



الجمهورية العربية السورية

جامعة دمشق

كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية

قسم هندسة الطاقة الكهربائية

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع

الكهربائية بوجود التوليد الموزع

أطروحة مقدمة لنيل درجة الدكتوراه في هندسة نظم القدرة الكهربائية

إعداد

م. ندى العينية

المشرف

المشرف المشارك

د. مصطفى الحزوري

د. فؤاد صالحة

الأستاذ في قسم هندسة الطاقة الكهربائية

مدرس في قسم هندسة الطاقة الكهربائية

2024-2023



تربعون الله تعالى وتوفيق من العلي القدير من إنجائنا هذا البحث .

إلى أبي الرائع، شكراً لك على الدعم اللامحدود والحب الذي لا ينضب، أنت الأب المثالي والقوة الحقيقية، بفخر وامتنان، هذا الإنجاز مهدى إليك مرحمك الله .

إلى أمي الغالية، التي كانت شمعاً تنير دربتي وقلباً ينبض بالحب والدعم اللامحدود، لقد كنت الروح القوية والمهمة خلال هذه الرحلة العلمية، شكراً لك على الحنان والتضحية والتوجيه الذي لا يضاهى، هذا الإنجاز مهدى إليك .
إلى نزوجي العزيز، الشريك الحنون والصديق المخلص، أريد أن أعبرك عن كمية الحب والامتنان التي تملأ قلبي، شكراً لك على دعمك الدائم وحبك الصادق، أنت الركيزة التي أستند عليها في كل لحظة من حياتي معك، أجد السعادة والأمان، أنت كنتري الثمين في هذه الحياة شكراً لك .

أساتذتي الأكابر والسادة المشرفين وأعضاء الهيئة التدريسية، الذين لن يخلوا يوماً في إعطاء معلومة وأي فكرة قيمة .

أحبائي من زملائي ورفاق الدرب، الذين كانوا دائماً مستعدين للمساعدة دون تردد .

الفهرس

7	قائمة الجداول:
8	قائمة الأشكال:
17	1 الفصل الأول
17	الإطار العام للبحث
17	1.1 مقدمة
17	2.1 إشكاليات البحث
17	3.1 تساؤلات البحث
17	4.1 فرضيات البحث
18	5.1 مسلمات البحث
18	6.1 الهدف من البحث
19	7.1 أهمية البحث
19	8.1 مبررات البحث
19	9.1 حدود البحث
20	10.1 الدراسة المرجعية
20	1.10.1 القاعدة الى. تعتمد على الأمواج المسافرة:
21	2.10.1 القاعدة الى. تعتمد على المخطط التكييفي :
24	3.10.1 القاعدة الى. تعتمد على طرائق الذكاء الصنعي:
31	4.10.1 القاعدة الى. تتعلق بحساب السماحية:
33	5.10.1 القاعدة الى. تتعلق بحساب عامل الحساسية:
34	6.10.1 خلاصة الدراسات المرجعية
35	11.1 مخطط البحث
37	2 الفصل الثاني_ النظام الكهربائي بوجود التوليد الكهربائي الموزع
37	1.2 مقدمة(Introduction):

2.2	شبكات التوزيع الكهربائية.....	39
1.2.2	مفهوم الشبكات الكهربائية الشعاعية والحلقية:	40
2.2.2	حمايات شبكات التوزيع الكهربائية.....	42
3	التوليد الكهربائي.. الموزع في.. نظام التوزيع الكهربائي..	45
1.3.2	أنواع التوليد الموزع:	46
2.3.2	سبب ادماج التوليد الموزع ضمن شبكة التوزيع.....	47
3.3.2	المشاكل التي.. تعالج.. منها شبكات التوزيع بوجود التوليد الموزع:	47
4.3.2	مساهمة نوع التوليد الموزع بتيارات الأعطال.....	48
4.2	مشغلات شبكات التوزيع الكهربائية.....	49
5.2	مشغلات أنظمة التوزيع في.. الشبكات الذكية.....	49
6.2	التقنيات الحديثة في.. الشبكات الكهربائية ومفهوم الشبكة الذكية.....	51
1.6.2	تطور الشبكات التقليدية نحو الشبكة الذكية.....	51
2.6.2	نظم نقل المعلومات في.. الشبكات الكهربائية.....	53
3.6.2	نظم القياس الحديثة لكشف الأعطال وتحديد مكانها لاتخاذ القرار المناسب.....	58
1.3.6.2	بنية قراءات تحتية متقدمة.....	58
2.3.6.2	وحدة قياس الأشعة.....	59
3.3.6.2	وحدات القياس الشعاعية الميكروية.....	60
4.3.6.2	التجهيزات الالكترونية الذكية.....	60
5.3.6.2	حساسات الطاقة.....	60
6.3.6.2	الحساسات الذكية.....	60
7.3.6.2	مراقب جودة الاستطاعة.....	61
8.3.6.2	أجهزة قياس المحطة الفرعية.....	61
9.3.6.2	جهاز تسجيل الأعطال الرقمي.....	61
10.3.6.2	مؤشرات الأعطال.....	61
3	الفصل الثالث _ كشف الأعطال في شبكات التوزيع الكهربائية وتحديد مكانها.....	65
1.3	معايير كشف الأعطال في.. الشبكات الكهربائية التقليدية الشعاعية بدون وجود وحدات توليد موزع.....	65
1.1.3	مفهوم المركبات التتابعية لموجات التيار والتوتر.....	65
2.1.3	كشف الأعطال المتناظرة.....	68
3.1.3	كشف الأعطال غير المتناظرة.....	68
2.3	معايير كشف الأعطال في.. الشبكات الكهربائية التقليدية الشعاعية مع وجود وحدات توليد موزع.....	69
1.2.3	كشف الأعطال المتناظرة وغير المتناظرة.....	69
3.3	تحديد مكان العطل في.. شبكات التوزيع الكهربائية الشعاعية.....	71
1.3.3	لمعلومات الضرورية من نظام تحصيل البيانات من الحساسات الذكية في.. نظام القدرة الكهربائية.....	72

2.3.3 تشكيل خوارزمية تحديد مكان العطل في شبكات التوزيع الكهربائية (استنتاج المعادلات الرياضية الضرورية للبحث) 74

1.2.3.3 تشكيل خوارزمية تحديد مكان العطل في شبكات التوزيع الكهربائية الشعاعية دون وجود وحدات توليد موزع (النموذج الرياضي) 74

1.1.2.3.3 متغيرات مسألة الأمثلة 74

2.1.2.3.3 التابع الهدف 76

3.1.2.3.3 قيود مسألة الأمثلة 77

4.1.2.3.3 تشكيل الخوارزمية في البيئة البرمجية المختارة في النظم الحديثة 82

5.1.2.3.3 دراسة حالة (شبكة مرجعية IEEE-13nodes) 87

2.2.3.3 النموذج الرياضي لتحديد مكان العطل في الشبكات الشعاعية مع وجود وحدات توليد موزع 93

1.2.2.3.3 متغيرات مسألة الأمثلة 94

2.2.2.3.3 التابع الهدف 95

3.2.2.3.3 قيود مسألة الأمثلة 96

4.2.2.3.3 دراسة حالة (شبكة مرجعية IEEE-13nodes) 99

3.2.3.3 النموذج الرياضي لتحديد مكان العطل في الشبكات الشعاعية مع وجود وحدات توليد موزع بوجود عنصر اتجاهي: 106

1.3.2.3.3 متغيرات مسألة الأمثلة 106

2.3.2.3.3 التابع الهدف 108

3.3.2.3.3 قيود مسألة الأمثلة 108

4.3.2.3.3 دراسة حالة (شبكة مرجعية IEEE-13nodes) 115

4. الفصل الرابع دراسة جزء من الشبكة السورية بإدخال التوليد الموزع ونظم القياس 121

1.4 نمذجة نظام القدرة الكهربائية المقترح 123

2.4 نمذجة تجهيزات مؤشرات الأعطال 127

3.4 خوارزمية تحديد اتجاه الاستطاعة عند حدوث العطل 134

4.4 تطبيق خوارزمية تحديد مكان العطل على الشبكة المدروسة 138

5.4 الخوارزمية المقترحة لتصنيف الأعطال في شبكات التوزيع الكهربائية 140

1.5.4 تصنيف الأعطال المتناظرة 140

2.5.4 تصنيف الأعطال غير المتناظرة 141

6.4 تحليل الأعطال في الشبكة المختارة ذات مصادر التوليد الموزع عند حالات الأعطال القياسية في الشبكات الكهربائية - تطبيق على الشبكة السورية المدروسة 149

7.4 إجراءات عزل منطقة العطل ورفع موثوقية التغذية لبقية النظام 166

8.4 الخاتمة 166

5 الفصل الخامس النتائج والتوصيات 168**1.5 النتائج 168****2.5 التوصيات 169****6 قائمة المراجع 170**

قائمة الجداول:

- الجدول (1_1) تيار العطل الذي يساهم به كل من الشبكة العامة ووحدة التوليد الموزع.....24
- الجدول (1_2): سويات التوتر لنقاط توضع وحدات التوليد الموزع حسب استطاعتها الإسمية (حمزة، علي، 2011).....39
- الجدول (2_2) مقارنة بين DNO و DSO.....50
- الجدول (2_3) جدول أنواع الشبكات وطرائق الاتصال في كل منها.....57
- الجدول (1_3) الدارة المكافئة وحساب تيار العطل لمختلف أنواع الأعطال.....69
- الجدول (2_3) قيم مصفوفات المتغيرات للعطل المبين في الشكل (3_19) والمحسوبة عن طريق البرنامج المقترح.....88
- الجدول (3_3) قيم مصفوفات المتغيرات للعطل المبين في الشكل (3_21) والمحسوبة عن طريق البرنامج المقترح.....90
- الجدول (4_3) قيم مصفوفات المتغيرات للعطل المبين في الشكل (3_23) والمحسوبة عن طريق البرنامج المقترح.....92
- الجدول (5_3) قيم مصفوفات المتغيرات للعطل المبين في الشكل (3_29) والمحسوبة عن طريق البرنامج المقترح.....101
- الجدول (6_3) قيم مصفوفات المتغيرات للعطل المبين في الشكل (3_31) والمحسوبة عن طريق البرنامج المقترح.....103
- الجدول (7_3) قيم مصفوفات المتغيرات للعطل المبين في الشكل (3_35) والمحسوبة عن طريق البرنامج المقترح.....105
- الجدول (8_3) قيم مصفوفات المتغيرات للعطل المبين في الشكل (3_41) والمحسوبة عن طريق البرنامج المقترح.....115
- الجدول (9_3) قيم مصفوفات المتغيرات للعطل المبين في الشكل (3_43) والمحسوبة عن طريق البرنامج المقترح.....117
- الجدول (10_3) قيم مصفوفات المتغيرات للعطل المبين في الشكل (3_45) والمحسوبة عن طريق البرنامج المقترح.....119
- الجدول (1_4) بيانات خطوط الشبكة مخرج الفطم.....122
- الجدول (2_4) بيانات باسبارات مخرج الفطم.....123
- الجدول (3_4) قيم التيارات واستطاعة المركبات الصفرية والسالبة عند مختلف أنواع الأعطال عند مقاومة عطل $RF=0.0001[\Omega]$ مأخوذة عند FI1.....144
- الجدول (4_4) قيم التيارات واستطاعة المركبات الصفرية والسالبة عند مختلف أنواع الأعطال عند مقاومة عطل $RF=15 [\Omega]$ مأخوذة عند FI1.....145
- الجدول (5_4) مؤشرات الأعطال المفعلة (ترسل إشارة (1) إلى مركز التشغيل - الأحمر ud -الأزرق du).....149
- الجدول (6_4) مؤشرات الأعطال المفعلة (ترسل إشارة (1) إلى مركز التشغيل - الأحمر ud -الأزرق du).....154
- الجدول (7_4) مؤشرات الأعطال المفعلة (ترسل إشارة (1) إلى مركز التشغيل - الأحمر ud -الأزرق du).....158

قائمة الأشكال:

- الشكل (1_1) آلية تدفق البيانات لتطبيق الخوارزمية المقترحة..... 20
- الشكل (2_1) تدفق البيانات في القاعدة التكيفية..... 22
- الشكل (3_1) تطبيق طريقة مخطط الحماية التكيفي على الشبكة الكهربائية IEEE 34-nodes..... 23
- الشكل (4_1) هيكلية تكوين خوارزمية ANN..... 27
- الشكل (5_1) تدفق لبيانات في خوارزمية ANN..... 29
- الشكل (6_1) شبكة IEEE-37 بوجود حساسات ذكية..... 30
- الشكل (7_1) شبكة IEEE-34 بوجود وحدات توليد موزع..... 32
- الشكل (8_1) المخطط العام لتحديد نقطة العطل في شبكات التوزيع بوجود وحدات توليد موزع..... 32
- الشكل (9_1) شبكة مكونة من 7 عقد تبين تشكيل مناطق الحماية..... 33
- الشكل (1_2) منظومة قدرة كهربائية تقليدية مسجل عليها مستويات التوتر في المنظومة السورية..... 38
- الشكل (2_2) الشبكة الشعاعية..... 40
- الشكل (3_2) الشبكة الحلقية..... 41
- الشكل (4_2) منحني تيار القصر كناتج للمسافة..... 43
- الشكل (5_2) طريقة تغذية الحماية بالتيار الزائد الأعظمي..... 43
- الشكل (6_2) أزمنة تشغيل متزايدة باتجاه منبع التغذية لشبكة شعاعية..... 44
- الشكل (7_2) مبدأ عمل العنصر الاتجاهي..... 44
- الشكل (8_2) الاستطاعة الموجبة والسالبة الناتجة عن فرق الصفحة ومبدأ عمل الحاكمة..... 45
- الشكل (9_2) مخطط مبسط للتفاعلات الرئيسية بين TSO، DSO و DERs..... 51
- الشكل (10_2) انبعاثات الكربون السنوية العالمية حسب أنواع الوقود..... 52
- الشكل (11_2) مخطط عام لشبكة الاتصالات..... 54
- الشكل (12_2) مسافة نقل البيانات وسرعة نقلها لشبكات الاتصال اللاسلكية ضمن WAN..... 55
- الشكل (13_2) المكونات الرئيسية لوحدة قياس الأشعة..... 59
- الشكل (14_2) أشكال مؤشرات الأعطال..... 63
- الشكل (15_2) بنية مؤشر العطل مع واجهة الاتصال..... 63
- الشكل (16_2) بنية نظام الاتصالات لنظام مؤشرات الأعطال..... 64
- الشكل (1_3) مركبات التوتر الموجبة والسالبة والصفيرية..... 67
- الشكل (2_3) تجميع المركبات في الشكل (3_1) للحصول على الأشعة غير المتناظرة للتوتر..... 67
- الشكل (3_3) نموذج نظام توزيع ثنائي الباسبارت لحساب الأعطال..... 70
- الشكل (4_3) اتصال مؤشرات الأعطال مع مراكز التشغيل عن طريق DCU..... 72
- الشكل (5_3) مكونات وحدة تجميع المعلومات..... 73
- الشكل (6_3) مثال توضيحي لشبكة بسيطة مكونة من 9 عقد..... 75

- الشكل (3_7) الشبكة التوضيحية مع وجود عطل في LS6 في الشبكة التوضيحية.....76
- الشكل (3_8) مثال توضيحي عن حالة وجود عطلين في LS4,LS6.....78
- الشكل (3_9) المخطط الانسيابي المقترح لخوارزمية تحديد مكان العطل في شبكات التوزيع دون وجود وحدات توليد موزع.....81
- الشكل (3_10) التحقق من صحة تحويل العلاقات من الجبر المنطقي للجبر الخطي لبوابة OR.....83
- الشكل (3_11) جزء من البرنامج المنجز لتحديد مكان العطل - مرحلة تعريف المتغيرات في بيئة ECLIPS.....85
- الشكل (3_12) جزء من البرنامج المنجز لتحديد مكان العطل - مرحلة تعريف القيد (56_3) في بيئة البرمجة ECLIPS.....85
- الشكل (3_13) جزء من البرنامج المنجز لتحديد مكان العطل - مرحلة تعريف القيد (57_3) في بيئة البرمجة ECLIPS.....85
- الشكل (3_14) جزء من البرنامج المنجز لتحديد مكان العطل - مرحلة تعريف القيد (58_3) في بيئة البرمجة ECLIPS.....86
- الشكل (3_15) جزء من البرنامج المنجز لتحديد مكان العطل - مرحلة تعريف القيد (55_3) في بيئة البرمجة ECLIPS.....86
- الشكل (3_16) جزء من البرنامج المنجز لتحديد مكان العطل - مرحلة تعريف القيد (54_3) في بيئة البرمجة ECLIPS.....86
- الشكل (3_17) جزء من البرنامج المنجز لتحديد مكان العطل - مرحلة أوامر الطباعة.....87
- الشكل (3_18) شبكة مرجعية IEEE-13node.....88
- الشكل (3_19) شبكة مرجعية_ حالة وجود عطل وحيد في LS7.....89
- الشكل (3_20) خرج خوارزمية تحديد مكان العطل والنتائج عن تطبيق البرنامج المنجز في بيئة ECLIPS للعطل المبين في الشكل (3_19).....89
- الشكل (3_21) شبكة مرجعية_ حالة وجود عطل وحيد مع وجود إشارات خاطئة في كل من المؤشرين 1,6.....90
- الشكل (3_22) خرج خوارزمية تحديد مكان العطل والنتائج عن تطبيق البرنامج المنجز في بيئة ECLIPS للعطل المبين في الشكل (3_21).....91
- الشكل (3_23) شبكة مرجعية_حالة وجود عطل وحيد عند الجزء 5، مع وجود إشارات خاطئة في كل من المؤشرين 1,8.....91
- الشكل (3_24) خرج خوارزمية تحديد مكان العطل والنتائج عن تطبيق البرنامج المنجز في بيئة ECLIPS للعطل المبين في الشكل (3_23).....92
- الشكل (3_25) شبكة مرجعية_ عطل وحيد بعد إضافة وحدة توليد موزع.....93
- الشكل (3_26) الشبكة التوضيحية مع وجود عطل في LS6.....94
- الشكل (3_27) تجزئة المعادلة المنطقية (81_3).....98
- الشكل (3_28) المخطط الانسيابي المقترح لخوارزمية تحديد مكان العطل في شبكات التوزيع مع وجود وحدات توليد موزع.....100
- الشكل (3_29) شبكة مرجعية_ حالة وجود عطل وحيد عند LS11 مع وجود وحدة توليد موزع.....101
- الشكل (3_30) خرج خوارزمية تحديد مكان العطل والنتائج عن تطبيق البرنامج المنجز في بيئة ECLIPS للعطل المبين في الشكل (3_29).....102
- الشكل (3_31) شبكة مرجعية_حالة حدوث عطل عند LS8 بوجود وحدة توليد موزع، ووجود إشارتين خاطئتين عند المؤشرات 2،11.....102
- الشكل (3_32) خرج خوارزمية تحديد مكان العطل والنتائج عن تطبيق البرنامج المنجز في بيئة ECLIPS للعطل المبين في الشكل (3_31).....103
- الشكل (3_33) شبكة مرجعية_حالة عطل في LS11، وعدد المؤشرات التي فشلت في إعطاء إشارة عطل أكثر من عدد المؤشرات التي قد عملت بشكل صحيح.....104
- الشكل (3_34) خرج خوارزمية تحديد مكان العطل والنتائج عن تطبيق البرنامج المنجز في بيئة ECLIPS للعطل المبين في الشكل (3_33).....104
- الشكل (3_35) شبكة مرجعية_حالة عطل في LS2، وعمل جميع المؤشرات بشكل صحيح.....105
- الشكل (3_36) الشبكة التوضيحية مع وجود عطل في LS6.....106
- الشكل (3_37) تحويل المعادلة (67_3) للشكل الخطي.....111
- الشكل (3_38) تجزئة المعادلة المنطقية (66_3) وتحويلها للشكل الخطي.....111

- الشكل (3_39) تحويل المعادلة (3_73) للشكل الخطي 112
- الشكل (3_40) مثال توضيحي عن حالة وجود عطلين في LS4,LS7 114
- الشكل (3_41) شبكة مرجعية_ حالة وجود عطل في LS13 116
- الشكل (3_42) خرج خوارزمية تحديد مكان العطل والنتائج عن تطبيق البرنامج المنجز في بيئة ECLIPS للعطل المبين في الشكل (3_41) 116
- الشكل (3_43) شبكة مرجعية_ حالة وجود عطل في LS11 ووجود حالات فشل في العمل للمؤشرين 1,2 117
- الشكل (3_44) خرج خوارزمية تحديد مكان العطل والنتائج عن تطبيق البرنامج المنجز في بيئة ECLIPS للعطل المبين في الشكل (3_43) 118
- الشكل (3_45) شبكة مرجعية_ حالة حدوث عطل عند الجزء LS8 ووجود حالات فشل في عمل المؤشرين 3 و 11 118
- الشكل (3_46) خرج خوارزمية تحديد مكان العطل والنتائج عن تطبيق البرنامج المنجز في بيئة ECLIPS للعطل المبين في الشكل (3_45) 119
- الشكل (4_1) جزء من الشبكة السورية _ مخرج الفطم 124
- الشكل (4_2) نمذجة جزء من الشبكة السورية في بيئة MATLAB_ مخرج الفطم 125
- الشكل (4_3) نتائج جريان الحمولة في بيئة MATLAB 126
- الشكل (4_4) نموذج مؤشر العطل في بيئة MATLAB 127
- الشكل (4_5) نمذجة جزء من الشبكة السورية مع وجود مؤشرات أعطال باستخدام MatLab-SimPowerSystem 128
- الشكل (4_6) بنية نظام الاتصالات لنظام مؤشرات الأعطال واستخدام DCU 129
- الشكل (4_7) توترات العقد في الشبكة المدروسة قبل وبعد إضافة توليد موزع 129
- الشكل (4_8) بارامترات المولد التزامني المستخدم في الشبكة المدروسة 130
- الشكل (4_9) نموذج Simulink للمولد التزامني 131
- الشكل (4_10) ربط المولد التزامني مع محول [kV] 2.4/20 131
- الشكل (4_11) جزء من الشبكة السورية بعد إضافة وحدات توليد موزع ومؤشرات الأعطال وتسمية مقاطع الخطوط 132
- الشكل (4_12) نموذج جزء من الشبكة السورية بعد إضافة وحدات التوليد الموزع باستخدام MatLab-SimPowerSystem 133
- الشكل (4_13) خوارزمية تحديد اتجاه تدفق التيار أثناء العطل والموجودة في وحدة المعالجة DCU 134
- الشكل (4_14) نموذج ماتلاب لحساب تغير الاستطاعة 134
- الشكل (4_15) نموذج العنصر الضوئي في بيئة ماتلاب 135
- الشكل (4_16) تمثيل خوارزمية إيجاد مكان العطل في مركز التشغيل DSO باستخدام بيئة Matlab-Simulink 136
- الشكل (4_17) حالة وجود عطل في LS9 وعمل جميع المؤشرات بشكل مثالي 137
- الشكل (4_18) جزء من البرنامج في بيئة Eclips الخاص بإصدار النتيجة 138
- الشكل (4_19) نموذج ماتلاب يبين كيفية ترجمة خرج خوارزمية تحديد مكان العطل إلى مقطع نصي 139
- الشكل (4_20) مركبات التيارات عند حدوث أعطال متناظرة 141
- الشكل (4_21) مركبات التيارات عند حدوث عطل طور مع الأرض 142
- الشكل (4_22) مركبات التيارات عند حدوث عطل طورين مع الأرض 142
- الشكل (4_23) مركبات التيارات عند حدوث عطل طورين 142
- الشكل (4_24) الخوارزمية المقترحة لتصنيف الأعطال في مركز تشغيل شبكة التوزيع مع وجود توليد موزع 148

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العبيد

- الشكل (4_25) نمذجة جزء من الشبكة السورية حالة وجود عطل طورين مع الأرض في LS21، مقاومة عطل $R=0.0001[\Omega]$ ، عمل مثالي لجميع مؤشرات الأعطال ونتائج خوارزمية تحديد مكان العطل 152
- الشكل (4_26) خرج خوارزمية تحديد مكان العطل عند حصول عطل في الجزء LS21 ، عمل مثالي لجميع مؤشرات الأعطال 153
- الشكل (4_27) نمذجة جزء من الشبكة السورية حالة وجود عطل طور مع الأرض في LS33، مقاومة عطل $R=15[\Omega]$ ، فشل في عمل بعض المؤشرات **FI5, 7, 12, 25** ونتائج خوارزمية تحديد مكان العطل 156
- الشكل (4_28) نتائج خرج خوارزمية تحديد مكان العطل عند حصول عطل طور مع الأرض في الجزء LS33، فشل في عمل بعض المؤشرات **FI6, 7, 12, 25** مقاومة عطل $R=15[\Omega]$ 157
- الشكل (4_29) نمذجة جزء من الشبكة السورية، حالة وجود عطل طورين مع الأرض في LS19 ، $R=10 [\Omega]$ ، مع اعتبار فشل في عمل بعض المؤشرات **FI7, 12, 14, 31**. ونتائج خوارزمية تحديد مكان العطل 160
- الشكل (4_30) نمذجة جزء من الشبكة السورية، حالة وجود عطل طورين في LS19 ، مقاومة عطل $R=1[\Omega]$ ، مع اعتبار فشل في عمل بعض المؤشرات **FI7, 12, 14, 31** ونتائج خوارزمية تحديد مكان العطل 161
- الشكل (4_31) نمذجة جزء من الشبكة السورية، حالة وجود عطل طورين في LS6، مقاومة عطل $R=0.001[\Omega]$ ، فشل في عمل بعض المؤشرات **FI2,7,12,23,25,31** ونتائج خوارزمية تحديد مكان العطل 164
- الشكل (4_32) نمذجة جزء من الشبكة السورية، حالة وجود عطل متوازن في LS21، مقاومة عطل $R=1[\Omega]$ ، فشل في عمل بعض المؤشرات **FI5,7,12,24,25** ونتائج خوارزمية تحديد مكان العطل 165

جدول المصطلحات

Home Area Network	الشبكة المنزلية
Building Area Network	شبكة المباني
Industrial Area Network	شبكة المناطق الصناعية
Neighborhood Area Network	شبكة الحي
Wide-Area Network	شبكة المناطق الواسعة
Global System for Mobile Communications	النظام العالمي للاتصالات المتنقلة
Wideband Code Division Multiple Access	الوصول المتعدد بتقسيم القناة بتردد عريض
Long-Term Evolution	التطور طويل الأمد
Phasor Measurement Unit	وحدة قياس الطور
Analog to Digital Converter	محول تماثلي رقمي
field area network	شبكة ميدانية
Power line communication	الاتصال عبر خط الطاقة
Worldwide inter-operability for microwave access	التشغيل الواسع للوصول للأمواج الميكروية
Wireless Fidelity	الوصول اللاسلكي
Power Quality Monitor	مراقب جودة الطاقة
Digital Fault Recorder	مسجل الأعطال الرقمي
Wireless Power Line Sensor	حساس طاقة لاسلكي
Linear optimization	الأمثلة الخطية
Fault indicator	مؤشر العطل
Adaptive protection scheme	المخطط التكيفي للحماية
Intelligent electronic devices	تجهيزات إلكترونية ذكية
Breaker	قاطع حماية
Measurement unit	وحدة قياس طرفية
Smart meter	عداد ذكي
Artificial neural network	الشبكة العصبونية الصناعية

Digital Real-Time Simulator	محاكي رقمي في الزمن الحقيقي
Data Concentrator	مجمع للبيانات
Utility Operations Centre	مركز عمليات الشبكة
Forward Propagation	الانتشار الأمامي
Calculation of Error	حساب الخطأ
Back propagation	الانتشار العكسي
Distribution Generation	التوليد الموزع
Distribution Network Operator	مشغلات شبكات التوزيع الكهربائية
Current Protection	الحماية بالتيار
Voltage Protection	الحماية بالتوتر
Directional Protection	الحماية الاتجاهية
Differential Protection	الحماية التفاضلية
Distance Protection	الحماية المسافية
Protection Using Filter	الحماية باستخدام المرشحات
Thermal Protection	الحماية الحرارية
Gas Protection-Buchholz	الحماية بحاكمات بوخلز الغازية
Overcurrent Trip Protection	حماية القطع بالتيار الزائد
Longitudinal Differential Protection	الحماية التفاضلية الطولية للخطوط الشعاعية
Inverse Time-Lag Over-Current Directional Relay	حاكمة الحماية بالتيار الزائد الزمنية العكسية الاتجاهية
Distance Relay	الحماية المسافية
Wind Turbines	التوربينات الرياحية
Reciprocating Engines	المولدات الترددية
Photovoltaic cells	الخلايا الشمسية الضوئية
Fuel cells	خلايا الوقود
Micro turbines	التوربينات الصغيرة

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العيني

Gas turbines	التوربينات الغازية
Phasor Measurement Unit	وحدة قياس الأشعة
Positive-sequence components	المركبات ذات التتابع الموجب
Negative-sequence components	المركبات ذات التتابع السالب

الملخص

شكل امتداد شبكات التوزيع الكهربائية عبر مناطق جغرافية صعبة بالإضافة إلى امتلاكها فروعاً رئيسية وثنائية متعددة، إحدى أهم التحديات بالنسبة لمشغلي هذا النوع من الشبكات، يبرز التحدي الأكبر في عملية الكشف الدقيق عن مكان حدوث العطل، وبالتالي إزالة السبب من أجل إعادة التغذية الكهربائية، والحصول على موثوقية تغذية بأعلى درجاتها.

في الواقع، يمكن أن تكون تجهيزات الحماية الكهربائية لهذا النوع من الشبكات، منتشرة عبر قطاعات واسعة من هذه الشبكات، بالتالي لا يمكن الاعتماد على هذه التجهيزات في الاستدلال على مكان حدوث العطل، كما أدى الاندماج المتزايد لوحدات التوليد الموزع (DG Distributed Generation) في شبكات التوزيع إلى التأثير على تيارات القصر واتجاهها. فرض ذلك وجود خوارزميات وطرائق حديثة لكشف المكان الدقيق للأعطال. وجدت التجهيزات الذكية طريقها إلى المنظومة الكهربائية عبر العديد من التطبيقات والوظائف. من أحد أهم هذه التطبيقات كان استخدام التجهيزات الالكترونية الذكية الخاصة بتحسس تيارات الأعطال المسماة مؤشرات حدوث العطل (FI Fault Indicator).

ساهم هذا البحث في استخدام FI في عملية الكشف الدقيق عن مكان حدوث العطل عند تكامله مع خوارزمية خاصة تعالج المعلومات الواردة من هذه التجهيزات إلى مركز تشغيل شبكة التوزيع. تم في هذا البحث استخدام الأمثلة الخطية (Linear Optimization) من أجل تحديد مكان العطل حيث تم اعتبار مسألة الكشف عن العطل هي مسألة أمثلة بتابع هدف وقيود محددة.

عالج تابع الهدف مسألة ورود معلومات خاطئة من بعض مؤشرات الأعطال وسعى إلى تقليل عددها إلى الصفر، تم أيضاً في هذا البحث إجراء تعديل على نموذج مؤشر العطل بإضافة عنصر اتجاهي كحل لمسألة وجود التوليد الموزع وما ينتج عنه من تغذية العطل من اتجاهين مختلفين. عززت خوارزمية كشف العطل وتحديد مكانه في هذا البحث بخوارزمية لتصنيف الأعطال الضرورية لعمليات الإحصاء في مركز التشغيل بالإضافة إلى التقدير الحقيقي لمتطلبات إزالة سبب حدوث العطل.

تم برمجة الخوارزمية بلغة JAVA وباستخدام برنامج ECLIPS وتم تطبيقها على شبكات مرجعية وكذلك على جزء من الشبكة السورية [20kV] وتمت نمذجة الشبكات عبر بيئة الماتلاب MATLAB البرمجية بعد ربط الخوارزمية بلغة JAVA مع نموذج الشبكة.

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العينية

أظهرت النتائج مدى فعالية الخوارزمية في كشف وتحديد المكان الدقيق العطل بالإضافة إلى إظهار نوعه، حيث لعبت التحسينات الخاصة بنموذج مؤشر العطل عند وجود التوليد الموزع وما يتبعه من تعديل للخوارزمية بما يتناسب مع هذا التحسين دوراً هاماً في إبراز مدى فعالية الخوارزمية المقترحة.

كلمات مفتاحية:

شبكات التوزيع الكهربائية، التوليد الموزع، مكان العطل، مؤشرات الأعطال، مسائل الأمثلة، بيئة CPLEX

1 الفصل الأول

الإطار العام للبحث

1.1 مقدمة

في هذا الفصل سنقوم بشرح عام عن البحث: إشكالياته وتساؤلاته وفرضياته ومسلماته والهدف منه وأهميته ومبرراته وحدوده وذلك ضمن الإطار العام لمخطط البحث الذي تمت الموافقة عليه للتسجيل في الدكتوراه، بالإضافة لشرح عام عن الدراسات المرجعية التي استندنا عليها للقيام في هذا البحث.

2.1 إشكاليات البحث

تعد وظيفة تحديد مكان العطل بالإضافة إلى كشفه، وتحديد نوعه، من المهمات الرئيسية الواجب على مراكز التنسيق القيام بها بشكل دقيق وموثوق وسريع، يلعب ذلك دوراً هاماً في عمليات عزل أسباب العطل، وإعادة التغذية الكهربائية للمنظومة الكهربائية، أو الجزء المعطل فيها.

تعد شبكات التوزيع التقليدية (الشعاعية) من الشبكات ذات التوزيع الجغرافي المعقد نسبياً، بالمقارنة مع شبكات النقل، بسبب توزيع الأحمال المتناثر عبر مناطق جغرافية معقدة أحياناً، كالمناطق الجبلية والريفية، والغابات الصعبة الوصول من قبل العنصر البشري، كما أن الميل في العقود الماضية إلى إدماج وحدات التوليد الموزع، بمختلف أنواعها، في شبكات التوزيع، فرض قيوداً إضافية على عملية كشف وتحديد مكان العطل، والتي لا بد لمراكز التنسيق أن تأخذها بعين الاعتبار ضمن وظائفها الأساسية.

3.1 تساؤلات البحث

كيف يمكن تحسين خوارزميات كشف وتحديد مكان الأعطال في شبكات التوزيع التقليدية لتوائم تحول تلك الشبكات إلى النظام الذكي؟

هل يمكن الاستفادة من التقدم التكنولوجي لتجهيزات كشف الأعطال في تحسين وتسريع عملية كشف وتحديد مكان الأعطال في شبكات التوزيع؟

كيف يمكن تطوير وتحسين أداء تلك التجهيزات برمجياً ضمن خوارزميات مركز التنسيق؟

4.1 فرضيات البحث

يفرض البحث خوارزمية لكشف وتصنيف وتحديد مكان العطل في شبكات التوزيع [20kV] بعد إدماج التوليد الموزع التقليدي ويلزم لذلك:

- توزيع مناسب لتجهيزات كشف الأعطال ضمن الشبكة الكهربائية المدروسة.

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العينية

الفصل الأول: الإطار العام للبحث

- تحديد المعادلات المنطقية اللازمة لإنشاء الخوارزمية وتحويلها إلى معادلات خطية تتناسب مع الخوارزمية المطبقة.
- استخدام الأمثلة الخطية Linear Optimization ضمن بيئة JAVA البرمجية باستخدام مكتبات الأمثلة CPLEX، من أجل تطبيق مسألة الأمثلة الخطية لتحديد مكان العطل.
- نمذجة الشبكة المقترحة ضمن بيئة الماتلاب البرمجية SimPowerSystem.
- إجراء عمليات الربط بين بيئة ECLIPS_JAVA وبيئة ماتلاب من أجل اختبار الخوارزمية.
- دعم خوارزمية كشف وتحديد مكان العطل بخوارزمية لتصنيفه وإظهار نوعه عن طريق واجهة رموز إيضاحية، تتناسب مع وظائف مشغل الشبكة.
- اختبار الخوارزميات على جزء من الشبكة السورية [20kV] وفق أنواع وأماكن مختلفة للأعطال.

5.1 مسلمات البحث

تعتبر شبكات التوزيع الكهربائية أحد أهم البنى التحتية التي تضمن توزيع الطاقة الكهربائية بشكل فعال وآمن إلى المستهلكين.

تتميز هذه الشبكات باختلاف خصائص النواقل (حجم وطول)، واختلاف طريقة التمديد (هوائية أو أرضية)، وبعدم التوازن الناتج عن اختلاف طبيعة الأحمال (أحادية، ثنائية أو ثلاثية الطور)، ووجود نقاط فرعية على طول المغذي، بالإضافة إلى فروع لتغذية الأحمال.

أصبح تحديد مكان العطل في شبكات التوزيع الكهربائية أمراً حيويًا ومعقدًا، إذ تعتمد فترة انقطاع التيار الكهربائي على تحديد مكان العطل الدقيق للعطل، وبالتالي إزالة أسبابه.

لابد لعملية كشف العطل أن تتم بالسرعة الممكنة وقبل تفعيل تجهيزات الحماية التي تقوم بعزل القطاع المعطل عن النظام الكهربائي.

6.1 الهدف من البحث

الهدف الرئيسي لهذا البحث هو تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواقعها بشكل دقيق في شبكات التوزيع الكهربائية ذات الهيكلية المعقدة لتوائم وجود وحدات توليد موزعة وذلك باستخدام تجهيزات ذكية تسمى مؤشرات الأعطال (Fault Indicator) من أجل تحسين كفاءة عملية كشف وتصنيف وإيجاد مكان العطل في شبكات التوزيع.

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العينية
الفصل الأول: الإطار العام للبحث

7.1 أهمية البحث

تعتبر مسألة تحديد موقع العطل في شبكات التوزيع الكهربائية من بين أبرز التحديات التي تواجهها هذه الشبكات إذ أن تأثيرات هذه المشكلة لا تقتصر فقط على المستهلكين، بل تمتد أيضًا إلى الشركات المسؤولة عن توزيع الطاقة الكهربائية.

تعد الحلول المقدمة من تلك الشركات لحل مسألة تحديد مكان العطل بالدقة والسرعة الممكنة من المميزات التفضيلية عند الدخول في استثمار في هذا القطاع، لذلك تم الاتجاه نحو التقنيات الحديثة والتطورات في مجال الهندسة الكهربائية، لتساهم في تحسين كفاءة عملية إيجاد مكان العطل في شبكات التوزيع، وتقليل الوقت اللازم لإصلاح الأعطال وتحسين موثوقية التغذية الكهربائية وبالتالي رفع المردود الاقتصادي للشركات العاملة على توزيع الطاقة الكهربائية.

8.1 مبررات البحث

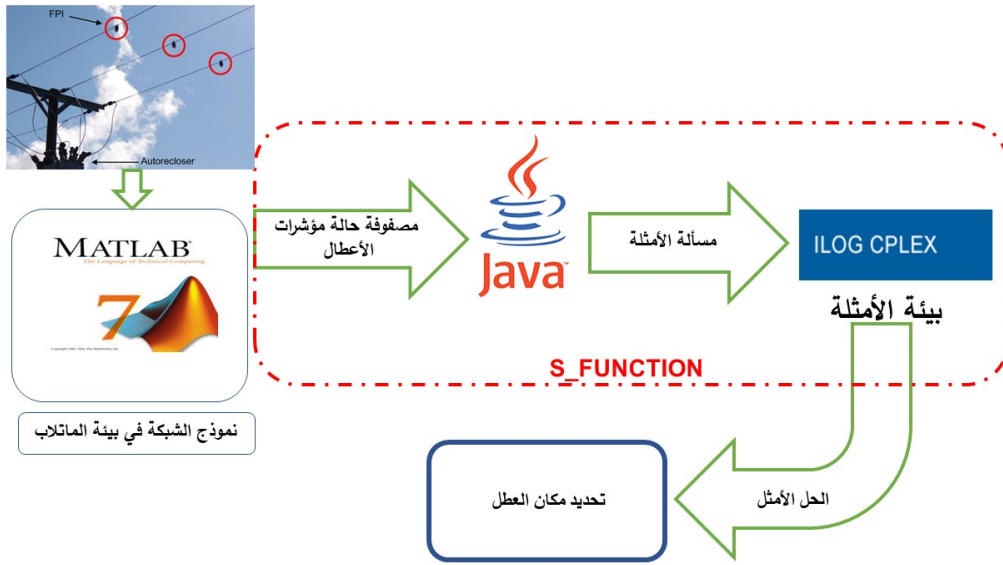
أدى الانتشار الواسع لوحدات التوليد الموزع في شبكات التوزيع الكهربائية إلى فشل الأنظمة التقليدية في تحديد مكان العطل بشكل دقيق، لذلك لابد من الاتجاه نحو التشخيص الذكي لإيجاد مكان العطل في شبكات التوزيع، بوجود وحدات توليد موزع فيها.

9.1 حدود البحث

تضمنت الدراسة النقاط التالية:

1. وضع نموذج في بيئة ماتلاب يمثل مؤشرات الأعطال في شبكات التوزيع، وتوليد إشارات أعطال بناءً على معايير تحديد الأعطال.
2. حل مسألة تحديد مكان العطل باستخدام الأمثلة الخطية بعد تحديد تابع الهدف والقيود، وتطبيقها.
3. وضع آلية لإرسال الإشارات المتولدة من مؤشرات الأعطال لتشكل مصفوفة إشارات يتم إرسالها إلى مركز التشغيل، وذلك باستخدام لغة JAVA في بيئة ECLIPS.
4. تصدير مكان العطل الدقيق إلى بيئة ماتلاب ليتم إظهار موقع العطل على شكل رسالة نصية.
5. إظهار نوع العطل على شكل إشارات توضيحية وعبارات نصية في بيئة ماتلاب.
6. تم فرض حدوث أعطال أو خلل وظيفي في بعض مؤشرات الأعطال من أجل اختبار الخوارزمية.

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العينييه
 الفصل الأول: الإطار العام للبحث



الشكل (1_1) آلية تدفق البيانات لتطبيق الخوارزمية المقترحة

يبين الشكل (1_1) آلية تدفق البيانات لتطبيق الخوارزمية المقترحة.

10.1 الدراسة المرجعية

عند القيام بالبحث العلمي فإن الخطوة الأولى هو الاطلاع على الأبحاث العلمية المحكمة في نفس مجال البحث وتقديم النتائج التي تم الوصول إليها في هذه الأبحاث، ومن ثم تحديد ما سيتم اضافته ليكون خطوة للأمام في عملية البحث العلمي.

تم التطرق للكثير من الطرائق من أجل تحديد مكان الأعطال في الشبكات الذكية (Kezunovic, 2011)، منها طرائق تحليلية، تعتمد معالجتها على خواص المغذي الرئيسي بالإضافة لمقاومة الخطوط (Choi et al., 2007; Trindade et al., 2014) واستخدم باحثون آخرون تقنية الضغط الاستشعاري (compressive sensing) من أجل تحديد مكان العطل (Majidi et al., 2015).

تتناقش الطرائق الحديثة تقنيات تحديد موقع العطل في أنظمة التوزيع وخاصةً الشعاعية منها، باستخدام خوارزميات مختلفة، وهنا لمحة موجزة عن الخوارزميات الحسابية المستخدمة.

1.10.1 القاعدة التي تعتمد على الأمواج المسافرة:

قام Zhao Jianwen وآخرون (Jianwen et al., 2020; Tashakkori et al., 2020; Thomas et al., 2003) فبعرض تقنيات تحديد الأعطال التي تحدث في نظام التوزيع، مع مؤشر اختراق مرتفع لمصادر توليد الطاقة الموزعة، ركز العمل على استعراض أسلوب التوترات الزائدة فقط، والتي تعتمد على قياس زمن وصول

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العنينة
 الفصل الأول: الإطار العام للبحث
 الموجات المسافرة التي تنشأ نتيجة العطل، إلى نقطة معينة على الخط واستخدام سرعة الموجة المعتمدة على التردد
 لحساب المسافة بين نقطة العطل ونقطة القياس.

2.10.1 قاعدة المخطط التكيفي:

تم تطبيق خطط حماية تكيفية جديدة في الآونة الأخيرة على شبكات التوزيع، ولكن غالبية مخططات الحماية التكيفية لها بعض القيود في هذا المجال نذكر منها:

1 - الهدف الرئيسي منها العمل على تنسيق الحماية وعدم التطرق لمشكلة تحديد مكان العطل (Asian & Aggarwal, 2008).

2 - تعتمد بارامترات ضبط الحماية على سيناريوهات ثابتة لكل من التوليد والحمل.
 علاوة على ذلك، لا تدرس أي منها مشكلة اكتشاف العطل في الفروع الجانبية. حيث يعد ذلك مشكلة صعبة الحل بسبب ظاهرة موقع العطل المتعدد على الرغم من حدوث عطل وحيد.

ركزت معظم الدراسات في هذا المحور، على تحديد موقع العطل، في شبكات النقل (Eriksson et al., 1992; Lawrence et al., 1985)، ولكن لم تجدي أي منها نفعاً في تحديد مكان العطل بشكل دقيق في شبكات التوزيع، وذلك بسبب بنية الخطوط غير المتجانسة، ووجود فروع جانبية كثيرة، والسلوك المختلف في استهلاك الأحمال من قبل المستهلكين، فضلاً عن دمج وحدات التوليد الموزع في شبكات التوزيع (Asian & Aggarwal, 2008).

اتجهت الدراسة (Alcala et al., 2020) لإيجاد طريقة لتحديد موقع العطل، بالاعتماد على المخطط التكيفي للحماية (APS (Adaptive protection scheme)، والتي تقدم استراتيجية لتحديد بارامترات تجهيزات الحماية (Intelligent Electronic Device IED) بحسب معطيات الشبكة، ودرست هذه الاستراتيجية الأعطال من نوع طور مع الأرض، وعطل ثلاثي الطور متوازن.

يتكون النظام التكيفي من الأجزاء التالية كما يبينه الشكل (1_2):

1 - APS-SAU (An adaptive protection scheme – state and adapt unit) نظام للحماية المتكيف

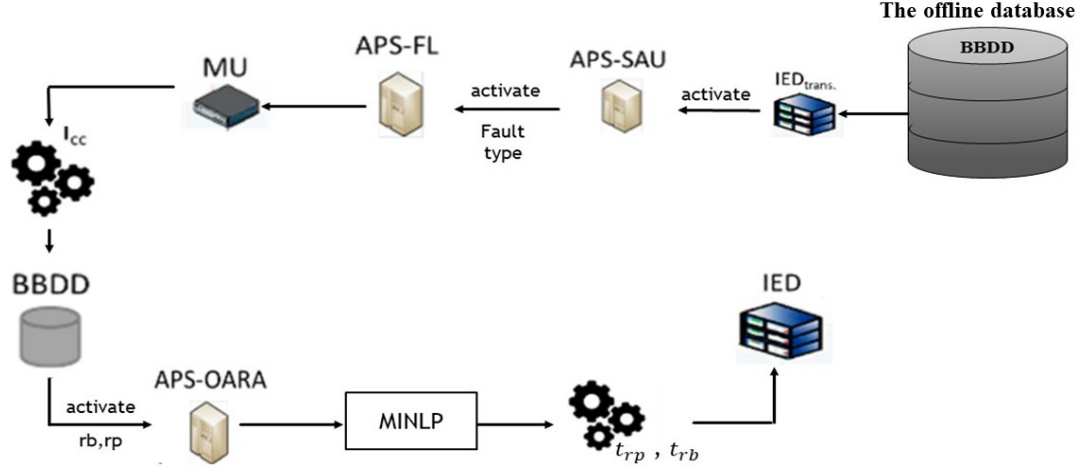
- وحدة التقييم والتكيف: هذا الجزء مسؤول عن التحكم بعملية حماية النظام وتتوضع في المحطة الثانوية.

2 - APS-FL (An adaptive protection scheme – fault location) نظام للحماية المتكيف - موقع

العطل: مسؤولة عن تحديد موقع العطل الذي تم كشفه بواسطة وحدات القياس.

3 - APS-OARA (An adaptive protection scheme – optimal adjustment relay algorithm)

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العيني
 الفصل الأول: الإطار العام للبحث
 نظام الحماية المتكيف - خوارزمية ضبط الحاكمة المثلى وهو مسؤول عن تنسيق عمل الحماية السابقة والتالية لمنطقة العطل.



الشكل (2_1) تدفق البيانات في القاعدة التكييفية

مراحل العمل:

1 - تشكيل قاعدة البيانات لعدد كبير من الأعطال، ضمن شبكة ذات رقم هيكلية معينة ($t=1$)، و 10 أنواع من الأعطال ($c=10$)، و 7 مناطق عطل ($z=7$)، ووحدتي توليد موزع ($d=2$)، وبالتالي يكون عدد عينات قاعدة البيانات $(t \times c \times z \times d)$.

