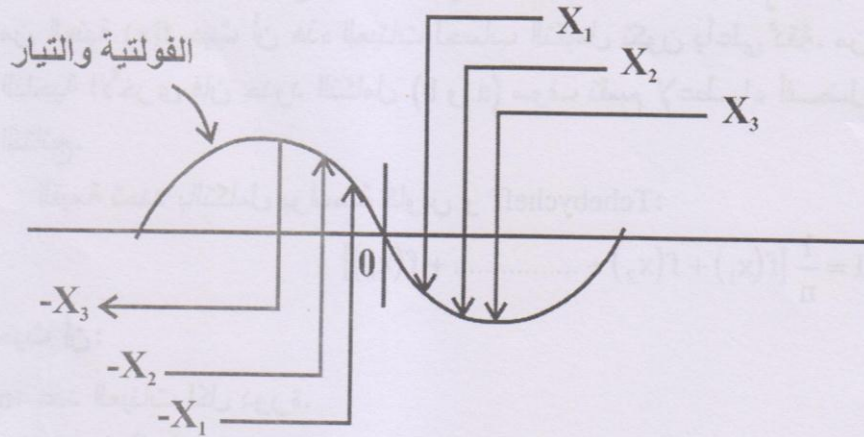
$$X_{-1} = -[0.133318] = -X_{+1}$$

$$X_{+1} = 0.133318$$

$$X_{+2} = 0.211259$$

$$X_{+3} = 0.433123$$

وهذا ما يوضحه الشكل (13-13). نلاحظ بأن العينات هي ليست دورية وهي تطبق بسهولة بواسطة العمليات. هذه الطريقة تظهر جلياً في تطبيقات الزمن الحقيقي.



شكل (13-13): العينات الدورية لحساب التكامل

9-13 محددات الترحيل Limits to Relaying

من الواضح بان مهندسي الحماية يبذلون جهوداً كبيرة ويصرفون وقتاً كبيراً من أجل محاولة تحسين سرعة المرحلات. إن تقليل وقت المرحلة، عند الغلق الذاتي يعني تقليل زمن القطع لقاطع الدورة B. حيث الحاجة لقواطع دورة عالية السرعة.

إن إعطاء الحل المثالي يكمن في عمل المرحلة عند نصف دورة والقاطع لنصف الدورة الآخر. حيث لا توجد سيطرة لتقليل وقت التأخير عند أعطال القوص. وقت التأين ربما يسيطر على السرعة لنظام الغلق الذاتي عالي السرعة ذا الضربة المفردة في خطوط عالية الفولتية.

إن مجال المرحلات ما زال فعالاً ومطلوب. ربما أكثر من القرن الماضي. إن جبهات جديدة فتحت لمهندسي المرحلات في حماية خطوط HVDC و HV/EHV/UHV.

المصادر

1- نظم القدرة، دراسة وتحليل، د. سنان محمود عطار باشي و د. عبد الله محمد مهدي، مديرية دار الكتب للطباعة والنشر، جامعة الموصل، 1990.

- 1- Y. G. Paithanker, "Transmission Network Protection", Regional College of Eng. Napur, India, Copyright, 1998, by MARCEL DEKKER, Inc.
- 2- ALSTOM, Protection and Automatic Network; Guide Alstem TKD Energy Automatic ad Information Peter Rush Levauois, Perset France, 2002.
- 3- Turan Gonen "Modern Power System Analysis; Taha Wiley and Sons, Inc. 1988.
- 4- Keria Warwick, Arthur Ekwue K Raj Aggarwal, Artificial Intelligence Techniques in Power Systems. The Institution of Electrical Engineer. London, United Kingdom, 1997.
- 5- Gerthard Ziefler, "Numerical Distance Protection Principles and Application Siemens, Erlanger, Publies, MCD, 1999.
- 6- A. R. Van C. Warrington, Protective Relays Their Theory and Practice Vol. 1, Chapman and Hall LTD, London, 1974.
- 7- Stanley H. Harawitz, Aron G. Phadla Power System relaying, 1996.
- 8- B. M. Weedy, B. J. Corg. Electric Power Systems, Fourth, Edition, 1998.

University of Mosul
College of Engineering
Electrical Engineering Department

Protection of Electric Power Systems

By
Dr. Abdul Ghani A. A.

1434

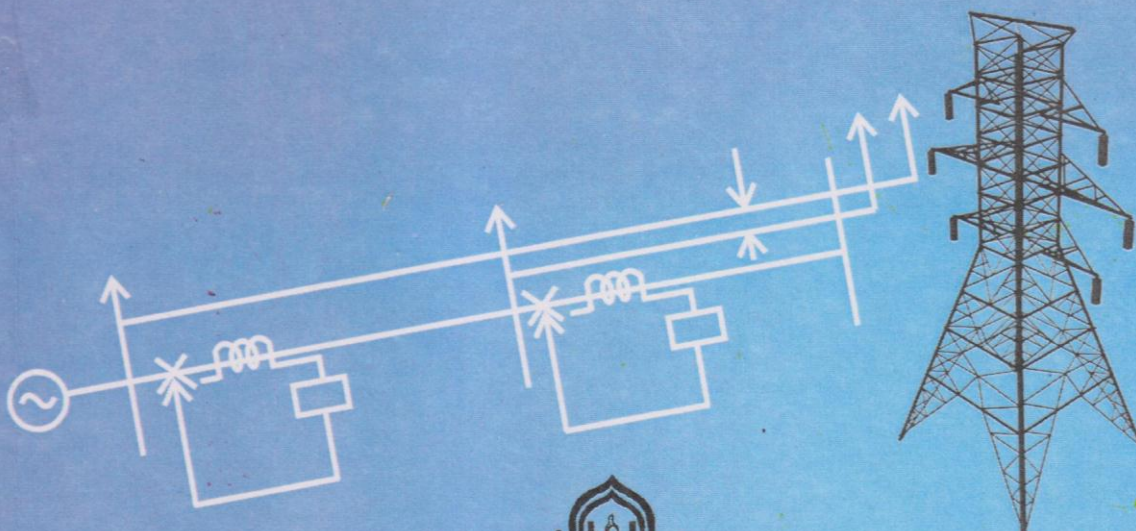
2013

University of Mosul
College of Engineering
Electrical Engineering Department



Protection of Electric Power Systems

Dr. Abdul Ghani A.A.



1434

دار ابن القيم
للطباعة والنشر في المنطقة الوسطى

2013