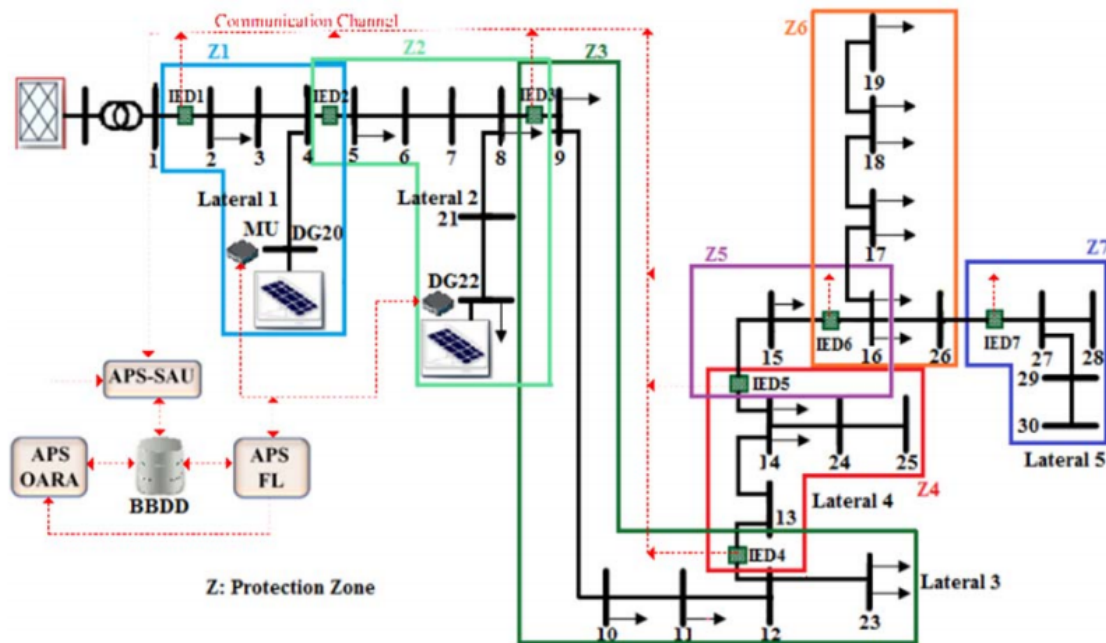
2 - يتم تسجيل البيانات التالية عند كل عطل في قاعدة البيانات:

- حالة كل من breakers/switches.
- مساهمة كل مصدر من مصادر التوليد الموزع، بتيار العطل، باختلاف هيكلية النظام T، واختلاف نوع العطل C، واختلاف وحدة التوليد D، واختلاف منطقة العطل Z.
- تنسيق عمل زوج IED السابق واللاحق لمنطقة العطل في كل حالة.

3 - بعد الانتهاء من تخزين قاعدة البيانات، وعند حدوث عطل معين في الشبكة، يتحسس إحدى الحساسات الذكية IED لحدوث عطل، نتيجة زيادة التيار عن قيمة العتبة المعير على أساسها الحساس.

4 - يرسل الحساس الذكي، إشارة تفعيل لـ APS-SAU، والذي بدوره يتصل بقاعدة البيانات، ويحدد نوع العطل، بناءً على قيمة التيار التي تم كشفها، ثم يرسل الـ APS-SAU، إشارة تفعيل لـ APS-FL بالإضافة لنوع العطل، حيث يرسل هذا الجزء بدوره، طلب للوحدات الطرفية MU، الموجودة عند كل وحدة توليد، لإرسال قيمة التيار الذي

يبين الشكل(1_3) الشبكة المدروسة، وهي شبكة IEEE 34-nodes ، حيث توتر الشبكة [kV] 24.9، وتم اعتبار عطل ثلاثي الطور وأحد المولدات خارج من الخدمة، تساهم وحدة التوليد الموزع الأخرى ب 50% من استطاعتها للشبكة.



مراحل العمل:

2 - قياسات التيارات من وحدات التوليد المختلفة $I_{grid} = 4183.2$ [A] و $I_{DG22} = 1860.9$ [A]

$$I_{DG20} = 0 \text{ [A]}$$

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العينية
الفصل الأول: الإطار العام للبحث

3 - حساب تيار العطل الكلي $I_{cc} = 6044.1 \text{ [A]}$

4 - الاتصال بقاعدة البيانات لاختيار مكان العطل، بناءً على القياسات والبيانات المحسوبة.

الجدول (1_1) تيار العطل الذي يساهم به كل من الشبكة العامة ووحدة التوليد الموزع

Fault		$I_{cc} \text{ (A)}$	$I_{grid} \text{ (A)}$	$I_{DG22} \text{ (A)}$
Zone 1	Max	7555.9	5940.8	1955.2
	Min	6486.8	4695.4	1896
Zone 2	Max	6486.8	4695.4	1896
	Min	6009.2	4116.1	1795.6
Zone 3	Max	6009.2	4116.1	1795.6
	Min	3400.9	2311.1	1089.7
Zone 4	Max	3400.9	2311.1	1089.7
	Min	3118.1	2113.3	1001.3
Zone 5	Max	3118.1	2113.3	1001.3
	Min	2989.9	2023.8	961.3
Zone 6	Max	2989.9	2023.8	961.3
	Min	2527.2	1701.3	816.9
Zone 7	Max	2527.2	1701.3	816.9
	Min	1507.9	814.3	547.1

5 - الاتصال بـ APS-OARA للقيام بعملية التنسيق، بين الحماية السابقة والتالية، لمنطقة العطل، بعد تطبيق مسألة الأمثلة، لتعطي أزمنة فصل 0.1 & 0.29 ثانية على الترتيب.

3.10.1 قاعدة طرائق الذكاء الصناعي:

اعتمدت الكثير من خوارزميات كشف الأعطال وتحديد مواقعها، على مؤشرات الأعطال RFI، أو التجهيزات الإلكترونية الذكية IED، وقد استخدمت بعض الدراسات بنية تحتية متقدمة القياسات، تحوي بشكل رئيسي على عدادات ذكية Smart Meter، والتي انتشرت بشكل واسع جداً في العقد الأخير حيث وصل عددها في بريطانيا والولايات المتحدة الأمريكية والصين، إلى حوالي 170 مليون حساس بحلول 2016 (Wang et al., n.d).

استخدم الباحثون طرائق تعتمد على الذكاء الصناعي، في حل مشكلة كشف وتحديد مكان الأعطال وقد اعتمدت طرائق الذكاء الصناعي، على العمليات الحاسوبية، وعلى قواعد الذكاء الصناعي، لحل المسائل المعقدة، تستخدم هذه القواعد كمية كبيرة من المعلومات، من أجل عملية التعلم والتجريب من أجل الوصول للقدرة على التنبؤ بالنتائج.

ونذكر من أمثلة الذكاء الصناعي الشبكات العصبونية الصناعية (Artificial Neural Networks ANN) وشبكات ال (Support Vector Machines SVM)، المنطق العائم، والخوارزميات الجينية.... الخ،

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العينية
 الفصل الأول: الإطار العام للبحث
 وقد برزت الشبكات العصبونية الصناعية بشكل أكبر، في مجال الكشف عن الأعطال في شبكات التوزيع، كما يبين (Postolache et al., 1998)، وفي تحديد مكان العطل فيها كما يبين (Usman et al., 2018).

وقد استخدمت SVM (Support Vector Machine) لتحديد مكان العطل في شبكات التوزيع بوجود وحدات توليد موزع، تعتمد SVM على نمط قياسات التوترات والتيارات في جهة كل من الشبكة العامة، وجهات مصادر التوليد الموزع، وقد قدمت هذه التقنية متانة عالية بزيادة وحدات التوليد الموزع في الشبكة (Agrawal & Thukaram, 2013)، كما واستعملت SVM بشكل واسع في تصنيف الأعطال حيث وصلت دقتها لـ 100%، 99.95%، 92.06%، مع وجود 3 وحدات توليد موزع، وحدتي توليد موزع، وحدة توليد موزع واحدة، على التوالي. من سيئات هذه الطريقة وجوب إعادة التدريب والتعلم لأي تغيير في هيكلية الشبكة.

وقد تم دمج الشبكات SVM & ANN ، لتحديد موقع العطل لأنواع مختلفة من الأعطال في شبكات التوزيع الشعاعية، يتم ذلك باستخدام القياسات في المحطات الفرعية والحمايات وقواطع الحماية، ولكن دون وجود وحدات توليد موزع في الشبكات في الدراسة (Thukaram et al., 2005).

وتصنف الأعطال على أساس المنطق العائم fuzzy logic في المراجع (Pourahmadi-Nakhli & Youssef, 2004; Safavi, 2011)، ولكن تعد هذه الطريقة محدودة النطاق، وتقدم منهجية لتحديد نوع العطل فقط، كما قام الباحث Usman بتطبيق قاعدة لتحديد مكان الأعطال باستخدام الشبكات العصبونية الصناعية ANN في المرجع (Usman et al., 2018)، تم اختبار الخوارزمية بوضع عدم الاتصال (offline) في شبكة توزيع ثلاثية الأطوار وغير متوازنة، وقد أظهرت نتائج الخوارزمية دقة جيدة في الكشف على موقع العطل مع مقاومة عطل تتراوح بين 0 إلى 5 أوم، ولكن تم تقديم هذه النتائج استناداً إلى دراسة غير متصلة بأية بنية تحتية للقياس والاتصال.

طور الباحث Usman هذه الخوارزمية (Usman et al., 2020) ليستطيع من خلالها:

- 1 - تحديد موقع العطل في شبكات التوزيع، باستخدام خوارزمية ANN، باستخدام عدد قليل جداً من قياسات التوتر، على بعض باسبارات الشبكة بعد العطل، وتحديد جميع أنواع الأعطال.
 - 2 - تطبيق الخوارزمية باستخدام المحاكاة بالزمن الحقيقي لشبكات التوزيع، والمزودة بحساسات ذكية، عن طريق بروتوكول اتصالات محدد.
 - 3 - تطبيق الخوارزمية على شبكة تحوي وحدات توليد موزع من نوع خلايا شمسية.
- استخدم الباحث في تطبيق الخوارزمية ما يلي:

1 - الشبكات العصبونية (Artificial Neural Networks ANNs)

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العينية
الفصل الأول: الإطار العام للبحث

2 - بيئة تحتية متقدمة للقياس (Advanced Metering Infrastructure AMI) :

- محاكي رقمي في الزمن الحقيقي (Digital Real-Time Simulator DRTS).
- عدادات ذكية (Smart Meters SMs).
- شبكة اتصالات.
- مجمع للبيانات (Data Concentrator DC).
- مركز عمليات الشبكة (Utility Operations Centre UOC).

تم الاعتماد على الشبكات العصبونية متعددة الطبقات بوجود sigmoid activation functions (AFs) من أجل تصنيف الأعطال، حيث يوجد ثلاث طبقات رئيسية في هذا النوع من الشبكات العصبونية، كما يبين الشكل (1_1):

- 1 - طبقة الدخل والتي تحوي جميع متغيرات الدخل.
 - 2 - طبقة الخرج حيث جميع النتائج العصبونية المعالجة.
 - 3 - الطبقة أو الطبقات المخفية، حيث يتم تصميم جميع الأعصاب من قبل المصمم.
- من أجل ضبط عملية الاتصال بين طبقة الدخل وطبقة الخرج، يحمل كل عصب من الأعصاب بالتابع التالي:

$$f_i = \sum_{j=1}^n w_{ij}x_{ij} + b_i \quad (1_1)$$

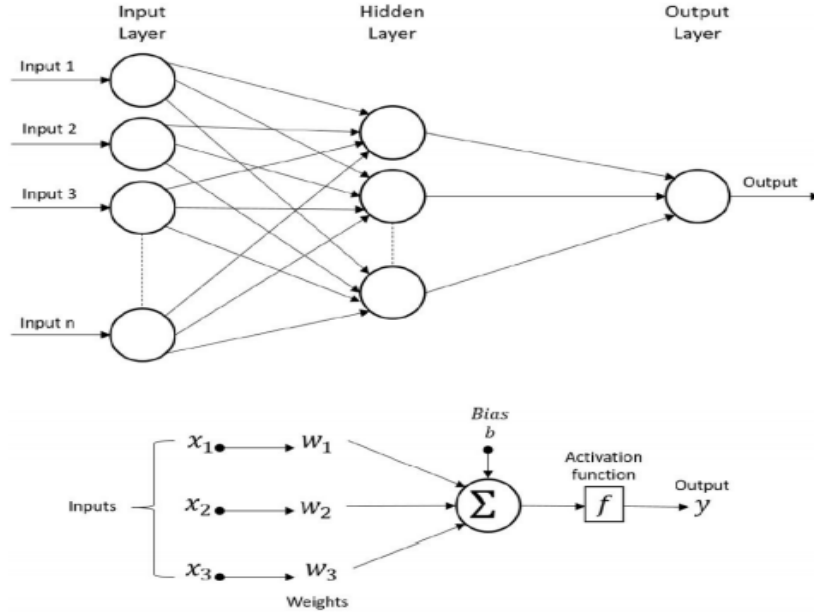
حيث:

w_{ij} : يمثل الوزن المرتبط بالعصب i و الدخل j .

x_{ij} : يمثل قيمة الدخل القادمة من الدخل j إلى العصب i .

b_i : يمثل قيمة الانحياز مع الوحدة i .

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العينية
 الفصل الأول: الإطار العام للبحث



الشكل (4_1) هيكلية تكوين خوارزمية ANN (Usman et al., 2020)

ونتيجة حساب f_i والتي يعبر عنها من خلال التابع المعرف مسبقاً sigmoid activation functions (AFs)، ترسل النتيجة إلى خرج العصب حيث:

$$y_i = \varphi(f_i) \quad (1_2)$$

φ : هي التابع AF.

y_i : هو الخرج النهائي للعصب.

يشكل كل عصب عملية حاسوبية بحد ذاتها، و يتم تلقي قيم الدخل من أعصاب أخرى، حيث يتم تمثيل كل المداخل الموزونة، ومعالجة النتيجة النهائية كخرج للعصب، من خلال معالجة النتيجة عن طريق ال AF. ويتم عملية التعلم في القاعدة المرجوة، عن طريق تكرار عملية التحديث للأوزان w_i^k ، وقيم الانحياز b_i^k للشبكة، لتصغير تابع الخطأ، كتابع متوسط الخطأ التربيعي (MSE)، والمعطى لمجموعة مداخل ومخارج عددها N، تكرر عملية التعلم حتى الوصول لقيمة صغرى للخطأ، يتم فرضها من قبل الباحث. ولابد من الذكر، بوجود تحديد قيم عشوائية بدائية لكل من الأوزان وقيم الانحياز، قبل البدء بعملية التمرين. يصف الشكل (5_1) تدفق البيانات في الخوارزمية المدروسة، ويمثل الجزء الأول الجزء المتعلق بتصنيف الأعطال، باستخدام الشبكات العصبونية.

تعطي الحساسات الذكية المتصلة في نهاية الخط، في شبكات التوزيع الشعاعية، المعلومات الهامة من أجل تحديد مكان العطل، لذلك تستخدم الخوارزمية المطلوبة قياسات التوتر المقادة بعد حدوث العطل من نهايات الخطوط، في شبكات التوزيع، مما يعني التقليل من تجهيزات الاتصالات اللازمة.

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العينية
الفصل الأول: الإطار العام للبحث

تعتمد فلسفة عمل هذه الخوارزمية على ما يلي:

عند حدوث العطل، يتم جمع التوترات أثناء العطل من جميع العقد المتصلة لنهاية كل خط (Trindade & Freitas, 2017)، تغذي هذه القياسات الشبكة العصبونية من أجل تحديد نوع العطل في النظام، وتحدد عدد القياسات المغذية للشبكة العصبونية، بعدد الحساسات الذكية المتموضعة على الباسبارات في نهاية كل خط n ، مضروبة بعدد الأطوار.

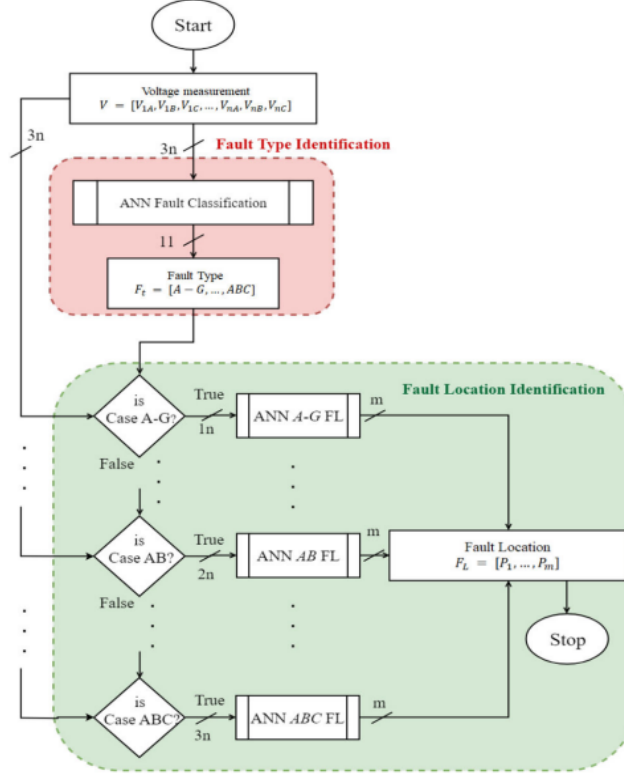
يبين الجزء الثاني من الشكل (1_5) آلية تدفق البيانات في تحديد مكان العطل، وذلك يعتمد على تحديد نوع العطل أولاً، حيث يتم استدعاء القياسات المتعلقة بنوع العطل فقط، يتم استدعاء قياسات التوتر من الحساسات الذكية للطور C فقط، في حال حدوث العطل من النوع C-G، من أجل تحديد موقع العطل وبالتالي، تكون مصفوفة دخل نظام الخلايا العصبونية ذات بعد $1n$ حيث n عدد الباسبارات و العدد (1) يمثل الطور C، وبشكل مماثل تكون أبعاد المصفوفة $3n$ ، في حال قياسات الثلاثة أطوار.

صممت جميع الأعطال الأحد عشر لتعطي شعاع بعده m والذي يمثل احتمال وقوع العطل بالقرب من عقدة معينة من العقد ذات العدد n . فمثلاً في حال حدوث عطل ثلاثي عند العقدة 713 في شبكة IEEE-37، سيعطي شعاع الخرج قيمة 1 عند العقدة 713، و قيمة ال 0 عند باقي العقد، ولكن في حال حدوث العطل عند الخط الواصل بين العقد 702، و 713، سيعطي شعاع الخرج قيمة أقرب لل 1 عند كل من العقدتين السابقتين، بناءً على قرب العطل من إحدهما.

تتكون العملية التعليمية التي تحدث في الطريقة المقترحة، من تحديث تكراري للأوزان (w_i) والانحيازات (b_i) للشبكة لتقليل دالة الخطأ مثل الخطأ المربع المتوسط (MSE)، مع إعطاء مجموعة N من أزواج الدخل-الخرج $S = \{(x_1, y_1), \dots, (x_N, y_N)\}$ هذه العملية التدريبية هي عملية تدريب تكرارية يمكن تقسيمها إلى ثلاث خطوات رئيسية: الانتشار الأمامي، حساب الخطأ، والانتشار العكسي.

- الانتشار الأمامي (Forward Propagation): يتم خلالها تمرير الإشارات من الطبقة الداخلية للشبكة إلى الطبقة الخارجية بحيث تحسب النتائج النهائية.
- حساب الخطأ (Calculation of Error): يتم خلالها حساب الاختلاف بين النتائج الفعلية والنتائج المتوقعة من الشبكة.
- الانتشار العكسي (Backpropagation): يتم خلالها تحديث الأوزان والانحيازات في اتجاه عكسي لتقليل الخطأ، حيث يتم نقل الخطأ إلى الوراء عبر الطبقات لتحديث الوزن والانحياز لكل طبقة.

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العينية
 الفصل الأول: الإطار العام للبحث



الشكل (1_5) تدفق لبيانات في خوارزمية ANN

يتم تحسين أداء الشبكة العصبونية من خلال تكرار هذه الخطوات الثلاث حتى يتم تقليل الخطأ بشكل كافٍ ويتم تدريب النموذج بشكل فعال.

• خطوات العمل:

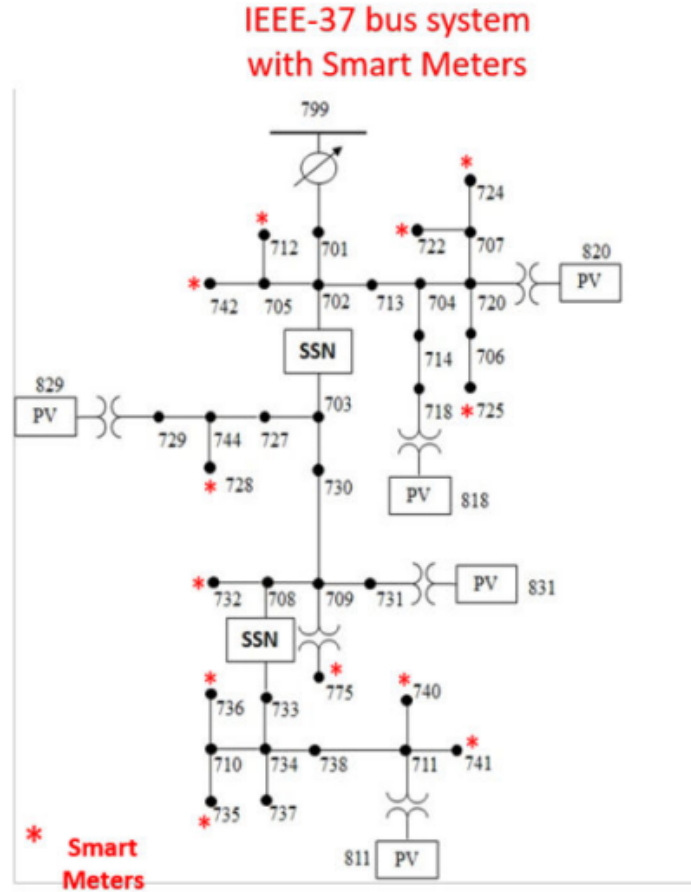
- 1 - تكوين قاعدة بيانات مناسبة بناءً على تجميع بيانات توتر العقد، عند حدوث أي نوع من أنواع الأعطال في الشبكة المقاسة، بواسطة الحساسات الذكية.
- 2 - تُرسل البيانات إلى الشبكة العصبونية، ليتم تعريف كل عطل برقم محدد، بناءً على نمط قيم توتر العقد عند كل عطل.
- 3 - يتم كشف العطل نتيجة تحسس أحد الحساسات، خارج نطاق التوتر المسموح به بالعلاقة: $0.95 p.u \leq V \leq 1.05 p.u$.
- 4 - يتم تحديد هوية العطل، بناءً على نمط قياسات التوتر المقاسة بواسطة الحساسات الذكية.
- 5 - يتم الاتصال مرة أخرى بقاعدة البيانات بعد تحديد هوية العطل، لتحديد موقع العطل بناءً على نوع العطل ونمط التوترات المقاسة.

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العينية
 الفصل الأول: الإطار العام للبحث
 6 - يتم التعبير عن خرج الشبكة العصبونية بمصفوفة بعدها M (عدد العقد)، ذات قيم صفرية عند كل العقد ماعدا العقدة التي تم العطل عندها.

المثال المدروس هو الشبكة المرجعية IEEE-37 مكونة من 37 عقدة بوجود 5 وحدات توليد موزع وهي خلايا شمسية وقد تم توزيع الحساسات الذكية في نهاية كل خط كما هو مبين في الشكل (1_6).
 أجرى الباحث 2331 نقطة قياس، عند أبعاد مختلفة، مقاومة عطل متغيرة 0، 5، 10 أوم، وأحمال متغيرة 0.5, 1, 1.5 pu .

تتصف هذه الطريقة بدقة عالية في تحديد نوع ومكان العطل، ولكن تتناقص الدقة قليلاً بزيادة ممانعة العطل، وخاصة في حال عطل طورين، وطورين مع الأرض، لأن هبوط التوتر في حال العطل L-L والعطل 2L-G تقريباً نفسه لذلك يصعب على النظام التمييز بينهما.

أبرز العوامل التي تحد من استخدام هذه الطريقة، اعتمادها الكبير على كمية ودقة البيانات المتوفرة من أجل عملية التدريب والتعلم، والتي تؤثر على دقة التنبؤ بموقع العطل.



الشكل (1_6) شبكة IEEE-37 بوجود حساسات ذكية

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العينية
الفصل الأول: الإطار العام للبحث

4.10.1 قاعدة حساب السماحية:

تتأثر القواعد التي تعتمد على الممانعات من أجل تحديد مكان العطل، بممانعة العطل، والبعد بين نقطة القياس ومكان العطل (Mora-Flòrez et al., 2008)، حيث يزداد الخطأ في تقدير مكان العطل بزيادة كل من ممانعة العطل والمسافة بين العطل ونقطة القياس.

تعتمد دقة قواعد الممانعة، على بارامترات الخط وخواصه، وبقيمة التحميل المطبقة عليه، وتتعلق نسبة الخطأ في تحديد مكان العطل لهذه القواعد، بتعقيد الشبكة وخواص الأنظمة غير المتوازنة، ووجود عدة فروع، بالإضافة لمقاومات الأعطال المختلفة.

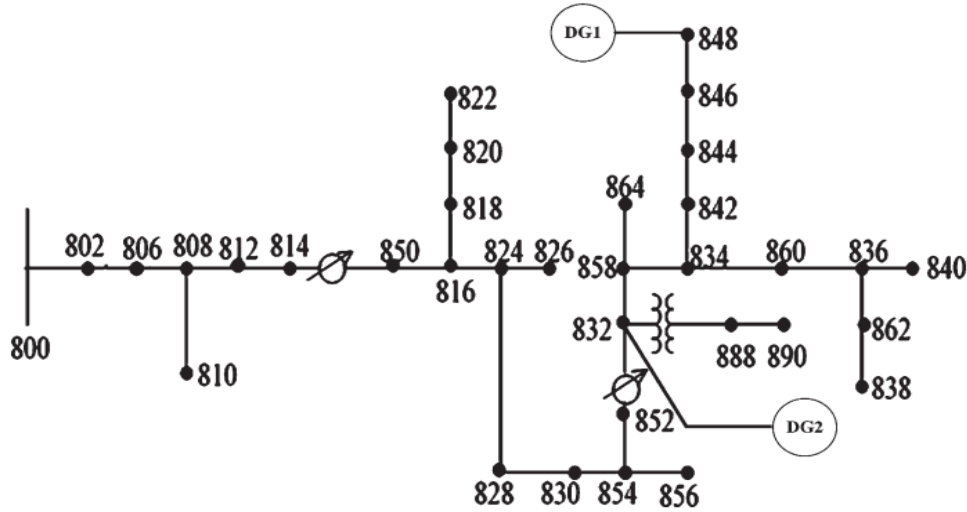
اتجهت بعض الدراسات إلى دمج عدة تقنيات، من أجل عملية تحديد مكان العطل (Keerthi & Lin, 2003)، حيث اعتبر الباحث وجود وحدات توليد موزع، واعطت طريقته متانة عالية في تحديد مواقع الأعطال في شبكات التوزيع.

سنشرح بإيجاز إحدى طرائق الدمج بين الطرائق التقليدية والحديثة من المرجع (Perez et al., 2019)، حيث تم اعتبار وجود وحدات التوليد الموزع في الشبكة، حيث ربط الباحث بين عدة تقنيات من أجل تحديد مكان الأعطال.

الشبكة المعتمدة هي الشبكة المرجعية IEEE-34nodes، بتوتر إسمي 24.9 kV، تتميز بطولها الكبير، وجزء منها يعمل تحت توتر 4.16kV، وأحمال غير متوازنة، تتألف من مغذي رئيسي ثلاثي الطور، بالإضافة لعدة أطراف أحادية الطور وثلاثية الطور، أحمال نقطية، ويحوي على مجموعة مكثفات، وقد تم اعتبار وجود وحدتي توليد موزع في شبكة التوزيع عند العقدتين 848 & 832، كما في الشكل (1_7). تم اعتبار بمؤشر اختراق الاختراق (Penetration index) بمقدار 10 % لوحداث التوليد الموزع بالنسبة لأحمال شبكة التوزيع، كما تم تمثيل أعطال ب 6 قيم مقاومات أعطال متغيرة، ابتداءً من 5 أوم وانتهاءً ب 30 أوم، بخطوة مقدارها 5 وبما يعادل 1764 حالة عطل. تم قياس قيم التيار والتوتر وزاوية الطور عند طرف الشبكة العامة وعند كل وحدة توليد موزع ولكل حالة من حالات الأعطال. وقد تم تصميم مخطط تحديد مكان العطل في شبكات التوزيع، بناءً على قاعدة البيانات التي تم تحصيلها، حيث ينبغي لهذا المخطط أن يكون قادراً على تحديد نوع العطل ومكانه بدقة.

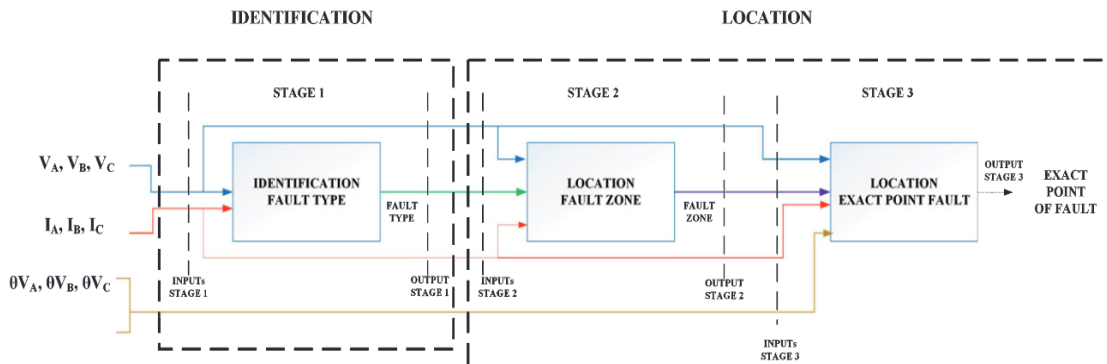
يهدف التصميم لإيجاد ثلاث أجزاء، وهي تحديد نوع العطل ثم تحديد منطقة العطل ثم تحديد نقطة العطل بدقة.

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العينية
الفصل الأول: الإطار العام للبحث



الشكل (1_7) شبكة IEEE-34 بوجود وحدات توليد موزع

يبين الشكل (1_8) المخطط المطلوب من أجل تشخيص الأعطال في شبكات التوزيع بوجود وحدات توليد موزع. نلاحظ من الشكل بأن الصندوق الأول يهدف إلى تحديد نوع العطل، والذي يسمح بتفعيل صندوق تحديد المنطقة التي حدث فيها للعطل، ثم الجزء الخاص بتحديد نقطة العطل.



الشكل (1_8) المخطط العام لتحديد نقطة العطل في شبكات التوزيع بوجود وحدات توليد موزع (Perez et al., 2019)

تعتمد مشكلة تحديد نوع العطل في هذه الطريقة على الذكاء الصناعي، حيث استخدم الباحث تقنية support vector machine (SVM) بسبب جودة نتائجها في عمليات التصنيف، بالمقارنة مع التقنيات الأخرى (Keerthi & Lin, 2003) (Gururajapathy et al., 2017)، وهي إحدى طرائق تعلم الآلة، وتستعمل بشكل واسع في تصنيف العينات أيا كان نوعها. تعد التيارات والتوترات من مدخلات هذه الخوارزمية، وخرجها هو عدد يرمز لصنف العطل المطلوب.

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العينية

الفصل الأول: الإطار العام للبحث

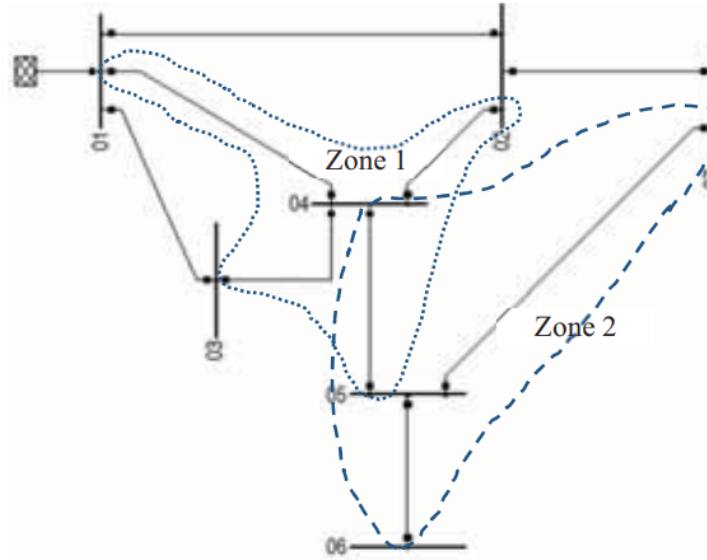
تم تطبيق طريقة الذكاء الصناعي هذه في هذا البحث، من أجل عملية تصنيف الأعطال، وتم تحصيل نوع العطل على شكل مصفوفة ترمز لنوع العطل المطلوب، ومن أجل تحقيق هذا الهدف تم استخدام الدالة Radial (Basis Function Kernel)، (Lin & Lin, 2003)، (Keerthi & Lin, 2003).

يقسم الصندوق الثاني في الشكل (1_8) إلى قسمين أحدهما يتعلق بتحديد منطقة العطل (Fault Location) باستخدام الذكاء الصناعي (Artificial Intelligence (AI)، والقسم الآخر لتحديد نقطة العطل بدقة كمسافة عن أحد الباسبارين المحيطين بنقطة العطل، ويعتمد هذا القسم في عمله على القسمين السابقين، لتحديد مكان العطل بدقة حيث تم اعتماد نموذج لطريقة حسابية للشبكة الكهربائية، مداخلها قيم التوترات والتيارات بالإضافة للزوايا في طرف الشبكة العامة، وفي طرف وحدات التوليد الموزع.

5.10.1 قاعدة حساب عامل الحساسية:

تعتمد هذه الطريقة على الحصول على عامل حسابي S_K في كل عقدة باستخدام قياسات التوتر في العقد لكل منطقة. لأجل تحديد مكان العطل، تقترح هذه الطريقة تقسيم مناطق الحماية، بحيث يسهل إدخال نوع جديد من الحماية لبنية نظام الطاقة الكهربائي، وتعتمد الدراسة (Manditereza & Bansal, 2018) على إيجاد خوارزمية حماية جديدة، حيث تعتمد دالة الحماية فيها على جريان الحمولة، وحسابات الحساسية التي تعتمد على قياسات التوتر فقط.

تبنى الخوارزمية على نهج النمذجة، التي تقسم شبكة التوزيع إلى سلسلة أجزاء متداخلة، (يتكون كل جزء من باسبار مركزي، وجميع الباسبارات المحيطة به الشكل (1_9)،



الشكل (1_9) شبكة مكونة من 7 عقد تبين تشكيل مناطق الحماية

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العينية
الفصل الأول: الإطار العام للبحث

تعطى علاقة جريان الحمل في العقدة k بالعلاقة (Manditereza & Bansal, 2016) :

$$P_k = V_k^2 Y_{kk} \cos(-\delta_{kk}) + \sum_{j=1, j \neq k}^n V_k V_j Y_{kj} \cos(\delta_k - \delta_j - \delta_{kj}) \quad (1_3)$$

$$Q_k = V_k^2 Y_{kk} \sin(-\delta_{kk}) + \sum_{j=1, j \neq k}^n V_k V_j Y_{kj} \sin(\delta_k - \delta_j - \delta_{kj}) \quad (1_4)$$

عند حدوث عطل في إحدى المناطق، يؤدي ذلك لحدوث خلل في تدفق الطاقة عبر منطقة الحماية، فتتغير حساسية جريان الاستطاعة بتغير توتر المنطقة المعطلة تبعاً لمصفوفة يعقوبيان (Weedy et al., 2012)، ويمكن التعبير عن ذلك بالنسبة للعقد أو مناطق الحماية كما يلي (Manditereza & Bansal, 2016) :

$$\Delta P_k = \frac{\partial P_k}{\partial \delta_k} \Delta \delta_k + \sum_{j=1, j \neq k}^n \frac{\partial P_k}{\partial \delta_j} \Delta \delta_j + \frac{\partial P_k}{\partial V_k} \Delta V_k + \sum_{j=1, j \neq k}^n \frac{\partial P_k}{\partial V_j} \Delta V_j \quad (1_5)$$

$$\Delta Q_k = \frac{\partial Q_k}{\partial \delta_k} \Delta \delta_k + \sum_{j=1, j \neq k}^n \frac{\partial Q_k}{\partial \delta_j} \Delta \delta_j + \frac{\partial Q_k}{\partial V_k} \Delta V_k + \sum_{j=1, j \neq k}^n \frac{\partial Q_k}{\partial V_j} \Delta V_j \quad (1_6)$$

بعد معالجة المعادلتين (1_5) و (1_6) نحصل على تابع الحساسية، والذي يعتمد مطاله على تغير التوتر، وتغير الاستطاعة.

$$S_k = \frac{\Delta P_k}{\Delta V_k} \quad (1_7)$$

$S_k \approx 0$: إذا كانت الاستطاعة الداخلة للمنطقة المدروسة تساوي الخارجة منها.

$S_k \neq 0$: إذا كانت الاستطاعة الداخلة للمنطقة المدروسة لا تساوي الخارجة منها.

يتم حساب عامل الحساسية S_k في كل عقدة باستخدام قياسات التوتر في العقد لكل منطقة، وعند تحسس العطل في العقدة k ذلك يعني أن العطل حدث في العقدة k أو أحد المغذيات المتصلة بها. من أكثر الميزات أهمية واقتصادية لهذه الطريقة، هي احتياجها لجهاز حماية واحد فقط، عند كل عقدة، أو بأسبار، بغض النظر عن عدد المغذيات المتصلة بهذه العقدة، على عكس أجهزة الحماية لأنظمة الحماية الأخرى.

6.10.1 خلاصة الدراسات المرجعية

قدمت الدراسات السابقة طرائق مختلفة لتحديد مواضع الأعطال في شبكات التوزيع، وقد اختلفت بآليات طرائق عملها وبنوع الأعطال التي تمت دراستها، وبعرض المعلومات الواجب توافرها من الشبكة العامة من أجل تطبيقها، وبقدرتها على العمل مع وحدات توليد موزع أو عدمه، على الرغم من أن الطرائق السابقة أعطت نتائج منطقية ودقيقة، إلا أن بعضها لم يتطرق إلى ورود معلومات خاطئة إلى مركز التنسيق، وبالتالي لم تعالج هذه الدراسات هذه المشكلة، كما لم تعالج بعض الدراسات السابقة مسألة اختلاف مقاومات الأعطال وتأثيرها على كشف وتحديد موقع وصنف العطل. كما يلعب زمن عملية كشف وتحديد مكان العطل دوراً بارزاً في العمل الصحيح

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العينية
 الفصل الأول: الإطار العام للبحث
 والدقيق للخوارزمية، حيث أن عملها محصور بلحظة حدوث العطل وزمن عمل الحماية الكهربائية. ولابد من الإشارة إلى أن الاعتماد على الخوارزميات الخطية من شأنه تقليل زمن الحسابات بشكل كبير.

سنقدم في هذا البحث خوارزمية لتحديد أماكن الأعطال في شبكات التوزيع بوجود وحدات توليد موزع، باختلاف أنواع الأعطال (LG_LL_LLG_3L,3L-G) وذلك باستخدام تجهيزات الكترونية ذات تقنية عالية، تسمى مؤشرات الأعطال Fault Indicator، تتنبه هذه التجهيزات نتيجة ارتفاع التيار على الخط، الذي تم تركيبها عليه، وترسل إشارة تفعيل لمركز التنسيق ليتم تجميع الإشارات من جميع مؤشرات الأعطال الموجودة في الشبكة. عادةً يتم إرسال الإشارات مباشرة من مؤشرات الأعطال إلى مركز التنسيق، عبر الاتصال السلكي أو اللاسلكي، عبر محطات إرسال صغيرة توجد على البرج المجاور لمكان توضع مؤشرات الأعطال.

ونتيجة وجود التوليد الموزع، وما يرافقه من تعقيدات في عملية تحديد مكان العطل، قمنا بفرض إجراء حسابات بسيطة في محطة الإرسال باعتبارها، تحوي معالجات صغيرة، ووحدات إرسال، ساعدت هذه الحسابات في كشف جهة حصول العطل وفق الخوارزمية المقترحة.

يتم معالجة المعلومات الواردة في مركز التنسيق عبر خوارزمية مقترحة تعتمد على الأمثلة الخطية MILP، ضمن تابع هدف وقيود معينة، للحصول على المكان الصحيح لموقع العطل في شبكة التوزيع، مع القدرة على التعامل مع البيانات غير الكاملة وغير الصحيحة من بعض مؤشرات الأعطال.

وقد تم تدعيم هذه الخوارزمية بخوارزمية لتصنيف الأعطال في شبكات التوزيع من أجل تسهيل عمل ورشات الصيانة، وجمع المعدات اللازمة لإصلاح العطل في أصغر وقت ممكن، بالإضافة إلى رقد مركز التنسيق بمعلومات عن نوع العطل، تفيد في الحسابات الإحصائية.

11.1 مخطط البحث

1 - الدراسة المرجعية

سيتم إعداد دراسة مرجعية شاملة حول موضوع البحث

2 - دراسة نظرية وتشمل:

- التوليد الموزع : أنواعه - سبب الاندماج ضمن الشبكة - المشاكل التي تعاني منها
- شبكات التوزيع بوجود وحدات التوليد الموزع _ مساهمة نوع التوليد الموزع بتيارات الأعطال
- حمايات شبكات التوزيع الكهربائية.
- مفهوم الشبكات الشعاعية والشبكات الحلقية.

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العينية
الفصل الأول: الإطار العام للبحث

- نظم القياس الحديثة لكشف الأعطال، وتحديد مكانها لاتخاذ القرار المناسب لعزل العطل.

- نظم نقل المعلومات في الشبكات الكهربائية المقترحة.

- مشغلات أنظمة التوزيع الكهربائية (DSO (distribution system operator

3 - تصميم نموذج رياضي لمسألة كشف العطل وتحديد مكانه:

- نمذجة نظام القدرة الكهربائية المقترح

- معايير كشف الأعطال

- المعلومات الضرورية من نظام تحصيل البيانات من الحساسات الذكية في نظام القدرة الكهربائية

- استنتاج المعادلات الرياضية الضرورية للبحث

- تشكيل الخوارزمية في البيئة البرمجية المختارة في النظم الحديثة واختبارها في معالجة البيانات واتخاذ

القرارات وإرسال الأوامر وتنفيذها عبر مشغلات نظم التوزيع DSO

4 - تطبيق الخوارزمية المقترحة على الشبكة المدروسة:

- محاكاة الشبكة المدروسة في البيئة البرمجية السابقة بمراعاة الشروط والنظام المقترح

- دراسة جزء من الشبكة السورية بإدخال التوليد الموزع ونظم القياس.

- تحليل الأعطال في الشبكة المختارة ذات مصادر التوليد الموزع عند حالات الاعطال القياسية في الشبكات

الكهربائية

- إجراءات عزل منطقة العطل ورفع موثوقية التغذية لبقية النظام.

5 - النتائج وتوصيات

2 الفصل الثاني

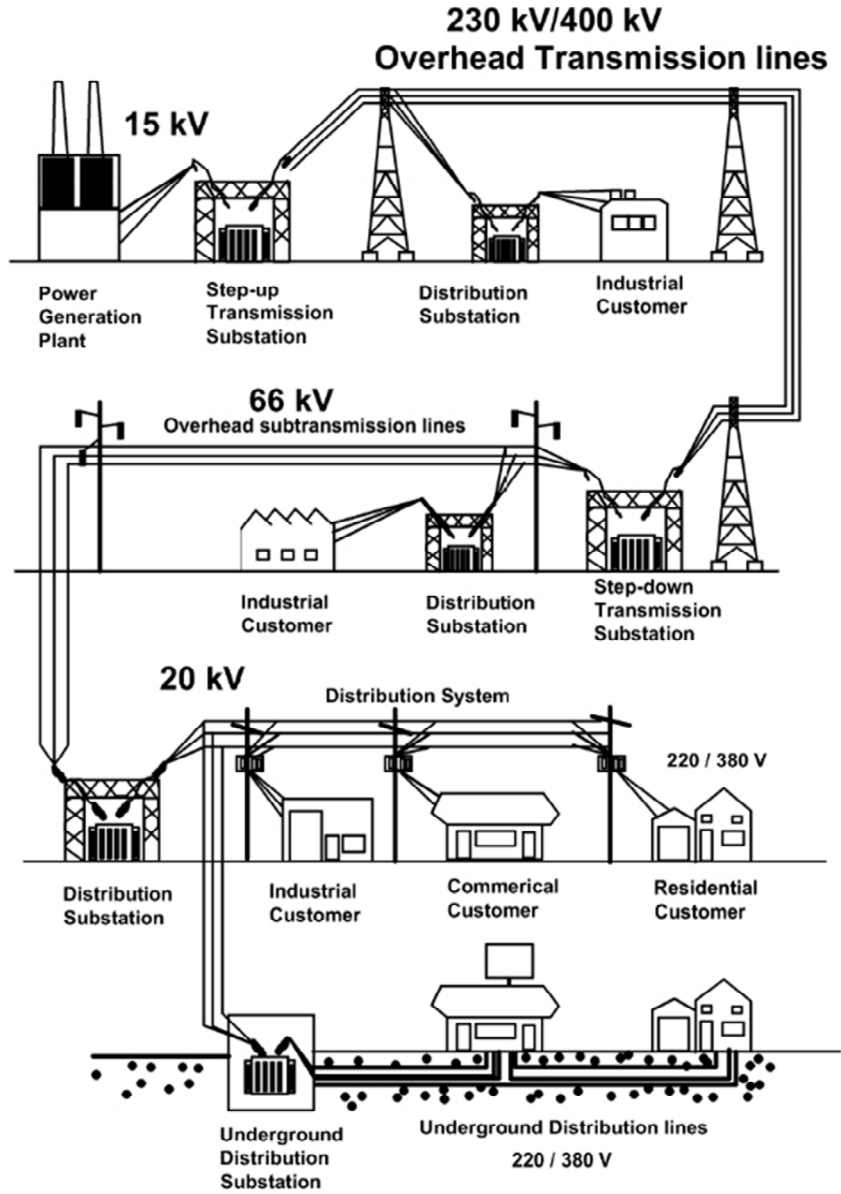
النظام الكهربائي بوجود التوليد الكهربائي الموزع (Electrical System with Distributed Generation):

1.2 مقدمة (Introduction):

تطورت منظومات الكهرباء الحديثة بشكل كبير خلال الخمسين سنة الماضية، حيث تجاوزت الحدود الجغرافية لبلدانها وأصبحت تشكل شبكات ارتباط ذات تعقيد كبير، وعلى الرغم من هذا التوسع الكبير، إلا أن هذه المنظومات حافظت على هيكلتها، التي تتميز بجرّيان الطاقة في اتجاه واحد، من محطات الطاقة الكهربائية المركزية، إلى شبكة النقل عالية التوتر التي تقوم بتوصيل الطاقة إلى نظام التوزيع، من خلال محطات تحويل النقل ومحطات تحويل التوزيع ومحولات التوزيع، وصولاً إلى الدارات النهائية التي تقوم بتوزيع الطاقة على المستهلكين، يبين الشكل (2_1) منظومة قدرة كهربائية تقليدية، حيث يكون توتر نظام النقل عادةً أكبر من $110[kV]$ (يبلغ توتر النقل في سورية $230[kV]$ و $400[kV]$)، أما نظام التوزيع فيصنف حسب النظم العالمية من حيث مستوى التوتر إلى شبكة التوزيع عالية التوتر HV حيث مستويات التوتر النموذجية هي $50-110kV$ ($66[kV]$ في الشبكة السورية)، وشبكة توزيع متوسطة التوتر MV حيث مستويات التوتر النموذجية هي $10-50 [kV]$ ($20[kV]$ في الشبكة السورية)، وشبكة التوزيع منخفضة التوتر LV حيث مستويات التوتر أقل من $1000 [V]$ ($220/380[V]$ في الشبكة السورية) (حمزة، علي، 2011).

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العبيد

الفصل الثاني: النظام الكهربائي بوجود التوليد الكهربائي الموزع



الشكل (2_1) منظومة قدرة كهربائية تقليدية مسجل عليها مستويات التوتر في المنظومة السورية (حمزة، علي، 2011)

تطور النظام الكهربائي في العقود الماضية بهدف الحصول على حالة تشغيلية مثلى، تتمثل في الجانبين الفني والاقتصادي، وقد برز ذلك التطور في الاتجاه نحو ادماج وحدات للتوليد الكهربائي ذات استطاعة اسمية أصغر من تلك المستخدمة في المحطات المركزية. وقد تركزت الأبحاث والدراسات حول إيجاد سويات التوتر المثلى لإدماج هذا النوع من التوليد، بما يحقق المساهمة في تحسين شروط عمل النظام الكهربائي، والمساهمة في خدمات النظام.

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العبيد

الفصل الثاني: النظام الكهربائي بوجود التوليد الكهربائي الموزع

خلصت الأبحاث إلى توضع وحدات التوليد هذه في سويات توتر التوزيع، وأقرب ما يمكن إلى الأحمال الكهربائية بمختلف أنواعها، تدعى وحدات التوليد هذه عندئذ بـوحدات التوليد الموزع (Distributed Generation DG)

يبين الجدول التالي سويات التوتر لنقاط توضع وحدات التوليد الموزع حسب استطاعتها الاسمية كما يبينه المرجع (حمزة، علي، 2011).

الجدول (2_1): سويات التوتر لنقاط توضع وحدات التوليد الموزع حسب استطاعتها الإسمية (حمزة، علي، 2011)

نقطة الربط	الاستطاعة الأعظمية للتوليد الموزع
شبكة 400[V]	50[kVA]
باسبارات 400[V]	200-250[kVA]
شبكة 11[kV] و 11.5[kV]	2-3[MVA]
باسبارات 11[kV] و 11.5[kV]	8[MVA]
شبكة 15[kV] أو 20[kV] وباسبارات	6.5-10[MVA]
شبكة 63-90 [kV]	10-40[MVA]

سنقدم في هذا الفصل بعض المبادئ النظرية عن مكونات نظام التوزيع الكهربائي التقليدي، كالشبكات الحلقية، والشعاعية من ثم الحماية المستخدمة في نظام التوزيع. يلي ذلك التوليد الكهربائي الموزع بأنواعه وسبب إدماجه في نظام التوزيع الكهربائي، والمشاكل التي يقدمها إلى نظام التوزيع الكهربائي، من ثم مساهمته في تيار العطل. كما نقدم في هذا الفصل مشغل شبكات التوزيع الكهربائية، بعد إدماج التوليد الكهربائي الموزع وميل الشبكات الكهربائية إلى أن تكون شبكات ذكية.

2.2 شبكات التوزيع الكهربائية (Electrical Distribution Networks):

يعرف نظام التوزيع الكهربائي بأنه الجزء من النظام الكهربائي المحدد من محطات التحويل وصولاً إلى المستهلكين، وتمثل الشبكات الكهربائية (نواقل وكابلات)، التي تصل محطات التوزيع (66/20[kV]) مع مراكز التحويل (20/0.4[kV]) بما فيها نقاط الربط مع الأحمال الكهربائية، شبكات التوزيع الكهربائية.

تحتوي أنظمة التوزيع على نوعين من النواقل، منها ما يتم تمديده بشكل هوائي على وتسمى overhead ومنها ما يتم تمديده تحت الأرض ويسمى underground، سنقدم فيما يلي مفهوم شبكات التوزيع الشعاعية والحلقية.

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العبيد

الفصل الثاني: النظام الكهربائي بوجود التوليد الكهربائي الموزع

1.2.2 مفهوم الشبكات الكهربائية الشعاعية والحلقية (Concept of Radial and Ring Electrical Networks)

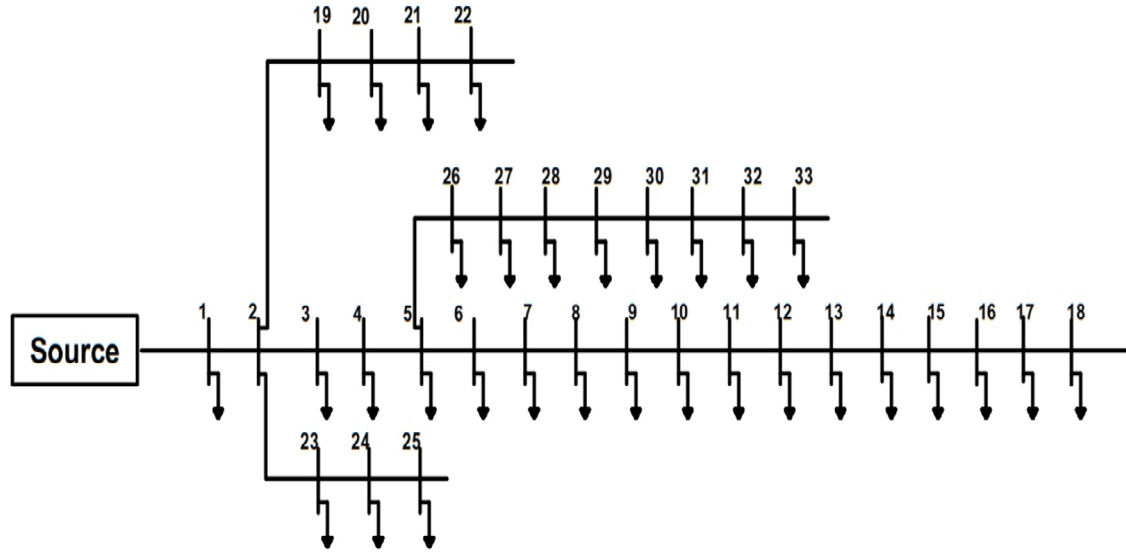
:(Networks

• شبكة التوزيع الشعاعية:

تعد الشبكة الشعاعية من أبسط أنواع شبكات التوزيع، حيث يتكون من خط رئيسي يتفرع منه عدة فروع لتوصيل الطاقة إلى المستهلكين، تتميز الشبكة الشعاعية بسهولة تصميمها وتنفيذها، مما يجعلها خياراً شائعاً في المناطق السكنية ذات الكثافة السكانية المنخفضة، ويمكن أن تكون هذه الشبكة غير مرنة في التوسع، حيث يتطلب توسيعها إضافة خطوط رئيسية جديدة في حال زيادة الحمل، ومن الممكن أن تتأثر كفاءة الشبكة الشعاعية بتوزيع غير متجانس للحمل، مما يؤدي إلى تحميل زائد على بعض الخطوط وتقليل كفاءة التوزيع (Prakash et al., 2016). من المشاكل التي تعاني منها هذه الشبكات:

- 1 - تحميل طرف الموزع الأقرب إلى نقطة التغذية بشكل كبير .
- 2 - يعتمد المستهلكون على مغذي واحد، لذلك أي خلل في المغذي أو الموزع يؤدي إلى انقطاع التيار عن المستهلكين الذين يكونون على جانب العطل بعيداً عن المحطة الفرعية.
- 3 - يتعرض المستخدمون في الطرف البعيد من المغذي لتقلبات توتر خطيرة عندما يتغير الحمل على المغذي (VK & Rohit, 2005).

يبين الشكل (2_2) نموذج الخط الواحد لشبكة توزيع شعاعية.



الشكل (2_2) الشبكة الشعاعية (Prakash et al., 2016)

• شبكة التوزيع الحلقية:

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العنينة

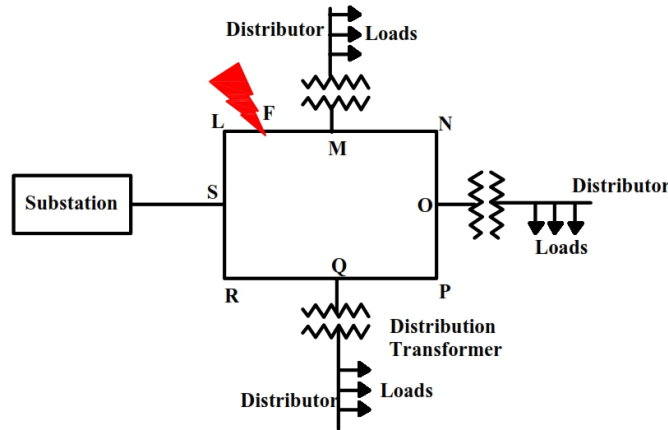
الفصل الثاني: النظام الكهربائي بوجود التوليد الكهربائي الموزع

تُعتبر الشبكة الحلقية من أكثر أنواع شبكات التوزيع تعقيداً، حيث يتم توصيل الخطوط بشكل دائرة كاملة لتحقيق التوازن والموثوقية، تتميز الشبكة الحلقية بقدرتها على تحمل الأعطال بشكل أفضل من الشبكة الشعاعية، حيث يمكن نقل الطاقة عبر مسارات بديلة في حالة وقوع عطل، كما يمكن تصميم الشبكة الحلقية بشكل مرن لتوسيعها بسهولة واستيعاب زيادة في الحمل أو توسيع المنطقة المخدومة بالطاقة الكهربائية، تكون الشبكة الحلقية غالباً أكثر كلفة من الشبكة الشعاعية نظراً للتعقيد الزائد في التصميم والتنفيذ.

تضمن الشبكة الحلقية، استمرارية أفضل للخدمة من النظام الشعاعي، مع انقطاعات قصيرة فقط لعمليات الفصل والوصل، في حالة انقطاع التيار الكهربائي بسبب الأعطال في الخط.

يبين الشكل (2_3) الشبكة الحلقية لنظام التوزيع الكهربائي، حيث تشكل شبكة التوزيع الأساسية حلقة، يبدأ الدائرة الحلقية من محطة التوزيع الفرعية، ثم تمر عبر المناطق المخصصة للخدمة ثم تعود إلى المحطة الفرعية، يُظهر الشكل مخطط خط واحد لنظام الحلقة الرئيسية لتوزيع الطاقة الكهربائية، حيث تغذي المحطة الفرعية الحلقة المغلقة LMNOPQRS يتم توصيل الموزعين من نقاط مختلفة M ، O و Q من المغذي من خلال محولات التوزيع، يتمتع نظام الحلقة الرئيسية بالمزايا التالية:

- 1 - تقلبات التوتر أقل عند نقاط المستهلك.
- 2 - النظام موثوق للغاية حيث يتم تغذية كل موزع عبر مغنيين. في حالة حدوث خلل في أي جزء من المغذي، يتم الحفاظ على استمرارية التزويد بالطاقة. على سبيل المثال، لنفترض حدوث خلل في أي نقطة F من قسم SLM من المغذي، يمكن عزل القسم SLM من المغذي للإصلاح وفي الوقت نفسه يتم الحفاظ على استمرارية التزويد بالطاقة لجميع المستهلكين عبر المغذي SRQPONM ، (VK & Rohit, 2005).



الشكل (2_3) الشبكة الحلقية (VK & Rohit, 2005)

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العبيد

الفصل الثاني: النظام الكهربائي بوجود التوليد الكهربائي الموزع

فيما يلي بعض المبادئ الأساسية عن الحماية المستخدمة في الشبكات الكهربائية، أو تلك المستخدمة في شبكات التوزيع. حيث أن معرفة هذه الأنواع من الحماية تعتبر من الأمور الأساسية فيما يتعلق بالاطروحة في كشف الأعطال وتحديد مواقعها، خاصة أن عملية تحديد مواقع الأعطال المقترحة في البحث، لا بد أن تتم خلال زمن أصغر من زمن تفعيل الحماية المركبة في شبكات التوزيع.

2.2.2 حماية شبكات التوزيع الكهربائية (Protection of Electrical Distribution Networks):

يعتمد نوع الحماية المستخدمة في الخطوط الكهربائية وشكلها على عدد كبير من العناصر أهمها:

- شكل الشبكة الكهربائية فيما إذا كانت حلقة أو شعاعية أو مركبة أو ذات خطوط مضاعفة.
- أهمية الخط الكهربائي المطلوب حمايته ضمن الشبكة من حيث تغذية المستهلكين.
- نوع الخط الكهربائي فيما إذا كان هوائياً أو كابلاً أرضياً.
- توتر الخط.
- إمكانية عمل الخط عند انقطاع أحد الأطوار لفترة محددة.
- وجود أجهزة إعادة الوصل السريع.
- وجود التعويض الطولي للاستطاعة الردية على الخط.
- نسبة تيار العطل الأصغري إلى تيار الحمل الأعظمي.

❖ حماية الخطوط الكهربائية (الجابي، سمح & زيدان، خالد، 2016):

لا بد من التذكير بأهم الحماية المستخدمة على خطوط شبكات التوزيع الكهربائية، وتحديد أنواعها وطرائق عملها وتنسيقها. حيث تؤمن عملية تنسيق الحماية الانتقائية في عمل الحماية، وتتم عملية التنسيق بالاعتماد على الخصائص الزمنية للحماية المستخدمة. وتعد الأزمنة المضافة لتجهيزات الحماية محدداً لزمن عمل خوارزمية كشف العطل، وتحديد مكانه، والتي ستقدم في الفصل الثالث والرابع.

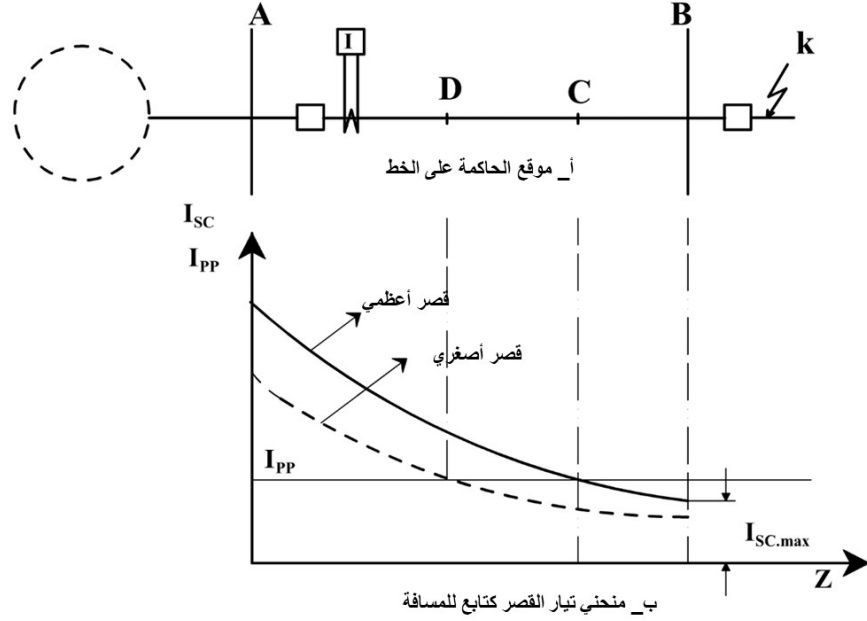
(a) حماية الخطوط الشعاعية من القصر:

تتم حماية الخطوط من القصر بين الأطوار أو بين طورين والأرض، باستخدام طريقة تجزئة التيار، وذلك باستخدام حواكم الحماية بالتيار الزائد آنية، ويتم تحديد تيار إقلاع هذه الحماية استناداً إلى قيمة تيار القصر الأعظمي، والذي يظهر خارج الخط الكهربائي المراد حمايته.

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العبيد

الفصل الثاني: النظام الكهربائي بوجود التوليد الكهربائي الموزع

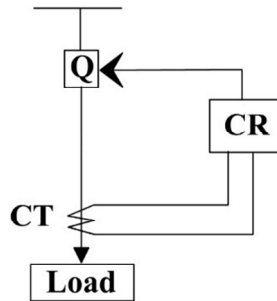
يبين الشكل (2_4) موضع حاكمة الحماية بالتيار الزائد I على خط النقل، كما هو مبين في الشكل (أ)، وكذلك تغيرات تيار القصر، بوصفه تابعاً لمسافة نقطة حدوث القصر على خط النقل كما هو مبين في المنحني (ب) من نفس الشكل. لتحقيق شرط الانتقائية يجب ألا تعمل هذه الحاكمة عند حدوث عطل في المنطقة الخارجية من خط النقل، ولذلك فإن تيار الإقلاع يجب أن يكون أكبر من تيار القصر الأعظمي عند أقرب نقطة إلى المنطقة المحمية.



الشكل (2_4) منحني تيار القصر كتابع للمسافة

(b) حاكمة الحماية بالتيار الزائد الأعظمي الزمنية (Over-Current Protection):

يعد هذا النوع من أنواع الحماية الأكثر بساطة ورخصاً، ولذلك تستخدم بشكل واسع في الشبكات الكهربائية وخاصة في خطوط النقل، ومن الممكن أن تكون حماية أساسية أو احتياطية في الخطوط الشعاعية، يبين الشكل (2_5) طريق تغذية الحماية بالتيار الزائد الأعظمي.

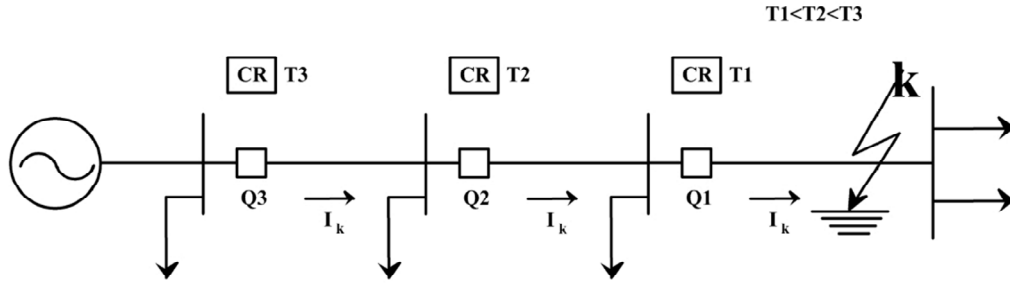


الشكل (2_5) طريقة تغذية الحماية بالتيار الزائد الأعظمي

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العبيد

الفصل الثاني: النظام الكهربائي بوجود التوليد الكهربائي الموزع

لتحقيق الانتقائية في هذا النوع من الحماية، يتم تعيين الحاكمة على أزمنة تأخير متزايدة باتجاه المنبع حيث تكون $T1 < T2 < T3$ ، وذلك من أجل تحقيق عملية التنسيق بين حواكم الحماية، فعلى سبيل المثال في الشكل (2_6)، وعند حدوث عطل في النقطة K من الخط تستجيب حاكمة الحماية بالتيار الزائد CR1 وتقوم بإعطاء أمر فصل للقاطع الآلي Q1 ويعود الوضع بعدها سليماً.



الشكل (2_6) أزمنة تشغيل متزايدة باتجاه منبع التغذية لشبكة شعاعية

يفضل تركيب الحماية بالتيار الزائد الأعظمي من جهة منبع التغذية وأقرب ما تكون إليه، وذلك من أجل تكبير المنطقة التي تغطيها الحماية أثناء العطل.

(c) حاكمة الحماية بالتيار الزائد الاتجاهية ذات التأخير الزمني العكسي (Inverse Time-Lag Over-Current Directional Relay):

يعطى قانون الاستطاعة بالعلاقة:

$$P = U * I * \cos (\varphi) \quad (2_1)$$

تبين العلاقة تناسب الاستطاعة طردياً مع كل من التيار والتوتر و $\cos$ الزاوية بين التيار والتوتر، ويتناسب العنصر الاتجاهي للحاكمة طردياً مع اتجاه هذه الاستطاعة اعتماداً على فرق الصفحة بين التيار والتوتر وقيمتها كما هو مبين في:



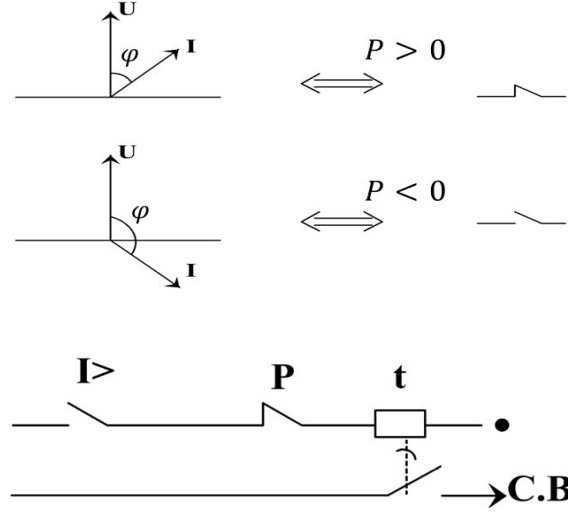
الشكل (2_7) مبدأ عمل العنصر الاتجاهي

مداخل العنصر الاتجاهي هي التيار والتوتر، واعتماداً على الزاوية بينهما، يعطي العنصر الاتجاهي الإشارة المناسبة.

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العنينة

الفصل الثاني: النظام الكهربائي بوجود التوليد الكهربائي الموزع

يتم ضبط العنصر الاتجاهي بحيث يكون التماس مغلق بشكل طبيعي في حال كانت الاستطاعة موجبة دون أن يعطي أمر فصل للقاطع الآلي في حالة العمل العادية، و يكون التماس مفتوحاً بشكل طبيعي في حال كانت الاستطاعة سالبة، مما يعني بأنه حتى لو ارتفع التيار عن قيمة العتبة في حال حدوث الأعطال وتم إغلاق تماس عنصر زيادة التيار، لن يتم إعطاء أمر فصل للقاطع الآلي لأن التماس مفتوح، يبين الشكل (2_8) حالتا الاستطاعة ومبدأ عمل الحاكمة.



الشكل (2_8) الاستطاعة الموجبة والسالبة الناتجة عن فرق الصفحة ومبدأ عمل الحاكمة

استخدمنا في بحثنا هذا مبدأ الحماية من التيار الأعظمي من أجل الكشف عن لحظة حدوث العطل، كما استخدمنا الانتقائية الاتجاهية من أجل تحديد جهة سريان تيار العطل المستخدمة في نمذجة مؤشرات الأعطال.

3.2 التوليد الكهربائي الموزع في نظام التوزيع الكهربائي (Distributed Generation in Electrical)

:(Distribution System

تم تعريف التوليد الموزع من قبل جهات حكومية ورسمية مختلفة، فقد عرف المجلس الدولي لأنظمة التوتر العالي الكبيرة (CIGRE) بأنه يشمل وحدات التوليد ذات الاستطاعة [50-100 MW] والتي تربط عادة بشبكة التوزيع والتي لا يجري التخطيط لها أو التحكم بها مركزياً.

ويعرف التوليد الموزع من قبل IEEE على أنه عبارة عن وحدات التوليد الكهربائي الأصغر من محطات التوليد المركزية بشكل واضح بحيث يمكن وصلها في أية نقطة من منظومة القدرة.

أما بالنسبة لوزارة الطاقة الأمريكية DOE فقد عرفت وحدات التوليد الموزع على أنها، التوليد أو التخزين الكهربائي المتواجدين نقاط الاستخدام، وتوصل المولدات الموزعة عادةً مع شبكات التوزيع (حمزة، علي، 2011).

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العنينة

الفصل الثاني: النظام الكهربائي بوجود التوليد الكهربائي الموزع

ومن الملاحظ أن التعاريف المذكورة لا تحدد أي معيار أو تصنيف للتوليد الموزع بالاعتماد على استطاعته، وعلى الرغم من عدم وجود قاعدة عامة بخصوص مجال الاستطاعة، ولكن يمكن استخدام القيم المرشدة التالية في بعض البلدان:

- تعتبر وزارة الطاقة الأمريكية DOE، مجال استطاعة وحدة التوليد الموزع من [1kW] وحتى [10 MW].
- يعتبر معهد بحوث الطاقة الكهربائية EPRI وحدات التوليد الصغيرة ذات الاستطاعة من بضعة [kW] وحتى [50 MW]، المركبة قرب الأحمال، أو قرب محطات التحويل لشبكة التوزيع، هي مصدر طاقة موزعة.
- يعتبر معهد بحوث الغاز GRI أن وحدات التوليد باستطاعة [25 kW] إلى [25 MW] هي وحدات DG.
- تصنف وحدات التوليد الأقل من [5 MW] في نيوزيلندا كوحدات توليد موزع.
- تصنف وحدات التوليد الأقل من [30 MW] في استراليا كوحدات توليد موزع (حمزة، علي، 2011).

1.3.2 أنواع التوليد الموزع:

يوجد العديد من مصادر التوليد الموزع المنتشرة في أنحاء العالم (Pepermans et al., 2005)، فمنها:

- الخلايا الشمسية الضوئية (Photovoltaic) : والتي تستخدم لتوليد الكهرباء من خلال تحويل الطاقة الشمسية إلى كهرباء.
- المولدات الترددية (reciprocating Engines) : التي تعمل على تحويل الوقود (الديزل أو الغاز) إلى طاقة كهربائية.
- التوربينات الريحية (Wind Turbines) : التي تستخدم طاقة الرياح لتوليد الكهرباء وغيرها من مصادر التوليد الأخرى.
- خلايا الوقود (Fuel cells): تستخدم الهيدروجين أو الغاز الطبيعي كوقود وتنتج كهرباء.
- التوربينات الصغيرة (Micro turbines): تستخدم الغاز الطبيعي بشكل عام ولكن يمكن استخدام النفايات الدفينة أو الغاز الحيوي كوقود لإنتاج الكهرباء.
- التوربينات الغازية (Gas turbines): تستخدم الغاز أو الكيروسين كوقود لإنتاج الكهرباء.
- أنواع أخرى (Other Renewables): تشمل الطاقة الشمسية الحرارية (Thermal solar) والمائية الصغيرة (Small hydro) الحرارة الأرضية (Geothermal) الخ.

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العبيد

الفصل الثاني: النظام الكهربائي بوجود التوليد الكهربائي الموزع

2.3.2 سبب دمج التوليد الموزع ضمن شبكة التوزيع (Reason for Integrating Distributed Generation within the Distribution Network)

تتلخص أسباب دمج التوليد الموزع ضمن الشبكة بشكلها العام (Pepermans et al., 2005):

- لتحسين استقلالية توريد الطاقة: حيث تقلل وحدات التوليد الموزع من اعتماد المستهلكين على مصادر التوليد الرئيسية، ويزيد من مرونة النظام.
- التخفيف من الضياعات: حيث أن وجود وحدات التوليد الموزع في المناطق القريبة من الحمل يقلل من الضياعات التي تحدث أثناء نقل الكهرباء عبر مسافات طويلة من محطات التوليد الكبيرة.
- تحسين جودة الخدمة: حيث يتم تزويد المستهلكين بالكهرباء قريبة من مواقع استهلاكهم، مما يقلل من تأثير التقلبات في التوتر والتيار.

3.3.2 المشاكل التي تعاني منها شبكات التوزيع بوجود التوليد الموزع (Problems Experienced by Distribution Networks with the Presence of Distributed Generation):

يمكن تصنيف التحديات التي تواجه الانتشار الواسع لوحدة التوليد الموزع إلى 3 مجموعات (Lopes et al., 2007):

(a) التحديات التقنية:

- تأثير ارتفاع التوتر: يعد تأثير ارتفاع التوتر أحد العوامل الرئيسية التي تحد من إمكانية ربط المزيد من وحدات التوليد الموزع مع شبكات التوزيع الريفية، حيث يمكن أن يؤدي ارتفاع التوتر إلى مشاكل في التشغيل والاستقرار.
- جودة الطاقة: تشمل مشاكل جودة الطاقة التغيرات السريعة في التوتر وتشويه توافقيات التوتر، والتي يمكن أن تتأثر بشكل إيجابي أو سلبي بوجود محطات توليد موزع.
- الحماية: حيث تتطلب محطات وحدات التوليد الموزع حماية من الأعطال الداخلية، وحماية الشبكة من التيارات الناتجة عن إضافة وحدات التوليد الموزع.
- استقرار النظام: يجب مراعاة قضايا الاستقرار مع زيادة توزيع وحدات التوليد الموزع، بما في ذلك الاستقرار الديناميكي لانخفاض التوتر.
- تحديد مكان العطل في شبكات التوزيع بوجود وحدات توليد موزع، أصبح أمراً معقداً نتيجة تدفق التيار بعدة اتجاهات.

(b) التحديات التجارية:

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العبيد

الفصل الثاني: النظام الكهربائي بوجود التوليد الكهربائي الموزع

- يجب إيجاد إدارة نشطة لشبكات التوزيع الكهربائية تسمح بزيادة عدد وحدات التوليد الموزع، والتي تتطلب تكاليف إضافية عالية.

- تكاليف التشغيل: يجب تحديد التكاليف المرتبطة بتشغيل شبكات التوزيع الفعالة، حيث يتوقع أن تتفوق الفوائد على التكلفة.

ارتفاع التكلفة نسبياً لكل كيلوواط من الطاقة المثبتة مقارنة بالمحطات المركزية الكبيرة (Pepermans et al., 2005).

(c) التحديات التنظيمية:

- السياسات التنظيمية: يجب وضع سياسات تنظيمية تدعم تكامل وحدات التوليد الموزع مع شبكات التوزيع، وتحديد السياسات التي تعزز هذا التكامل.

- تحسين آلية التسعير: يجب تطوير منهجية حساب رسوم استخدام النظام، لتشمل وجود وحدات توليد موزع ومساهمته في أمان النظام والخسائر، وضمان تقديم تكاليف عادلة ومناسبة للمشاركين.

تعكس هذه التحديات الصعوبات التي يجب التغلب عليها لضمان تكامل ناجح لوجود وحدات التوليد الموزع في أنظمة الطاقة الكهربائية وتحقيق فوائدها بشكل فعال ومستدام.

4.3.2 مساهمة نوع التوليد الموزع بتيارات الأعطال (Contribution of Distributed Generation Type to Fault Currents)

:(to Fault Currents

تختلف المولدات الموزعة بمساهماتها بتيارات الأعطال تبعاً لطريقة ربطها بالشبكة الكهربائية، حيث يوجد من المولدات الموزعة، تلك التي يرتبط فيها المولد الدوار مباشرةً بالشبكة، عبر ممانعة ربط، وتكون مساهمة المولدات في هذا النوع ذات قيمة كبيرة، بسبب طبيعة الآلات الدوارة وتصميمها، لتستطيع تحمل تيارات الأعطال لفترة زمنية قصيرة ومحددة، حيث يمكن للغات النحاسية أن تصمد في وجه ارتفاع حرارتها لفترة زمنية حدية، بينما تصمم المولدات التي تستخدم عناصر الكترونيات القدرة الكهربائية، على أن تعطي تيار محدد عند حدوث القصر، يلعب نظام التحكم دوراً كبيراً في الحد من تيار القصر المساهم به من قبل هذه المولدات (Masaud & Mistry, 2016).

يقسم نظام عمل المولدات الموزعة ذات عناصر الكترونيات القدرة إلى نمطين أساسيين:

1 - نمط العمل كمنبع للتيار: في هذا النوع يحقق المولد تيار ثابت، متناسب مع منبع الاستطاعة الأولية، ويحتاج إلى توتر الشبكة للقيام بالتوليد المناسب. تعتبر مولدات طاقة الرياح والمولدات الكهروضوئية الشمسية مثال

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العبيد

الفصل الثاني: النظام الكهربائي بوجود التوليد الكهربائي الموزع

على ذلك النمط من العمل، وتعد مساهمة هذا النوع من التوليد بتيار العطل محدود بطاقة الرياح والشمس وبالتالي لا يمكن توليد تيار مهم عند حدوث العطل.

2- نمط العمل كمنبع للتوتر: يقوم المولد بتثبيت التوتر على طرفيه عبر نظام تحكم بتوتر الخرج، بالتالي يسعى المولد إلى توليد تيار كبير عند حدوث العطل المسبب لانخفاض توتر خرج، يسعى نظام التحكم بهذا النوع من التوليد لتحديد تيار الخرج عند قيمة لا تتجاوز $2p.u$ لأجل حماية العناصر نصف الناقل المكونة لتجهيزات الكترونييات القدرة، ذات القدرة الضعيفة على تحمل تيارات عمل عالية.

4.2 مشغلو شبكات التوزيع الكهربائية (DNO (Distribution Network Operator

مشغلات شبكات التوزيع الكهربائية (DNO) هي الجهات المسؤولة عن تشغيل وإدارة شبكات التوزيع الكهربائية. يتلخص دورها بمراقبة وصيانة الشبكات، وتوزيع الطاقة إلى المستخدمين، والتعامل مع الأعطال والتحديات التقنية. وتعمل على ضمان استدامة وكفاءة نقل الكهرباء من محطات التوليد إلى المنازل والمؤسسات. يرسل مشغل التوزيع DNO معلومات عن الحمل الكهربائي على مدى فترات زمنية قصيرة، إلى مشغل شبكة النقل (TSO (Transmission System Operator، بالإضافة لحالة الشبكة من توتر وتردد وأي مشكلات تقنية، وخطط التشغيل والصيانة المقررة لضمان عدم تداخل الأعطال وضمان استمرارية التشغيل. كما يرسل مشغل التوزيع لمشغل النقل معلومات عن طلبات الحمل الجديدة، ومعلومات حول متطلبات الأمان والحماية للشبكة لضمان عدم تعرضها للخطر أو الاختراق. تساعد عمليات التنسيق بين TSO و DNO على تشغيل الشبكة الكهربائية بكفاءة، وضمان لتوفير الكهرباء بشكل موثوق وآمن للمستهلكين. يواجه مشغلو شبكات التوزيع (DNOs) في جميع أنحاء العالم مهمة صعبة للانتقال من كونهم مشغلي شبكات إلى توسيع نطاق أدوارهم وتعميق نطاق عملهم التشغيلي، ليصبحوا مشغلي نظام التوزيع (DSOs).

5.2 مشغلو أنظمة التوزيع في الشبكات الذكية (DSO (Distribution System Operator

تم بناء شبكة توزيع الكهرباء في العديد من الدول، ليكون مرور الكهرباء في اتجاه واحد، من محطات الطاقة إلى العملاء. مع اتجاه العديد من الدول نحو تحقيق الصفر الصافي من انبعاثات الكربون، سيكون هناك زيادة في التوليد الموزع (distributed energy resources DERs)، وسيطلب ذلك من مشغلي شبكات التوزيع (DNOs) تولي وظائف جديدة لذلك كان لابد للانتقال لنمط مشغل جديد يسمى مشغل نظام التوزيع (DSOs). حيث ستسمح التقنيات الذكية الجديدة للمشغلين DSOs بالمراقبة في الزمن الحقيقي لعمل الشبكة (Saqib Saeed, 2021). كما تقوم شركة توزيع الكهرباء (DNO) بأداء العديد من المهام التي يقوم بها مشغل نظام التوزيع (DSO)، لكن هناك بعض الاختلافات. شبكة التوزيع الكهربائية التقليدية ليست نشطة وإنما هي شبكة سلبية، تم

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العبيد

الفصل الثاني: النظام الكهربائي بوجود التوليد الكهربائي الموزع

تصميم شبكة التوزيع الكهربائية السلبية لاستقبال الطاقة المولدة من نظام النقل وتوزيعها عبر الشبكة إلى المستهلكين، ولكن لا يوجد إدارة على المستوى المحلي أو تحكم في موارد التوليد، مما يؤدي إلى عملية أقل كفاءة وأقل موثوقية للشبكة. وفقاً للجمعية الوطنية لشبكات الطاقة (ENA)، يقوم مشغل نظام التوزيع (DSO) بـ "تشغيل وتطوير نظام التوزيع الفعال، والذي يضم الشبكات الكهربائية، وعمليات الطلب والتوليد ومصادر الطاقة الموزعة المرنة الأخرى" (Saqib Saeed, 2021).

الجدول (2_2) مقارنة بين DSO و DNO

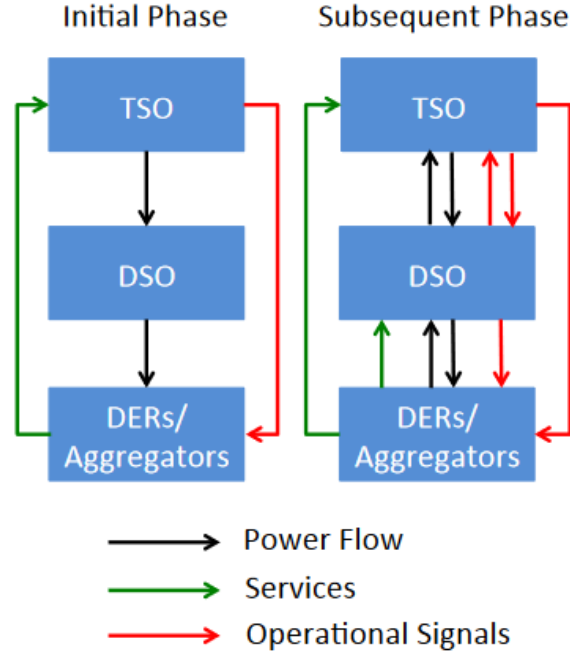
DNO (Distribution Network Operator)	DSO (Distribution System Operator)
تدفق الطاقة باتجاه واحد	تدفق الطاقة باتجاهين
عدد قليل لوحدات التوليد الموزع ووحدات الطاقة المتجددة	تداخل عالي لوحدات التوليد الموزع، وهي شبكة نشطة مرنة لإضافة مصادر توليد جديدة
صممت الشبكة للتعامل مع ذروة معينة للطلب	صممت الشبكة لتستوعب تطور الشبكة ولتستطيع التعامل مع المعطيات ثنائية الاتجاه من المستخدم ومن وحدات التوليد

يبين الشكل (2_9) التفاعلات الرئيسية بين DSO ومشغل شبكة النقل TSO حيث تكون تفاعلات مشغلي نظام التوزيع محدودة مع مشغل النقل، أو مع مصادر الطاقة الموزعة، وتكون الخدمات النموذجية التي تقدمها مصادر الطاقة الموزعة هي تقليل الحمل أو الطلب.

يتجه مشغلو الشبكة DSO ومشغلو نظم النقل TSO، لتكون جريان الطاقة ذو اتجاه ثنائي؛ حيث يمكن لمصادر الطاقة الموزعة تقديم خدمات لمشغل النقل، ومشغل النظام التوزيع، ويقوم كل من مشغل النقل ومشغل التوزيع، بإرسال إشارات تشغيلية إلى مصادر الطاقة الموزعة، بالإضافة إلى ذلك، يمكن تنسيق الإشارات التشغيلية بين كل من المشغلين (القسم اليميني من الشكل (2_9))، في هذه المرحلة، ستكون مصادر الطاقة الموزعة قادرة على تقديم مجموعة أوسع من الخدمات لمختلف مستويات النظام الكهربائي، طالما أن تصميمات الأسواق المناسبة موجودة مع وجود مستوى معين من الرؤية والتحكم لدى المشغلين (Birk et al., 2017).

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العينية

الفصل الثاني: النظام الكهربائي بوجود التوليد الكهربائي الموزع



الشكل (2_9) مخطط مبسط للتفاعلات الرئيسية بين TSO، DSO و DERs (Birk et al., 2017)

يملك مشغلو DSO برمجيات محددة، تساعد في التشغيل الأمثل لنظام التوزيع الفعال، سنقدم لاحقاً تطوير إحدى البرمجيات، عبر تقديم خوارزمية لكشف وتحديد مكان الأعطال، في هذا النوع من الشبكات الكهربائية.

6.2 التقنيات الحديثة في الشبكات الكهربائية ومفهوم الشبكة الذكية (Modern Technologies in Electrical Networks and the Concept of Smart Grid)

1.6.2 تطور الشبكات التقليدية نحو الشبكة الذكية (Evolution of Traditional Networks Towards Smart Grids)

:(Smart Grids)

- تعد عمليات نقل وتوزيع الكهرباء مطلب أساسي للتنمية المستدامة والازدهار في جميع أنحاء العالم، حيث تواجه القطاعات الكهربائية تحديات كبيرة في هذا المجال في القرن الحادي والعشرين، متمثلة بـ:
- تناقص توافر مصادر الطاقة الأولية الأحفورية والنووية وبالتالي، زيادة أسعارها بسرعة.
 - اعتماد العديد من الدول والتي لا تمتلك موارد نفطية، على مصادر الطاقة الأولية المستوردة.
 - تزايد تأثير انبعاثات الغازات الدفيئة على البيئة.

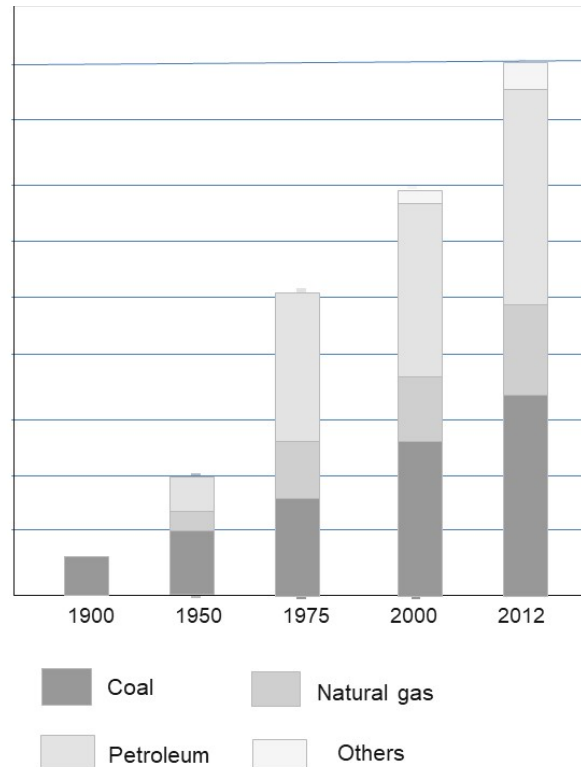
تؤكد المصادر على محدودية توفر مصادر الطاقة الأولية النووية والأحفورية، وتوقعات حول ازدياد الطلب على مصادر الطاقة الأولية بشكل كبير حتى عام 2050 (خاصة وفقاً للنمو الاقتصادي السريع للدول)، مما

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العبيد

الفصل الثاني: النظام الكهربائي بوجود التوليد الكهربائي الموزع

سيؤدي بدوره إلى تقليل توفر مصادر الطاقة التقليدية، ومن الواضح أن كل من الوقود الأحفوري واليورانيوم هما مصادر طاقة غير متجددة، وإن إمداداتهما تتحسر بسرعة (Buchholz & Styczynski, 2014). علاوة على ذلك، فإن إنتاج واستخدام الوقود الأحفوري يثير مخاوف بيئية بشأن انبعاثات الكربون كما هو موضح في الشكل (2_10)، مما دعا لحركة عالمية للانتقال نحو مصادر الطاقة المتجددة لتلبية الاحتياجات المتزايدة للطاقة في المستقبل، ولخفض استهلاك الطاقة من خلال ترشيدها، وتقليل انبعاثات غاز CO₂. تم تطوير رؤية شبكات الكهرباء في المستقبل من قبل مجموعة من الخبراء الأوروبيين، للوصول إلى شبكة توفر تسهيل توصيل وتشغيل المولدات بجميع الأحجام والتقنيات بشكل أفضل مع الشبكة، والسماح لمستهلكي الكهرباء بلعب دور في تحسين عملية النظام، وتوفير معلومات أكثر وخيارات أكثر للمستهلكين في كيفية تأمين إمداداتهم بالكهرباء، وتحسين عمل السوق وخدمات المستهلك، بالإضافة لتقليل الأثر البيئي لنظام إمدادات الكهرباء الكلي بشكل كبير، وتوفير مستويات محسنة من الموثوقية والجودة والأمان في توريد الكهرباء، للوصول لما يسمى " الشبكة الذكية Smart Grid ".

تعرف الشبكة الذكية على أنها شبكة كهرباء يمكنها دمج أنشطة جميع المستخدمين المتصلين بها - المولدون، والمستهلكون، وأولئك الذين يقومون بكليهما - من أجل توفير إمدادات كهرباء مستدامة واقتصادية وآمنة بشكل ذكي (Buchholz & Styczynski, 2014).



الشكل (2_10) انبعاثات الكربون السنوية العالمية حسب أنواع الوقود (Buchholz & Styczynski, 2014)

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العبيد

الفصل الثاني: النظام الكهربائي بوجود التوليد الكهربائي الموزع

تشمل الميزات الرئيسية للشبكة الذكية (Nigel Charig, 2024):

- نقل الكهرباء بشكل أكثر كفاءة.
- استعادة الكهرباء بسرعة أكبر بعد حدوث اضطرابات في الاستطاعة.
- تقليل تكاليف العمليات والإدارة لشركات الطاقة الكهربائية، وبالتالي تخفيض تكاليف الكهرباء للمستهلكين.
- تقليل الذروة، مما سيساعد أيضاً في خفض أسعار الكهرباء.
- زيادة تكامل أنظمة الطاقة المتجددة بمقياس كبير.
- تحسين تكامل أنظمة توليد الطاقة التي يمتلكها العملاء، بما في ذلك أنظمة الطاقة المتجددة.
- تحسين الأمان.

2.6.2 نظم نقل المعلومات في الشبكات الكهربائية (Information Transmission Systems in Electrical Networks)

شهدت الاتصالات في مجال الشبكات الكهربائية تحولاً كبيراً من الشبكات التقليدية إلى الشبكات الذكية في العقود الأخيرة، حيث كانت الاتصالات في الشبكات الكهربائية التقليدية، تتم بشكل أساسي عن طريق نظام التحكم المركزي (SCADA)، الذي يسمح بمراقبة وتحكم الشبكة من مركز واحد، كانت هذه الشبكات تعتمد بشكل كبير على تقنيات النقل القائمة على الأسلاك، وكانت تغنر إلى القدرة على التفاعل في الوقت الحقيقي مع العديد من الأجهزة المتصلة.

مع تطور التكنولوجيا وظهور مفاهيم الشبكة الذكية، وازدياد عدد وحدات التوليد الموزع في الشبكة، مما أدى لزيادة عدد البيانات الواجب التعرف إليها في الشبكة، بدأت الاتصالات في الشبكات الكهربائية تتطور بشكل كبير، وتم تعزيز الشبكات الكهربائية بأنظمة اتصالات عالية الأداء، وموثوقة تسمح بتبادل البيانات في الزمن الحقيقي، بين مختلف الأجهزة والمرافق ضمن الشبكة، وبفضل تقنيات الاتصالات الحديثة مثل الإنترنت السريع، أصبح بالإمكان تحقيق تفاعل أسرع وأكثر كفاءة بين مكونات الشبكة (Budka et al., 2014).

تمكنت الشبكات الذكية من توفير العديد من المزايا مثل زيادة كفاءة استخدام الطاقة، وتحسين موثوقية الشبكة، وتقليل فترات انقطاع التيار الكهربائي، وتشجيع استخدام مصادر الطاقة المتجددة، كما تمكن الشبكات الذكية المستهلكين من المشاركة في إدارة الطاقة وتحكمها بشكل أكبر، مما يساهم في تحقيق الاستدامة البيئية وتحسين تجربة المستخدم.

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العنينة

الفصل الثاني: النظام الكهربائي بوجود التوليد الكهربائي الموزع

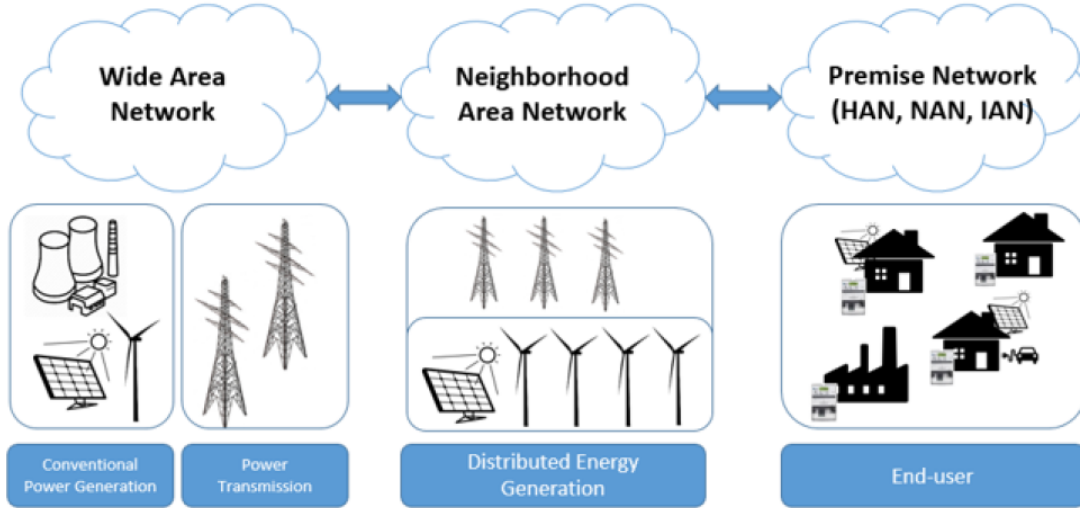
أصبحت شبكة الاتصال المكونة أساسياً لتوفير تشغيل الشبكة الذكية بشكل موثوق، من خلال تأمين الاتصال في الزمن الحقيقي لعمليات القياس والمراقبة والتحكم في الشبكة الكهربائية، وتختلف متطلبات الاتصال والتقنيات المناسبة، على هيكلية وتكوين الشبكة المدروسة (Abrahamsen et al., 2021).

تقسم شبكات الاتصالات في الشبكة الذكية إلى:

(a) شبكات HAN, BAN, LAN (Kuzlu et al., 2014)

الشبكة المنزلية (HAN Home Area Network):

تعتبر HAN شبكة داخلية تربط أجهزة المنزل والمبنى، وتستخدم للتحكم في الأجهزة المنزلية مثل الإضاءة والتدفئة والتبريد، وتعتمد على تقنيات الاتصال اللاسلكي والسلكي، وتهدف إلى تحسين كفاءة استهلاك الطاقة داخل المنزل.



الشكل (2_11) مخطط عام لشبكة الاتصالات

شبكة المباني (BAN Building Area Network):

تمتد BAN إلى المباني والمنشآت الكبيرة، وتستخدم للتحكم في أنظمة الإضاءة والتكييف والأمان داخل المباني، وتعتمد على تقنيات الاتصال السلكي واللاسلكي.

الشبكة الصناعية (IAN Industrial Area Network):

تستخدم في البيئات الصناعية والمصانع، وتربط أجهزة الإنتاج والمعدات الصناعية، وتعتمد على تقنيات الاتصال السلكي واللاسلكي.

(b) شبكات (FAN field area network) (NAN Neighborhood Area Network):

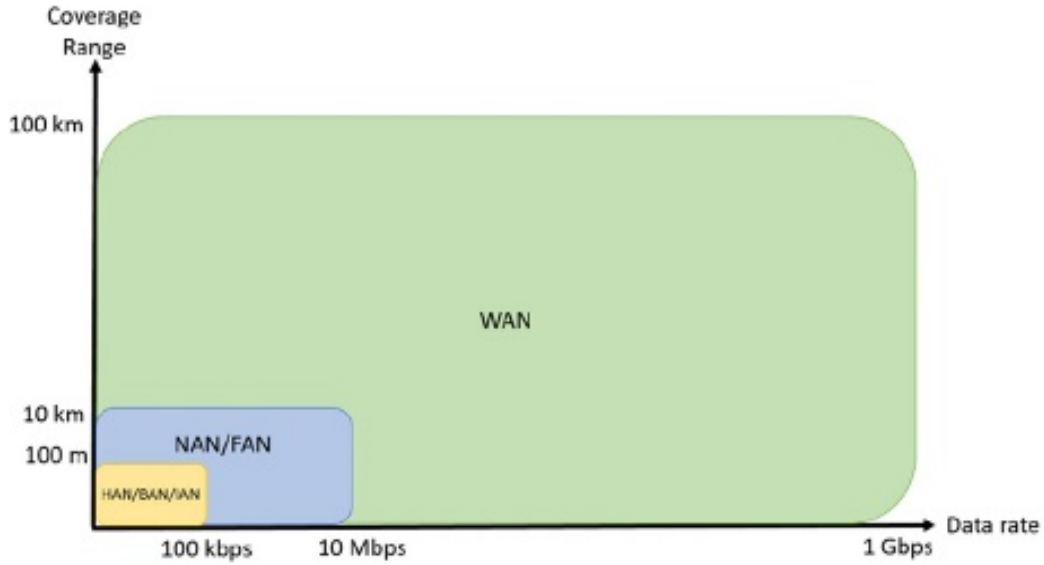
تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العبيد

الفصل الثاني: النظام الكهربائي بوجود التوليد الكهربائي الموزع

وهي شبكات تربط بين عدة مباني متجاورة أو موجودة في مساحة واحد، وهي الشبكات التي تربط بين شبكات المستهلكين HAN, LAN, BAN مع الشبكة WAN، وتستطيع تقديم خدمات مثل مراقبة وتحكم توصيل الكهرباء لكل مستخدم نهائي، والاستجابة للطلب وتحسين توزيع الكهرباء.

(c) شبكة (WAN Wide-Area Network):

وهي تمثل العمود الفقري لشبكة الاتصال في الشبكات الكهربائية، تربط بين الشبكات الأخرى و بين محطات التحويل، والوحدات الطرفية RTU، ووحدات القياس الشعاعية PMU مع مركز التشغيل وهي تحتاج لمعدل نقل بيانات عالي جدا يتراوح بين (1 Gbps – 10Mbps) وتغطي مساحات عالية جداً (Abrahamsen et al., 2021)، يبين الشكل (2_12) معدل سرعة نقل البيانات لكل من الشبكات المذكورة وسرعة النقل لكل منها.



الشكل (2_12) مسافة نقل البيانات وسرعة نقلها لشبكات الاتصال اللاسلكية ضمن WAN (Abrahamsen et al., 2021)

طرائق الاتصال في الشبكات الذكية:

تقسم طرائق الاتصال في الشبكات الذكية إلى:

(a) الطرائق السلكية (Abrahamsen et al., 2021): وتشمل:

- خطوط الطاقة (PLC Power line communication) حيث تتم الاتصالات عن طريق خطوط نقل الطاقة من أجل نقل البيانات، فيتم نقل إشارات عالية التردد من عدة كيلوهرتز إلى عشرات الميغاهرتز

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العبينه

الفصل الثاني: النظام الكهربائي بوجود التوليد الكهربائي الموزع

عبر خطوط الطاقة الكهربائية، وتكون تكلفة PLC الأولية أقل نظراً لاستخدامها لبنية الخطوط الكهربائية الموجودة بالفعل.

- الألياف البصرية: تعتبر الاتصالات البصرية عبر الألياف البصرية مناسبة تماماً للتحكم والمراقبة، والاتصال المباشر في شبكات (WANs)، على الرغم من كونها أكثر تكلفة من البدائل الأخرى، إلا أن لها مزايا متعددة، مثل المدى الطويل، والنطاق الترددي العالي، ومعدل البيانات العالي، وعدم تعرضها للتشويش الكهرومغناطيسي.
- الانترنت: مناسب للاتصال في شبكة WAN بين محطات الطاقة ومراكز التحكم، تتميز هذه الطريقة من الاتصالات بتوفرها العالي وموثوقيتها العالية، ويتم استخدام الإنترنت أيضاً في شبكة HAN للاتصال بين عدادات الطاقة الذكية والمركز المنزلي.

(b) الطرائق اللاسلكية (Abrahamsen et al., 2021): وتشمل:

- تقنيات الجيل الخلوي (Nielsen et al., 2018): الجيل الثاني (2G) مثل (GSM Global System for Mobile Communications)، الجيل الثالث (3G) مثل (WCDMA Wideband Code Division Multiple Access)، الجيل الرابع (4G) مثل (LTE Long-Term Evolution)، الجيل الخامس (5G) الذي يعد بتحسين الأداء وتوفير اتصالات عالية السرعة والتغطية الواسعة، بالإضافة للرسائل النصية.
- WiMAX (IEEE 802.16) تقنية الوصول العالمي للميكروويف (WiMAX) هي تقنية اتصال لاسلكية قصيرة المدى تعتمد على معايير IEEE 802.16، بسرعة بيانات تصل إلى 70 ميغابت في الثانية ومدى يصل إلى 50 كيلومتراً، تعمل تقنية WiMAX على نطاق ترددي 11-66 غيغاهرتز للاتصال على مد نظر مباشر، و2-11 غيغاهرتز للاتصال غير المباشر.
- ZigBee: هو معيار شبكة لاسلكية مفتوحة، ويعتمد على معيار IEEE 802.15.4، وهي تقنية ذات مدى قصير ومعدل بيانات منخفض، يعمل ZigBee على عدة نطاقات تردد مختلفة، 868 ميغاهرتز (20 كيلوبت في الثانية لكل قناة)، و915 ميغاهرتز (40 كيلوبت في الثانية لكل قناة)، و2.4 جيجاهرتز (250 كيلوبت في الثانية لكل قناة). يتميز ZigBee بنطاق تغطية يتراوح بين 10 و100 متر.
- Z-Wave: هو معيار اتصالات خاص مصمم للتحكم عن بعد في التطبيقات في المناطق السكنية والتجارية في أوروبا، يعمل في أوروبا على تردد 868 ميغاهرتز بمعدل بيانات يبلغ 9.6 كيلوبت في الثانية، وعلى تردد 2.4 غيغاهرتز بمعدل بيانات يصل إلى 200 كيلوبت في الثانية، ويوجد لديه عادة نطاق داخلي يبلغ حوالي 30 متراً، ويصل إلى 100 متر خارجياً.

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العبينه

الفصل الثاني: النظام الكهربائي بوجود التوليد الكهربائي الموزع

- تقنية (WiFi Wireless Fidelity): تعتمد على معايير IEEE 802.11، وهي تقنية شبكات لاسلكية تستخدم في المساحات الواسعة للوصول إلى الإنترنت، وهو يشكل خياراً جيداً أيضاً في سياق الشبكة الذكية (smart grid)، التي تمكن المستهلكين من مراقبة وتحسين استخدام الطاقة الخاص بهم، تُستخدم تقنية WiFi بالفعل في عدد من الأجهزة التي تسهم في ما يسمى بالمنزل الذكي، فعلى سبيل المثال، يتم استخدام WiFi في الترموستات، والأجهزة الكهربائية، وأجهزة الطاقة الذكية الجديدة التي ستربطها جميعاً معاً لمساعدة المستهلكين في إدارة استهلاك الطاقة الخاص بهم.
- الأقمار الصناعية: يمكن للاتصال بالأقمار الصناعية أن تلعب دوراً مهماً في اتصالات الشبكة الذكية في المناطق الريفية، التي لا تتوفر فيها تغطية خلية، أو كحل احتياطي لتكنولوجيات الاتصال الأخرى، وكأمثلة على مجالات استخدام الاتصال عبر الأقمار الصناعية هي التحكم والمراقبة في محطات التحويل الموجودة عن بعد.
- تقنية الاتصال البصري في المسافة الحرة (FSO Free Space Optical Communication) تعتبر واحدة من التقنيات الأكثر وعداً لمعالجة مشكلة احتياجات النطاق الترددي الكبير ومعدلات البيانات العالية، بالإضافة لعقبة نهاية الخط (last mile bottleneck).
- يعمل نظام FSO عن طريق نقل الضوء الليزري المعدل عبر الهواء بين المرسل والمستقبل، يتم تحديداً نقل الإشارة باستخدام عدسة أو مرآة قطعية عن طريق تضيق الضوء وتوجيهه نحو المستقبل، يتم استقبال الضوء المنبعث بعد ذلك في المستقبل باستخدام عدسة أو مرآة، بعد ذلك، يتم تركيز الضوء المستقبل على جهاز كاشف بصري وتحويله إلى إشارات كهربائية لاستخراج المزيد من المعلومات.
- تم تلخيص طرائق الاتصال لأنواع الشبكات المذكورة في الجدول (2_3).

الجدول (2_3) جدول أنواع الشبكات وطرائق الاتصال في كل منها

طرائق الاتصال	معدل نقل البيانات	المساحة المغطاة	نوع الشبكة
لاسلكي: WiMax, 3G, 4G, 5G سلكي: الإنترنت، الألياف الضوئية	10Mbps-1Gbps	10-100 km	WAN
لاسلكي: ZigBee, WiFi, WiMAX، شبكة الخليوي. سلكي: خطوط نقل الطاقة	100kbps-10Mbps	10m-10km	NAN/FAN

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العينية

الفصل الثاني: النظام الكهربائي بوجود التوليد الكهربائي الموزع

HAN/BAN/IAN	1-100 m	10-100kbps	لاسلكي: ZigBee, Z-wave, WiFi. سلكي: الانترنت
-------------	---------	------------	--

3.6.2 نظم القياس الحديثة لكشف الأعطال وتحديد مكانها لاتخاذ القرار المناسب (Modern)

Measurement Systems for Fault Detection and Location to Make Appropriate

:(Decisions

لم يقتصر التطور التقني في الشبكات الذكية على نظم الاتصالات فقط، بل فرضت المهام المعقدة لهذه الشبكات، استخدام التجهيزات الحديثة في نظم القياس. نهتم في بحثنا بكافة نظم القياس الضرورية لعملية كشف وتحديد مكان العطل، بما يسهل عملية إعطاء القرار المناسب لإلغاء سبب الأعطال والحصول على موثوقية جيدة في التغذية الكهربائية.

يوجد العديد من نظم القياس الحديثة المستخدمة في الشبكات الذكية سنذكر منها (Atmaja et al., 2019):

1.3.6.2 بنية قراءات تحتية متقدمة (AMI Advanced Metering Infrastructure):

هي نظام متكامل يمكنه التواصل باتجاهين بين شركات الخدمات العامة والعملاء، يتمثل الهدف الرئيسي لهذا النظام في جمع وتخزين وتحليل بيانات استهلاك الطاقة، مما يتيح لشركات الخدمات العامة مراقبة استهلاك الكهرباء في الوقت الفعلي، وتشمل مكونات بنية القراءات التحتية المتقدمة:

1. **العدادات الذكية:** هي العدادات الرقمية للكهرباء، التي تسجل استهلاك الطاقة بشكل دوري، عادةً بفترات لا تتجاوز الساعة قرسل هذه الأجهزة بياناتها إلى شركة الخدمات العامة على الأقل مرة واحدة يوميًا.
2. **شبكات الاتصال:** تعتبر هذه الشبكات العمود الفقري للاتصال ذو الاتجاهين، بين العدادات الذكية ونظام AMI، ويمكن أن تكون هذه الشبكات سلكية أو لاسلكية، اعتمادًا على هيكلية النظام، تنقل هذه الشبكات البيانات من العدادات الذكية إلى نظام التحكم للنظام والعكس، مما يتيح لشركات الخدمات العامة إرسال أوامر إلى العدادات (مثل قطع/إعادة الاتصال عن بعد، تحديثات البرامج الثابتة، إلخ).
3. **نظام إدارة البيانات:** هذا هو المستودع المركزي حيث يتم جمع وتخزين ومعالجة وتحليل جميع بيانات العدادات، ويتم تحويل البيانات الخام من العدادات الذكية إلى رؤى قابلة للتنفيذ.

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العينية

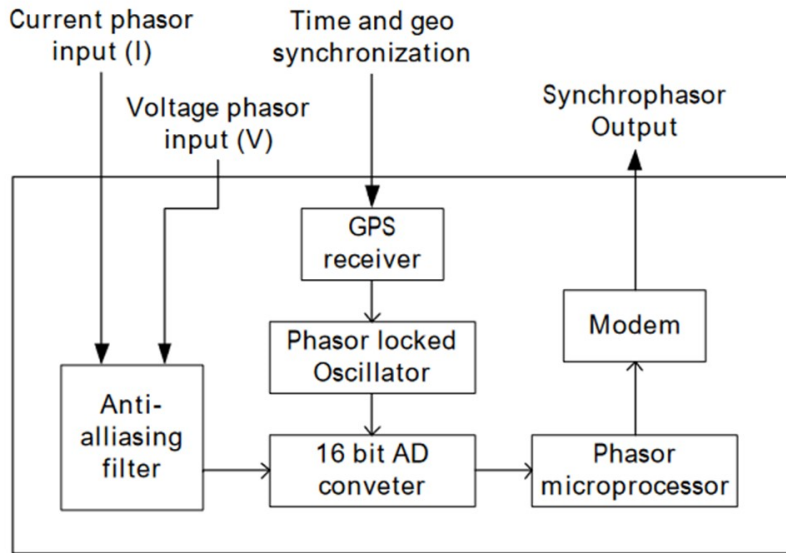
الفصل الثاني: النظام الكهربائي بوجود التوليد الكهربائي الموزع

2.3.6.2 وحدة قياس الطور (PMU Phasor Measurement Unit):

هو تجهيز إلكتروني يقيس الأمواج الكهربائية في الشبكة الكهربائية باستخدام مرجع زمني من أجل عملية التزامن (Dileep, 2020) وهو يتألف من فرع لقياس مطال التيار وفرع لقياس مطال التوتر، بالإضافة لمعلومات حول الموقع وبيانات أخرى حول الشبكة، وهي واحدة من أهم تجهيزات القياس التي تدعم الشبكات الذكية.

تستطيع هذه التجهيزات قياس مطالات التيار والتوتر في الشبكات الكهربائية بمعدل 48 عينة في الدورة الواحدة، ويتم تحويل قيم التوتر والتيار إلى توترات مناسبة تتراوح بين $\pm 10 [volts]$ لذلك يزود بمعدل رقمي (ADC Analog to Digital Converter) حيث يتم تحويل كل قيمة لقيمة رقمية. يرسل جهاز الاستقبال GPS Receiver الأحداث إلى عنصر طوري متزامن مغلق (Phasor Locked Synchronized) ويولد عينة تزامنية بسرعة 1 ميلي ثانية. يتم دمج إشارات التيار والتوتر مع خرج العنصر الطوري المتزامن المغلق عن طريق محاكي A/D 16bit، ثم تتم معالجة هذه الإشارات عن طريق معالج مكروي phasor microprocessor وترسل النتائج إلى مركز التشغيل.

يبين الشكل (2_13) المكونات الأساسية لوحدة قياس الأشعة PMU. يمكن لجهاز القياس قياس الأمواج الجيبية للأطوار الثلاثة للتيار والتوتر، وقياس الاستطاعة الردية والفعلية، التردد، وعامل الاستطاعة، وإصدار تقارير بمعدل 10-60 عينة في الثانية، ويبلغ معدل أخذ العينات ل $2880 [HZ]$ ، وتبلغ دقة قياس الزاوية بين $\pm 1^\circ$ ودقة مطال تتراوح بين $\pm 1\%$ ، لذلك لا يملك هذا الجهاز القدرة على مراقبة الحالات العابرة.



الشكل (2_13) المكونات الرئيسية لوحدة قياس الأشعة (Atmaja et al., 2019)

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العينية

الفصل الثاني: النظام الكهربائي بوجود التوليد الكهربائي الموزع

3.3.6.2 وحدات القياس الطورية الميكروية (μPMU):

تشكل حالياً أكثر أجهزة القياس تطوراً في الشبكات الذكية والمستخدمه في شبكات التوتر المنخفض والمتوسط في الشبكات الكهربائية، وهي تستطيع قياس العديد من القيم مثل القيم الجيبية لأطوار التوتر الثلاثة، بالإضافة للقيم الجيبية لتيارات الأطوار الثلاثة، الاستطاعة الفعلية والردية، التردد، وإرسال تقرير بمعدل 120 عينة في الثانية لشبكات [60 HZ]. تسمح خصائص هذا الجهاز بمراقبة الحالات العابرة في الشبكة الكهربائية (Saldaña-González et al., 2020)، وبمعدل أخذ عينات يصل لـ [30 KHZ]، مما يسمح بدقة عالية في قياس الزاوية تتراوح بين $\pm 0.01^\circ$ ودقة المطال تتراوح بين $\pm 0.05\%$.

4.3.6.2 التجهيزات الالكترونية الذكية (IED):

تتم عمليات مراقبة الشبكات الكهربائية عادة عن طريق نظام SCADA والذي يعتمد على المعلومات الواردة اليه من أنحاء الشبكة الكهربائية، ومع تطور الشبكة العامة، استطاع نظام SCADA دعم العمليات المتعلقة بـ PMU و AMI بالاستعانة بتجهيزات قياس ذكية تدعى التجهيزات الالكترونية الذكية IED. تحوي هذه التجهيزات على معالج صغري يستطيع تحويل البيانات ومعالجة إشارات التحكم بين التجهيزات في الشبكة، ويستطيع التعامل مع أي وحدة قياس أو مراقبة في الشبكة مثل PMU وتحديد كيفية مزامنة البيانات في الزمن الحقيقي مع الشبكة.

تم التوجه في تكوين الجهاز الإلكتروني الذكي (IED) لتحسين المراقبة، والتحكم، واكتساب البيانات، وتسجيل البيانات (Atmaja et al., 2019).

5.3.6.2 حساسات الطاقة (Power sensor) (Saldaña-González et al., 2020):

توفر حساسات الطاقة الإشراف وإدارة الاحتياطي والتحكم والتنظيم في شبكات الطاقة لأنظمة SCADA، ويمكن لهذا الحساس قياس القيم الفعالة (RMS) للتوتر، وقياسات الاستطاعة الفعلية والردية، كل 2-4 ثوانٍ، ثم يتم إرسال هذه المعلومات إلى مركز التشغيل مما يتيح للمشغل المراقبة والتحكم في الشبكة.

6.3.6.2 العدادات الذكية Smart meter (Saldaña-González et al., 2020):

هي أجهزة الكترونية تقيس الاستطاعة الفعلية والردية، والقيم الفعالة للتيار والتوتر، والبعض منها يستطيع قياس بيانات حول جودة الاستطاعة. بدقة قياس تتراوح بين $\pm 1\%$ أو $\pm 0.5\%$ ، ويرسل تقرير بأوقات متفاوتة تتراوح بين 1 إلى 60 دقيقة، ويركب عادة في طرف التوتر المنخفض في شبكات التوزيع، وتتميز الحساسات الذكية عن التقليدية بقدرتها على الاتصال باتجاهين، من المستخدم إلى مشغل الشبكة والعكس بالعكس.

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العبيد

الفصل الثاني: النظام الكهربائي بوجود التوليد الكهربائي الموزع

7.3.6.2. مراقبة جودة الاستطاعة (PQM Power Quality Monitor) (Saldaña-González et al., 2020):

وهو جهاز قياس متطور، والذي يقوم بجمع قراءات متعددة مثل التردد، والقيم الفعالة للتيارات والتوترات، تشوهات التوافقيات الكلية والمنفصلة، ويصل معدل أخذ العينات ل [4MHZ] مما يعطيه ميزة الأداء الأفضل من بين أجهزة القياس الأخرى، وتبلغ حساسية دقة القياس فيه $\pm 0.1\%$ وحتى $\pm 0.2\%$ ، وتسمح هذه المميزات بمراقبة الحالات العابرة ومراقبة التوافقيات في الشبكات الكهربائية.

8.3.6.2. أجهزة قياس المحطة الفرعية (Substation Meters) (Saldaña-González et al., 2020):

وهي حساسات لاسلكية، تتركب في محطات التوزيع والنقل الفرعية، يتلخص عمله الرئيسي في قياس الاستطاعة الحقيقية والردية، وقياسات التيار والتوتر بالشكل العنقدي، بمعدل قيمة عند كل ثانية.

9.3.6.2. مسجل الأعطال الرقمي (DFR Digital Fault Recorder) (Saldaña-González et al., 2020):

هو جهاز تسجيل آلي قادر على تخزين حالات الأعطال العابرة، من مختلف حواكم الحماية الموزعة على مستوى المحطات الفرعية (مستوى التوتر المتوسط) وظيفته الرئيسية هي تسجيل الأحداث تلقائياً وتخزينها في قاعدة بيانات محلية، بحيث يكون لدى مركز التشغيل كل المعلومات اللازمة لإجراء تحليل للأعطال، واضطرابات ما بعد حدوث العطل بدقة. يحتوي جهاز تسجيل الأعطال الرقمي على جهاز تسجيل قياسي دقيق، ودقة قياس $\pm 0.1\%$ ، ومعدل أخذ عينات يبلغ [25.6kHz].

10.3.6.2. مؤشرات الأعطال (Fault Indicator):

وهي تجهيزات ذات تقنية عالية تستخدم في الشبكات الكهربائية، من أجل كشف الأعطال، تصنف أنواع مؤشرات الأعطال بحسب طريقة إعادة تشغيلها إلى (Revision of IEEE Std 1610- 2007, 2016):

A - مؤشرات الأعطال التي يتم إعادة تشغيلها يدوياً Manual reset: هي من أبسط الأجهزة المتاحة وأقلها كلفة، يمكن استخدام هذا النوع من المؤشرات على الموصلات المحمية وغير المحمية، أو على الكابلات الموجودة تحت الأرض، يعطي مؤشر العطل إشارة عطل عندما تتجاوز قيمة التيار المقاس قيمة عتبة التيار المحددة من قبل المستخدم، فيولد حقل مغناطيسي كافٍ لتحرير مغناطيس قابل للتدوير. إن سيئة هذا النوع أنه يحتاج لإعادة ضبط بشكل يدوي في كل مرة يحدث عندها العطل.

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العبيد

الفصل الثاني: النظام الكهربائي بوجود التوليد الكهربائي الموزع

B_ مؤشرات الأعطال التي يتم إعادة تشغيلها آلياً Automatic reset: يوجد وسائل آلية عديدة لإعادة الضبط التي تعيد مؤشر العطل إلى حالته الطبيعية، منها ما يعتمد على إعادة الضبط التلقائي للتيار، والتوتر، والزمن، يسمح أيضاً هذا النوع من إعادة الضبط يدوياً في حالات الاختبارات.

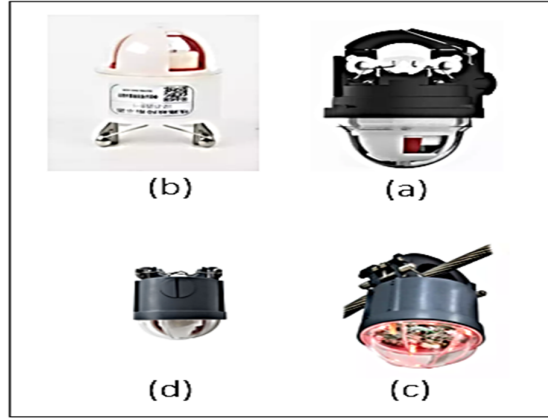
- مؤشرات الأعطال التي يتم إعادة تشغيلها بالتيار Current reset: وهي المؤشرات الأكثر انتشاراً على الإطلاق في شبكات التوزيع، وتعود هذه المؤشرات تلقائياً لحالتها الطبيعية عند عودة التيار لقيمة تيار الحمل، أو لقيمة أصغر من قيمة تيار التنبيه المعير عليها، وسيتم استعمالها في هذا البحث.
- مؤشرات الأعطال التي يتم إعادة تشغيلها بالتوتر Voltage reset: لا تتأثر مؤشرات الأعطال التي يتم إعادة تشغيلها بالتوتر بقيمة تيار الحمل، ويوجد منها عدة أنواع، وهي المؤشرات التي تعمل على شبكات التوتر العالي والمتوسط، حيث تعتمد في عملها على الحقل الساكن المحيط بكابل التوتر العالي والمتوسط، من متطلبات هذا النوع من المؤشرات أن تكون الكابلات غير محمية.
- مؤشرات الأعطال التي يتم إعادة تشغيلها بمؤقت زمني Time reset: يعود هذا المؤشر لحالته الطبيعية بعد فترة زمنية محددة، يعبر عليها المؤشر من قبل المشغل، بغض النظر عن قياسات التوتر والتيار، وتكمن صعوبة استخدام هذا النوع من المؤشرات، في تحديد زمن العودة للوضع الطبيعي، فلو كان الزمن قصير وغير كافٍ لإصلاح وحدات الصيانة للأعطال، فذلك سيؤدي لحدوث أخطاء في تحديد مكان العطل، ولو كان أكبر من اللازم، وحدوث عطل آخر فلن يعمل المؤشر بشكله الصحيح.

تتمثل الوظيفة الأساسية لمؤشرات الأعطال في اكتشاف تيار العطل، وتقديم دليل على اكتشاف تيار العطل، وتتوفر مجموعة متنوعة من خيارات عرض مؤشرات الأعطال، فمن الممكن أن يكون إنذار مسموع باستخدام مكبرات الصوت، أو ضوء أو عداد أو غيرها. يوجد العديد من أشكال مؤشرات الأعطال، تم إدراج بعضها في الشكل (2_14)، يبلغ حجم مؤشرات الأعطال بحجم قبضة اليد بشكل عام، فعلى سبيل المثال يبلغ ارتفاع المؤشر (d) في الشكل (2_14) 128mm وأبعاده حوالي 93mm ووزنه حوالي 600g ، ويبلغ متوسط ثمنه حوالي 60

دولار (Four-Faith Smart Power, 2022)

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العيني

الفصل الثاني: النظام الكهربائي بوجود التوليد الكهربائي الموزع

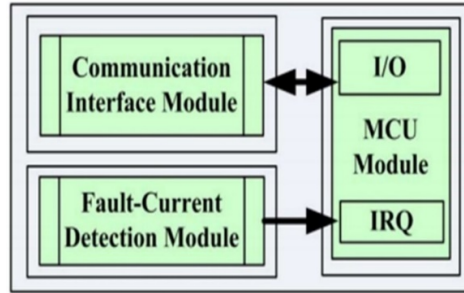


الشكل (2_14) أشكال مؤشرات الأعطال

تتميز مؤشرات الأعطال بسهولة تركيبها، فمعظم الأشكال تحوي في قاعدتها على مقبضين لتنشيتها على الكبل بسهولة، ويرفق مع كل نوع من المؤشرات قطعة مخصصة لا يمكن فك المؤشر من الكبل إلا عن طريقها، وذلك من أجل حمايتها من السرقة.

• بنية مؤشرات الأعطال Fault indicator structure:

تنقسم مكونات مؤشر العطل، إلى جزء لكشف تيار العطل يحوي محولة تيار، واجهة اتصال، ووحدة معالجة صغيرة، ويزود الجزء المتعلق بكشف التيار، بديود ضوئي كما يبين الشكل (2_15).



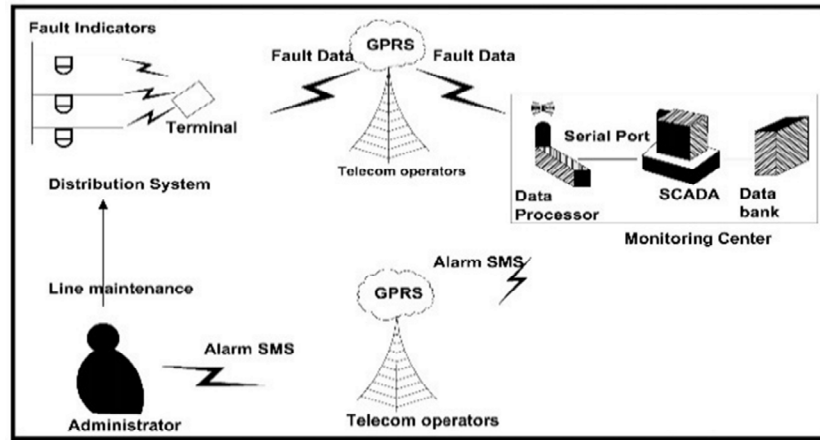
الشكل (2_15) بنية مؤشر العطل مع واجهة الاتصال (Jiang, Liu, Diedesch, et al., 2016)

يتم تحديد حالة وجود عطل، بمقارنة مطال التيار المقاس، مع عتبة التنبيه، حيث تجري معالجة الإشارة في وحدة المعالجة المصغرة (Jiang, Liu, & Xu, 2016)، وعند حدوث عطل يتم إرسال الإشارة لاسلكياً بتردد 900[MHz]، إلى مركز عمليات نظام التوزيع المطلوب، يبين الشكل (2_16) بنية نظام الاتصالات حيث يتم دمج الإشارات الراديوية، الصادرة عن مؤشرات الأعطال، ومعالجتها بالزمن الحقيقي، عن طريق شبكة الاتصال، ويتحدد موقع العطل بشكل آلي، عن طريق هذه الإشارة، في مركز عمليات نظام التوزيع.

وقد تم استخدام هذه التجهيزات، والاعتماد عليها بشكل كامل في هذا البحث كما سنرى لاحقاً.

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العبيد

الفصل الثاني: النظام الكهربائي بوجود التوليد الكهربائي الموزع



الشكل (2_16) بنية نظام الاتصالات لنظام مؤشرات الأعطال

سنعمل في الفصول اللاحقة على تصميم نموذج لمؤشر العطل باستخدام الماتلاب، بالاعتماد على خاصية تجاوز عتبة التيار، والتي تسبب تغير خرج نموذج مؤشر العطل من الصفر إلى الواحد.

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العينية
الفصل الثالث: كشف الأعطال في شبكات التوزيع الكهربائية وتحديد مكانها

3 الفصل الثالث

كشف الأعطال في شبكات التوزيع الكهربائية وتحديد مكانها (Fault Detection in Electrical

:(Distribution Networks and Location Identification.

1.3 معايير كشف الأعطال في الشبكات الكهربائية التقليدية الشعاعية بدون وجود وحدات توليد موزع (Fault

Detection Standards in Traditional Radial Electrical Networks Without the Presence of

:(Distributed Generation Units

تختلف معايير كشف الأعطال في الشبكات الكهربائية، تبعاً لتغير الكمية الفيزيائية المقاسة عن القيم المحددة في المواصفات القياسية لتشغيل نظام القدرة. بالتالي، يتم تصميم تجهيزات الكشف عن العطل بحيث تتحسس لعتبة محددة من الكمية الكهربائية المقاسة للشبكة الكهربائية كالتوتر أو التيار أو الممانعة أو الاستطاعة، وقد اعتمدنا في بحثنا قيمة عتبة تيار تساوي 10% من قيمة التيار الاسمي لمؤشر العطل.

تصنف الأعطال في الشبكات الكهربائية إلى أعطال متناظرة وأعطال غير متناظرة، حيث تسبب الأعطال المتناظرة نفس التغيرات على الأطوار الثلاثة للخطوط. بينما تسبب الأعطال غير المتناظرة اختلافاً بين الأطوار في الكميات الكهربائية. تعتمد الطرائق التقليدية في كشف الأعطال في شبكات التوزيع الشعاعية على قيم التيارات المارة في الخطوط. يتم كشف العطل عند تجاوز قيمة التيار المار في الخطوط أو التجهيزات الأخرى لعتبة محددة، يتم حسابها وفق الطرائق التقليدية. يوجد معايير متعددة تم شرحها في الفقرة 2.2.2.

تعتمد مؤشرات الأعطال (Fault Indicators (FIs المستخدمة لكشف الأعطال، في هذه الأطروحة والمشروحة في الفقرة 10.3.6.2، في كشف الأعطال على خاصية التيار الأعظمي Over Current. حيث ترسل هذه المؤشرات إشارة تأكيد حدوث العطل إلى مركز التنسيق وفق آلية محددة لتتم معالجتها وفق الخوارزمية اللازمة لتحديد مكان العطل.

يتم، عادةً، تحليل التوتر والتيار إلى مركباتها المتناظرة وفق تحويل (Fortescue) من أجل تسهيل عملية الكشف عن الأعطال في الشبكات الكهربائية. حيث يتم تحويل موجات التوتر والتيار غير المتناظرة الناتجة عن الأعطال غير المتناظرة إلى مركباتها المتناظرة كما هو مبين في الفقرة التالية.

1.1.3 مفهوم المركبات المتتالية لموجات التيار والتوتر (Concept of Sequential Components of Current

:(and Voltage Waves.

تعتبر المكونات المتناظرة والشبكات التسلسلية، أدوات هامة تستخدم في تحليل أنظمة الطاقة لتبسيط التحليل في حالات عدم التوازن الحاصلة في أنظمة الطاقة الثلاثية الأطوار والتي قدمها الباحث في (Grainger

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العبييه
 الفصل الثالث: كشف الأعطال في شبكات التوزيع الكهربائية وتحديد مكانها
 (Stevenson, 1994)، وذلك من خلال تحويل النظام غير المتوازن، إلى مكونات متناظرة أو مكونات تسلسلية،
 حيث يمكن تحليل وحل مشاكل نظام الطاقة بكفاءة أكبر. سنقدم مفهوم المكونات المتناظرة والشبكات التسلسلية،
 ونبين أهميتها وتطبيقاتها في تحليل أنظمة الطاقة.

يمكن تحليل أشعة الأطوار الثلاثة غير المتوازنة لنظام ثلاثي الطور، بحسب نظرية Fortescue، إلى
 ثلاث مجموعات من الأشعة المتوازنة التي يمكن تحليلها والتعامل معها بسهولة وهي:

- 1 - المركبات ذات التتابع الموجب Positive-sequence components: وهي مركبات متساوية في المطال،
 مزاحة عن بعضها بزاوية مقدارها 120° ، ويكون تتابع الأطوار فيها كتتابع الأطوار الأصلية.
- 2 - المركبات ذات التتابع السالب Negative-sequence components: وهي مركبات متساوية في المطال،
 مزاحة عن بعضها بزاوية مقدارها 120° ، ويكون تتابع الأطوار فيها معاكس لتتابع الأطوار الأصلية.
- 3 - المركبات ذات التتابع الصفري Zero-sequence components: وهي مركبات متساوية في المطال، غير
 مزاحة عن بعضها حيث لها جميعا نفس الزاوية.

عند حل أي مسألة كهربائية باستخدام مركبات الأشعة، يتم عادة الرمز للأطوار الثلاثة بـ abc وينطبق
 ذلك على موجات التوتر والتيار، ولذلك يعتبر التتابع للمركبات الموجبة هو abc ويعتبر التتابع للمركبات السالبة
 .acb

علي سبيل المثال إذا كانت الدراسة عن أطوار التوتر، تكون الأشعة الأصلية V_a, V_b, V_c ، وعند دراسة
 المركبات يتم إضافة الرقم 1 للدلالة على المركبات الموجبة مثل $V_a^{(1)}, V_b^{(1)}, V_c^{(1)}$ ، ويتم إضافة الرقم 2 للدلالة
 على المركبات السالبة مثل $V_a^{(2)}, V_b^{(2)}, V_c^{(2)}$ ، والرقم 0 للدلالة على المركبات الصفريّة مثل $V_a^{(0)}, V_b^{(0)}, V_c^{(0)}$
 يبين الشكل (3_1) مجموعة المركبات المتناظرة. وعند دراسة مركبات التيارات يتم استبدال رمز التوتر V برمز
 التيار I.

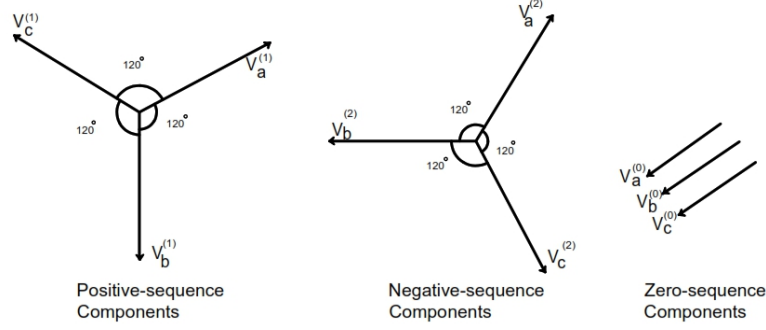
ويكون بذلك مجموع المركبات الثلاث لكل طور على حدى للمركبات المتناظرة، يساوي قيمة الطور الأصلي
 بذلك يمكن أن نكتب:

$$V_a = V_a^{(0)} + V_a^{(1)} + V_a^{(2)} \quad (3_1)$$

$$V_b = V_b^{(0)} + V_b^{(1)} + V_b^{(2)} \quad (3_2)$$

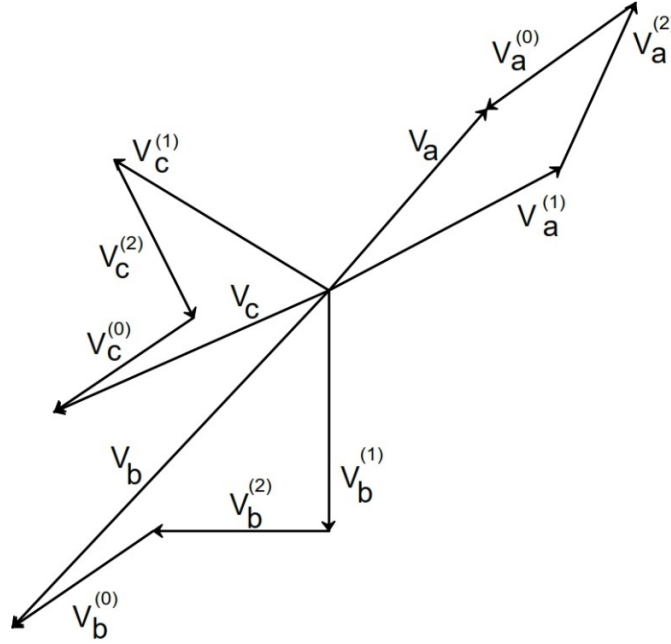
$$V_c = V_c^{(0)} + V_c^{(1)} + V_c^{(2)} \quad (3_3)$$

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العينية
الفصل الثالث: كشف الأعطال في شبكات التوزيع الكهربائية وتحديد مكانها



الشكل (3_1) مركبات التوتر الموجبة والسالبة والصفرية

عند تجميع مركبات الأشعة المتناظرة نحصل على الأشعة غير المتناظرة كما في الشكل (3_1) والشكل (3_2).



الشكل (3_2) تجميع المركبات في الشكل (3_1) للحصول على الأشعة غير المتناظرة للتوتر

$$V_{abc} = \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} \quad (3_4)$$

لتسهيل التعامل مع معادلات المركبات السالبة والموجبة والصفرية، يتم تقليل المجاهيل في هذه المعادلات بترميز كل من V_b و V_c بدلالة V_a واستخدام الثابت $a = 1 \angle 120^\circ$ ، نلخص المعادلات كما يلي:

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_a^{(0)} \\ V_b^{(0)} \\ V_c^{(0)} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} V_a^{(1)} \\ V_b^{(1)} \\ V_c^{(1)} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} V_a^{(2)} \\ V_b^{(2)} \\ V_c^{(2)} \end{bmatrix} \quad (3_5)$$

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العيني
الفصل الثالث: كشف الأعطال في شبكات التوزيع الكهربائية وتحديد مكانها

$$V^{(0)} = V_a^{(0)} = V_b^{(0)} = V_c^{(0)} \quad (3_6)$$

$$V^{(1)} = V_a^{(1)} = aV_b^{(1)} = a^2V_c^{(1)} \quad (3_7)$$

$$V^{(2)} = V_a^{(2)} = a^2V_b^{(2)} = aV_c^{(2)} \quad (3_8)$$

$$a = e^{2/3\pi i}, a^{-1} = a^2, a^3 = 1 \quad (3_9)$$

$$V_b^{(1)} = a^2V^{(1)}, V_c^{(1)} = aV^{(1)}, V_b^{(2)} = aV^{(2)}, V_c^{(2)} = a^2V^{(2)} \quad (3_10)$$

$$V_a = V_a^{(0)} + V_a^{(1)} + V_a^{(2)} \quad (3_11)$$

$$V_b = V_a^{(0)} + a^2V_a^{(1)} + aV_a^{(2)} \quad (3_12)$$

$$V_c = V_a^{(0)} + aV_a^{(1)} + a^2V_a^{(2)} \quad (3_13)$$

$$= \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V^{(0)} \\ V^{(1)} \\ V^{(2)} \end{bmatrix} = AV^{(0,1,2)} \quad (3_14)$$

$$V^{(0,1,2)} = A^{-1} \cdot V_{abc} \quad (3_15)$$

وتطبق جميع المعادلات على أطوار التيار الثلاث غير المتوازنة من أجل تحويلها لمركبات متوازنة موجبة وسالبة وصفرية (Grainger & Stevenson, 1994)، سنستخدم المركبات في عملية تصنيف الأعطال لاحقاً.

2.1.3 كشف الأعطال المتناظرة (Detection of Symmetrical Faults):

يعرف هذا النوع من الأعطال، بأنه قصر على الأطوار الثلاثة معاً، وحسب الإحصاءات فإن هذا العطل قليل الحدوث إلا أنه أخطر أنواع الأعطال الكهربائية على الشبكات الكهربائية (حمزة، علي & السويدي، حسان، 2006).

عند حدوث الأعطال المتناظرة في شبكات التوزيع، تتغير كل من التيارات والتوترات على الأطوار الثلاثة بشكل متماثل، وهي تشمل لمس الأطوار الثلاثة لبعضها البعض، أو انقطاع الأطوار الثلاثة، ولمسها للأجزاء المؤرضة في الشبكة الكهربائية. تظهر، في حالة الأعطال المتناظرة، المركبة الموجبة فقط للتيار، ولا تظهر المركبات السالبة والصفرية، يبين الجدول (3_1) الدارة المكافئة لهذا النوع من الأعطال.

3.1.3 كشف الأعطال غير المتناظرة (Detection of Unsymmetrical Faults):

تتلخص أنواع الأعطال غير المتناظرة في شبكات التوزيع الكهربائية:

- عطل طور مع الأرض، وهي أكثر الأعطال شيوعاً في الشبكات الكهربائية ويحدث نتيجة انقطاع أحد الأطوار ولمسه للأرض ويرمز له بأحد الرموز التالية (AG, BG, CG) حيث الرمز G يشير إلى الأرض (Ground).

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العينية
الفصل الثالث: كشف الأعطال في شبكات التوزيع الكهربائية وتحديد مكانها

- عطل طورين عند لمس طورين لبعضهما البعض (AB,BC,AC).
- عطل طورين مع الأرض، وذلك عند انقطاع طورين ولمسهم للأرض ويرمز له بأحد الرموز التالية (ABG,ACG,BCG).

تختلف هذه الأعطال عن الأعطال المتناظرة بظهور مركبات صفرية وسالبة لكل من التيار والتوتر بحسب نوع العطل، يبين الجدول (3_1) الدارة المكافئة لكل نوع من أنواع الأعطال.

الجدول (3_1) الدارة المكافئة وحساب تيار العطل لمختلف أنواع الأعطال

نوع العطل	الدائرة المكافئة	علاقة حساب تيار العطل
عطل ثلاثي الطور متوازن في النقطة K		$I_{sc} = \frac{U_b}{x}$ $I_{sc} = \frac{I_b}{x_{pu}}$
عطل طور مع الأرض على الطور a في النقطة k		$I_{fa}^{(0)} = I_{fa}^{(1)} = I_{fa}^{(2)} = \frac{I_{fa}}{3}$ $I_{fa} = 3I_{fa}^{(1)} = \frac{3E_a}{(Z_0 + Z_1 + Z_2) + 3Z_f}$
عطل طورين مع بعضهما عند الطورين b,c في النقطة k		$I_{fa}^{(1)} = -I_{fa}^{(2)}, I_{fa}^{(0)} = 0$ $I_f = I_{fb} = -I_{fc} = \frac{-j\sqrt{3}E_a}{Z_1 + Z_2 + Z_f}$
عطل طورين مع الأرض عند الطورين b,c مع الأرض في النقطة k		$I_f = I_{fb} + I_{fc}$ $I_{fb} = I_{fa}^{(0)} + a^2 I_{fa}^{(1)} + a I_{fa}^{(2)}$ $I_{fc} = I_{fa}^{(0)} + a I_{fa}^{(1)} + a^2 I_{fa}^{(2)}$

2.3 معايير كشف الأعطال في الشبكات الكهربائية التقليدية الشعاعية مع وجود وحدات توليد

موزع (Criteria for Fault Detection in Conventional Radial Electrical Networks with Distributed)

(Generation Units):

1.2.3 كشف الأعطال المتناظرة وغير المتناظرة (Detection of Symmetrical and Asymmetrical Faults):

يزيد وجود التوليد الكهربائي الموزع في شبكات التوزيع من سوية القصر لهذه الشبكة، حيث تساهم المولدات الموزعة حسب نوعها بقيمة من تيار العطل في شبكات التوزيع.

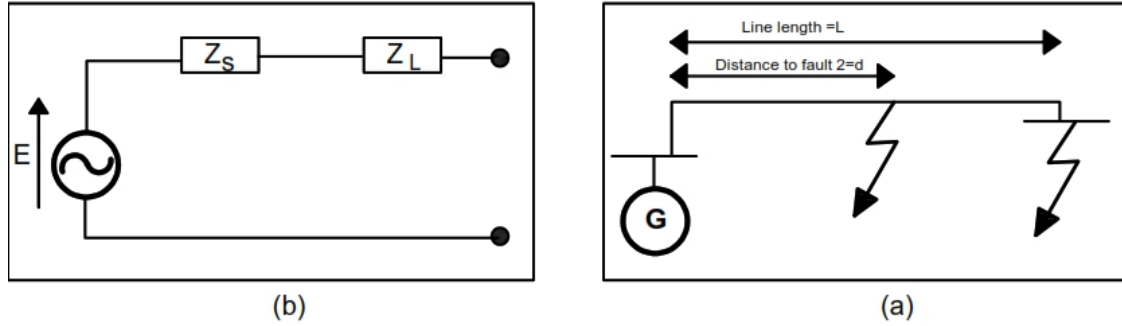
تساهم المولدات الموزعة التقليدية المعتمدة على الآلات التزامنية بتيار العطل الأهم، بينما تساهم المولدات الموزعة ذات واجهات الكترونيات القدرة الكهربائية بتيار عطل يتناسب مع نظام الحماية الخاص بهذا النوع من

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العينية
 الفصل الثالث: كشف الأعطال في شبكات التوزيع الكهربائية وتحديد مكانها
 التوليد (حيث يبلغ أقصى حدوده $1.5I_n$). كما تساهم هيكلية الشبكة المدروسة في تحديد تيار العطل للشبكة
 (Kaddah et al., 2015).

يمكن حساب تيارات الأعطال في شبكات التوزيع، مع وجود وحدات توليد موزع بالاعتماد على نفس الطرائق التقليدية في حالات الأعطال المتناظرة أو غير المتناظرة، ونلاحظ أن وجود وحدات التوليد التزامنية تساهم بشكل فعال في تيارات الأعطال، أما وجود المولدات ذات الاتصال عبر واجهات الكترونيات القدرة، فلا يسبب ازدياداً ملحوظاً في تيارات الأعطال.

ولحساب تيار العطل بوجود وحدات توليد موزع نتبع ما يلي (حمزة، علي، 2011):

نعتبر بدايةً نظام قدرة بسيط ثنائي الباسبارات، كالمبين في الشكل (3_3 a)، ونفترض أنه لا يوجد حمل متصل إلى هذا النظام، لحساب الأعطال المتوازنة لهذا النظام يجب تمثيله كما في الشكل (3_3 b)، الاختلاف الرئيسي بين هذا النموذج والمستخدم في دراسة جريان الاستطاعة، هو أن المولد الموزع الآن ممثل كمنبع توتر مثالي خلف ممانعة المولد Z_s ، ويتم تمثيل الممانعة الكلية للخط بواسطة Z_l .



الشكل (3_3) نموذج نظام توزيع ثنائي الباسبارات لحساب الأعطال (حمزة، علي، 2011)

إذا حدث عطل متوازن في النهاية البعيدة للخط يكون تيار العطل العقدي:

$$I_f = \frac{E}{Z_s + Z_l} \quad (3_16)$$

بينما إذا حدث العطل على مسافة d من بداية الخط يكون تيار العطل:

$$I_f = \frac{E}{Z_s + \frac{d}{l}Z_l} \quad (3_17)$$

نستنتج من هذه المعادلات أن الممانعة بين نقطة العطل والمنبع تحدد تيار العطل، لذلك يكون تيار العطل في نهاية مغذي طويل، أصغر بكثير من تيار العطل في نقطة قريبة من محطة التحويل الرئيسية. إذا كانت شبكة

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العينية
 الفصل الثالث: كشف الأعطال في شبكات التوزيع الكهربائية وتحديد مكانها
 التوزيع المدروسة أعقد من نظام ثنائي الباسبارات، ونرغب في حساب تيار العطل في نقطة ما من هذه الشبكة،
 فنستخدم نظرية ثيفنن بالإضافة للمعادلة:

$$I_{th} = \frac{V_{th}}{Z_{th}} \quad (3_18)$$

حيث: V_{th} : التوتر في نقطة العطل قبل حدوث العطل.

Z_{th} : ممانعة الشبكة المرئية من موقع العطل.

تحسب ممانعة ثيفنن يدوياً إذا كانت الشبكة ليست كبيرة جداً ومعقدة، وإلا فتحسب باستخدام مصفوفة ممانعات
 الباسبارات Z_{BUS} .

تعطى علاقة سوية العطل من العلاقة:

$$MVA_B = \sqrt{3} V_B \cdot I_B \quad (3_19)$$

وبافتراض توتر الأساس وتوتر قبل العطل مساويان للتوتر الإسمي نجد:

$$FL^{pu} = |I_f^{pu}| \quad (3_20)$$

أي أن قيمة سوية العطل بالقيم الواحدة (FL^{pu}) تساوي قيمة تيار العطل بالقيم الواحدة.

$$FL^{pu} = I_f^{pu} = \frac{1}{|Z_{th}^{pu}|} \quad (3_21)$$

نستنتج من المعادلة:

- تعطي سوية العطل مؤشراً على مدى قرب نقطة العطل من مصادر التغذية في النظام.
 - تؤثر هيكلية نظام التوزيع بشكل كبير على سوية العطل، حيث أن إضافة مولدات موزعة أو فروع جديدة، تؤدي إلى تخفيض ممانعة ثيفنن وبالتالي زيادة سوية العطل.
- سندرج في قسم التطبيق العملي الحدود الدنيا لقيم التيارات اللازمة لكشف كافة أنواع الأعطال، عند وجود توليد موزع في شبكة التوزيع المقترحة.

3.3 تحديد مكان العطل في شبكات التوزيع الكهربائية الشعاعية (Locating Faults in Radial Electrical

Networks):

من أهم الجوانب التي تؤخذ بالحسبان عند تحديد مكان العطل، هي خواص أنظمة شبكات التوزيع الشعاعية والتي تصنف إلى:

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العبيد
الفصل الثالث: كشف الأعطال في شبكات التوزيع الكهربائية وتحديد مكانها

أ - اختلاف خصائص الكابلات (حجم وطول)، واختلاف طريقة التمديد (هوائية أو أرضية).

ب - عدم التوازن، الناتج عن اختلاف طبيعة الأحمال (أحادية، ثنائية أو ثلاثية الطور).

د - وجود نقاط فرعية متفرقة على طول المغذي، وفروع لتغذية الأحمال.

هـ - هل يوجد توليد كهربائي موزع وما هو نوعه إن وجد ونقاط ربطه مع الشبكة بالإضافة لاستطاعته.

1.3.3 المعلومات الضرورية من نظام تحصيل البيانات من الحساسات الذكية في نظام القدرة

الكهربائية) Essential Information from the Data Collection System of Smart Sensors in

:(Power Systems

لا يعطي الاعتماد على تجهيزات الحماية في تقدير مكان العطل في شبكات التوزيع، تقديراً دقيقاً لمكان العطل، باعتبار أن كل تجهيز يغطي قطاعات كبيرة نسبياً من شبكة التوزيع الكهربائية، وقد تم الاعتماد على التقنيات الحديثة لحل مشكلة التحديد الدقيق لمكان الأعطال في شبكات التوزيع ذات الفروع المتشعبة، وصعوبة الوصول، من قبل وحدات الصيانة بسبب مرورها بتضاريس جغرافية معقدة، وقد تم استخدام مؤشرات حدوث الأعطال لهذا الغرض، وتركب هذه التجهيزات على قطاعات صغيرة من شبكة التوزيع بحيث يتم إرسال إشارات تفعيل من مؤشرات الأعطال نتيجة تحسسها لتيار العطل، إلى وحدة تجميع المعلومات (Data Concentrator DCU Unit) كما يبين الشكل (3_4).

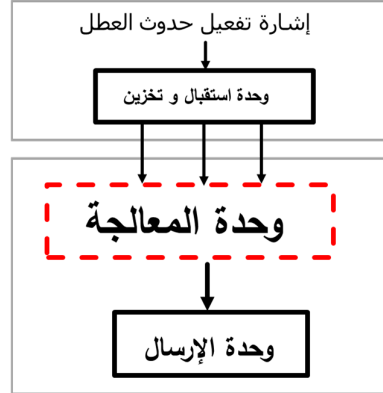


الشكل (3_4) اتصال مؤشرات الأعطال مع مراكز التشغيل عن طريق DCU

تتألف وحدة تجميع المعلومات (نظام تحصيل البيانات) من وحدة معالجة مركزية بالإضافة إلى وحدات

دخل وخرج ووحدة إرسال كما يبين المخطط في الشكل (3_5).

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العبيد
 الفصل الثالث: كشف الأعطال في شبكات التوزيع الكهربائية وتحديد مكانها
 تقوم وحدة الإرسال بتحويل الإشارات إلى مركز التشغيل (DSO) عبر الاتصال السلكي أو اللاسلكي
 باستخدام إحدى بروتوكولات الاتصالات، ويستخدم مركز التشغيل عادة برمجيات تقوم بمعالجة المعلومات المرسلة
 من الوحدات الطرفية عن بعد، ولابد لهذه البرمجيات أن تأخذ بعين الاعتبار ورود بعض الإشارات الخاطئة أو
 الوهمية إلى مركز التشغيل. كما تعد خوارزمية كشف مكان الأعطال في شبكات التوزيع الكهربائية إحدى أهم
 برمجيات مركز التشغيل.



الشكل (3_5) مكونات وحدة تجميع المعلومات

تنتج عادةً ، الإشارات الخاطئة الخاصة بمؤشرات حدوث الأعطال عن نوعين من حالات العمل:

- أ - فشل في العمل (Failure): يحدث عند فشل مركز التنسيق لتلقي إشارة من المؤشر (بسبب خلل فني في المؤشر)، بالرغم من وجوب تلقيها.
- ب - خلل وظيفي (Malfunction): تحدث عند تلقي إشارة من أحد المؤشرات، على الرغم من وجوب عدم تلقي الإشارة.

وتعزى أسباب الإشارات الخاطئة المسماة Failure and Malfunction إلى:

- فشل المعالج الصغري في مؤشرات الأعطال، في اتخاذ قرار وجود العطل، بسبب خلل ما في حلقة التحكم.
- فشل شبكة الاتصالات، حيث يتم إرسال الإشارة إلى نظام SCADA، عن طريق شبكة WAN، وبالتالي يوجد عدة عوامل تؤثر على جودة الإشارة المنقولة إلى مركز العمليات.
- مسألة البرامج، فالبيانات من FI يجب أن تجتاز جدار حماية البيانات، ليتم معالجتها في مركز العمليات، وبالتالي من الممكن ترشيح البيانات الصحيحة قبل وصولها إلى المعالجة.

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العبينيه
الفصل الثالث: كشف الأعطال في شبكات التوزيع الكهربائية وتحديد مكانها

2.3.3 تشكيل خوارزمية تحديد مكان العطل في شبكات التوزيع الكهربائية (استنتاج المعادلات الرياضية

الضرورية للبحث) (Formulating an Algorithm for Fault Location in Electrical Distribution)

:(Networks (Derivation of Necessary Mathematical Equations for Investigation)

تعتمد الخوارزمية المقترحة في هذه الأطروحة على صياغة عملية تحديد مكان العطل على شكل مسألة أمثلة (Optimization Problem)، تهدف إلى تقليل احتمالية المعلومات الخاطئة الواردة من مؤشرات كشف حدوث العطل. عادةً، لكي نتمكن من إيجاد الحل الأمثل لمسألة ما، لابد من صياغة المسألة على شكل تابع هدف بالإضافة إلى قيود لهذه المسألة. يكمن الحل الأمثل في إيجاد القيمة الصغرى (أو العظمى) لتابع الهدف مع الأخذ بعين الاعتبار قيود المسألة المدروسة. سنقوم في دراستنا بالاعتماد على ما سبق في حل مسألة تحديد مكان العطل. لابد، قبل صياغة مسألة تحديد مكان الأعطال في شبكات التوزيع الكهربائية، من اتخاذ بعض الفرضيات من أجل تنظيم المعلومات الواردة إلى مركز التشغيل كما يلي:

- تعتبر الإشارات الواردة من مؤشرات الأعطال المرجع الوحيد لكشف وتحديد مكان العطل.
 - يتم توزيع تجهيزات المؤشرات على طول المغذيات، وفق ترقيم معين، ومعروف من قبل المشغلين في مركز التنسيق والتشغيل لشبكة التوزيع.
 - توزيع مؤشرات الأعطال، على طول المغذيات في الشبكة، حيث نضع مؤشر عطل عند كل عقدة، ونقوم بتسمية المنطقة بين كل مؤشري أعطال متتاليين Line Sections.
- يتم عبر الخوارزمية المقترحة، معالجة البيانات الواردة من مؤشرات الأعطال، وتحديد قطاع معين من المغذي، على أنه قطاع معطل.

1.2.3.3 تشكيل خوارزمية تحديد مكان العطل في شبكات التوزيع الكهربائية الشعاعية دون وجود

وحدات توليد موزع (النموذج الرياضي) (Formulating an Algorithm for Fault Location in

Radial Electrical Distribution Networks without Distributed Generation Units

:(Mathematical Model)

لابد قبل صياغة تابع الهدف والقيود لتشكيل مسألة الأمثلة، من تحديد متغيرات المسألة المفروضة (Jiang & Xia, 2018)، والتي سيتم شرحها فيما يلي:

1.1.2.3.3 متغيرات مسألة الأمثلة Optimization Problem Variables:

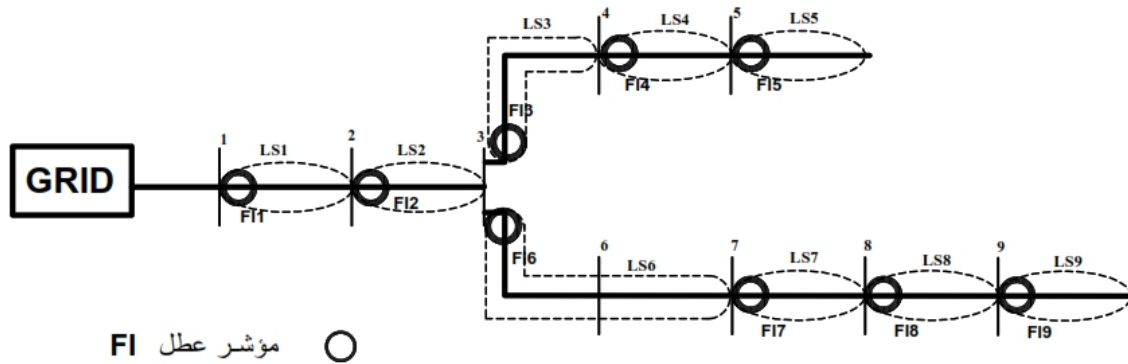
نستخدم في هذا البحث مصطلح upstream لمؤشر العطل، ونقصد بجهة upstream بأنها قطاع شبكة التوزيع الممتد من مؤشر العطل باتجاه الشبكة العامة. كما يشير مصطلح downstream بالنسبة لمؤشر معين

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العينية

الفصل الثالث: كشف الأعطال في شبكات التوزيع الكهربائية وتحديد مكانها

إلى الجهة المعاكسة لجهة الشبكة العامة بالنسبة لهذا المؤشر. نورد فيما يلي مثال توضيحي لتحديد المقصود بمؤشرات الأعطال من الجهة العليا upstream والسفلى downstream. يبين الشكل (3_6) شبكة كهربائية هوائية افتراضية تحوي على تسع عقد و متصلة مع الشبكة الكهربائية الرئيسية. قمنا بتوزيع مؤشرات الأعطال على كافة العقد وبالتالي ترقيمها من 1 إلى 9 ($\{FI1, FI2, \dots, FI9\}$). كما قمنا بترقيم قطاعات المغذيات (Line Sections) من 1 إلى 9 ($\{LS1, LS2, \dots, LS9\}$).

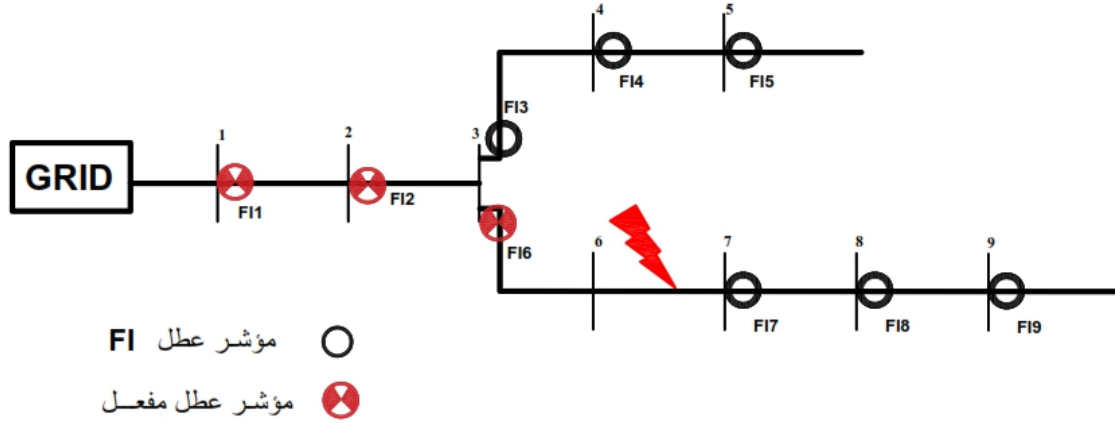
إن المؤشرات الواقعة في منطقة upstream بالنسبة للمؤشر رقم 3 هي المؤشرات $\{FI1, FI2\}$ ، أما المؤشرات التي تقع في جهة downstream بالنسبة لهذا المؤشر، فهي $\{FI4, FI5\}$.



الشكل (3_6) مثال توضيحي لشبكة بسيطة مكونة من 9 عقد

Q: هي عبارة عن مصفوفة شعاعية ذات القيم (0 أو 1) بعدها مطابق لعدد مؤشرات الأعطال في الشبكة المدروسة. ترمز هذه القيم إلى حالة مؤشرات الأعطال. حيث أن القيمة (1)، تشير إلى أن مؤشر العطل مجاور بشكل مباشر للعطل، ويقع في قطاع المغذي الكهربائي الممتد إلى الشبكة الرئيسية أي في القسم العلوي منه Upstream. و تشير القيمة (0) في المصفوفة Q إلى حالة مؤشرات الأعطال في باقي أجزاء الشبكة. يوضح الشكل (3_7) توضع عطل افتراضي على الشبكة المبينة في الشكل (3_6) ونبين مؤشرات الأعطال المفعلة عند حدوث العطل باللون الأحمر. إن قيمة عنصر المصفوفة Q المقابل للمؤشر FI6 يأخذ القيمة 1 باعتباره مجاور للعطل بشكل مباشر ويقع من جهة Upstream.

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العينية
الفصل الثالث: كشف الأعطال في شبكات التوزيع الكهربائية وتحديد مكانها



الشكل (3_7) الشبكة التوضيحية مع وجود عطل في LS6 في الشبكة التوضيحية

E: مصفوفة شعاعية تأخذ القيم (0 أو 1) وترمز إلى حالة مؤشرات الأعطال. حيث تشير القيمة (1) إلى أن مؤشر العطل مجاور للعطل، ولكن بشكل غير مباشر، وفي القسم العلوي Upstream من العطل كالمؤشرات {FI1, FI2} في الشكل (3_7)، وقيمة (0) عند باقي المؤشرات.

R: مصفوفة شعاعية تأخذ القيم (0 أو 1) وترمز للقيمة المتوقعة الصحيحة لمؤشرات الأعطال، وهي تمثل خرج الخوارزمية.

B: مصفوفة شعاعية تأخذ القيم (0 أو 1) وترمز لعدد الإشارات الخاطئة الواردة من مؤشرات الأعطال، حيث تأخذ القيمة (1)، عندما تكون القيمة المتوقعة النهائية R_i ، مغايرة للقيمة التي تم تلقيها في مركز التشغيل R^0 ، و تأخذ القيمة (0) في حال تطابق القيمتين (المتوقعة والمحسوبة من قبل الخوارزمية والفعلية الواردة من مؤشرات الأعطال).

LSF: مصفوفة شعاعية تأخذ القيم (0 أو 1) ترمز قيمها إلى قطاعات شبكة التوزيع (Line Section LS) المعطلة (القيمة 1) و السليمة (القيمة 0).

يعتمد تحديد المصفوفة **LSF** بشكل رئيسي على تحديد المصفوفة **Q**، فكما نلاحظ بأن مصفوفة **LSF** مماثلة لمصفوفة **Q**، إلا أن عناصر **LSF** ترمز لرقم القسم (Line Section LS)، بينما عناصر **Q** فترمز لرقم المؤشر.

2.1.2.3.3. التابع الهدف Objective Function:

يمثل التابع الهدف لخوارزمية تحديد مكان العطل في شبكات التوزيع الشعاعية المجموع الجبري لتابعين، معبرين عن حالات الإشارات الخاطئة لـ (FIs). بالتالي تتجزأ الأمثلة (Optimization) بإيجاد القيمة الصغرى

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العينية
 الفصل الثالث: كشف الأعطال في شبكات التوزيع الكهربائية وتحديد مكانها
 للتابع الهدف أي تقليل الإشارات الخاطئة التي يمكن أن تؤثر على عملية تحديد المكان الفعلي للعطل (Jiang & Xia, 2018).

نعتبر عن الإشارات الخاطئة بإيجاد القيمة المطلقة للفرق الجبري لمصفوفة الإشارات الحقيقية الواردة من مؤشرات الأعطال R^0 ومصفوفة الإشارات المحسوبة من قبل الخوارزمية والمقدرة لمكان العطل المفترض R .
 نعتبر عن ذلك بالمعادلة:

$$objFun = \min \sum_{i \in P_{FI}} (B_i) \quad (3_22)$$

$$B_i = |R_i - R_i^0| \quad (3_23)$$

P_{FI} : مجموعة مؤشرات الأعطال.

i : رقم مؤشر العطل.

3.1.2.3.3 : قيود مسألة الأمثلة Problem Constraints :

a. قيد تشكيل مصفوفة Q والممثل بالمعادلة:

$$Q_i = \sum_{j \in P_{LS_i}} \sum_{k \in P_{Fault}} LSF_j^k, \quad i \in P_{FI} \quad (3_24)$$

P_{fault} , P_{LS} : رقم القسم من الخط (Line Section) ورقم العطل على الترتيب.

P_{LS_i} : تمثل مجموع عدد مؤشرات الأعطال الواقعة في منطقة downstream ومجاورة بشكل مباشر، بالنسبة للمؤشر ذو الرقم i لكل عطل.

يشرح هذا القيد حقيقة أن عنصر المصفوفة Q ، يساوي مجموع قيم أسطر المصفوفة LSF المجاورة بشكل مباشر للمؤشر i وفي المنطقة الواقعة downstream منه. لذلك عند اعتبار حدوث عطل وحيد في الشبكة فإنه سيتواجد عنصر واحد في المصفوفة Q يساوي الواحد، ولو حصل عطلين سيتواجد عنصرين في المصفوفة = 1.

بفرض على سبيل المثال، حدوث عطلين كما هو مبين على الشبكة الكهربائية المبينة في الشكل (3_8) أحدهما في $LS4$ والآخر في $LS6$ يمثل كل عطل في مصفوفة LSF بسطر واحد، بمعنى أنه في حال حدوث عطل وحيد، سيكون خرج المصفوفة LSF عبارة عن سطر واحد، أحد عناصرها يساوي الواحد، وعند عنصر المصفوفة المقابل لرقم القطاع المعطل. في حال حدوث عطلين، سيكون خرج المصفوفة LSF عبارة عن سطرين وتملك المصفوفة عنصر واحد من كل سطر يساوي الواحد يعبر عن رقم القطاع المعطل.

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العينية

الفصل الثالث: كشف الأعطال في شبكات التوزيع الكهربائية وتحديد مكانها

وفي حال أردنا تطبيق القيد الممثل بالمعادلة (24_3) تكون قيم عناصر المصفوفة LSF_j^k هي حالة

كل جزء من أجزاء الشبكة بحيث i يمثل رقم جزء الخط و K يمثل رقم العطل. سنقوم فيما يلي بتحديد قيم بعض العناصر بغرض التوضيح.

لنطبق هذا القيد على مؤشر العطل رقم 4 في حالة وجود العطلين المبينين في الشكل (3_8) بحيث أن

LSF_4^1 تمثل قيمة LSF4 للعطل الأول و LSF_4^2 تمثل قيمة LSF4 للعطل الثاني. نطبق ذلك على عدد من المؤشرات مثل:

$$Q_1 = LSF_1^1 + LSF_1^2 = 0 + 0 = 0$$

$$Q_4 = LSF_4^1 + LSF_4^2 = 0 + 1 = 1$$

$$Q_5 = LSF_5^1 + LSF_5^2 = 0 + 0 = 0$$

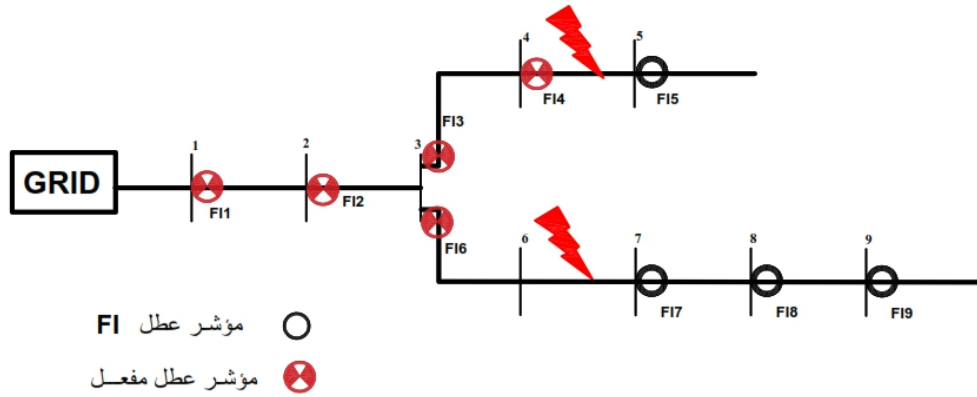
$$Q_6 = LSF_6^1 + LSF_6^2 = 1 + 0 = 1$$

وتكون بالتالي مصفوفات خرج الخوارزمية على الشكل التالي:

Node N.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Q	0	0	0	1	0	1	0	0	0
LSF	0	0	0	0	0	1	0	0	0
	0	0	0	1	0	0	0	0	0

Fault 1

Fault 2



الشكل (3_8) مثال توضيحي عن حالة وجود عطلين في LS4,LS6

b. قيد تشكيل المصفوفة E والممثل بالمعادلة:

$$|P_{i_{down}}| * E_i \geq \sum_{j \in P_{i_{down}}} Q_j \quad \& \quad E_i \leq \sum_{j \in P_{i_{down}}} Q_j, i \in P_{FI} \quad (3_25)$$

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م. ندى العينية
الفصل الثالث: كشف الأعطال في شبكات التوزيع الكهربائية وتحديد مكانها

يعبر هذا القيد عن المبدأ المنطقي بحيث أنه حتى يكون أحد عناصر المصفوفة E_i مساوياً للواحد، وهو ما يعني بأن المؤشر ذو الرقم i مجاور بشكل غير مباشر للعطل، وفي منطقة upstream منه، يوجب ذلك حتماً بوجود عطل واحد على الأقل يقع في منطقة downstream بالنسبة لمؤشر العطل i . ذلك يعني بأن حاصل ضرب مجموع عدد أجزاء الخط الواقعة في منطقة ال downstream بالنسبة للمؤشر i بقيمة العنصر E_i يجب أن تكون أكبر أو تساوي مجموع قيم عناصر المصفوفة Q للمؤشرات الواقعة في منطقة downstream بالنسبة للمؤشر i ، ممثلةً بالجزء الأول من المعادلة، وبنفس الوقت يجب ألا يتجاوز عدد الأعطال في منطقة downstream بالنسبة للمؤشر i ، لعدد أجزاء الخط في منطقة downstream بالنسبة لهذا المؤشر، أي قيمة E_i أصغر أو تساوي عدد أجزاء الخط الواقعة في منطقة downstream بالنسبة لهذا المؤشر نعبر عن ذلك بالجزء الثاني من المعادلة. يمكن التعبير عن هذه الحقيقة بالمعادلة (3_25) حيث أن:

P_{i_down} : مجموع عدد مؤشرات الأعطال الواقعة في القسم السفلي downstream لمؤشر العطل ذو الرقم i .
على سبيل المثال، إن مؤشرات الأعطال الواقعة في جهة downstream للمؤشر رقم 2 في الشبكة التوضيحية المبينة في الشكل (3_6) هي كما يلي:

$$P_{2_down} = \{F13, F14, F15, F16, F17, F18, F19\}$$

وكما ذكرنا سابقاً، بأن Q تكون مساوية لـ 1 في حال كان مؤشر العطل مجاور بشكل مباشر لمنطقة العطل، وفي منطقة upstream بالنسبة لها، و E_i تكون مساوية لـ 1 في حال كان مؤشر العطل مجاور بشكل غير مباشر لمنطقة العطل وفي منطقة upstream بالنسبة لها، وبالتالي حتى تكون قيمة $E=1$ عند أي مؤشر من المؤشرات، يجب أن يوجد عطل واحد على الأقل في منطقة downstream بالنسبة له، كما ذكرنا سابقاً.

لنطبق القيد المحدد بالمعادلة (3_25) والمسؤول عن تكوين العلاقة بين المصفوفة Q والمصفوفة E ، على المؤشر رقم 2 مثلاً، تكون قيمة E_2 والتي ستعطي في خرج الخوارزمية قيمة 1 في حالة العطل المبين في الشكل (3_8)، وذلك بعد تطبيق التابع الهدف والقيود على مصفوفة الدخل حيث:

$$|P_{i_down}| * E_i \geq \sum_{j \in P_{i_down}} Q_j \quad \& \quad E_i \leq \sum_{j \in P_{i_down}} Q_j, \quad i \in P_{FI}$$
$$7 * 1 \geq 2 \delta \quad 1 \leq 2$$

$$P_{2_down} = \{F13, F14, F15, F16, F17, F18, F19\}$$

$$\sum_{j \in P_{i_down}} Q_j = Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 + Q_7 + Q_8 + Q_9$$

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العينية
الفصل الثالث: كشف الأعطال في شبكات التوزيع الكهربائية وتحديد مكانها

$$= 0 + 1 + 0 + 1 + 0 + 0 + 0$$

نلاحظ أن $Q_4 = 1$ ، $Q_6 = 1$ ، لأنهما مجاورتان للعطل بشكل مباشر وفي منطقة upstream منه

أما بالنسبة مثلاً لـ E_4 والتي ستعطي قيمة 0:

$$|P_{i_{down}}| * E_i \geq \sum_{j \in P_{i_{down}}} Q_j \quad \& \quad E_i \leq \sum_{j \in P_{i_{down}}} Q_j, i \in P_{FI}$$

$$\begin{array}{ccccccc} \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow \\ 1 & * & 0 & \geq & 0 & \delta & 0 & \leq & 0 \end{array}$$

$$P_{4_down} = \{FI5\}$$

$$\sum_{j \in P_{i_{down}}} Q_j = Q_5$$

$$= 0$$

حيث $Q_5 = 0$ لأنها واقعة في منطقة downstream منه وليس upstream بحسب التعريف.

c. قيد القيمة التقديرية لمصفوفة R:

يمثل هذا القيد عملية حسابية بسيطة لتحديد قيم عناصر المصفوفة المخمنة، لخوارزمية تحديد مكان العطل، والتي تعطي قيمة =1 عند جميع مؤشرات الأعطال على طول مسار تيار العطل، بوجود إشارات خاطئة، أو بوجود حالة عمل مثالية، حيث يمكن استنتاجها بسهولة من جمع المتغيرين Q المعبرة عن مؤشرات الأعطال على طول مسار تيار العطل، والمجاورة بشكل مباشر لمنطقة العطل، و E المعبرة عن مؤشرات الأعطال على طول مسار تيار العطل، وغير المجاورة مباشرة لمنطقة العطل، يمثل هذا القيد بالمعادلة التالية:

$$R_i = E_i + Q_i \quad (3_26)$$

d. قيد عدد الإشارات الخاطئة:

يمثل هذا القيد عملية إحصاء للإشارات الخاطئة بناءً على التابع الهدف المبين في المعادلة (3_22) ، والذي يعبر عن مجموع الإشارات الخاطئة الواردة لمركز التشغيل، والممثلة بالمصفوفة B، يمكن حسابها بشكل مباشر عن طريق المعادلة التالية:

$$N_D = \sum_{i \in P_{FI}} (B_i) \quad (3_27)$$

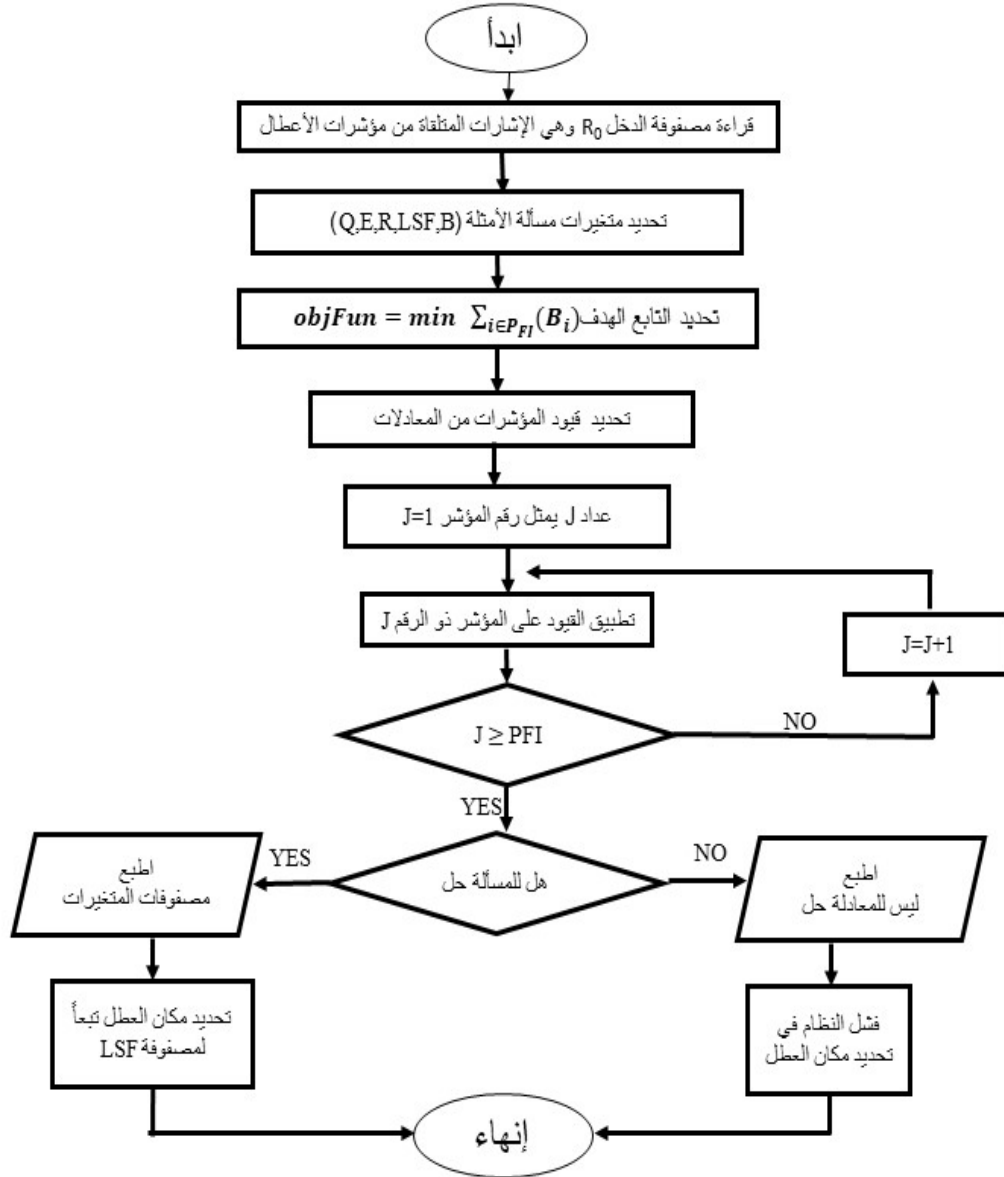
e. القيد المعبر عن حالة الخط LSF_i^k :

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العينية
 الفصل الثالث: كشف الأعطال في شبكات التوزيع الكهربائية وتحديد مكانها
 في حال وجود عطل يكون $LSF_i^k = 1$ ، وفي حال كان القطاع سليم يكون مساوي (0)، مع ملاحظة
 أن كل عطل يحتاج سطر في مصفوفة الخرج، تعبر عن الجزء المعطل من الخط.

$$\sum_{i \in P_{LS}} LSF_i^k = 1, k \in P_{fault} \quad (3_28)$$

P_{fault} ، P_{LS} : رقم الخط والعطل بالترتيب.

يبين الشكل (9_3) المخطط الانسيابي للخوارزمية المقترحة.



الشكل (9_3) المخطط الانسيابي المقترح لخوارزمية تحديد مكان العطل في شبكات التوزيع دون وجود وحدات توليد موزع

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العينية
الفصل الثالث: كشف الأعطال في شبكات التوزيع الكهربائية وتحديد مكانها

4.1.2.3.3 تشكيل الخوارزمية في البيئة البرمجية المختارة في النظم الحديثة (Formulating the Algorithm)

:(in the Selected Software Environment in Modern Systems

إن الإشارات الواردة من مؤشرات الأعطال هي عبارة عن إشارات رقمية لها القيم 0 أو 1، تقوم الخوارزمية المقترحة في هذا البحث، باستخدام الصيغ الرياضية المنطقية، من أجل تحديد المكان الدقيق للعطل في الشبكة الكهربائية.

لا يمكن صياغة تابع الهدف في مسائل الأمثلة بالاعتماد على هذه الصيغ المنطقية، لذلك كان لابد لنا من تحويل الصيغ الرياضية المنطقية إلى صيغ رياضية جبرية، يسهل التعامل معها في لغات البرمجة المتقدمة مثل لغة الجافا المستخدمة في الأمثلة الخطية، وقد تم الاستعانة بمعادلات التحويل من الجبر المنطقي إلى الجبر الخطي (FICO, 2017)، وسنورد فيما يلي التحويل الجبري لبعض العلاقات المنطقية.

• علاقة الجمع المنطقي أو OR

في حال لدينا متحولات $d_1, d_2, \dots, d_n$ ونريد تحقيق بوابة OR بين هذين المتحولين:

$$d = d_1 OR d_2 OR \dots OR d_n = \max\{d_1, d_2, \dots, d_n\} \quad (3_29)$$

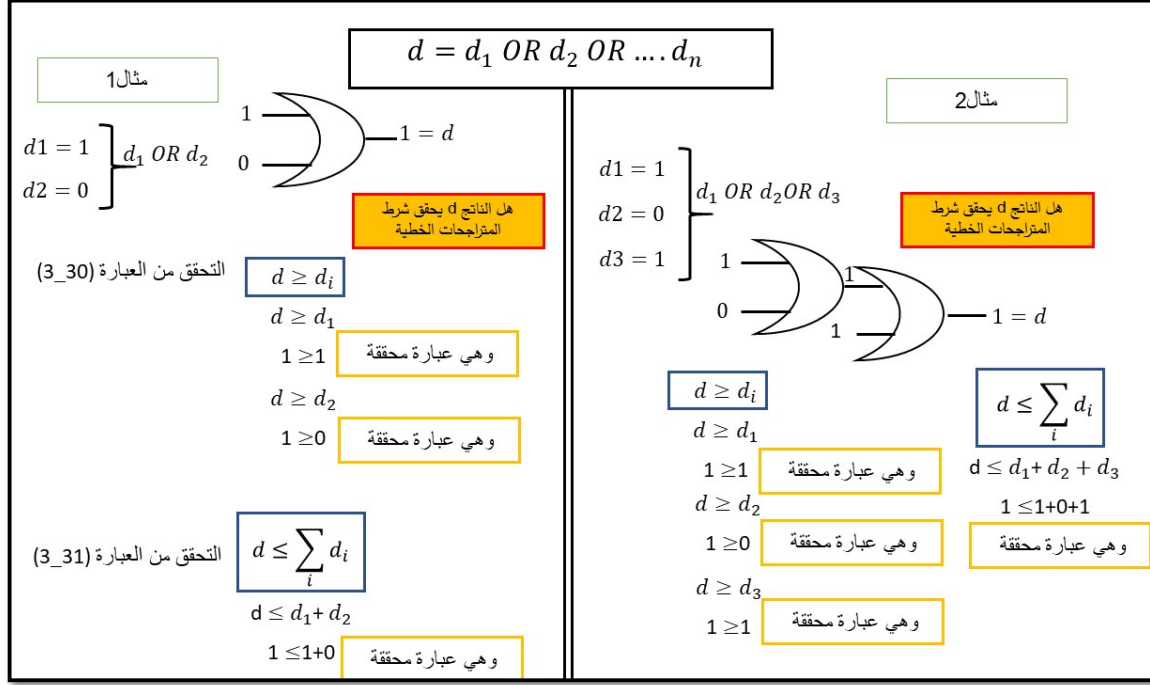
$$d \geq d_i \quad (3_30)$$

$$d \leq \sum_i d_i \quad (3_31)$$

$$d \leq 1 \quad (3_32)$$

لنتحقق ببعض الأمثلة من صحة هذه التحويلات من الجبر المنطقي إلى الجبر الخطي، نحن نعلم بأن البوابة المنطقية OR تعني بأن في حال ورود اشارتين احدهما صحيحة أو ذات قيمة تساوي 1 فإن الخرج يعطي إشارة صحيحة أو ذات قيمة تساوي 1، وفي حال ورود اشارتين $=0$ ذلك يعني الحصول على إشارة $=0$.

نلاحظ من الشكل (3_10) من المثال 1 بأنه في حال وجود قيمتين d_1 و d_2 احدهما تساوي 1 ، وتطبيق معادلات التحويل المذكورة في المعادلات (3_30) و (3_31) نجد بأنها محقة ، أيضا نلاحظ في المثال 2 عند تطبيق معادلات التحويل على 3 مداخل d_1, d_2, d_3 فإنها جميعا تعطي قيم محقة.



الشكل (3_10) التحقق من صحة تحويل العلاقات من الجبر المنطقي للجبر الخطي لبوابة OR

• علاقة الضرب المنطقي أو AND

$$d = d_1 AND d_2 AND \dots d_n = \min\{d_1, d_2, \dots, d_n\} \quad (3_33)$$

$$d \leq d_i \quad (3_34)$$

$$d \geq \sum_i d_i - (n - 1) \quad (3_35)$$

$$d \geq 0 \quad (3_36)$$

• علاقة النفي المنطقي NOT:

$$d = NOT d_1 \quad (3_37)$$

$$d = 1 - d_1 \quad (3_38)$$

• علاقة القيمة المطلقة المنطقية ABS:

$$d = |d_1 - d_2| \quad (3_39)$$

$$d \geq d_1 - d_2 \quad (3_40)$$

$$d \geq d_2 - d_1 \quad (3_41)$$

$$d \geq 2 - d_1 - d_2 \quad (3_42)$$

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العينية
الفصل الثالث: كشف الأعطال في شبكات التوزيع الكهربائية وتحديد مكانها

$$d \leq d_1 + d_2 \quad (3_43)$$

تبين العلاقة (3_39) عملية تحويل علاقة القيمة المطلقة المنطقية لعناصر التابع الهدف الممثلة بالمعادلة (3_23)، إلى الصيغة الرياضية في الجبر الخطي، فيصبح القيد الممثل بالمعادلات (3_27) و (3_23) على النحو التالي:

$$B_i = |R_i - R_i^0| \rightarrow \begin{cases} B_i \geq R_i - R_i^0 \\ B_i \geq R_i^0 - R_i \\ B_i \leq 2 - R_i^0 - R_i \\ B_i \leq R_i^0 + R_i \end{cases} \quad (3_44)$$

تم حل مسألة الأمثلة باستخدام لغة JAVA في بيئة الأمثلة CPLEX، والتي قد تم تسميتها بهذا الاسم للتعبير عن مصطلح Simplex method، والمنفذ بلغة ال C (C Programming Language)، ثم تم تطويره لاحقاً من شركة IBM، ليدعم لغات برمجة أخرى، مثل Visual Basic، Fortran، Java... الخ.

تتسم بيئة الأمثلة CPLEX بأنها بيئة عالية الأداء، وتستخدم لحل مسائل الأمثلة الخطية وغير الخطية، (Linear and nonlinear programming problems) ذات المتغيرات الصحيحة والمستمرة، والمسائل التربيعية بنوعيتها (problems convex and non-convex quadratic programming) IBM (Corporation, 2024).

ونظراً لعدم توفر بيئة IBM ILOG CPLEX، تم استخدام بيئة البرمجة ECLIPS الداعمة للغة البرمجة JAVA، باستخدام مكتبات الأمثلة من بيئة الأمثلة IBM ILOG CPLEX.

يتم تشكيل الخوارزمية في بيئة الأمثلة ECLIPS باستخدام التعليمات البرمجية الخاصة بلغة JAVA

حيث نقوم بدايةً بتعريف مسألة الأمثلة عن طريق التعليمات

```
IloCplex cplex = new IloCplex();
```

تأتي بعدها مرحلة تعريف المتغيرات، حيث أن جميع المتغيرات المشروحة سابقاً (Q,E,R,B,LSF) هي متغيرات من النوع Boolean. يبين الشكل (3_11)، كيفية تعريف مسألة الأمثلة وعملية تعريف المتغيرات في بيئة ECLIPS باستخدام لغة البرمجة JAVA .

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العيني
 الفصل الثالث: كشف الأعطال في شبكات التوزيع الكهربائية وتحديد مكانها

```

135
136      IloCplex cplex = new IloCplex();
137
138      IloNumVar [][] LSF=new IloNumVar[m][n];
139      for(int i = 0; i < m; i++) {
140          for(int j = 0; j < n; j++)
141              {LSF[i][j] = cplex.boolVar();} }
142
143      IloNumVar [] Q=new IloNumVar[n];
144      for(int i = 0; i < n; i++)
145          {Q[i] = cplex.boolVar();}
146
147      IloNumVar [] E=new IloNumVar[n];
148      for(int i = 0; i < n; i++)
149          {E[i] = cplex.boolVar();}
150
151      IloNumVar [] R=new IloNumVar[n];
152      for(int i = 0; i < n; i++)
153          {R[i] = cplex.boolVar();}
154

```

الشكل (3_11) جزء من البرنامج المنجز لتحديد مكان العطل - مرحلة تعريف المتغيرات في بيئة ECLIPS

ثم نبدأ بكتابة القيود كل على حدى، فيترجم القيد المبين في المعادلة (3_24) كما في الشكل (3_12).

```

169
170      //Q=sum of LSF
171      for(int j1 = 0; j1 < n; j1++) {c2 = cplex.linearNumExpr();
172      for(int j = 0; j < m; j++) {
173          c2.addTerm(1, LSF[j][j1]);
174          }cplex.addEq(c2,Q[j1]);}
175

```

الشكل (3_12) جزء من البرنامج المنجز لتحديد مكان العطل - مرحلة تعريف القيد (3_24) في بيئة البرمجة ECLIPS

نحتاج أيضاً لكتابة مصفوفتي مؤشرات الأعطال الواقعة في منطقة upstream بالنسبة لكل مؤشر عطل، والتي نرمز لها ب $up_LS[n][n]$ ، ومصفوفة مؤشرات الأعطال الواقعة في منطقة downstream بالنسبة لكل مؤشر عطل والتي نرمز لها بالرمز $down_fi[n][n]$ ، بالاستعانة بهاتين المصفوفتين نكتب القيد الممثل بالمعادلة (3_25) في بيئة الأمثلة، كما في الشكل (3_13).

```

184      //create E
185      for(int j=0;j<n;j++) { c3 = cplex.linearNumExpr();
186          c4 = cplex.linearNumExpr();
187          for(int i=0;i<n;i++) {
188              if (up_LS[j][i]==1)
189                  c3.addTerm(sum_rfi_down[j], E[j]);}
190      for(int i=0;i<n;i++) {
191          if (down_fi[j][i]==1) {
192              c4.addTerm(1, Q[i]);}
193          }cplex.addGe(c3, c4);
194          cplex.addLe(E[j],c4 );
195      }

```

الشكل (3_13) جزء من البرنامج المنجز لتحديد مكان العطل - مرحلة تعريف القيد (3_25) في بيئة البرمجة ECLIPS

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العينية
 الفصل الثالث: كشف الأعطال في شبكات التوزيع الكهربائية وتحديد مكانها
 ونكتب قيد الإشارات المخمنة الممثل بالمعادلة (3_26) كما الشكل (3_14).

```

163 // R=Q+E
164 for(int j = 0; j < n; j++) { c1 = cplex.linearNumExpr();
165 c1.addTerm(1.0, Q[j]);
166 c1.addTerm(1.0, E[j]);
167 cplex.addEq(c1, R[j]);
168 }
169

```

الشكل (3_14) جزء من البرنامج المنجز لتحديد مكان العطل - مرحلة تعريف القيد (3_26) في بيئة البرمجة ECLIPS

ويكتب التابع الهدف الممثل بالمعادلتين (3_22) و (3_23) بعد تحويلها للشكل الخطي كما في الشكل (3_15) والشكل (3_16).

```

196
197 // Bi=|R-R0|
198 for(int j = 0; j < n; j++) {
199 cplex.addLe( R[j], cplex.sum(Bi[j], R0[j]));
200 cplex.addLe( R0[j], cplex.sum(Bi[j], R[j]));
201 cplex.addLe( cplex.sum(Bi[j], R[j]), 2- R0[j]);
202 cplex.addLe( Bi[j], cplex.sum(R[j], R0[j]));}
203
204 // Objective
205 IloLinearNumExpr obj = cplex.linearNumExpr();

```

الشكل (3_15) جزء من البرنامج المنجز لتحديد مكان العطل - مرحلة تعريف القيد (3_23) في بيئة البرمجة ECLIPS

```

204 // Objective
205 IloLinearNumExpr obj = cplex.linearNumExpr();
206 for(int i = 0; i < n; i++) {
207 obj.addTerm(Bi[i], 1);
208 }
209
210 cplex.addMinimize(obj);

```

الشكل (3_16) جزء من البرنامج المنجز لتحديد مكان العطل - مرحلة تعريف القيد (3_22) في بيئة البرمجة ECLIPS

ثم تكتب أوامر الطباعة تبعاً لمتطلبات مسألة الأمثلة، وقد قمنا عند برمجة مسألة الأمثلة المدروسة بطباعة جميع المصفوفات، حتى نتأكد من صحة تطبيق جميع قيود مسألة الأمثلة وتابع الهدف المطلوب.
 يبين الشكل (3_17) كيفية كتابة أوامر الطباعة في بيئة البرمجة ECLIPS باستخدام لغة JAVA.

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العينية
 الفصل الثالث: كشف الأعطال في شبكات التوزيع الكهربائية وتحديد مكانها

```

210         cplex.addMinimize(obj);
211         cplex.setParam(IloCplex.IntParam.SimDisplay, 0);
212         if(cplex.solve()) {
213             System.out.println("Obj fun = " + Math.round(cplex.getObjValue()));
214
215             System.out.print("n= ");
216             for(int j=1;j<10;j++) {
217                 System.out.print(j+" ");
218             }
219             for(int j=10;j<n+1;j++) {
220                 System.out.print(j+" ");
221             }
222             System.out.println("");
223             System.out.print("Q = ");
224             for(int j=0;j<n;j++) {
225                 System.out.print(Math.round(cplex.getValue(Q[j]))+" ");
226             }System.out.println("");
227
228             System.out.print("E = ");
229             for(int j=0;j<n;j++) {
230                 System.out.print(Math.round(cplex.getValue(E[j]))+" ");
231             }System.out.println("");
232
233             System.out.print("R = ");
234             for(int j=0;j<n;j++) {
235                 System.out.print(Math.round(cplex.getValue(R[j]))+" ");
236             }System.out.println("");
237
238
  
```

الشكل (3_17) جزء من البرنامج المنجز لتحديد مكان العطل - مرحلة أوامر الطباعة

ينصب برنامج تحديد مكان العطل عادة في مركز التشغيل DSO، ويستطيع البرنامج المبين تحديد مكان العطل بدقة، بالإضافة لقدرته على تحديد المؤشرات التي عملت بشكل خاطئ في الشبكة المدروسة.

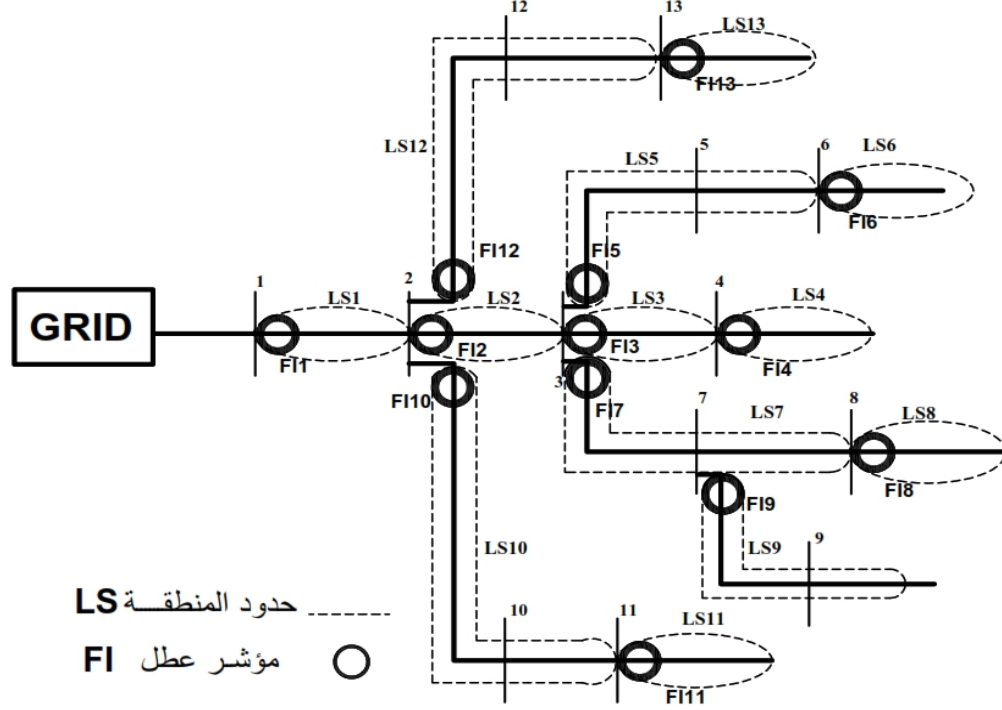
عند حدوث عطل معين وتحديد مكانه بدقة، يرسل مركز التشغيل عن طريق وسائل الاتصال، بشكل أوتوماتيكي، مكان حدوث العطل من أجل القيام بالتوجه نحوه، وإجراء العمليات اللازمة لإزالة أسبابه بالسرعة القصوى، وبالتالي تقليل زمن الانقطاعات عن الأحمال المتواجدة في القطاع المعطل.

سنختبر الخوارزمية على شبكة مرجعية، وسنبين خرج الخوارزمية في بيئة ECLIPS في جميع حالات الدراسة المفروضة.

5.1.2.3.3 دراسة حالة (شبكة مرجعية IEEE-13nodes):

سنطبق بعض الأمثلة على شبكة مرجعية هوائية IEEE-13nodes (Zheng et al., 2019)، ذات التوتر 4.16[kV]، والتي تحوي على مغذي رئيسي، و5 فروع كما يبينه الشكل (3_18)، قمنا بدايةً بتوزيع مؤشرات الأعطال، وتنقسم الشبكة إلى أجزاء، وترقيم هذه الأجزاء تبعاً لرقم مؤشر العطل المرتبط بها، كما يبين الشكل (3_18). سندرج بعض الأمثلة لنبين قدرة الخوارزمية على تحديد مكان العطل بوجود سيناريوهات مختلفة.

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العينية
الفصل الثالث: كشف الأعطال في شبكات التوزيع الكهربائية وتحديد مكانها



الشكل (3_18) شبكة مرجعية IEEE-13node (Zheng et al., 2019)

A. سيناريو 1:

لنفرض حدوث عطل في LS7 وعمل جميع المؤشرات بشكل مثالي كما هو مبين في الشكل (3_19) بالتالي سترد مصفوفة الدخل إلى مركز التشغيل DSO كما يلي:

$$R_0 = \{1, 1, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0\}$$

بالتالي تكون قيمة كافة المتغيرات المشكّلة من قبل البرنامج المنجز بلغة الجافا مبينة بالجدول التالي:

الجدول (3_2) قيم مصفوفات المتغيرات للعطل المبين في الشكل (3_19) والمحسوبة عن طريق البرنامج المقترح

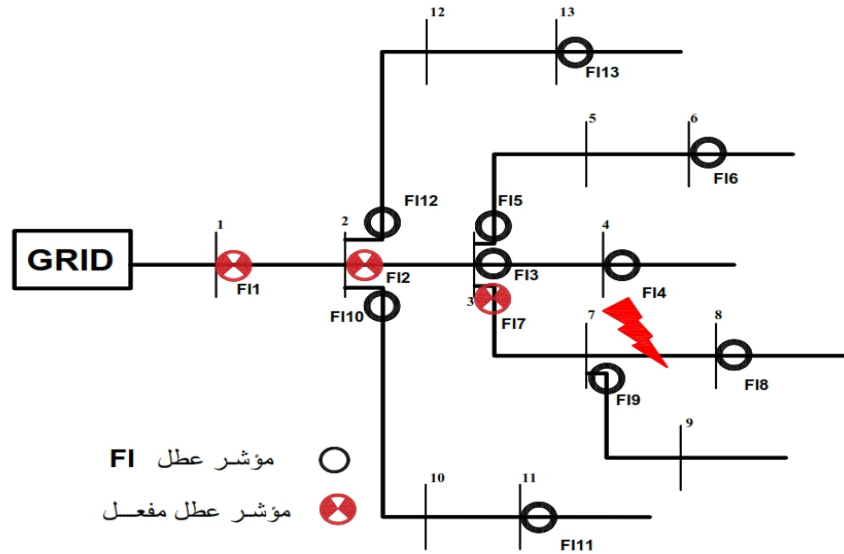
Node N.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Q	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
E	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
R	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LSF	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العينية

الفصل الثالث: كشف الأعطال في شبكات التوزيع الكهربائية وتحديد مكانها

إن قيم عناصر المصفوفة B في هذا المثال تساوي جميعها للصفر، لأن مؤشرات الأعطال عملت بشكل مثالي، أما في حالة فشل أي من المؤشرات بإرسال إشارة صحيحة (كالمؤشر الثاني مثلاً)، عندئذ يكون $B_2 = 1$.

نلاحظ من قيم المصفوفة بأن Q تأخذ قيمة 1 عند المؤشر رقم 7 المجاور بشكل مباشر لمنطقة العطل، وفي منطقة upstream بالنسبة له، وبأن قيم E تساوي الواحد عند المؤشرات 1 و 2 وهي المؤشرات المجاورة بشكل غير مباشر لمنطقة العطل وفي منطقة upstream بالنسبة له، وتقدير منطقة العطل كان صحيحاً، حيث أن مصفوفة LSF أعطت قيمة 1 عند LSF7.



الشكل (3_19) شبكة مرجعية_ حالة وجود عطل وحيد في LS7

يبين الشكل (3_19) خرج برنامج خوارزمية تحديد مكان العطل المكتوب في بيئة ECLIPS والمنصَّب في مشغل الشبكة DSO.

```

Console × Problems Debug Shell Cover
<terminated> nena28_different_symbol [Java Application] C:
Presolve time = 0.00 sec.
Obj fun = 0
n= 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13
Q = 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0
E = 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
R = 1 1 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0
Bi = 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

LSF= 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0
R0 = 1 1 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0

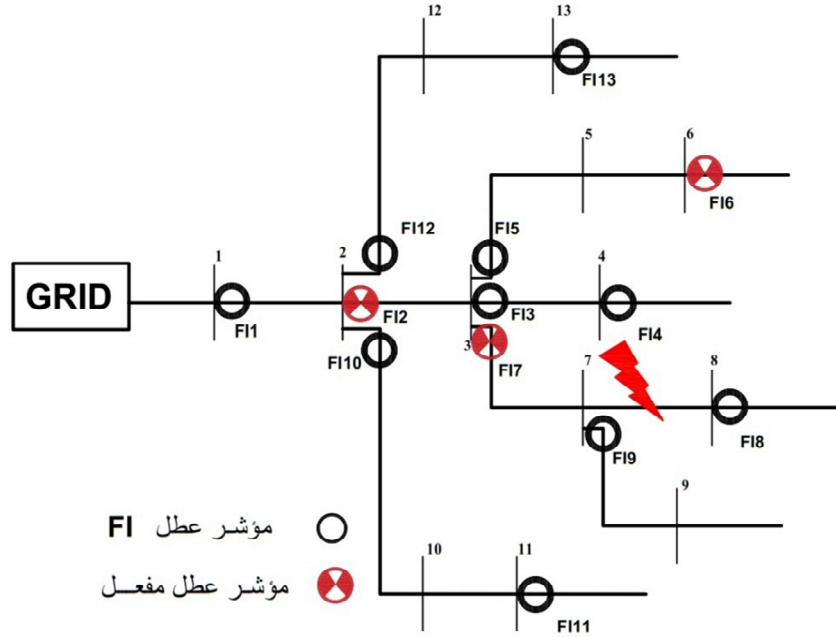
```

الشكل (3_20) خرج خوارزمية تحديد مكان العطل والناتج عن تطبيق البرنامج المنجز في بيئة ECLIPS للعطل المبين في الشكل (3_19)

B. سيناريو 2:

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العينية
 الفصل الثالث: كشف الأعطال في شبكات التوزيع الكهربائية وتحديد مكانها
 في حال حدوث العطل المبين في الشكل (3_21) وعلى اعتبار أن مؤشر العطل FI6 عمل بشكل خاطئ،
 وأرسل إشارة تفعيل حدوث العطل كما أن المؤشر FI1 لم يرسل إشارة تفعيل لسبب ما، كحدوث فشل وظيفي في
 دارة مؤشر العطل، عندئذٍ سترد مصفوفة الدخل إلى مركز التشغيل كما يلي:

$$R_0 = \{0, 1, 0, 0, 0, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0\}$$



الشكل (3_21) شبكة مرجعية_ حالة وجود عطل وحيد مع وجود إشارات خاطئة في كل من المؤشرين 1,6

وعند تطبيق الخوارزمية ينتج لدينا قيم المتغيرات بحسب الجدول (3_3):

الجدول (3_3) قيم مصفوفات المتغيرات للعطل المبين في الشكل (3_21) والمحسوبة عن طريق البرنامج المقترح

Node N.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Q	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
E	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
R	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
B	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
LSF	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العيني

الفصل الثالث: كشف الأعطال في شبكات التوزيع الكهربائية وتحديد مكانها

نلاحظ قدرة الخوارزمية على التقدير الدقيق لمكان حدوث العطل. حيث أعطت المصفوفة R قيمة (1)

للمؤشرات على طول مسار تيار العطل $FI_{(1,2,7)}$ ، على الرغم من اختلاف هذه المصفوفة عن المصفوفة R_0 المعبرة عن الإشارات الحقيقية مع وجود أخطاء.

كما نلاحظ قدرة الخوارزمية على تحديد المؤشرات ذات الإشارة الخاطئة من خلال قيم المصفوفة B،

المعبرة عن المؤشرات التي تعرضت لحالة إخفاق Failure أو Malfunction قد أعطت قيمة 1 عند كل من

$FI_{(1,6)}$. كما أعطت مصفوفة تحديد مكان العطل تقدير صحيح لتحديد مكان العطل في المصفوفة LSF حيث

أعطت قيمة 1 عند LS_7 .

```

Console × Problems Debug Shell Coverage
<terminated> nena28_different_symbol [Java Application] C:\I
Presolve time = 0.00 sec.
Obj fun = 2
n= 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13
Q = 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0
E = 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
R = 1 1 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0
Bi = 1 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0

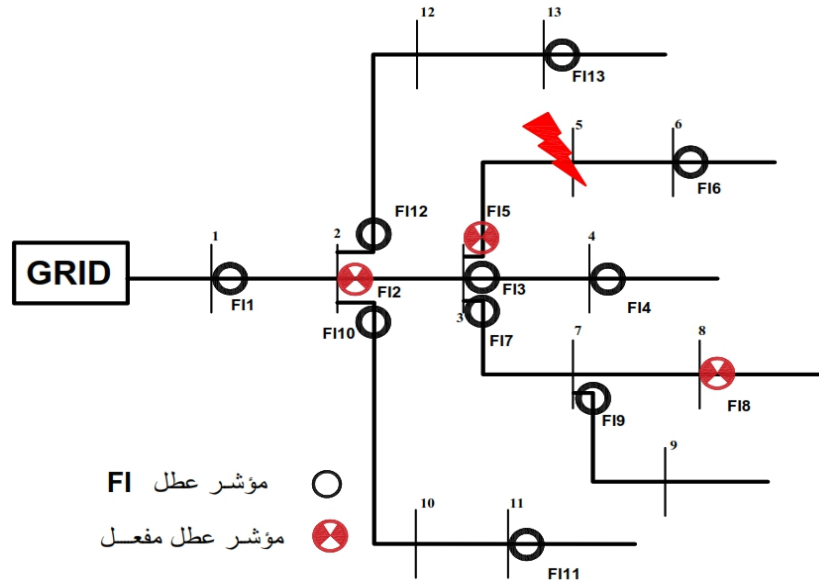
LSF= 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0
R0 = 0 1 0 0 0 1 1 0 0 0 0 0 0

```

الشكل (3_22) خرج خوارزمية تحديد مكان العطل والناتج عن تطبيق البرنامج المنجز في بيئة ECLIPS للعطل المبين في الشكل (3_21)

C. سيناريو 3:

وعند حدوث العطل المبين في الشكل (3_23) سترد مصفوفة الدخل إلى مركز التشغيل كما يلي:



الشكل (3_23) شبكة مرجعية حالة وجود عطل وحيد عند الجزء 5، مع وجود إشارات خاطئة في كل من المؤشرين 1,8

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العينية
الفصل الثالث: كشف الأعطال في شبكات التوزيع الكهربائية وتحديد مكانها

$$R_0 = \{0, 1, 0, 0, 1, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0\}$$

تم فرض أن المؤشر FI8 قد أعطى إشارة تفعيل خاطئة وبالتالي عند تطبيق الخوارزمية نحصل على النتائج المبينة في الجدول (3_4):

الجدول (3_4) قيم مصفوفات المتغيرات للعطل المبين في الشكل (3_23) والمحسوبة عن طريق البرنامج المقترح

Node N.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Q	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
E	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
R	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
B	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
LSF	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0

عند تطبيق الخوارزمية المقترحة، نجد بأنه قد تم تقدير العطل بشكل دقيق أيضاً. حيث أعطت المصفوفة R قيمة (1) للمؤشرات على طول مسار تيار العطل $FI_{(1,2,5)}$ ، على الرغم من اختلاف هذه المصفوفة عن المصفوفة R_0 المعبرة عن الإشارات الحقيقية مع وجود أخطاء، بالإضافة لتحديد المؤشرات ذات الإشارة الخاطئة، حيث نلاحظ من مصفوفة B المعبرة عن المؤشرات التي تعرضت لحالة إخفاق Failure أو Malfunction قد أعطت قيمة 1 عند كل من $FI_{(1,8)}$ ، كما أعطت مصفوفة تحديد مكان العطل تقدير جيد لتحديد مكان العطل في المصفوفة LSF حيث أعطت قيمة 1 عند LS_5 .

```

Console × Problems Debug Shell Coverage
<terminated> nena28_different_symbol [Java Application] C:\Pro
Presolve time = 0.00 sec.
Obj fun = 2
n= 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13
Q = 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0
E = 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
R = 1 1 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0
Bi = 1 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0

LSF= 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0
R0 = 0 1 0 0 1 0 0 1 0 0 0 0 0

```

الشكل (3_24) خرج خوارزمية تحديد مكان العطل والنتائج عن تطبيق البرنامج المنجز بيئة ECLIPS للعطل المبين في الشكل (3_23)

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العبيد
الفصل الثالث: كشف الأعطال في شبكات التوزيع الكهربائية وتحديد مكانها

2.2.3.3. النموذج الرياضي لتحديد مكان العطل في الشبكات الشعاعية مع وجود وحدات توليد

موزع (The Mathematical Model for Fault Location in Radial Networks)

(with Distributed Generation Units):

لنفرض تمت إضافة وحدة توليد موزع إلى العقدة رقم 4 في الشبكة السابقة كما في الشكل (3_25)، وطبقنا عطل على الجزء رقم 5 (LS5). بالطبع ستساهم وحدة التوليد الموزع بتيار العطل، وبالتالي ترتفع قيمة التيار في المؤشر رقم 3 عن القيمة الحدية المعير عليها نتيجة مرور التيار فيه، نلاحظ أن مصفوفة الدخل الواردة من مؤشرات حدوث العطل إلى مركز التشغيل هي:

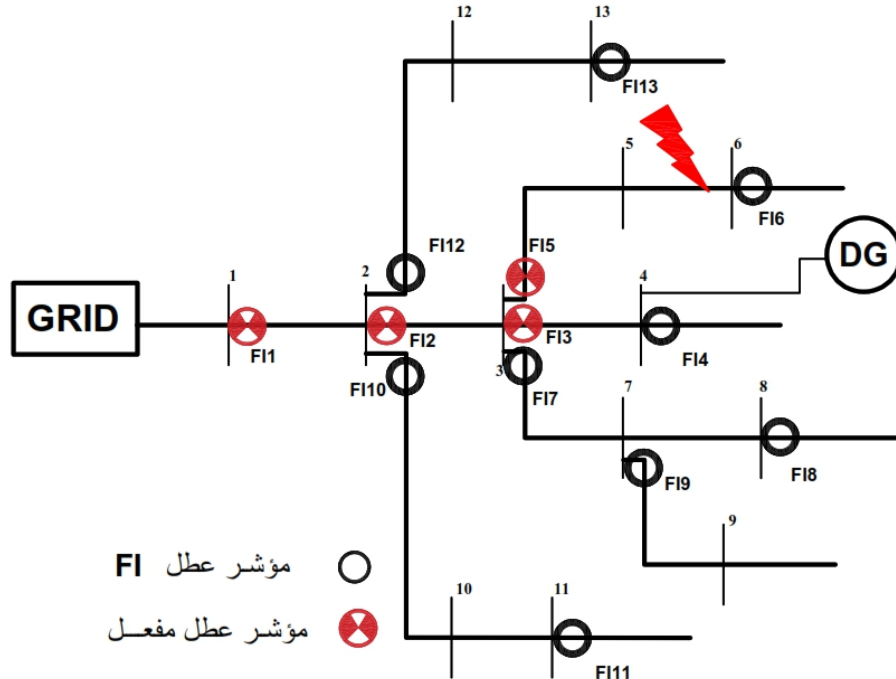
$$R_0 = \{1, 1, 1, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0\}$$

ينتج، عند تطبيق مسألة الأمثلة المقدمة سابقاً، مصفوفة تحديد مكان العطل كالتالي:

$$LSF = \{0, 0, 1, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0\}$$

نلاحظ أن الخوارزمية حددت وجود عطل آخر عند الجزء رقم 3 وذلك نتيجة تفعيل المؤشر رقم 3، نلاحظ بأنه مهما كان مكان العطل، سيعطي هذا المؤشر إشارة تفعيل، نتيجة ارتفاع التيار فيه عن القيمة الحدية، وبالتالي تحديد خاطئ للعطل بشكل دائم، لذلك كان لابد من تعديل الخوارزمية حتى تستطيع الأخذ بعين الاعتبار وجود وحدات توليد موزع.

سنقدم فيما يلي خوارزمية لتحديد مكان العطل لشبكات التوزيع التي تحوي على وحدات توليد موزع.



الشكل (3_25) شبكة مرجعية_ عطل وحيد بعد إضافة وحدة توليد موزع

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العينية
الفصل الثالث: كشف الأعطال في شبكات التوزيع الكهربائية وتحديد مكانها

1.2.2.3.3. متغيرات مسألة الأمثلة Optimization Problem Variables:

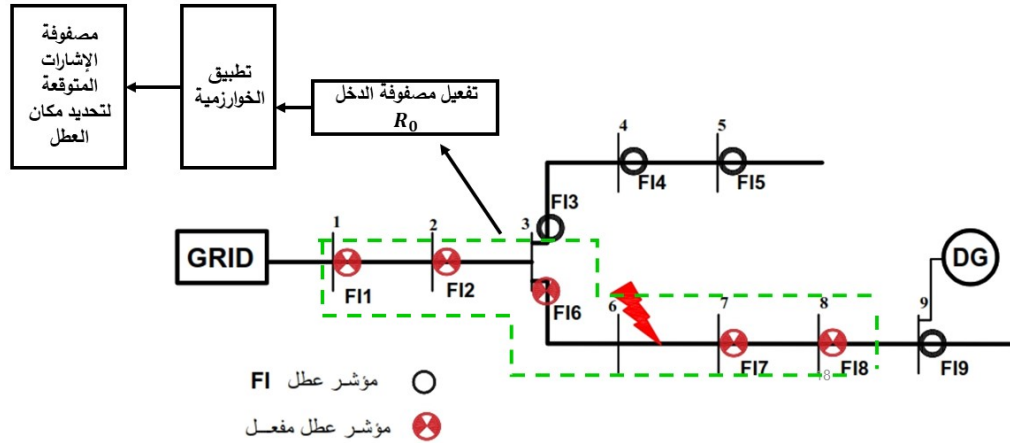
لابد قبل صياغة مسألة تحديد مكان الأعطال في شبكات التوزيع الكهربائية، من اتخاذ بعض الفرضيات من أجل تنظيم المعلومات الواردة إلى مركز التشغيل كما يلي:

- نقوم بداية بتوزيع مؤشرات الأعطال، على طول المغذيات في الشبكة، حيث نضع مؤشر عطل عند كل عقدة.
- نقوم بترميز المنطقة التي تلي مؤشر العطل بالقسم Line Section كما تم سابقاً في الشكل (3_3).

- نفرض وصل وحدة توليد موزع في العقدة رقم 9.

لنفرض حدوث عطل في الشبكة المدروسة في الشكل (3_6) في LS6، سيرتفع التيار على مسار تيار العطل من الشبكة العامة وحتى نقطة العطل، ومن مكان تواجد وحدة التوليد الموزع إلى نقطة العطل، وبذلك يتم تفعيل مؤشرات الأعطال الواقعة على طول هذين المسارين كما في الشكل (3_26) مرسلَةً إشارات تفعيل لمركز التشغيل لتشكيل مصفوفة الدخل R^0 .

سنبين كل متغير من المتغيرات، وفي النهاية كيف يتم ربط الإشارات المتوقعة النهائية R ، مع إشارات الدخل R^0 (Jiang, 2019).



الشكل (3_26) الشبكة التوضيحية مع وجود عطل في LS6

R: تمثل هذه المصفوفة خرج الخوارزمية، وهي مصفوفة شعاعية تأخذ عناصرها القيمة 0 أو 1 وبعدها مساوٍ لعدد مؤشرات حدوث العطل في الشبكة. ترمز هذه المصفوفة إلى المصفوفة المخزنة (المحسوبة من قبل الخوارزمية)

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العيني
 الفصل الثالث: كشف الأعطال في شبكات التوزيع الكهربائية وتحديد مكانها
 والمعبرة عن حالة مؤشرات الأعطال في الشبكة. أي أنها تحدد المؤشرات التي من المفروض أن تكون مفعلة عند حدوث العطل، مهما حوت المصفوفة R_0 على قيم تفعيل خاطئة، أو وهمية.

FAL: مصفوفة شعاعية تأخذ عناصرها القيمة 0 أو 1، وترمز هذه المصفوفة إلى عدد مؤشرات الأعطال التي تعرضت لحالة فشل في العمل (Failure)، حيث تعطي قيمة 1 في حال كان المؤشر يخضع لحالة إخفاق Failure (يعطي المؤشر قيمة 0 على الرغم من وجوده في مسار تيار العطل).

MAL: مصفوفة شعاعية تأخذ عناصرها القيمة 0 أو 1 وترمز لعدد مؤشرات الأعطال التي تعرضت لحالة خلل وظيفي Malfunction، حيث تعطي قيمة 1 في حال كان المؤشر يخضع لحالة خلل وظيفي Malfunction (أي يعطي المؤشر قيمة 1 على الرغم من عدم وجوده في مسار تيار العطل).

LSF: مصفوفة شعاعية تعبر عن خرج الخوارزمية بعد إجراء عملية الأمثلة، وتمثل حالة أجزاء الخط من حيث احتواؤها على عطل أو لا، حيث تعطي 1 في حال كان الجزء معطل، وتعطي 0 في حال كان الجزء من الخط سليم.

P_{FI} و P_{LS} : ترمز لمجموعة أجزاء الخط (LS line section) و مجموعة مؤشرات الأعطال (FI Fault Indicator) في الشبكة المدروسة على التوالي.

2.2.2.3.3. التابع الهدف Objective Function:

يعبر التابع الهدف في شبكات التوزيع التي تحوي وحدات توليد موزع، عن إيجاد القيمة الصغرى لمجموع الإشارات الخاطئة التي يمكن أن تؤثر على عملية تحديد المكان الفعلي للعطل، حيث تعبر الإشارات الخاطئة، عن مجموع الإشارات الناتجة عن حالات فشل العمل لمؤشرات الأعطال في حالتها الإخفاق Failure والخلل الوظيفي Malfunction (Jiang, 2019).

نعبر عن التابع الهدف بالمعادلة:

$$objFun = \min (N_{FAL} + N_{MAL}) \quad (3_45)$$

حيث: N_{Fal} : هي عدد مؤشرات الأعطال التي تعطي قيمة 1 في مصفوفة التخمين R، في حين أنها تعطي قيمة 0 في المصفوفة المتوفرة R_0 من مؤشرات الأعطال بعد حدوث العطل، أي أن مؤشر العطل يقع في مسار تيار العطل، ولكنه فشل في إرسال إشارة لمركز التوزيع.

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العينية

الفصل الثالث: كشف الأعطال في شبكات التوزيع الكهربائية وتحديد مكانها

N_{mal} : هي عدد مؤشرات الأعطال التي تعطي قيمة 0 في مصفوفة التخمين R ، في حين أنها تعطي قيمة

1 في المصفوفة المتوفرة R_0 من مؤشرات الأعطال بعد حدوث العطل، أي أن مؤشرات الأعطال لا تقع على

طول مسار تيار العطل، ومع ذلك فقد أعطت إشارة تفعيل في مركز التوزيع.

3.2.2.3.3 قيود مسألة الأمثلة Constraints of Problem:

(a) القيد المتعلق بتحديد القسم المعطل، ذو الرقم المشابه لرقم مؤشر العطل الموجود على ذلك القسم، حيث

لا بد أن يكون مؤشر العطل المجاور لمنطقة العطل بحالة تفعيل، أي ذو قيمة تساوي الواحد في مصفوفة

إشارات التخمين أي $R_i = 1$ ، لذلك لا بد من أن تكون قيمة الإشارة المخمنة R_i للمؤشر المجاور بشكل

مباشر للعطل، أكبر من القيمة العددية لعنصر المصفوفة LSF_j الذي حدث العطل عنده، نعبر عن هذا

القيد بالمعادلة التالية:

$$R_i \geq LSF_j, j \in P_{LS} \& i \in P_{FI}, i = j \quad (3_46)$$

نستخدم المتحول LSF_j لنرمز لحالة القسم LS_j ، ونستخدم المتحول R_i للرمز لحالة مؤشرات الأعطال

المخمنة من قبل خوارزمية العطل، وتكون قيمة $R_i = 1$ بوجود شرطين:

(1) $LSF_j = 1$ تعني وجود عطل في القسم LS_j .

(2) وجود مؤشر العطل FI_i على طول مسار العطل بين القسم المعطل LS_j ومصدر التوليد بحالة

تفعيل.

حيث: P_{FI} ، P_{LS} عدد كل من FI_s و LS_s على التوالي.

(b) القيد المتعلق بتحديد الحالة المتوقعة لكل مؤشر عطل:

يمكن شرح هذا القيد على الشكل التالي: ليكن لدينا المتغير P_{FI_i} والذي يعبر عن مجموعة

مؤشرات الأعطال الواقعة على طول مسار تيار العطل، بين المؤشر FI_i ومصادر التوليد المتوفرة، سواء

كانت شبكة عامة أو منبع توليد موزع، تكون القيمة المتوقعة لمؤشر معين $R_i = 1$ في حال وجود مؤشر

واحد على الأقل في المجموعة P_{FI_i} قد أعطى إشارة تفعيل لمرور تيار عطل فيه، على سبيل المثال

في الشكل (3_26) يعطي R_{FI6} القيمة 1 في حال كان أحد العناصر $\{R_{FI1}, R_{FI2}, R_{FI7}, R_{FI8}\}$ ،

مساوياً للواحد، وكذلك بالنسبة لباقي المؤشرات، إلى أن نحصل على مصفوفة، تدل على مسار تيار

العطل إلى وحدتي التوليد الموجودة من خلال المصفوفة R . ونعبر عن القيد بالشكل التالي:

$$R_i = R_1 \oplus R_2 \oplus \dots R_l, i \in P_{FI} \quad l \in P_{FI_i} \quad (3_47)$$

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العينية
 الفصل الثالث: كشف الأعطال في شبكات التوزيع الكهربائية وتحديد مكانها
 يجب تحويل القيد السابق بصيغته المنطقية إلى الشكل الخطي بناءً على معادلات التحويل بحيث يمكن
 التعامل معها في بيئة الأمثلة ECLIPS. بالاعتماد على المعادلات (3_31), (3_30) نحصل على:

$$\begin{cases} R_i \leq \sum_{j \in P_{FI_i}} R_j \\ R_i \geq R_j, i \in P_{FI}, j \in P_{FI_i} \end{cases} \quad (3_48)$$

(c) القيد المتعلق بتحديد حالة مؤشرات الأعطال في مركز تشغيل شبكة التوزيع:

تتوفر إشارة تفعيل لمؤشرات الأعطال في مركز التوزيع بحالتين:

1. تحسس مؤشر العطل لمرور تيار العطل فيه أي R_i ، وإرسال إشارة بدون وجود حالة إخفاق Failure أي

نفي FAL_i ، فتصاغ هذه الحالة بالضرب المنطقي بالطريقة التالية $R_i \otimes (\sim FAL_i)$.

2. عدم تحسس مؤشر العطل لتيار العطل أي نفي R_i ، ووقوع حالة خلل وظيفي Malfunction أي MAL_i

، فتصاغ هذه الحالة بالضرب المنطقي بالطريقة التالية $(\sim R_i) \otimes MAL_i$.

وبالتالي يصاغ القيد المعبر عن الشرطين المذكورين بجمعهما ببوابة الجمع المنطقي $\oplus$ كما يلي:

$$R_{0-i} = R_i \otimes (\sim FAL_i) \oplus (\sim R_i) \otimes MAL_i, i \in P_{FI} \quad (3_49)$$

نستخدم المتحول R_0 للرمز لمصفوفة حالة مؤشرات الأعطال المتوفرة في مركز التوزيع، ونستخدم المتحولات

FAL_i و MAL_i للرمز لمصفوفة كل من المؤشرات التي تعرضت لحالة إخفاق Failure و خلل وظيفي

Malfunction للمؤشر i على الترتيب.

لا يمكن التعامل مع المعادلة (3_49) بشكل مباشر فهي تحوي عدة معادلات منطقية، لذلك نلجأ لتقسيم

الجملة المنطقية إلى قسمين، ثم جمعهما بمعادلة منطقية ثالثة كما يلي:

$$L_i^1 = R_i \otimes (\sim FAL_i) \quad (3_50)$$

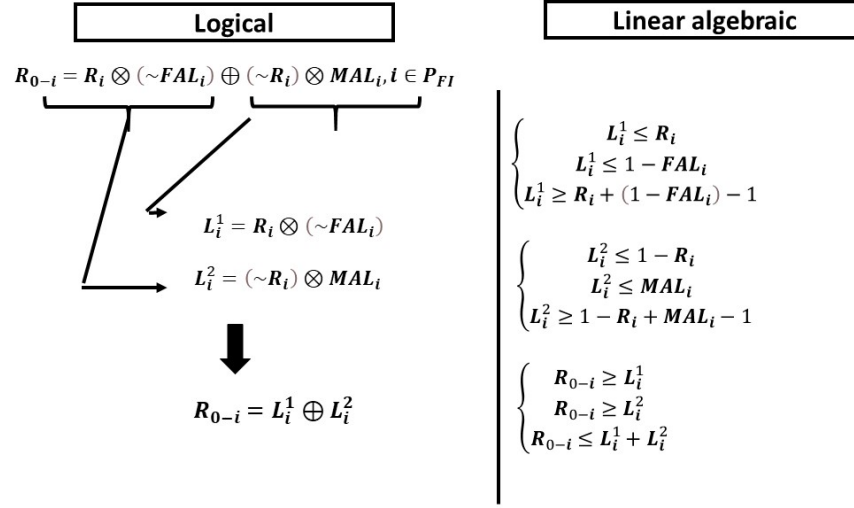
$$L_i^2 = (\sim R_i) \otimes MAL_i \quad (3_51)$$

ثم نطبق معادلات التحويل للشكل الخطي، بالاعتماد على معادلات التحويل من الشكل المنطقي إلى الشكل الخطي

المبينة في الفقرة 4.1.2.3.3 فنحصل على:

$$\begin{cases} L_i^1 \leq R_i, L_i^1 \leq 1 - FAL_i \\ L_i^1 \geq R_i + (1 - FAL_i) - 1 \\ L_i^2 \leq 1 - R_i, L_i^2 \leq MAL_i \\ L_i^2 \geq 1 - R_i + MAL_i - 1 \\ R_{0-i} \geq L_i^1, R_{0-i} \geq L_i^2 \\ R_{0-i} \leq L_i^1 + L_i^2 \end{cases} \quad (3_52)$$

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العينية
 الفصل الثالث: كشف الأعطال في شبكات التوزيع الكهربائية وتحديد مكانها
 يوضح الشكل التالي عملية التجزئة للمعادلة المنطقية والمرادف الخطي لكل جزء من المعادلة المنطقية.



الشكل (3_27) تجزئة المعادلة المنطقية (3_49)

(d) القيد المتعلق بحساب عدد مؤشرات الأعطال التي تعرضت لحالة إخفاق في العمل Failure:

حيث نرمز لعدد مؤشرات الأعطال التي تعرضت لحالة إخفاق في العمل بالرمز $N_{failure}$ ،
 ويصاغ قيد حساب عدد هذه المؤشرات بالاستعانة بتابع الجمع على الشكل:

$$N_{failure} = \sum_{i \in P_{FI}} \text{FAL}_i \quad (3_53)$$

(e) القيد المتعلق بحساب عدد مؤشرات الأعطال التي تعرضت لخلل وظيفي Malfunction:

حيث نرمز لعدد مؤشرات الأعطال التي تعرضت لحالة خلل وظيفي بالرمز $N_{malfunction}$ ،
 ويصاغ قيد حساب عدد هذه المؤشرات بالاستعانة بتابع الجمع على الشكل:

$$N_{malfunction} = \sum_{i \in P_{FI}} \text{MAL}_i \quad (3_54)$$

(f) القيد المتعلق بتحديد مكان عدة أعطال:

تستطيع هذه الخوارزمية تحديد مكان أكثر من عطل، في فروع مختلفة، لكن، لا يكفي من أجل هذا الغرض التعامل فقط مع حالة مؤشرات الأعطال، لذلك نفترض P_{LS_i} هي مجموع الأجزاء من الخط الواقعة في منطقة upstream للجزء i . يبين هذا القيد بأنه لا يمكن حدوث عطلين على نفس مسار تيار العطل، بمعنى لا يمكن حدوث عطلين في موقعين مختلفين، وتعمل نفس مؤشرات الأعطال بنفس الوقت في الحالتين. تجمع هذه العلاقة المنطقية عن طريق تطبيق بوابة AND، وبالتالي يصاغ هذا القيد كما يلي:

$$\text{LSF}_i \otimes \text{LSF}_{j \in P_{LS_i}} = 0, i \in P_{LS} \quad (3_55)$$

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العينية
الفصل الثالث: كشف الأعطال في شبكات التوزيع الكهربائية وتحديد مكانها

للتحويل للشكل الخطي نطبق معادلات التحويل الخطي فنجد:

$$LSF_i + LSF_{j \in P_{LS_i}} \leq 1 \quad (3_56)$$

(g) القيود المتعلقة بمنطقية المتحولات:

يمكن ملاحظة عدم الوصول لحالة منطقية في بعض الحالات للمتحويلات في مسألة الأمثلة، فعلى سبيل المثال، لا يمكن لأي مؤشر عطل من أن يخضع لحالتي إخفاق Failure وخلل وظيفي Malfunction معاً أي $MAL_i \otimes FAL_i$ ، أو حالة وقوع مؤشر العطل على طول مسار تيار العطل، وخضوعه لحالة خلل وظيفي Malfunction أي $R_i \otimes MAL_i$ ، أو حالة عدم وقوع مؤشر العطل على مسار تيار العطل وخضوعه لحالة إخفاق في العمل Failure أي $\sim R_i \otimes FAL_i$.

تعتبر المتحولات في هذه الحالة غير مجدية وغير منطقية، حيث تتعارض مع الواقع، لذلك تم وضع قيد لتجنب مثل هذه الحالات كما يلي:

$$R_i \otimes MAL_i = 0 \quad (3_57)$$

$$\sim R_i \otimes FAL_i = 0 \quad (3_58)$$

$$MAL_i \otimes FAL_i = 0 \quad (3_59)$$

حيث: $i \in P_{FI}$ ، للتحويل للشكل الخطي نطبق معادلات التحويل الخطي فنجد:

$$\begin{cases} R_i + MAL_i \leq 1 \\ 1 - R_i + FAL_i \leq 1 \\ MAL_i + FAL_i \leq 1 \end{cases} \quad (3_60)$$

تمت برمجة مسألة الأمثلة، بما فيها التابع الهدف والقيود كاملة لتحديد منطقة العطل، باستخدام لغة JAVA، وتم استخدام البيئة البرمجية eclipse-java-2022-03-R في كتابة التعليمات البرمجية المعبرة عن مسألة الأمثلة، وذلك بعد استدعاء مكتبات الأمثلة CPLEX.

يبين الشكل (3_28) المخطط الانسيابي المقترح للخوارزمية مع وجود توليد موزع.

4.2.2.3.3 دراسة حالة (شبكة مرجعية IEEE-13nodes)

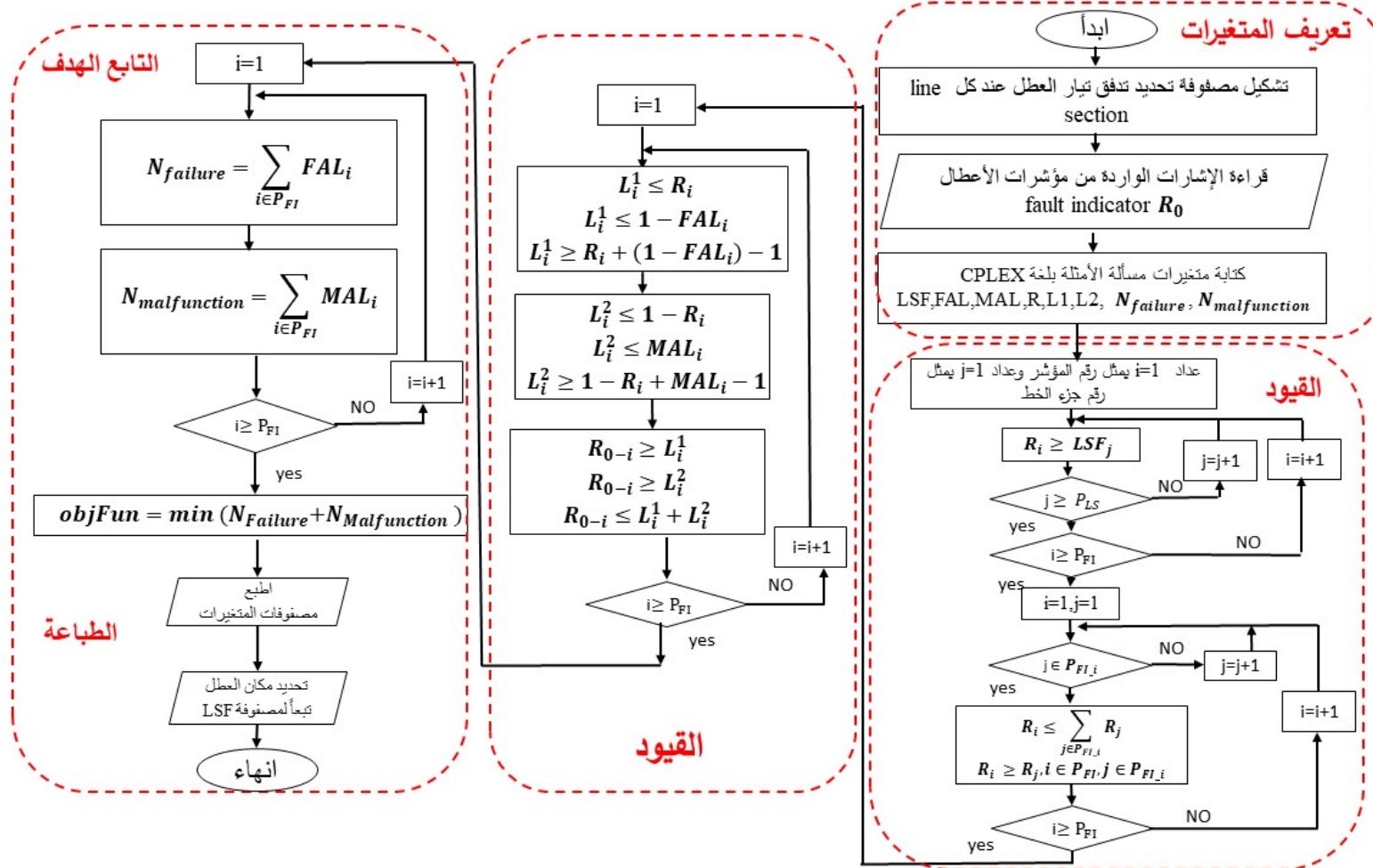
سنطبق بعض الأمثلة على الشبكة المرجعية IEEE-13nodes المبينة في الشكل (3_25).

سندرج بعض الأمثلة لنبين قدرة الخوارزمية على تحديد مكان العطل بوجود سيناريوهات مختلفة.

A. سيناريو 1:

عند حدوث العطل المبين في الشكل (3_29) سترد مصفوفة الدخل إلى مركز التشغيل كما يلي:

الفصل الثالث: كشف الأعطال في شبكات التوزيع الكهربائية وتحديد مكانها



الشكل (3_28) المخطط الانسيابي المقترح لخوارزمية تحديد مكان العطل في شبكات التوزيع مع وجود وحدات توليد موزع

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العيني
الفصل الثالث: كشف الأعطال في شبكات التوزيع الكهربائية وتحديد مكانها

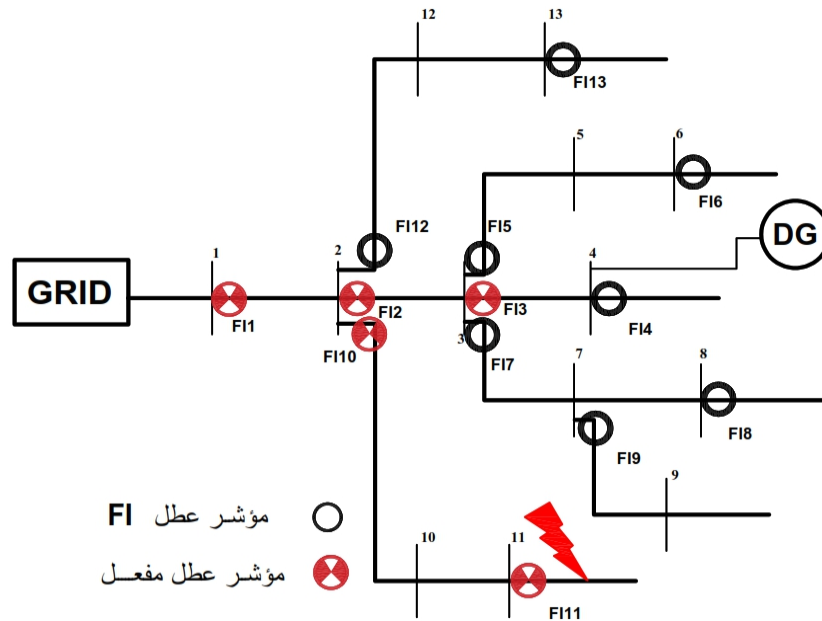
$$R_0 = \{1, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 0, 0\}$$

وعند تطبيق الخوارزمية في بيئة البرمجة، نحصل على قيمة كافة المتغيرات المشكّلة من قبل البرنامج المنجز بلغة الجافا المبينة في الجدول (3_5):

الجدول (3_5) قيم مصفوفات المتغيرات للعطل المبين في الشكل (3_29) والمحسوبة عن طريق البرنامج المقترح

Node N.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
FAL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MAL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
R	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
LSF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0

تملك المصفوفة FAL في هذا المثال القيمة 0 لكل عناصرها، ذلك لأن مؤشرات الأعطال عملت بشكل مثالي. في حال فشل المؤشر الثاني مثلاً من إعطاء إشارة، عندئذ ستحتوي المصفوفة FAL على القيمة 1 مكان ترتيب المؤشر المعطل. ينطبق الأمر ذاته على المصفوفة MAL. حيث تملك جميع عناصرها القيمة 0، في هذا المثال، لأن مؤشرات الأعطال عملت بشكل مثالي. أما في حالة حصول خلل وظيفي في المؤشر التاسع مثلاً وتلقي إشارة منه في مركز التشغيل، ستتغير قيمة عنصر المصفوفة MAL الموافق للمؤشر المعطوب من القيمة 0 إلى القيمة (1).



الشكل (3_29) شبكة مرجعية - حالة وجود عطل وحيد عند LS11 مع وجود وحدة توليد موزع

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العينية
 الفصل الثالث: كشف الأعطال في شبكات التوزيع الكهربائية وتحديد مكانها
 ونلاحظ أن المصفوفة R_0 هي نفس المصفوفة R ، أي أن مصفوفة الإشارات التي تم تلقيها هي نفسها
 مصفوفة الإشارات المخزنة من قبل خوارزمية تحديد مكان العطل، لأنها حالة عمل مثالية، وبالتالي جميع المؤشرات
 التي قد مر فيها تيار العطل أعطت إشارة تفعيل، كما أن جميع المؤشرات التي لم يمر فيها تيار العطل لم تعطي
 إشارة تفعيل، يبين الشكل (30_3) نتائج تطبيق مسألة الأمثلة مباشرة في بيئة ECLIPS.

```

Probing time = 0.00 sec.
Presolve time = 0.00 sec.
Clique table members: 35.
MIP emphasis: balance optimality and feasibility.
Root relaxation solution time = 0.00 sec.
Obj fun = 0

n =1 ,2 ,3 ,4 ,5 ,6 ,7 ,8 ,9 ,10,11,12,13,
R0 =1 ,1 ,1 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,1 ,1 ,0 ,0 ,
R =1 ,1 ,1 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,1 ,1 ,0 ,0 ,

FAL =0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,
MAL =0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,
LSF =0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,1 ,0 ,0 ,

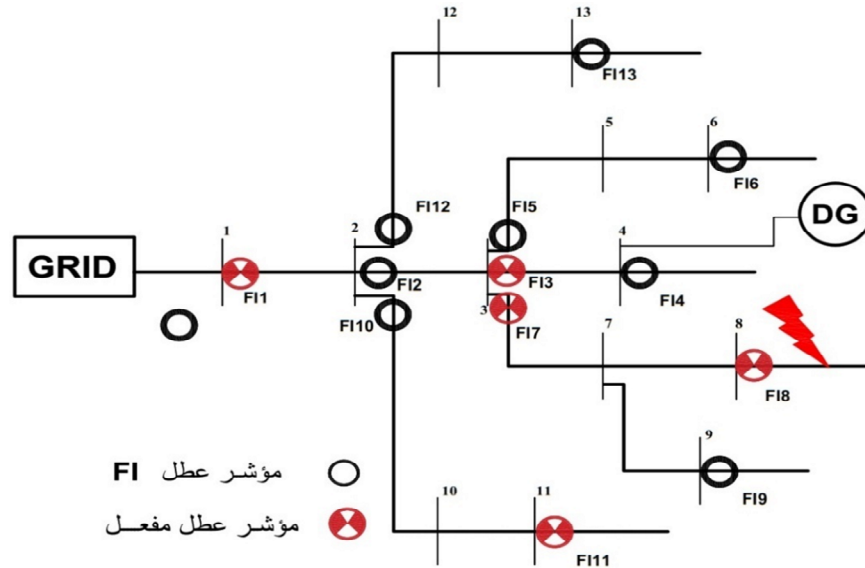
```

الشكل (30_3) خرج خوارزمية تحديد مكان العطل والنتائج عن تطبيق البرنامج المنجز في بيئة ECLIPS للعطل المبين في الشكل (29_3)

B. سيناريو 2:

وفي حال حدوث العطل عند LS8 كما في الشكل (31_3)، وافترض وجود إشارات خاطئة، وذلك عند المؤشر رقم 2 بحالة Failure وعند المؤشر رقم 11 بحالة Malfunction، فتكون مصفوفة الدخل:

$$R_0 = \{1, 0, 1, 0, 0, 0, 1, 1, 0, 0, 1, 0, 0\}$$



الشكل (31_3) شبكة مرجعية حالة حدوث عطل عند LS8 بوجود وحدة توليد موزع، ووجود إشارتين خاطئتين عند المؤشرات

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العينية
الفصل الثالث: كشف الأعطال في شبكات التوزيع الكهربائية وتحديد مكانها

وعند تطبيق الخوارزمية ينتج لدينا الجدول (3_6):

الجدول (3_6) قيم مصفوفات المتغيرات للعطل المبين في الشكل (3_31) والمحسوبة عن طريق البرنامج المقترح

Node N.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
FAL	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MAL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
R	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
LSF	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0

نلاحظ من مصفوفات خرج الخوارزمية، بأنه قد تم تقدير العطل بالشكل الصحيح، حيث أعطت المصفوفة R قيمة (1) للمؤشرات على طول مسار تيار العطل $FI_{(1 \rightarrow 3)}$ و $FI_{(7,8)}$ ، على الرغم من اختلاف هذه المصفوفة عن المصفوفة R_0 المعبرة عن الإشارات الحقيقية مع وجود أخطاء، بالإضافة لتحديد المؤشرات ذات الإشارة الخاطئة، حيث نلاحظ من مصفوفة FAL المعبرة عن المؤشرات التي تعرضت لحالة إخفاق Failure قد أعطت قيمة 1 عند $FI_{(2)}$ ، ونلاحظ من المصفوفة MAL المعبرة عن المؤشرات التي تعرضت لحالة خلل وظيفي Malfunction، قد أعطت قيمة 1 عند FI_{11} كما أعطت مصفوفة تحديد مكان العطل تقديراً جيداً لتحديد مكان العطل في المصفوفة LSF حيث أعطت قيمة 1 عند LS_8 .

يبين الشكل (3_32) نتائج تطبيق مسألة الأمثلة بشكل مباشر في بيئة الأمثلة ECLIPS.

```

Console × Problems Debug Shell Coverage
<terminated> ieee_28_matlab_DIFFERENT_SYMBOL [Java Applicati
Probing fixed 0 vars, tightened 5 bounds.
Probing time = 0.01 sec.
Presolve time = 0.01 sec.
Clique table members: 10.
MIP emphasis: balance optimality and feasibility.
Root relaxation solution time = 0.00 sec.
Obj fun = 2

n =1 ,2 ,3 ,4 ,5 ,6 ,7 ,8 ,9 ,10,11,12,13,
R0 =1 ,0 ,1 ,0 ,0 ,0 ,1 ,1 ,0 ,0 ,1 ,0 ,0 ,
R =1 ,1 ,1 ,0 ,0 ,0 ,1 ,1 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,
FAL =0 ,1 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,
MAL =0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,1 ,0 ,0 ,
LSF =0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,1 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,

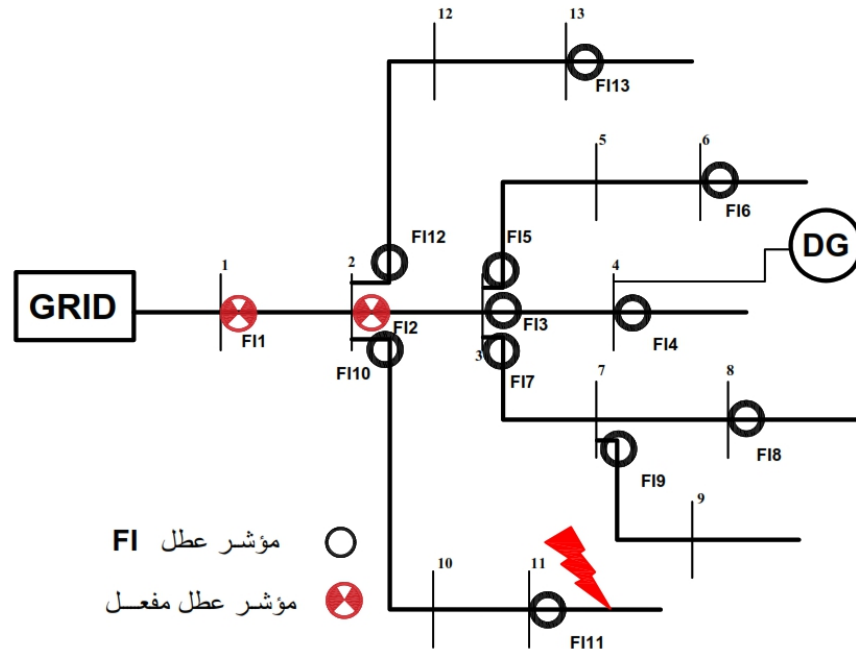
```

الشكل (3_32) خرج خوارزمية تحديد مكان العطل والنتائج عن تطبيق البرنامج المنجز في بيئة ECLIPS للعطل المبين في الشكل (3_31)

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العينية

الفصل الثالث: كشف الأعطال في شبكات التوزيع الكهربائية وتحديد مكانها

من خلال ما تم شرحه، يتبين اعتماد هذه الطريقة في تطبيق مسألة الأمثلة الخطية، على البيانات التي قد تم جمعها من مؤشرات الأعطال فقط، نتيجة لذلك يلعب عدد المؤشرات التي تخضع لحالة خلل وظيفي Malfunction أو إخفاق Failure دورا كبيرا في تحديد مكان العطل، وستتخذ الخوارزمية قدرتها على تحديد مكان العطل، في حال كان عدد المؤشرات التي فشلت بتقدير تيار العطل أكبر من المؤشرات التي تعمل بشكلها الصحيح. على سبيل المثال، كما تظهر الشبكة المبينة في الشكل (3_33)، حدث عطل في LS_{11} ، ولكن فشلت مؤشرات الأعطال $FI_{(3,10,11)}$ بإعطاء إشارة عطل وهي حالات إخفاق Failure، وهي 3 إشارات خاطئة، وبما أن التابع الهدف هو تقليل الإشارات الخاطئة، بالتالي فإن الخوارزمية ستعتبر أن العطل قد حدث في LS_1 وأن FI_3 قد فشل بإعطاء إشارة العطل وتعرض لحالة فشل في العمل Failure.



الشكل (3_33) شبكة مرجعية_ حالة عطل في LS_{11} ، وعدد المؤشرات التي فشلت في إعطاء إشارة عطل أكثر من عدد المؤشرات التي قد عملت بشكل صحيح

```
MIP emphasis: balance optimality and feasibility.
Root relaxation solution time = 0.00 sec.
Obj fun = 1

n =1 ,2 ,3 ,4 ,5 ,6 ,7 ,8 ,9 ,10,11,12,13,
R0 =1 ,1 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,
R =1 ,1 ,1 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,

FAL =0 ,0 ,1 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,
MAL =0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,
LSF =1 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,
```

الشكل (3_34) خرج خوارزمية تحديد مكان العطل والناتج عن تطبيق البرنامج المنجز في بيئة ECLIPS للعطل المبين في الشكل (3_33)

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العبيد
الفصل الثالث: كشف الأعطال في شبكات التوزيع الكهربائية وتحديد مكانها

3.2.3.3. النموذج الرياضي لتحديد مكان العطل في الشبكات الشعاعية مع وجود وحدات توليد موزع بوجود

The Mathematical Model for Fault Location in Radial Networks (عنصر اتجاهي)

(with Distributed Generation Units Considering a Directional Element)

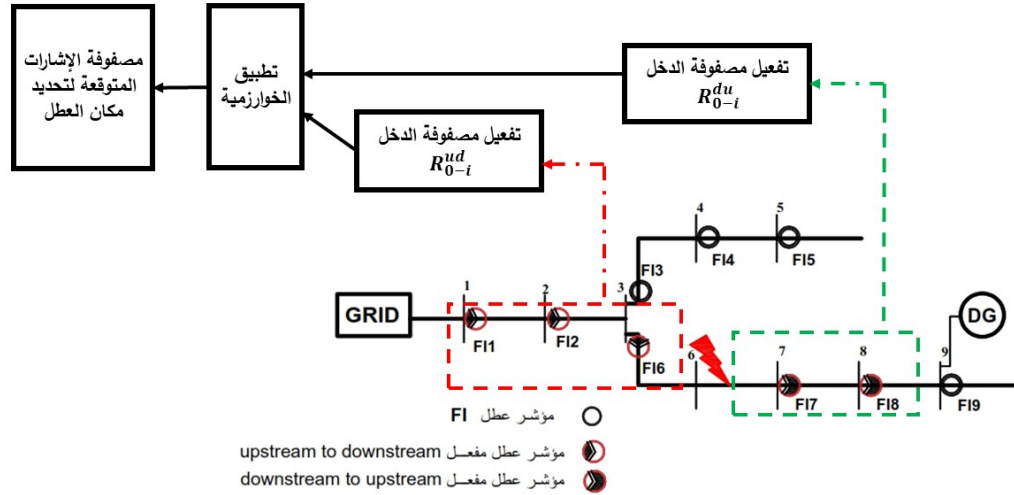
نلاحظ مما سبق أن الخوارزمية المقترحة ذات قدرة محدودة، على تحديد مكان الأعطال الواقعة على الخط الواصل بين منابع التغذية الكهربائية، بسبب تغذية العطل من اتجاهين. لذلك تم الاتجاه إلى تدعيم الخوارزمية بتعديل مصفوفة الدخل R_0 بحيث تدل على اتجاه حدوث العطل بالنسبة لكل مؤشر عطل. يتم ذلك بإضافة عنصر يتحسس لاتجاه حدوث العطل في بنية كل مؤشر عطل. بالتالي كان لابد من تعديل الخوارزمية بتعديل متحولات الدخل والقيود مع المحافظة على بنية التابع الهدف.

1.3.2.3.3. متغيرات مسألة الأمثلة Optimization Problem Variables:

تملك مسألة الأمثلة لتحديد مكان العطل في شبكات التوزيع باستخدام مؤشرات أعطال ذات عنصر اتجاهي

(Jiang, 2020) على المتغيرات $(S_{RFI_i}^{up}, FAL_{ud}, FAL_{du}, MAL_{ud}, MAL_{du}, R_{ud}, R_{du}, LSF)$

$(S_{RFI_i}^{down})$. حيث سنعمل على إدراج مثال بسيط للتوضيح، على الشبكة البسيطة المبينة في الشكل (3_36).



الشكل (3_36) الشبكة التوضيحية مع وجود عطل في LS6

نقوم بدايةً بتوزيع مؤشرات الأعطال، على طول المغذيات في الشبكة، حيث نضع مؤشر عطل عند كل عقدة، ونقوم بترميز المنطقة التي تلي مؤشر العطل بالقسم Line Section.

لنفرض حدوث عطل في LS6، سيرتفع التيار على مسار تيار العطل من الشبكة العامة وحتى نقطة العطل، وكذلك الأمر من وحدة التوليد الموزع إلى نقطة العطل، وبذلك يتم تفعيل مؤشرات الأعطال الواقعة على طول هذين المسارين مرسلةً إشارات تفعيل لمركز التشغيل لتشكل مصفوفات الدخل.

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العبينه
 الفصل الثالث: كشف الأعطال في شبكات التوزيع الكهربائية وتحديد مكانها
 اعتمدنا على هذا المبدأ في تعديل مصفوفة دخل الخوارزمية إلى مصفوفتين متشابهتي البعد والترقيم لمؤشرات
 الأعطال. يتم تعريف مصفوفتي الدخل على الشكل التالي:

R_0^{ud} هي مصفوفة دخل مؤشرات الأعطال التي يتدفق فيها تيار العطل من جهة upstream إلى downstream أي أن تدفق الاستطاعة متجه من الشبكة العامة إلى نقطة العطل.

R_0^{du} هي مصفوفة دخل مؤشرات الأعطال التي يتدفق فيها تيار العطل من جهة downstream إلى upstream، أي أن تدفق الاستطاعة متجه من وحدة التوليد الموزع إلى نقطة العطل.

سنبين قيمة كل متغير من المتغيرات وفي النهاية كيف تربط الإشارات المتوقعة النهائية R^{du} و R^{ud} مع إشارات الدخل R_0^{du} و R_0^{ud} .

R^{ud} : مصفوفة شعاعية تأخذ القيم (0 أو 1) ترمز للقيمة المتوقعة الصحيحة لمؤشرات الأعطال، والتي يتدفق فيها تيار العطل من جهة upstream إلى downstream أي أن تدفق الاستطاعة متجه من الشبكة العامة إلى نقطة العطل وهي تمثل خرج الخوارزمية.

R^{du} : مصفوفة شعاعية تأخذ القيم (0 أو 1) ترمز للقيمة المتوقعة الصحيحة لمؤشرات الأعطال، والتي يتدفق فيها تيار العطل من جهة downstream إلى upstream، أي أن تدفق الاستطاعة متجه من وحدة التوليد الموزع إلى نقطة العطل وهي تمثل خرج الخوارزمية.

FAL_i^{du} و FAL_i^{ud} : مصفوفتين شعاعيتين تأخذان القيم (0 أو 1)، وتمثلان مصفوفتي حالة مؤشرات الأعطال التي قد خضعت لحالة إخفاق Failure سواء كان الإخفاق من جهة الشبكة العامة أو من جهة وحدة التوليد الموزع، حيث تعطي قيمة 1 في حال كان المؤشر يخضع لحالة إخفاق Failure (أي يعطي المؤشر قيمة 0 على الرغم من وجوده في مسار تيار العطل)، و 0 في حالة عكس ذلك.

MAL_i^{du} و MAL_i^{ud} : مصفوفتين شعاعيتين تأخذان القيم (0 أو 1)، تمثلان مصفوفتي حالة مؤشرات الأعطال التي قد خضعت لحالة خلل وظيفي Malfunction سواء كان الإخفاق من جهة الشبكة العامة أو من جهة وحدة التوليد الموزع، حيث تعطي قيمة 1 في حال كان المؤشر يخضع لحالة خلل وظيفي Malfunction (أي يعطي المؤشر قيمة 1 على الرغم من عدم وجوده في مسار تيار العطل)، و 0 في حالة عكس ذلك.

LSF_i : مصفوفة شعاعية تأخذ القيم (0 أو 1)، تعبر عن خرج الخوارزمية بعد إجراء عملية الأمثلة، وتمثل حالة أجزاء الخط من حيث احتواؤها على عطل أو لا، حيث تعطي 1 في حال كان الجزء معطل، وتعطي 0 في حال كان الجزء من الخط سليم.

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العينية
 الفصل الثالث: كشف الأعطال في شبكات التوزيع الكهربائية وتحديد مكانها
 $S_{RFI_i}^{down}$ و $S_{RFI_i}^{up}$: ترمز لمجموعة أجزاء الخط (LS line section) الواقعة في منطقة upstream بالنسبة
 لمؤشر العطل i أي باتجاه الشبكة العامة، والواقعة في منطقة downstream بالنسبة للمؤشر i أي باتجاه وحدة
 التوليد الموزع على التوالي.

2.3.2.3.3. التابع الهدف Objective Function:

يُخصّص التابع الهدف، بأنه تصغير مجموع الإشارات الخاطئة، التي يمكن أن تؤثر على عملية تحديد المكان
 الفعلي للعطل (Jiang, 2020). حيث تعبر الإشارات الخاطئة، عن مجموع الإشارات الناتجة عن حالات فشل
 العمل لمؤشرات الأعطال في حالتها الإخفاق Failure والخلل الوظيفي Malfunction. نعبر عن التابع
 الهدف بالمعادلة:

$$objFun = \min (N_{FAL} + N_{MAL}) \quad (3_61)$$

تعبر N_{FAL} عن مجموع عدد مؤشرات الأعطال التي تعطي قيمة 1 في مصفوفات التخمين R_{ud}, R_{du}
 في حين أنها كانت تعطي قيمة 0 في المصفوفات المتوفرة R_0^{du} و R_0^{ud} من مؤشرات الأعطال بعد حدوث
 العطل، أي أن مؤشر العطل يقع في مسار تيار العطل، ولكنه فشل في إرسال إشارة لمركز التوزيع.
 بينما تعبر N_{MAL} عن مجموع عدد مؤشرات الأعطال التي تعطي قيمة 0 في مصفوفات التخمين R_{ud}, R_{du}
 في حين أنها كانت تعطي قيمة 1 في المصفوفات المتوفرة R_0^{du} و R_0^{ud} من مؤشرات الأعطال بعد حدوث
 العطل، أي أن مؤشرات الأعطال لا تقع على طول مسار تيار العطل، ومع ذلك فقد أعطت إشارة تفعيل في مركز
 التوزيع.

3.3.2.3.3. قيود مسألة الأمثلة Constraints of Problem:

(a) القيود المنطقية لتحديد فيما إذا كان مؤشر العطل في منطقة upstream أو downstream بالنسبة للعطل:
 نستخدم المتحولات $R_i^{du_dir}$ و $R_i^{ud_dir}$ للتعبير عن اتجاه تيار العطل المتدفق من خلال مؤشر العطل
 فيما إذا كان من منطقة ال upstream إلى downstream مثل $R_i^{ud_dir}$ ، أو العكس مثل $R_i^{du_dir}$ ، وبمعنى
 آخر أن تيار العطل يتجه من الشبكة العامة إلى العطل، أم من وحدة التوليد الموزع باتجاه العطل، وهذه المتحولات
 عبارة عن مصفوفتي الإشارات المخزنة من قبل الخوارزمية أي أنها خرج للخوارزمية بعد تطبيق الخوارزمية على
 مصفوفتي الدخل R_{0-i}^{du} و R_{0-i}^{ud} .

لنفرض استخدام $S_{RFI_i}^{down}$ و $S_{RFI_i}^{up}$ للتعبير عن مجموع أجزاء الخط LS_s في منطقة upstream و
 downstream لمؤشر العطل FI_i على التوالي، حيث عند تفعيل مؤشر العطل FI_i بعد حدوث عطل معين،

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العينية

الفصل الثالث: كشف الأعطال في شبكات التوزيع الكهربائية وتحديد مكانها

سيتوقع أن تكون $R_i^{ud_dir} = 1$ ، عندما يتدفق التيار خلال مؤشر العطل i من منطقة upstream إلى downstream، والعطل في أحد الأجزاء الموجود في منطقة ال downstream منه، وفي باقي الحالات $R_i^{ud_dir} = 0$ ويُتوقع أن تكون $R_i^{du_dir} = 1$ عندما يتدفق التيار خلال مؤشر العطل i من منطقة downstream إلى upstream، والعطل في أحد الأجزاء الموجود في منطقة ال upstream منه ، وفي باقي الحالات $R_i^{du_dir} = 0$.

M: هو أكبر عدد أعطال من الممكن حدوثه.

وبالتالي يصاغ هذا القيد كمعادلة المنطقية التالية:

$$\begin{cases} R_i^{ud_dir} = LSF_1 \cup LSF_2 \cup \dots \cup LSF_j \\ R_i^{du_dir} = LSF_1 \cup LSF_2 \cup \dots \cup LSF_k \\ j \in S_{RFI_i}^{down}, k \in S_{RFI_i}^{up} \end{cases} \quad (3_62)$$

يتم تحويل المعادلات المنطقية إلى الصيغة الخطية حتى يسهل التعامل معها، عن طريق معادلات التحويل

فنجذ:

$$\begin{cases} R_i^{ud_dir} = LSF_1 \cup LSF_2 \cup \dots \cup LSF_j \\ R_i^{du_dir} = LSF_1 \cup LSF_2 \cup \dots \cup LSF_k \\ j \in S_{RFI_i}^{down}, k \in S_{RFI_i}^{up} \end{cases} \rightarrow \begin{cases} M * R_i^{ud_dir} \geq \sum_{j \in S_{RFI_i}^{down}} LSF_j \\ R_i^{ud_dir} \leq \sum_{j \in S_{RFI_i}^{down}} LSF_j \\ M * R_i^{du_dir} \geq \sum_{k \in S_{RFI_i}^{up}} LSF_k \\ R_i^{du_dir} \leq \sum_{k \in S_{RFI_i}^{up}} LSF_k \end{cases} \quad (3_63)$$

(b) القيود التي تربط بين الإشارات الواردة من مؤشرات الأعطال في مركز التشغيل والإشارات المخزنة فيه بعد

تطبيق الخوارزمية:

إن دخل الخوارزمية عبارة عن مصفوفتين، يتشكلان نتيجة الإشارات الواردة من مؤشرات الأعطال إلى مركز التشغيل، وهما المصفوفتان R_{0-i}^{du} و R_{0-i}^{ud} حيث تكون $R_{0-i}^{ud} = 1$ في حال تدفق التيار من خلال مؤشر العطل i من الشبكة العامة، وفي ماعدا ذلك $R_{0-i}^{ud} = 0$ ، وتكون $R_{0-i}^{du} = 1$ عند تدفق التيار في المؤشر المدروس، من وحدة التوليد الموزع وفي ماعدا ذلك $R_{0-i}^{du} = 0$.

منطقياً عندما تصل إشارة تفعيل إلى مركز التشغيل من مؤشر عطل معين، هذا يحتمل إما أن تكون الإشارة صحيحة في الواقع ولا يوجد حالة Failure أي $(\sim FAL_i^{ud}) \otimes R_i^{ud}$ ، وإما لا توجد إشارة في الواقع ولكن توجد حالة Malfunction أي $MAL_i^{ud} \otimes (\sim R_i^{ud})$.

يتم جمع هذين الشرطين عن طريق بوابة OR لتشكيل معادلة منطقية كما في التالي:

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العينية
الفصل الثالث: كشف الأعطال في شبكات التوزيع الكهربائية وتحديد مكانها

$$R_{0-i}^{ud} = R_i^{ud} \otimes (\sim FAL_i^{ud}) \oplus (\sim R_i^{ud}) \otimes MAL_i^{ud}, i \in P_{FI} \quad (3_64)$$

حيث P_{FI} هي مجموعة مؤشرات الأعطال الموجودة في الشبكة المدروسة.

تحتوي هذه المعادلة المنطقية على عدة بوابات منطقية، وبالتالي لا يمكن التعامل معها كمسألة خطية

بشكل مباشر، لذلك يتم تقسيمها لمعادلتين منطقيتين L^{1-ud}_{dir} و L^{2-ud}_{dir} :

$$L_i^{1-ud} = R_i^{ud} \otimes (\sim FAL_i^{ud}) \quad (3_65)$$

$$L_i^{2-ud} = (\sim R_i^{ud}) \otimes MAL_i^{ud} \quad (3_66)$$

$$R_{0-i}^{ud} = L_i^{1-ud} \oplus L_i^{2-ud} \quad (3_67)$$

ثم يتم تحويلها لمعادلات خطية بناءً على معادلات التحويل من الجبر المنطقي إلى الجبر الخطي:

$$\begin{cases} L_i^{1-ud} \leq R_i^{ud} \\ L_i^{1-ud} \leq 1 - FAL_i^{ud} \\ L_i^{1-ud} \geq R_i^{ud} + (1 - FAL_i^{ud}) - 1 \end{cases} \quad (3_68)$$

$$\begin{cases} L_i^{2-ud} \leq 1 - R_i^{ud} \\ L_i^{2-ud} \leq MAL_i^{ud} \\ L_i^{2-ud} \geq 1 - R_i^{ud} + MAL_i^{ud} - 1 \end{cases} \quad (3_69)$$

$$\begin{cases} R_{0-i}^{ud} \geq L_i^{1-ud} \\ R_{0-i}^{ud} \geq L_i^{2-ud} \\ R_{0-i}^{ud} \leq L_i^{1-ud} + L_i^{2-ud} \end{cases} \quad (3_70)$$

يبين الشكل (3_38) طريقة التحويل من الجبر المنطقي إلى الجبر الخطي حيث لدينا على سبيل

المثال المعادلة (3_67) ذات العلاقة المنطقية AND ، والتي تشرح بشكل مبسط بأنه حتى يكون $L_i^{1-ud} = 1$

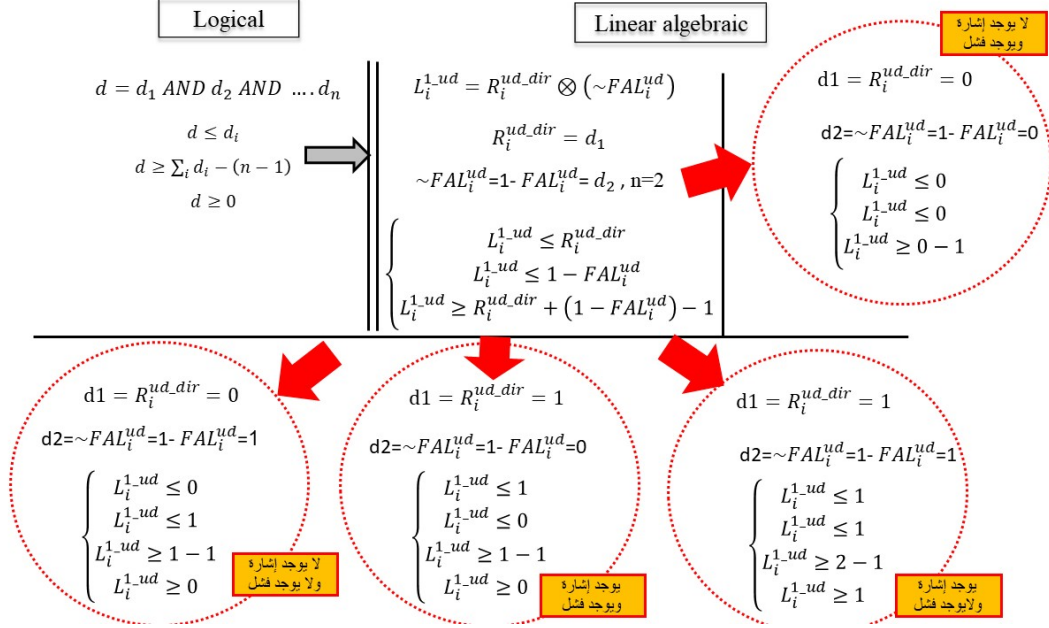
يجب أن يكون $R_i^{ud} = 1$ و $(1 - FAL_i^{ud}) = 1$ وفي حال أحدهما 0 سيكون الخرج $L_i^{1-ud} = 0$ وقد تم

شرح ذلك بشكل مفصل في الشكل (3_37) ، وكذلك المعادلة (3_68) التي تحوي على علاقة منطقية AND.

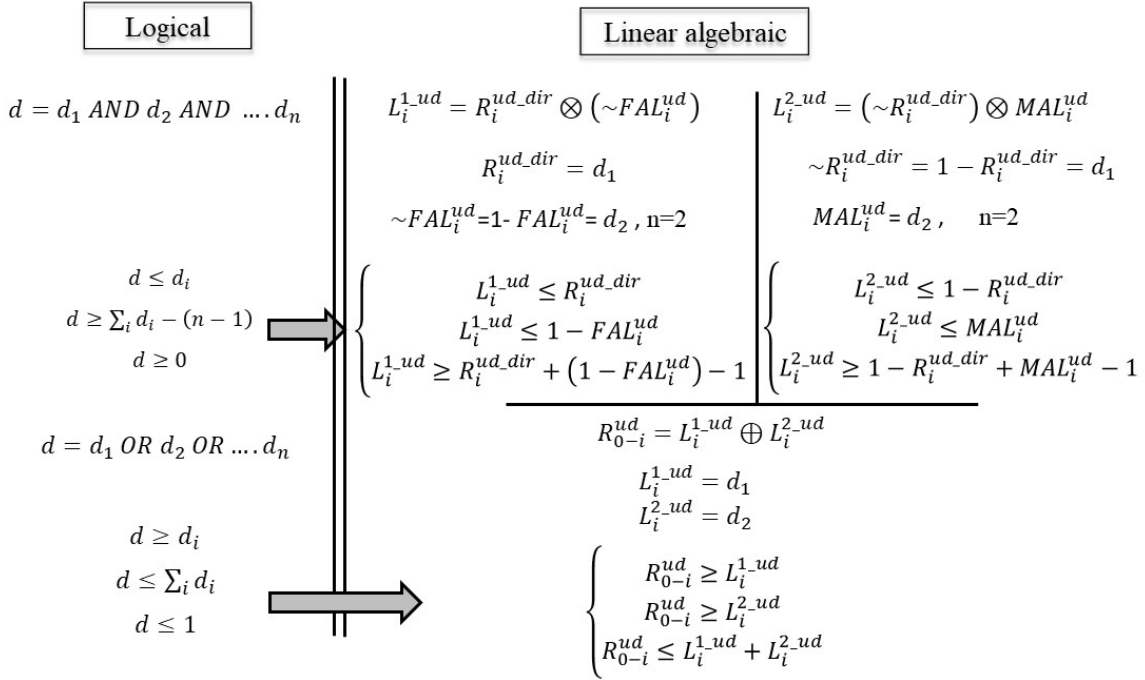
أما بالنسبة للعلاقة (3_69) والتي تحوي على معادلة منطقية OR والتي تشرح بشكل مبسط بأن

$R_{0-i}^{ud} = 1$ في حال كانت إحدى المركبتين مساوية للواحد أي إما $L_i^{1-ud} = 1$ أو $L_i^{2-ud} = 1$.

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م. ندى العينية
الفصل الثالث: كشف الأعطال في شبكات التوزيع الكهربائية وتحديد مكانها



الشكل (37_3) تحويل المعادلة (37_67) للشكل الخطي



الشكل (38_3) تجزئة المعادلة المنطقية (38_66) وتحويلها للشكل الخطي

ويتم تطبيق نفس المعادلات المنطقية والمعادلات الخطية، بالنسبة لربط إشارات الدخل مع الإشارات المخزنة بالنسبة للاتجاه المعاكس downstream إلى upstream.

(c) القيد المنطقي لتحديد حالة Failure و Malfunction لمؤشرات الأعطال:

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العبيد

الفصل الثالث: كشف الأعطال في شبكات التوزيع الكهربائية وتحديد مكانها

يمكن أن تتعرض مؤشرات الأعطال، التي يتدفق التيار فيها من الشبكة العامة إلى نقطة العطل، لحالة فشل

FAL_i^{ud} ، وكذلك يمكن أن يتعرض مؤشر العطل الذي يتدفق فيه التيار من وحدة التوليد الموزع إلى نقطة العطل

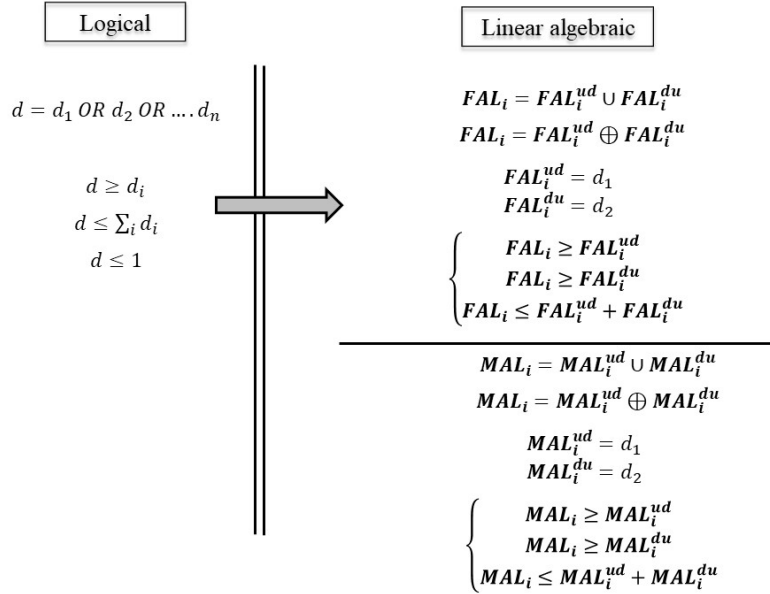
FAL_i^{du} ، وكذلك بحالة خطأ وظيفي MAL_i^{ud}, MAL_i^{du} لذلك يتم وضع القيود المنطقية كالتالي:

$$\begin{cases} FAL_i = FAL_i^{ud} \cup FAL_i^{du} \\ MAL_i = MAL_i^{ud} \cup MAL_i^{du} \end{cases} \quad (3_71)$$

ثم يتم تحويل المعادلات المنطقية إلى معادلات خطية فنجد:

$$\begin{cases} FAL_i \geq FAL_i^{ud} \ \&\& \ FAL_i \geq FAL_i^{du} \\ FAL_i \leq FAL_i^{ud} + FAL_i^{du} \\ MAL_i \geq MAL_i^{ud} \ \&\& \ MAL_i \geq MAL_i^{du} \\ MAL_i \leq MAL_i^{ud} + MAL_i^{du} \end{cases} \quad (3_72)$$

يمكن شرح عملية التحويل من الشكل المنطقي للشكل الخطي كما يبينه الشكل (3_39)



الشكل (3_39) تحويل المعادلة (3_73) للشكل الخطي

(d) القيد المتعلق بحساب عدد الإشارات المتناقضة:

حيث نرمز لمجموع عدد مؤشرات الأعطال التي تعرضت لحالة Failure بـ $N_{Failure}$ ، ونرمز لمجموع

عدد مؤشرات الأعطال التي تعرضت لحالة Malfunction بـ $N_{Malfunction}$ ، وبذلك يصاغ القيد بالاستعانة

بتابع الجمع $\sum$ على الشكل التالي:

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العبينيه
الفصل الثالث: كشف الأعطال في شبكات التوزيع الكهربائية وتحديد مكانها

$$N_{Failure} = \sum_{i \in P_{FI}} FAL_i \quad (3_73)$$

$$N_{Malfunction} = \sum_{i \in P_{FI}} MAL_i \quad (3_74)$$

$$N_{discrepancy} = N_{Failure} + N_{Malfunction} \quad (3_75)$$

(e) القيد المتعلق بتحديد عدة أعطال:

يعبر هذا القيد عن أنه لا يمكن لعطلين مختلفين أن يعملان على تفعيل نفس مؤشرات الأعطال، حيث أن مسار تيار العطل بين نقطة عطل ومصادر التوليد المتوفرة، تختلف بين نقطة عطل ونقطة عطل أخرى.

نفرض أن S_{LSi} هي مجموعة أقسام الخطوط، التي يعبر من خلالها تيار العطل من نقطة العطل إلى الشبكة العامة، ومصادر التوليد الموزع المتوفرة، و S_{LS} هي مجموعة أقسام الخطوط الموجود في الشبكة كاملةً، وبذلك يصاغ هذا القيد بالاستعانة بوابة AND على النحو التالي:

$$LSF_i \cap LSF_{j \in S_{LSi}} = 0 \quad (3_76)$$

بالتحويل للشكل الخطي:

$$LSF_i + LSF_{j \in S_{LSi}} \leq 1, i \in S_{LS} \quad (3_77)$$

(f) القيد المتعلق بتحديد اتجاه تيار العطل:

في بعض الحالات الخاصة مثل حدوث عطلين، أحدهما في منطقة upstream بالنسبة لمؤشر معين، والآخر في منطقة downstream لنفس المؤشر، هذا يعني أنه يتوقع من المؤشر أن يعطي إشارة مخمنة $R_i^{ud} = 1$ وهذا غير ممكن، ولكن على اعتبار أن مساهمة الشبكة العامة بتيار القصر أكبر بكثير من مساهمة وحدة التوليد الموزع بتيار القصر، مما يعني وجود حالتين:

$$1 - \text{وجود إشارة تفعيل } R_i^{ud} \text{ ناتجة عن تيار قصر من جهة الشبكة العامة وبالتالي } R_i^{ud} = R_i^{ud_dir}$$

$$2 - \text{أو وجود إشارة تفعيل } R_i^{du} \text{ ناتجة عن تيار قصر من جهة وحدة توليد موزع مع عدم وجود إشارة تفعيل}$$

$$\text{من جهة الشبكة العامة أي } R_i^{du} = R_i^{du_dir} \cap (\sim R_i^{ud_dir})$$

$$R_i^{ud} = R_i^{ud_dir} \quad (3_78)$$

$$R_i^{du} = R_i^{du_dir} \cap (\sim R_i^{ud_dir}) \quad (3_79)$$

ثم يتم تحويل هذين القيدين للصيغة الخطية بالاستعانة بمعادلات التحويل من الجبر المنطقي إلى الجبر الخطي.

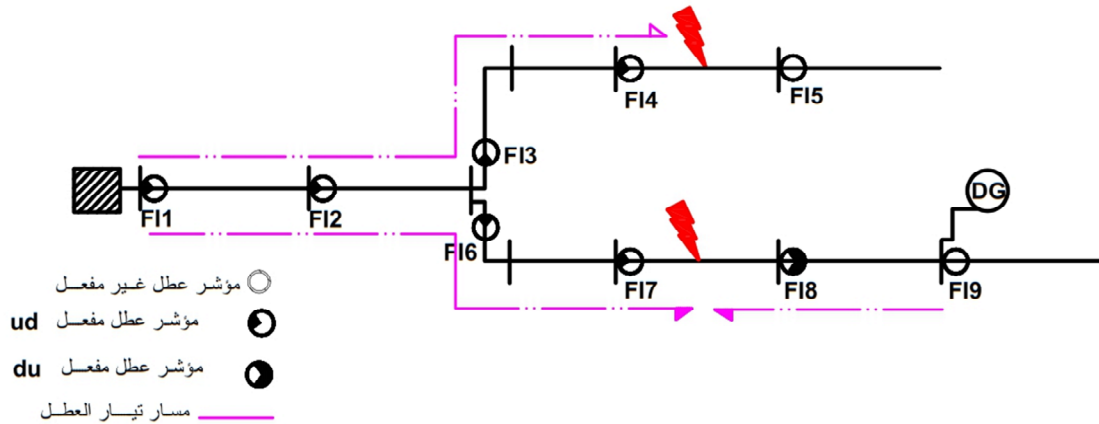
$$R_i^{du} \leq 1 - R_i^{ud_dir} \& R_i^{du} \leq R_i^{du_dir} \quad (3_80)$$

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العينية
الفصل الثالث: كشف الأعطال في شبكات التوزيع الكهربائية وتحديد مكانها

$$R_i^{du} \geq R_i^{du_dir} - R_i^{ud_dir} \quad (3_81)$$

لنوضح الفرق بين مصفوفتي R_i^{du} ، $R_i^{du_dir}$ على النحو التالي:

مصفوفة $R_i^{du_dir}$ هي مجموع المصفوفات المخزنة لكل عطل بشكل منفرد وهي تساوي مصفوفة R_i^{du} في حال حدوث عطل وحيد، سنشرح ذلك بمثال بسيط.



الشكل (3_40) مثال توضيحي عن حالة وجود عطلين في LS4,LS7

لنفرض حدوث عطلين في الجزئين 4 و 7 كما في الشكل (3_40) تكون كل من المصفوفتين على سبيل المثال، للعطل الأول بشكل منفرد هي:

$$R_i^{ud_dir} = \{1, 1, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0\}$$

$$R_i^{du_dir} = \{0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 1, 0\}$$

للعطل الثاني بشكل منفرد:

$$R_i^{ud_dir} = \{1, 1, 0, 0, 0, 1, 1, 0, 0\}$$

$$R_i^{du_dir} = \{0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0\}$$

بجمع إشارات العطلين نجد:

$$R_i^{ud_dir} = \{1, 1, 1, 1, 0, 1, 1, 0, 0\}$$

$$R_i^{du_dir} = \{0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 1, 0\}$$

نلاحظ أن $R_{6,7}^{ud_dir} = R_{6,7}^{du_dir} = 1$ وهذا غير ممكن فعليا ولكن بعد تطبيق القيد المتعلق بتحديد اتجاه تيار العطل نحصل على:

$$R_i^{ud} = \{1, 1, 1, 1, 0, 1, 1, 0, 0\}$$

$$R_i^{du} = \{0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0\}$$

تمت برمجة مسألة الأمثلة، بما فيها التابع الهدف والقيود كاملة لتحديد منطقة العطل، باستخدام لغة

JAVA، وتم استخدام البيئة البرمجية eclipse-java-2022-03-R في كتابة التعليمات البرمجية المعبرة عن مسألة

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العينية
 الفصل الثالث: كشف الأعطال في شبكات التوزيع الكهربائية وتحديد مكانها
 الأمثلة، وذلك بعد استدعاء مكتبات الأمثلة CPLEX. نورد في الملحق تقسيمات البرنامج الذي تم إنجازه بلغة ال
 JAVA من أجل تطبيق الخوارزمية. لابد من التنويه إلى أن حل مسألة الأمثلة هي عملية متكاملة، حيث لا يمكن
 الوصول لمكان العطل بشكل دقيق، وللمؤشرات التي لم تعمل بشكل صحيح إلا عن طريق تطبيق جميع القيود
 وتابع الهدف بشكل كامل. سندرج فيما يلي بعض الأمثلة وقيم المصفوفات في كل منها بعد تطبيق مسألة الأمثلة.

4.3.2.3.3 دراسة حالة (شبكة مرجعية IEEE-13nodes)

A. سيناريو 1:

عند حدوث العطل المبين في الشكل (3_41) سترد مصفوفات الدخل إلى مركز التشغيل كما يلي:

$$R_0^{ud} = \{1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1\}$$

$$R_0^{du} = \{0, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0\}$$

وعند تطبيق الخوارزمية ينتج لدينا الجدول (3_8):

الجدول (3_8) قيم مصفوفات المتغيرات للعطل المبين في الشكل (3_41) والمحسوبة عن طريق البرنامج المقترح

Node N.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
R_i^{ud}	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
R_i^{du}	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LSF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

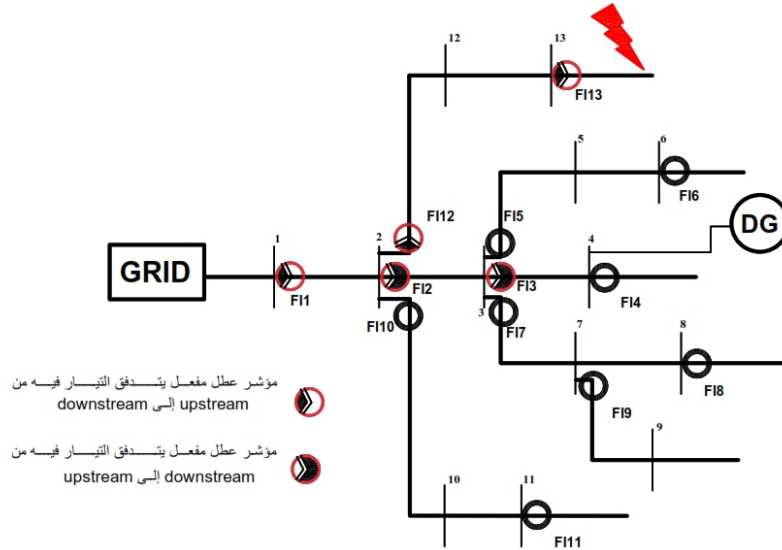
نلاحظ بأنه عند تطبيق الخوارزمية المقترحة، تم تقدير العطل بشكل جيد، حيث أعطت المصفوفة R_i^{ud}

قيمة (1) للمؤشرات على طول مسار تيار العطل من الشبكة العامة إلى العطل $FI_{(1,12,13)}$ ، وأعطت المصفوفة

R_i^{du} قيمة (1) للمؤشرات على طول مسار تيار العطل من وحدة التوليد الموزع إلى العطل $FI_{(2,3)}$ ، وأعطت في

مصفوفة مكان العطل LSF قيمة 1 عند الجزء 13.

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العينية
الفصل الثالث: كشف الأعطال في شبكات التوزيع الكهربائية وتحديد مكانها



الشكل (3_41) شبكة مرجعية_ حالة وجود عطل في LS13

يبين الشكل (3_42) خرج تطبيق خوارزمية تحديد مكان العطل بشكل مباشر في بيئة الأمثلة ECLIPS.

```
Root relaxation solution time = 0.00 sec.
Obj fun = 0
n      =1  2  3  4  5  6  7  8  9  10 11 12 13
Rud    =1 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,1 ,1 ,
Rdu    =0 ,1 ,1 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,

MAL_ud=0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,
MAL_du=0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,

FAL_ud=0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,
FAL_du=0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,

LSF    =0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,1 ,
```

الشكل (3_42) خرج خوارزمية تحديد مكان العطل والناتج عن تطبيق البرنامج المنجز في بيئة ECLIPS للعطل المبين في الشكل (3_41)

حيث نلاحظ أن $Obj\ fun=0$ أي أن تابع الهدف ذو قيمة صفرية، أي عدم تواجد أي حالة خطأ، بالإضافة إلى الدلالة إلى $R_{1,12,13}^{ud} = 1$ و $R_{2,3}^{du} = 1$ ، بينما تشير مصفوفات MAL_du و MAL_ud إلى عدم وجود أي خطأ وظيفي وكذلك الأمر بالنسبة لمصفوفات FAL .

نلاحظ من السطر الأخير قدرة الخوارزمية على تحديد LS13 كقسم معطل من الشبكة.

B. سيناريو 2:

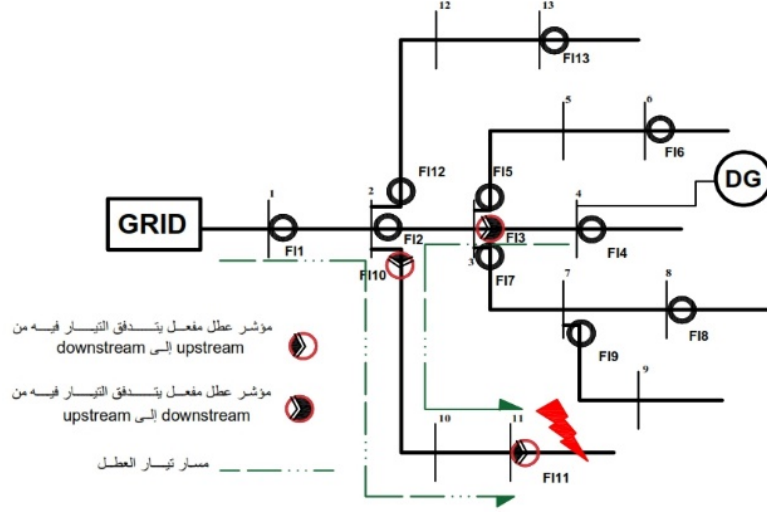
عند افتراض حدوث عطل في الجزء 11 من الشبكة المبينة في الشكل (3_43) ترسل مؤشرات الأعطال إشارات إلى مركز التشغيل، ونفرض وجود بعض الإشارات الخاطئة لسبب ما كخلل في معالجة الإشارة، كما في الشكل (3_43) فتكون مصفوفات إشارات الدخل الواردة من FI إلى مركز التشغيل حيث توجد الخوارزمية:

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العينية

الفصل الثالث: كشف الأعطال في شبكات التوزيع الكهربائية وتحديد مكانها

$$R_0^{ud} = \{0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 0, 0\}$$

$$R_0^{du} = \{0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0\}$$



الشكل (3_43) شبكة مرجعية حالة وجود عطل في LS11 ووجود حالات فشل في العمل للمؤشرين 1,2

بعد تطبيق مسألة الأمثلة تنتج لدينا المصفوفات التالية:

الجدول (3_9) قيم مصفوفات المتغيرات للعطل المبين في الشكل (3_43) والمحسوبة عن طريق البرنامج المقترح

Node N.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
R_i^{ud}	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
R_i^{du}	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FAL_i^{ud}	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FAL_i^{du}	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MAL_i^{ud}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MAL_i^{du}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LSF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0

نلاحظ من مصفوفات خرج الخوارزمية بأنه قد تم تقدير العطل بالشكل الصحيح، حيث أعطت المصفوفة

قيمة R_i^{ud} (1) للمؤشرات على طول مسار تيار العطل من الشبكة العامة $FI_{(1,10,11)}$ ، وأعطت المصفوفة

قيمة R_i^{du} (1) للمؤشرات على طول مسار تيار العطل من وحدة التوليد الموزع، على الرغم من اختلاف هتين

المصفوفتين عن مصفوفتي الدخل R_0^{ud} ، R_0^{du} المعبرة عن الإشارات الحقيقية مع وجود أخطاء، بالإضافة لتحديد

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العينية
 الفصل الثالث: كشف الأعطال في شبكات التوزيع الكهربائية وتحديد مكانها
 المؤشرات ذات الإشارة الخاطئة، حيث نلاحظ من مصفوفة FAL_i^{ud} المعبرة عن المؤشرات التي تعرضت لحالة
 إخفاق Failure من جهة الشبكة العامة، قد أعطت قيمة 1 عند $FI_{(1)}$ ، ونلاحظ من المصفوفة FAL_i^{du} المعبرة
 عن المؤشرات التي تعرضت لحالة إخفاق Failure من جهة وحدة التوليد الموزع، قد أعطت قيمة 1 عند FI_2 ،
 كما أعطت مصفوفة تحديد مكان العطل تقديراً جيداً لتحديد مكان العطل في المصفوفة LSF حيث أعطت قيمة 1
 عند LS_{11} ، يبين الشكل (3_44) نتيجة تطبيق مسألة الأمثلة في البيئة البرمجية ECLIPS.

```
Root relaxation solution time = 0.00 sec.
Obj fun = 2
n      =1  2  3  4  5  6  7  8  9  10 11 12 13
Rud    =1 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,1 ,1 ,0 ,0 ,
Rdu    =0 ,1 ,1 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,

MAL_ud=0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,
MAL_du=0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,

FAL_ud=1 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,
FAL_du=0 ,1 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,

LSF     =0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,1 ,0 ,0 ,0 ,
```

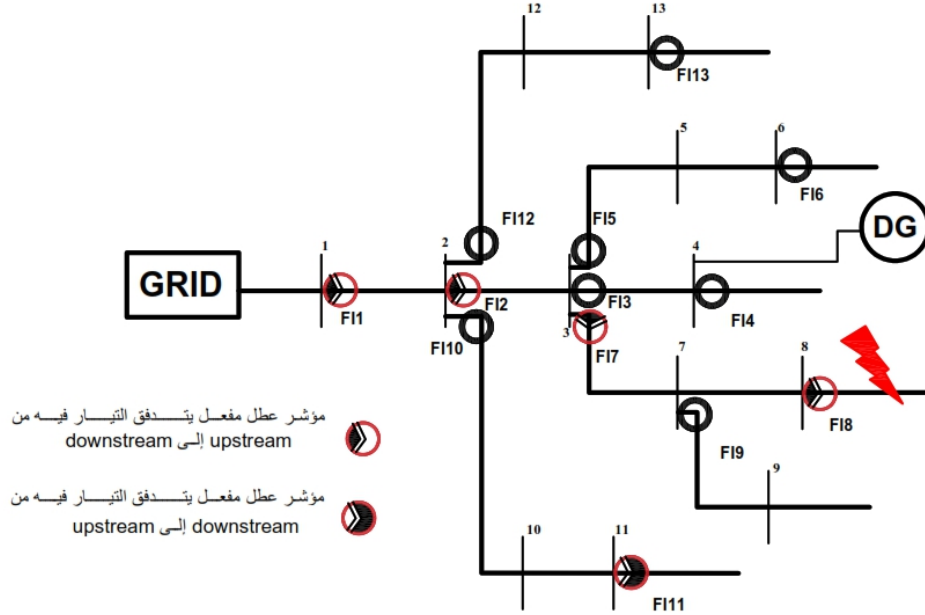
الشكل (3_44) خرج خوارزمية تحديد مكان العطل والناتج عن تطبيق البرنامج المنجز في بيئة ECLIPS للعطل المبين في
 الشكل (3_43)

C. سيناريو 3:

عند حدوث العطل المبين في الشكل (3_45) LS8 سترد مصفوفات الدخل إلى مركز التشغيل كما يلي:

$$R_0^{ud} = \{1, 1, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0\}$$

$$R_0^{du} = \{0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0\}$$



الشكل (3_45) شبكة مرجعية حالة حدوث عطل عند الجزء LS8 ووجود حالات فشل في عمل المؤشرين 3 و 11

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العينية
 الفصل الثالث: كشف الأعطال في شبكات التوزيع الكهربائية وتحديد مكانها
 وعند تطبيق الخوارزمية ينتج لدينا التالي:

الجدول (3_10) قيم مصفوفات المتغيرات للعطل المبين في الشكل (3_45) والمحسوبة عن طريق البرنامج المقترح

Node N.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
R_i^{ud}	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
R_i^{du}	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FAL_i^{ud}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FAL_i^{du}	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MAL_i^{ud}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MAL_i^{du}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
LSF	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0

```

Console × Problems Debug Shell Coverage
<terminated> n1_SY_2DG_different_symbols_input_manual2 [Java]
Presolve time = 0.00 sec.
Clique table members: 100.
MIP emphasis: balance optimality and feasibility.
Root relaxation solution time = 0.02 sec.
Obj fun = 2
n      =1  2  3  4  5  6  7  8  9  10 11 12 13
Rud    =1  ,1 ,0 ,0 ,0 ,0 ,1 ,1 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,
Rdu    =0 ,0 ,1 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,

MAL_ud=0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,
MAL_du=0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,1 ,0 ,0 ,

FAL_ud=0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,
FAL_du=0 ,0 ,1 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,

LSF    =0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,1 ,0 ,0 ,0 ,0 ,0 ,

```

الشكل (3_46) خرج خوارزمية تحديد مكان العطل والناتج عن تطبيق البرنامج المنجز في بيئة ECLIPS للعطل المبين في الشكل (3_45)

عند تطبيق الخوارزمية المقترحة، تم تقدير العطل بشكل جيد أيضاً، حيث أعطت مصفوفة R_i^{ud} قيمة (1) للمؤشرات على طول مسار تيار العطل من الشبكة العامة إلى العطل $FI_{(1,2,7,8)}$ ، وأعطت المصفوفة R_i^{du} قيمة (1) للمؤشرات على طول مسار تيار العطل من وحدة التوليد الموزع إلى العطل $FI_{(3)}$ ، وأعطت مصفوفة مكان العطل LSF قيمة 1 عند LS₈، على الرغم من اختلاف المصفوفات المخزنة عن مصفوفات الدخل R_0^{ud} ، R_0^{du} المعبرة عن الإشارات الحقيقية مع وجود أخطاء، بالإضافة لتحديد المؤشرات ذات الإشارة الخاطئة، حيث

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العينية

الفصل الثالث: كشف الأعطال في شبكات التوزيع الكهربائية وتحديد مكانها

نلاحظ من مصفوفات FAL, MAL المعبرة عن المؤشرات التي تعرضت لحالة إخفاق Failure أو Malfunction قد أعطت قيمة 1 عند كل من $FI_{(3,11)}$ على التوالي. قدمنا في هذا الفصل الخوارزمية المطلوبة لكشف وتحديد مكان العطل في شبكات التوزيع عند وجود توليد موزع وعند عدم وجوده، حيث افترضنا عند تطبيق الخوارزمية واختبارها، أن إشارات التنفيع الواردة من مؤشرات الأعطال تملك القيم إما 0 أو 1 . في الحقيقة إن تطبيق الخوارزمية على نموذج لشبكة في برنامج الماتلاب يتطلب وضع نماذج لمؤشرات الأعطال تقوم بكشف العطل وإرسال الإشارات بشكل تلقائي. كما يجب وضع نموذج لمحطة الإرسال DCU باعتبارها تمثل محطة معالجة للبيانات أيضاً، سنهتم بذلك في الفصل اللاحق، كما سنقدم تطبيقاً للخوارزمية على جزء من شبكة التوزيع السورية باستخدام MatLab. من أجل ذلك، سنقدم نماذج باستخدام Matlab-Simulink، لكل من مؤشرات الأعطال وتدعيمها بنموذج لخوارزمية تحديد اتجاه العطل اللازمة من أجل الخوارزمية المعدلة، لكشف وتحديد مكان العطل في حال وجود وحدات توليد موزع. سنعرض في الفصل اللاحق نتائج النمذجة لتطبيق كل مراحل تكوين الخوارزمية على جزء من الشبكة السورية بعد إدماج التوليد الموزع.

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العبيد
الفصل الرابع: دراسة جزء من الشبكة السورية بإدخال التوليد الموزع ونظم القياس

4 الفصل الرابع

دراسة جزء من الشبكة السورية بإدخال التوليد الموزع ونظم القياس (Study part of the Syrian network by introducing distributed generation and measurement systems).

يساهم اختبار تطبيق التجهيزات الذكية وما يرافقها من برمجيات متقدمة على المنظومة الكهربائية السورية، يساهم في تطوير هذه المنظومة وإيجاد الحلول لبعض مشاكلها.

تهدف الدراسة في هذا الفصل إلى تطبيق خوارزمية كشف وتحديد مكان العطل على جزء من الشبكة السورية العاملة بتوتر $20[kV]$. تقع هذه الشبكة في ريف دمشق وهي شبكة توزيع هوائية أشرفية صحنيا مخرج الفطم، والمنطلق من محطة تحويل أشرفية صحنيا (إبراهيم، هاني & زيدان، خالد 2019).

تتكون الشبكة من 34 عقدة، و 33 خط، ويتم تغذية هذا المخرج من محطة تحويل واحدة هي محطة تحويل أشرفية صحنيا 1، كما هو موضح في الشكل (4_1).

الاستطاعة الأعظمية لمخرج الفطم: $S_{max} = 10[MVA]$

الاستطاعة الأعظمية الحقيقية: $P_{max} = 9.2[MW]$

الاستطاعة الردية الأعظمية: $Q_{max} = 3.92[MVar]$

يعطي الجدول (4_1) بيانات خطوط الشبكة بحسب رقم كل من عقدتي البداية والنهاية لكل خط ونوع الخط وطوله، بالإضافة إلى المقاومة والمفاعلة مقدرة ب (Ω/km) مأخوذة من الجداول الفنية لكل نوع من أنواع الخطوط، كما تحوي على محولات $2.4/20[kV]$.

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العبينه
 الفصل الرابع: دراسة جزء من الشبكة السورية بإدخال التوليد الموزع ونظم القياس
 الجدول(4_1) بيانات خطوط الشبكة مخرج الفطم

رقم الخط	بداية الخط	نهاية الخط	نوع الخط	مقطع الخط (mm ²)	طول الخط (m)	(Ω/km)R	(Ω/km) X
1	1	2	كبل أرضي	3 (1×185)	325	0.181	0.125
2	2	3	هوائي (المنيوم فولاذ)	3 (1×120)	562	0.279	0.159
3	3	4	هوائي (المنيوم فولاذ)	3 (1×50)	420	0.706	0.159
4	4	5	هوائي (المنيوم فولاذ)	3 (1×50)	278	0.706	0.159
5	5	6	هوائي (المنيوم فولاذ)	3 (1×50)	282	0.706	0.159
6	2	7	هوائي (المنيوم فولاذ)	3 (1×120)	268	0.279	0.134
7	7	8	هوائي (المنيوم فولاذ)	3 (1×120)	390	0.279	0.134
8	7	9	هوائي (المنيوم فولاذ)	3 (1×120)	292	0.279	0.134
9	9	10	هوائي (المنيوم فولاذ)	3 (1×120)	195	0.279	0.134
10	10	11	هوائي (المنيوم فولاذ)	3 (1×120)	380	0.279	0.134
11	11	12	هوائي (المنيوم فولاذ)	3 (1×120)	273	0.279	0.134
12	12	13	هوائي (المنيوم فولاذ)	3 (1×120)	188	0.279	0.134
13	13	14	هوائي (المنيوم فولاذ)	3 (1×120)	225	0.279	0.134
14	14	15	هوائي (المنيوم فولاذ)	3 (1×120)	240	0.279	0.134
15	15	16	هوائي (المنيوم فولاذ)	3 (1×120)	154	0.279	0.134
16	16	17	هوائي (المنيوم فولاذ)	3 (1×120)	161	0.279	0.134
17	17	18	هوائي (المنيوم فولاذ)	3 (1×120)	143	0.279	0.134
18	18	19	هوائي (المنيوم فولاذ)	3 (1×120)	196	0.279	0.134
19	19	20	هوائي (المنيوم فولاذ)	3 (1×120)	188	0.279	0.134
20	10	21	هوائي (المنيوم فولاذ)	3 (1×120)	187	0.279	0.134
21	21	22	هوائي (المنيوم فولاذ)	3 (1×120)	163	0.279	0.134
22	22	23	هوائي (المنيوم فولاذ)	3 (1×120)	174	0.279	0.134
23	23	24	هوائي (المنيوم فولاذ)	3 (1×120)	182	0.279	0.134
24	24	25	هوائي (المنيوم فولاذ)	3 (1×120)	185	0.279	0.134
25	25	26	هوائي (المنيوم فولاذ)	3 (1×120)	226	0.279	0.134
26	26	27	هوائي (المنيوم فولاذ)	3 (1×120)	274	0.279	0.134
27	27	28	هوائي (المنيوم فولاذ)	3 (1×120)	346	0.279	0.134
28	28	29	هوائي (المنيوم فولاذ)	3 (1×120)	302	0.279	0.134
29	29	30	هوائي (المنيوم فولاذ)	3 (1×120)	325	0.279	0.134
30	30	31	هوائي (المنيوم فولاذ)	3 (1×120)	285	0.279	0.134
31	31	32	هوائي (المنيوم فولاذ)	3 (1×120)	250	0.279	0.134
32	32	33	هوائي (المنيوم فولاذ)	3 (1×120)	158	0.279	0.134
33	33	34	هوائي (المنيوم فولاذ)	3 (1×120)	186	0.279	0.134

وبين الجدول(4_2) بيانات مراكز التحويل وقضبان التجميع في مخرج الفطم المذكور، بحيث يبين اسم المحطة المتعارف عليه، ورقم العقدة بالإضافة للاستطاعة الاسمية لها ونسبة التحميل وعامل الاستطاعة، مأخوذة في يوم محدد كما وردت في المعطيات المأخوذة من شركة كهرباء توزيع ريف دمشق (إبراهيم، هاني، عزيزان، خالد، 2019).

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العينية
 الفصل الرابع: دراسة جزء من الشبكة السورية بإدخال التوليد الموزع ونظم القياس
 الجدول(4_2) بيانات باسبارات مخرج الفطم

رقم الباستار	اسم الباستار	الاستطاعة الاسمية kVA	نسبة التحميل	عامل الاستطاعة	الاستطاعة الحقيقية (Kw)	الاستطاعة الردية kVAr
3	مجدوب	200	74	0.91	134.68	61.36
4	شريدي	400	72	0.92	264.96	112.87
5	ميداني	200	71	0.9	127.80	61.90
6	عثمان	1400	75	0.9	945.00	457.68
8	دعيل	850	70	0.91	541.45	246.69
9	البادية	200	75	0.9	135.00	65.38
11	أرييا	25	77	0.92	17.71	7.54
12	شحاده	650	75	0.92	448.50	191.06
13	سها	1050	74	0.92	714.84	304.52
14	داغستاني	200	72	0.9	129.60	62.77
15	حامد	50	75	0.93	34.88	13.78
16	الكزيري	400	72	0.91	262.08	119.41
17	الحلاج	300	71	0.9	191.70	92.84
18	دعيل1	650	75	0.89	433.88	222.28
19	حمادة	600	74	0.91	404.04	184.09
20	اللحام	1150	75	0.92	793.50	338.03
21	مستودعات صالح	50	76	0.91	34.58	15.76
22	جاويش	1200	75	0.91	819.00	373.15
23	نعمان	200	74	0.92	136.16	58.00
24	أحمد	200	76	0.92	139.84	59.57
25	سريكل	200	74	0.91	134.68	61.36
26	خاص	200	75	0.9	135.00	65.38
27	عياش	1230	74	0.91	828.28	377.38
28	الحموي	1000	75	0.92	690.00	293.94
29	الفرأ	1400	76	0.92	978.88	417.00
30	سيرتيل1	25	75	0.92	17.25	7.35
31	نعيم	600	74	0.92	408.48	174.01
32	شرباجي	630	75	0.91	429.98	195.90
33	مؤقت	830	76	0.92	580.34	247.22
34	أنس	830	75	0.92	572.70	243.97

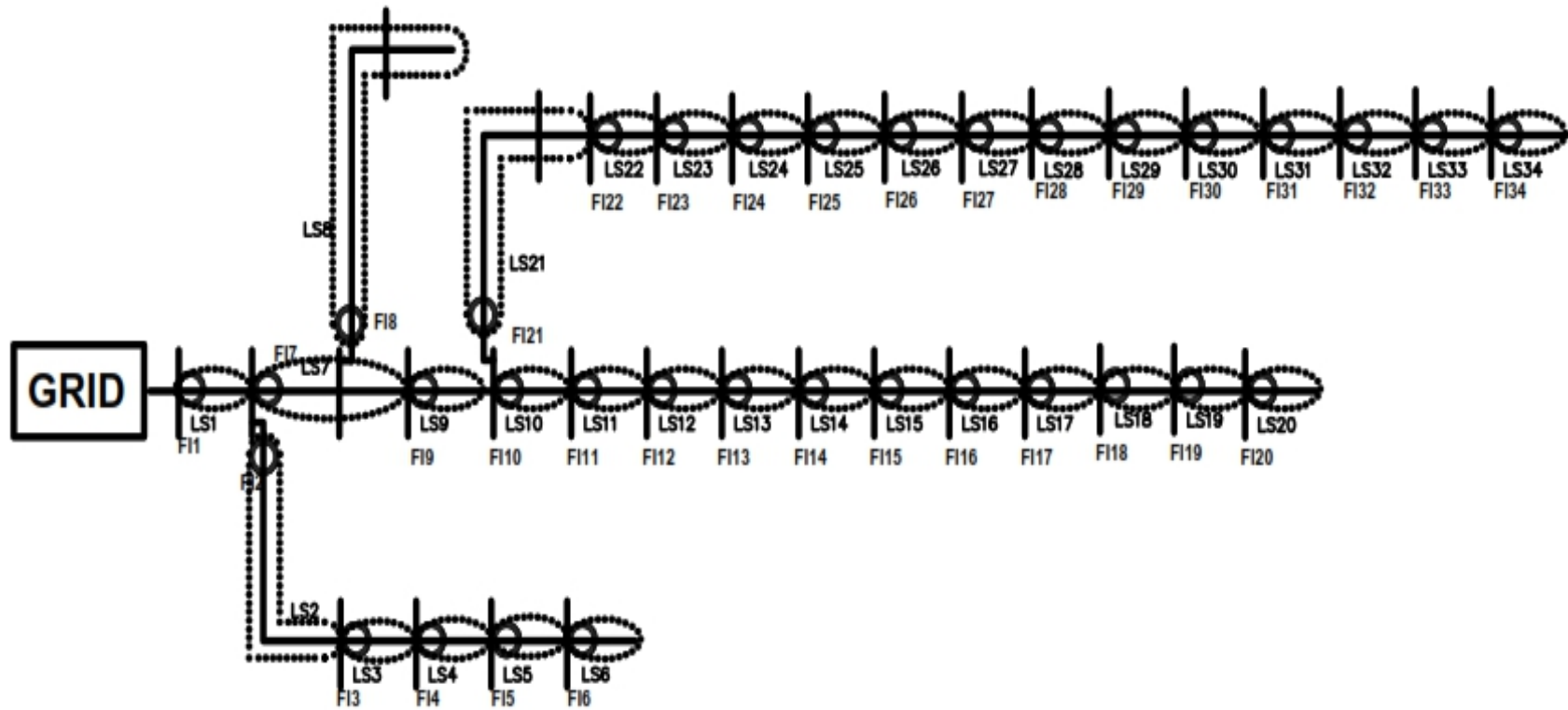
1.4 نمذجة نظام القدرة الكهربائية المقترح (Modeling the proposed electrical power system):

اعتماداً على المعطيات التي وردت في الجدول(4_1) والجدول(4_2) ، تم بناء نموذج لشبكة التوزيع المراد دراستها والمبين في الشكل(4_2)، من أجل تطبيق خوارزمية كشف وتحديد مكان العطل كان لابد من ترقيم قطاعات الخطوط و توضيح مكان توضع مؤشرات حدوث العطل FI وترقيمها بالشكل المناسب. كما تمت النمذجة باستخدام بيئة الماتلاب البرمجية MATLAB- SimPowerSystem.
 تم إجراء جريان الحمولة Load-flow للشبكة المدروسة بالاستعانة ببرنامج MATLAB وتم الحصول على قيم توترات العقد و جريان الحمولة في الخطوط ، كما هو مبين في الشكل(4_3).

تبلغ قيمة ضياعات الخطوط في الشبكة المذكورة $P_{loss} = 44 [kW]$ و $Q_{loss} = 23 [kVAR]$

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العينية

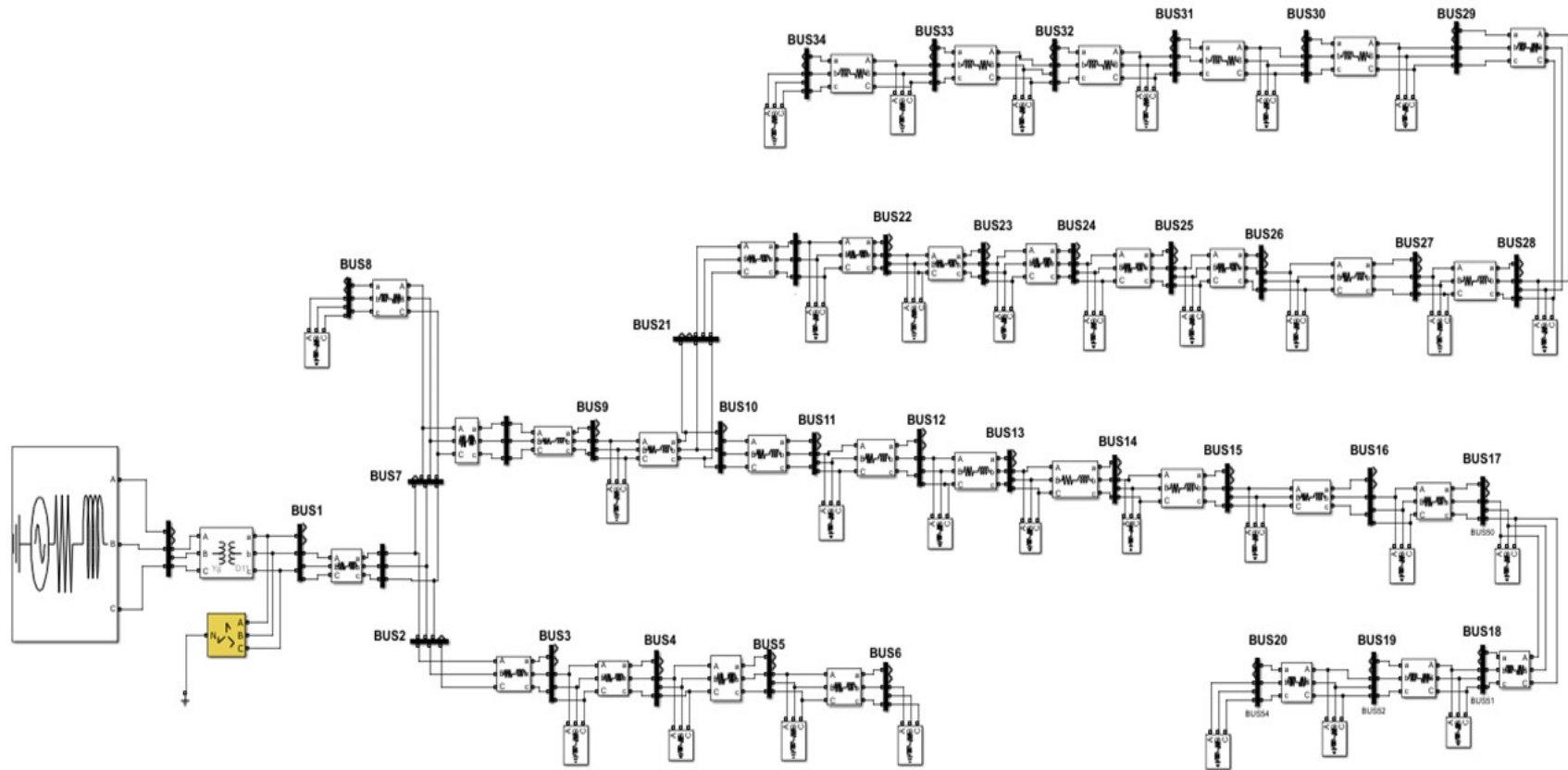
الفصل الرابع: دراسة جزء من الشبكة السورية بإدخال التوليد الموزع ونظم القياس



الشكل (4_1) جزء من الشبكة السورية _ مخرج الفطم

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العينية

الفصل الرابع: دراسة جزء من الشبكة السورية بإدخال التوليد الموزع ونظم القياس



الشكل (4_2) نمذجة جزء من الشبكة السورية في بيئة MATLAB_ مخرج الفطم

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العينية

الفصل الرابع: دراسة جزء من الشبكة السورية بإدخال التوليد الموزع ونظم القياس

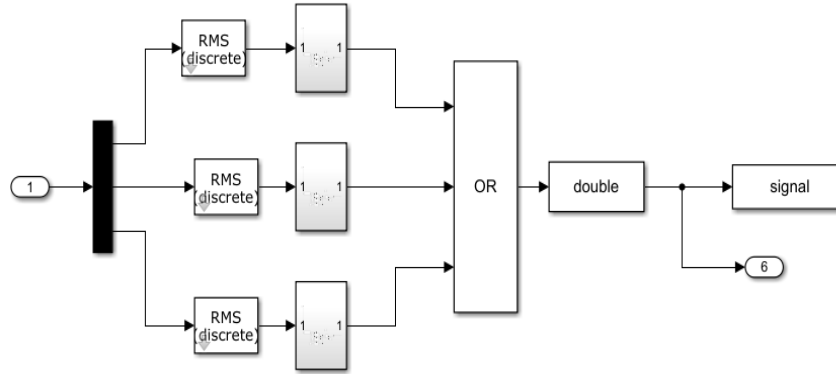
	Block type	Bus type	Bus ID	Vbase (kV)	Vref (pu)	Vangle (deg)	P (MW)	Q (Mv...)	Qmin (Mvar)	Qmax (Mvar)	V_LF (pu)	Vangle_LF (deg)	P_LF (MW)	Q_LF (Mvar)	Block Name
1	RLC load PQ	Bus*3*	Bus*3*	20.00	1	0.00	0.10	0.05	-Inf	Inf	0.9885	29.40	0.10	0.05	Three-Phase Series RLC Load4
2	Bus	-	Bus*2*	20.00	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.9891	29.41	0.00	0.00	Bus*22*1
3	RLC load PQ	Bus*14*	Bus*14*	20.00	1	0.00	0.09	0.05	-Inf	Inf	0.9823	29.39	0.09	0.05	Three-Phase Series RLC Load17
4	RLC load PQ	Bus*15*	Bus*15*	20.00	1	0.00	0.03	0.01	-Inf	Inf	0.9820	29.39	0.03	0.01	Three-Phase Series RLC Load3
5	RLC load PQ	Bus*12*	Bus*12*	20.00	1	0.00	0.34	0.14	-Inf	Inf	0.9830	29.40	0.34	0.14	Three-Phase Series RLC Load15
6	RLC load PQ	Bus*27*	Bus*27*	20.00	1	0.00	0.61	0.28	-Inf	Inf	0.9799	29.39	0.61	0.28	Three-Phase Series RLC Load27
7	RLC load PQ	Bus*19*	Bus*19*	20.00	1	0.00	0.30	0.14	-Inf	Inf	0.9813	29.39	0.30	0.14	Three-Phase Series RLC Load21
8	RLC load PQ	Bus*20*	Bus*20*	20.00	1	0.00	0.60	0.25	-Inf	Inf	0.9812	29.39	0.60	0.25	Three-Phase Series RLC Load22
9	RLC load PQ	Bus*18*	Bus*18*	20.00	1	0.00	0.33	0.17	-Inf	Inf	0.9815	29.39	0.33	0.17	Three-Phase Series RLC Load20
10	RLC load PQ	Bus*24*	Bus*24*	20.00	1	0.00	0.11	0.05	-Inf	Inf	0.9820	29.39	0.11	0.05	Three-Phase Series RLC Load25
11	RLC load PQ	Bus*25*	Bus*25*	20.00	1	0.00	0.10	0.05	-Inf	Inf	0.9814	29.39	0.10	0.05	Three-Phase Series RLC Load26
12	RLC load PQ	Bus*4*	Bus*4*	20.00	1	0.00	0.18	0.08	-Inf	Inf	0.9877	29.41	0.18	0.08	Three-Phase Series RLC Load1
13	RLC load PQ	Bus*23*	Bus*23*	20.00	1	0.00	0.10	0.04	-Inf	Inf	0.9826	29.39	0.10	0.04	Three-Phase Series RLC Load24
14	RLC load PQ	Bus*26*	Bus*26*	20.00	1	0.00	0.10	0.05	-Inf	Inf	0.9807	29.39	0.10	0.05	Three-Phase Series RLC Load6
15	RLC load PQ	Bus*28*	Bus*28*	20.00	1	0.00	0.51	0.22	-Inf	Inf	0.9791	29.39	0.51	0.22	Three-Phase Series RLC Load2
16	RLC load PQ	Bus*22*	Bus*22*	20.00	1	0.00	0.61	0.28	-Inf	Inf	0.9831	29.39	0.61	0.28	Three-Phase Series RLC Load23
17	RLC load PQ	Bus*17*	Bus*17*	20.00	1	0.00	0.14	0.07	-Inf	Inf	0.9816	29.39	0.14	0.07	Three-Phase Series RLC Load19
18	RLC load PQ	Bus*16*	Bus*16*	20.00	1	0.00	0.19	0.09	-Inf	Inf	0.9818	29.39	0.19	0.09	Three-Phase Series RLC Load18
19	RLC load PQ	Bus*11*	Bus*11*	20.00	1	0.00	0.01	0.01	-Inf	Inf	0.9836	29.40	0.01	0.01	Three-Phase Series RLC Load14
20	Bus	-	Bus*10*	20.00	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.9845	29.40	0.00	0.00	Bus*39*1
21	RLC load PQ	Bus*29*	Bus*29*	20.00	1	0.00	0.74	0.32	-Inf	Inf	0.9785	29.39	0.74	0.32	Three-Phase Series RLC Load8
22	RLC load PQ	Bus*30*	Bus*30*	20.00	1	0.00	0.01	0.01	-Inf	Inf	0.9781	29.38	0.01	0.01	Three-Phase Series RLC Load28
23	RLC load PQ	Bus*31*	Bus*31*	20.00	1	0.00	0.30	0.13	-Inf	Inf	0.9777	29.38	0.30	0.13	Three-Phase Series RLC Load29
24	RLC load PQ	Bus*6*	Bus*6*	20.00	1	0.00	0.71	0.34	-Inf	Inf	0.9869	29.43	0.71	0.34	Three-Phase Series RLC Load10
25	RLC load PQ	Bus*32*	Bus*32*	20.00	1	0.00	0.32	0.15	-Inf	Inf	0.9775	29.38	0.32	0.15	Three-Phase Series RLC Load30
26	RLC load PQ	Bus*33*	Bus*33*	20.00	1	0.00	0.44	0.19	-Inf	Inf	0.9774	29.38	0.44	0.19	Three-Phase Series RLC Load31
27	RLC load PQ	Bus*34*	Bus*34*	20.00	1	0.00	0.43	0.18	-Inf	Inf	0.9773	29.38	0.43	0.18	Three-Phase Series RLC Load5
28	RLC load PQ	Bus*5*	Bus*5*	20.00	1	0.00	0.09	0.04	-Inf	Inf	0.9873	29.42	0.09	0.04	Three-Phase Series RLC Load
29	RLC load PQ	Bus*8*	Bus*8*	20.00	1	0.00	0.38	0.17	-Inf	Inf	0.9889	29.41	0.38	0.17	Three-Phase Series RLC Load12
30	RLC load PQ	Bus*9*	Bus*9*	20.00	1	0.00	0.12	0.06	-Inf	Inf	0.9856	29.40	0.12	0.06	Three-Phase Series RLC Load13
31	Bus	-	Bus*7*	20.00	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.9874	29.40	0.00	0.00	Bus*45*1
32	RLC load PQ	Bus*13*	Bus*13*	20.00	1	0.00	0.53	0.23	-Inf	Inf	0.9827	29.39	0.53	0.23	Three-Phase Series RLC Load16
33	RLC load PQ	Bus*21*	Bus*21*	20.00	1	0.00	0.03	0.01	-Inf	Inf	0.9837	29.40	0.03	0.01	Three-Phase Series RLC Load7
34	Bus	-	Bus*1*	20.00	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.9907	29.42	0.00	0.00	Bus*52*

الشكل (4_3) نتائج جريان الحمل في بيئة MATLAB

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العينية
الفصل الرابع: دراسة جزء من الشبكة السورية بإدخال التوليد الموزع ونظم القياس

2.4 نمذجة تجهيزات مؤشرات الأعطال (Modeling Fault Indicator Equipment):

تعتمد مؤشرات حدوث العطل في كشفها للأعطال على مبدأ تجاوز القيمة الفعالة للتيار اللحظي المار في مؤشر العطل لقيمة حدية، يتم حسابها بالاعتماد على قيمة تيار العمل النظامي المار بالخط. تمت النمذجة في بيئة الماتلاب MatLab-Simulink. كما تم تطبيق المبدأ السابق في كشف العطل على الأطوار الثلاثة. وتم اختيار العنصر المنطقي OR من أجل تفعيل كشف حدوث العطل على الأطوار الثلاثة أو أي منها. في المرحلة الأخيرة تم تحويل الإشارة إلى إشارة رقمية (0 أو 1) يتم إرسالها إلى مركز التشغيل حيث يتم تنظيمها على شكل مصفوفة R^0 يبين الشكل (4_4) نموذج ماتلاب Simulink لمؤشر حدوث العطل.



الشكل (4_4) نموذج مؤشر العطل في بيئة MATLAB

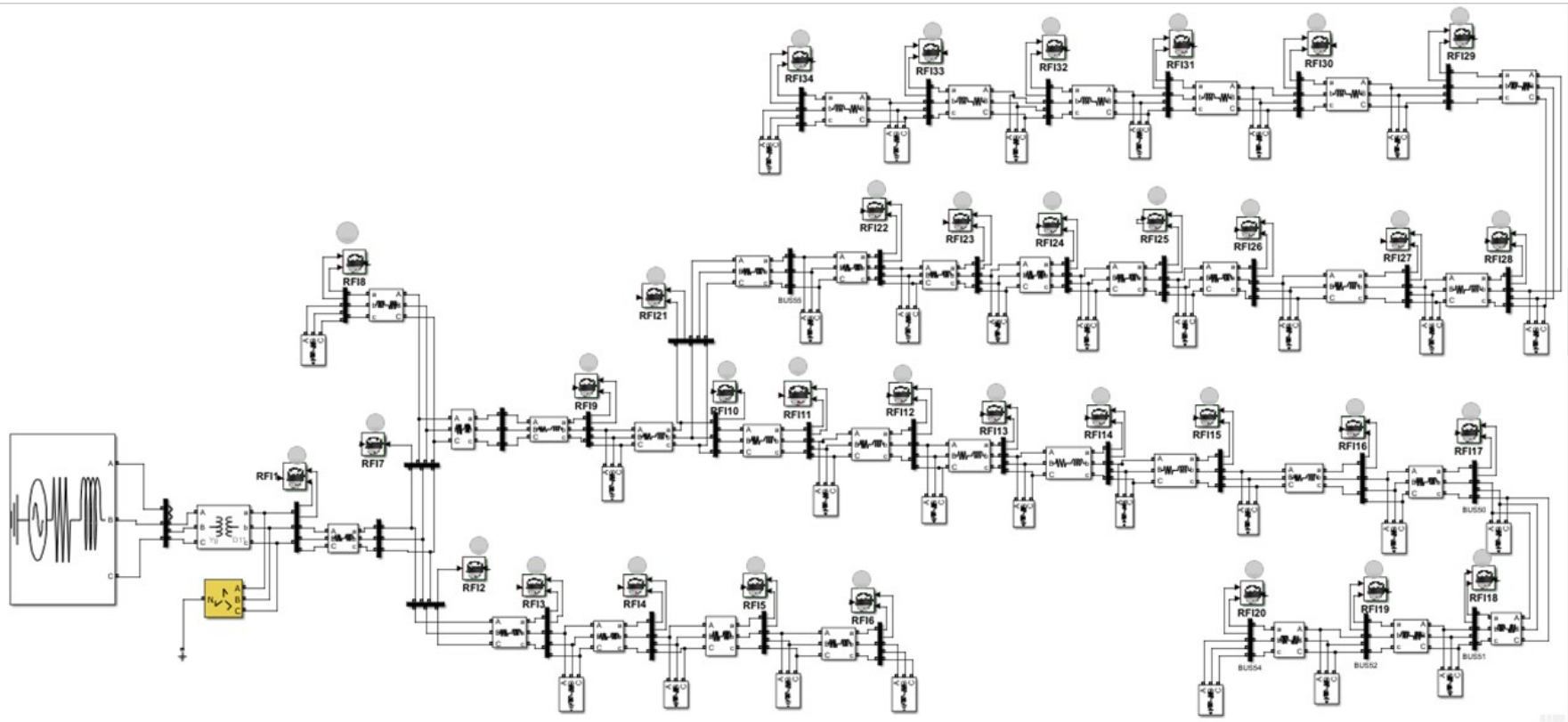
قمنا بعد ذلك بتزويد كل عقدة في الشبكة المدروسة بنموذج مؤشر عطل وترقيمه برقم العقدة نفسه، كما يبينه الشكل (4_5).

تزود كل عقدة في شبكة التوزيع بجهاز الكتروني يدعى (DCU (Data Concentrator Unit، ويسمى وحدة تجميع البيانات (انظر الفقرة 1.3.3)، يعمل على تجميع ومعالجة البيانات من عدة أجهزة موزعة مثل عدادات الكهرباء الذكية، وأجهزة القياس والمراقبة، تقوم وحدة تجميع البيانات بجمع البيانات من هذه الأجهزة الموزعة وتوجيهها إلى نقطة مركزية لتحليلها واستخدامها في إدارة وتشغيل الشبكة، كما هو مبين في الشكل (4_6).

تستقبل وحدة تحصيل البيانات DCU موجات التيارات من مؤشرات الأعطال الموجود على الأطوار الثلاثة، بالإضافة إلى موجات توتر العقدة المستقبلية من أقرب محطة تحويل عند كل مجموعة من الأحمال.

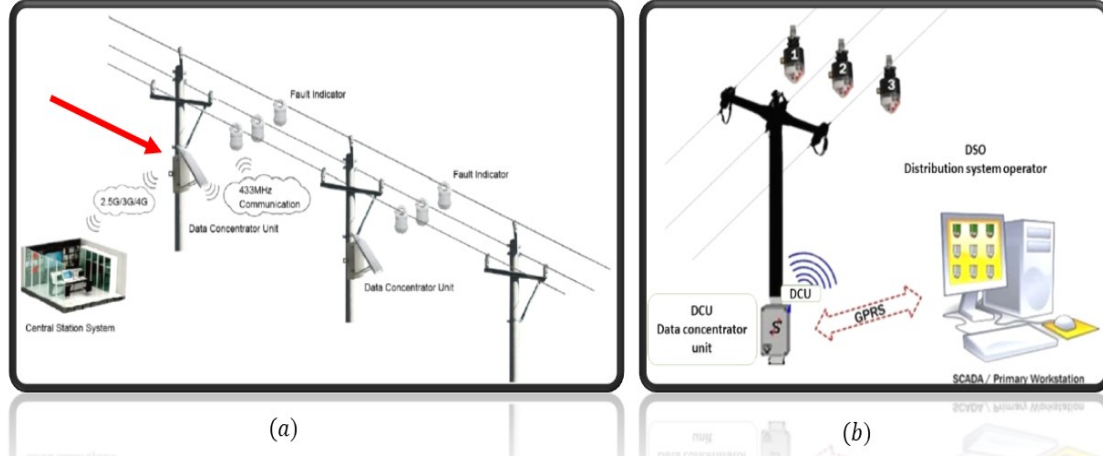
تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العينية

الفصل الرابع: دراسة جزء من الشبكة السورية بإدخال التوليد الموزع ونظم القياس



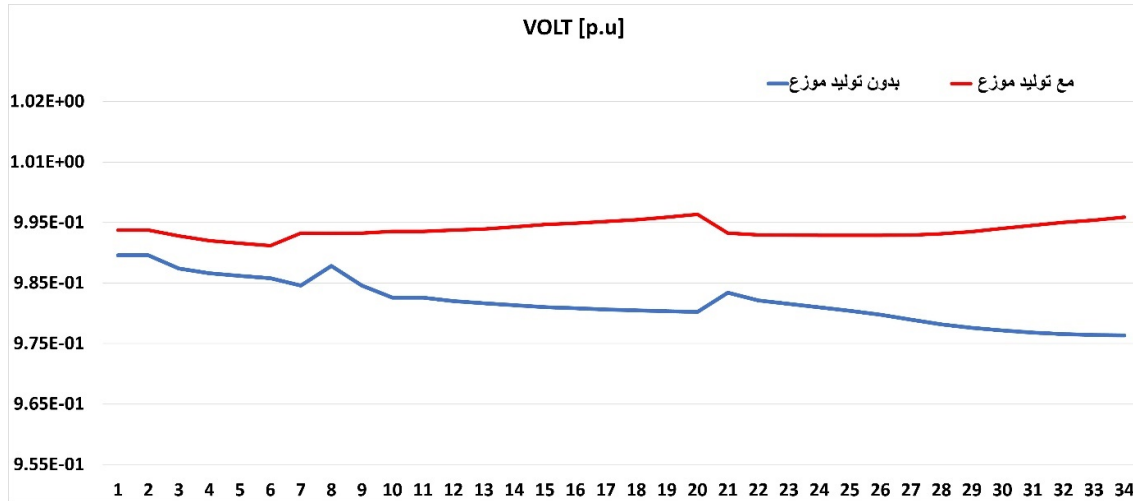
الشكل (4_5) نمذجة جزء من الشبكة السورية مع وجود مؤشرات أعطال باستخدام MatLab-SimPowerSystem

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العبييه
الفصل الرابع: دراسة جزء من الشبكة السورية بإدخال التوليد الموزع ونظم القياس



الشكل (4_6) بنية نظام الاتصالات لنظام مؤشرات الأعطال واستخدام DCU

بما أن الهدف اختبار الخوارزمية على شبكة توزيع بوجود توليد موزع، كان لابد من تزويد الشبكة المدروسة بوحدات توليد موزع مناسبة، نلاحظ من الشكل (4_3) أن العقدتين 20 و 34 تشكلان عقدتي نهاية خط شعاعي وتبلغ قيم التوترات فيهما $19.8[kV]$ و $19.7[kV]$ ، بعد إجراء عدد من التجارب على إدماج التوليد الموزع، وجدنا أن إضافة وحدتي التوليد في هاتين العقدتين ستعطي أداء جيد لشبكة التوزيع، حيث بقيت التوترات ضمن حدودها المسموحة كما يبين الشكل (4_7)، كما تحسنت الضياعات في الشبكة بشكل ملحوظ، حيث بلغت الضياعات بعد إدماج وحدات التوليد الموزع: $P_{loss} = 10.976[kW]$ و $Q_{loss} = 5.351[kVAR]$



الشكل (4_7) توترات العقد في الشبكة المدروسة قبل وبعد إضافة توليد موزع

ما يهمنا من عملية إدماج التوليد الموزع، هو مساهمته في تيار العطل اللازم لتفعيل مؤشرات الأعطال، وبالتالي اختبار الخوارزمية المقترحة لكشف وتحديد مكان العطل. يبين الشكل (4_8) مواصفات المولد المقترح اضافته إلى شبكة التوزيع كما يبين الشكل (4_9) نموذج المولد التزامني في بيئة ماتلاب.

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العينية

الفصل الرابع: دراسة جزء من الشبكة السورية بإدخال التوليد الموزع ونظم القياس في الواقع يمكن اختبار أي نوع من أنواع التوليد الموزع التقليدي أو المعتمد على الطاقات المتجددة في شبكات التوزيع المدروسة. ولكن من سيئة المولدات المعتمدة على الطاقات المتجددة أنها تتصل مع الشبكة الكهربائية عبر واجهات الكترونيات القدرة الكهربائية.

تساهم عادةً هذه الأنواع من المولدات في شبكات ال [20[kV بتيارات صغيرة نسبياً، بسبب عدم قدرة تجهيزات الكترونيات القدرة لتحمل تيارات عالية، فهي تملك تجهيزات حماية خاصة، تقوم بالفصل عند تجاوز تيار العمل لتيار العمل الاسمي بمقدار ضئيل.

الدراسة المستقبلية لهذا الجزء من الشبكة المدروسة يقوم على تحويل هذه الشبكة إلى شبكة ميكروية تعمل على شبكة توتر [20[kV لذلك وباعتبار أنه من خصائص الشبكة الميكروية هو وجود مولد تقليدي ذو طاقة أولية متحكم بها يغطي معظم الأحمال، لذلك تم استخدام مولد تزامني يمكنه تغطية معظم الأحمال في حال عمل هذه الشبكة الميكروية بشكل منفصل عن الشبكة الرئيسية.

Block Parameters: SM 5.5 MVA

Synchronous Machine (mask) (link)

Implements a 3-phase synchronous machine modelled in the dq rotor reference frame. Stator windings are connected in wye to an internal neutral point.

Configuration Parameters Advanced Load Flow

Nominal power, line-to-line voltage, frequency [Pn(VA) Vn(Vrms) fn(Hz)]: [5.5e6 2400 50]

Reactances [Xd Xd' Xd'' Xq Xq' Xq''] (pu): [1.56, 0.296, 0.177, 1.06, 0.177, 0.052]

Time constants

d axis: Short-circuit

q axis: Open-circuit

[Td' Td'' Tqo''] (s): [3.7, 0.05, 0.05]

Stator resistance Rs (pu): 0.0036

Inertia coefficient, friction factor, pole pairs [H(s) F(pu) p()]: [1.07 0 2]

Initial conditions [dw(%) th(deg) ia,ib,ic(pu) pha,phb,phc(deg) Vf(pu)]: [0 0 0 0 0 0 0 1]

☐ Simulate saturation

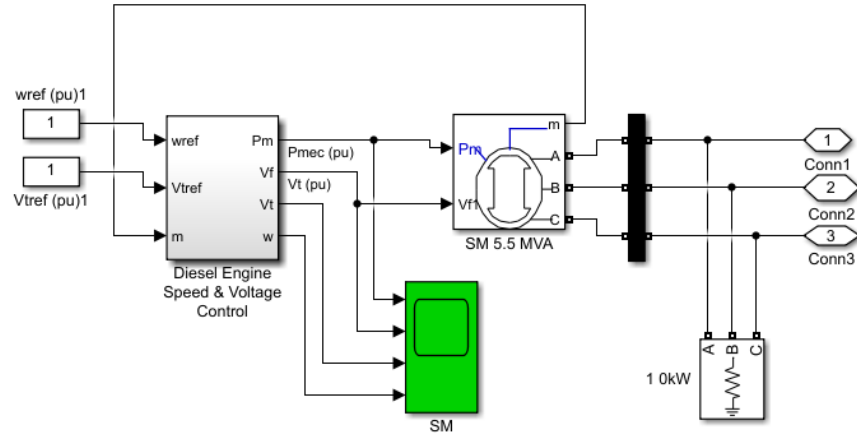
Plot

[ifd; vt] (pu): [0.211 0.418 1.0 1.25 1.72 3.35 ; 0.25 0.50 1.0 1.1 1.2 1.4]

OK Cancel Help Apply

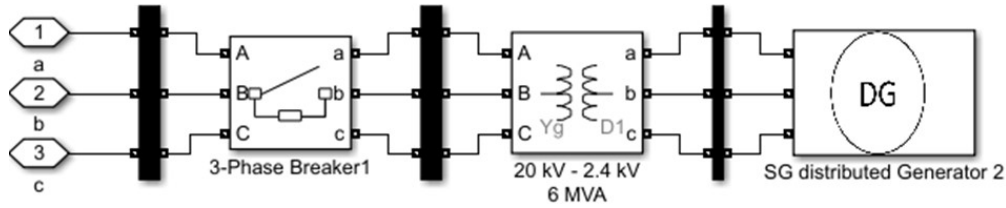
الشكل (4_8) بارامترات المولد التزامني المستخدم في الشبكة المدروسة

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العبيه
 الفصل الرابع: دراسة جزء من الشبكة السورية بإدخال التوليد الموزع ونظم القياس



الشكل (4_9) نموذج Simulink للمولد التزامني

يوصل المولد التزامني مع الشبكة عن طريق محول $2.4/20[kV]$ ، كما في الشكل (4_10)،



الشكل (4_10) ربط المولد التزامني مع محول $2.4/20[kV]$

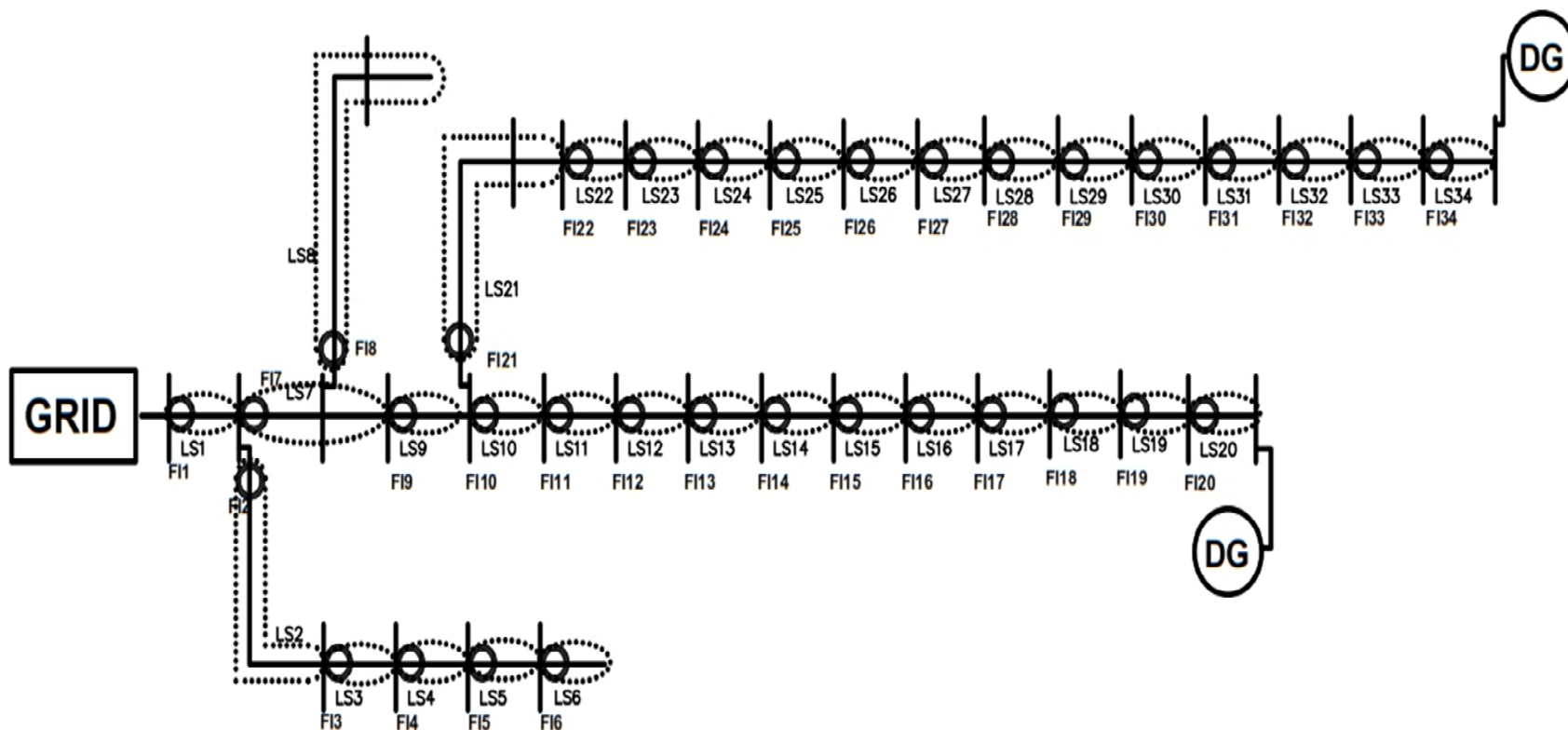
وقد تم موازنة نظام التحكم الخاص بالمولد التزامني ليحافظ على استقرار النظام الكهربائي المدروس.

نبين المخطط الصندوقي لنظام التحكم بالمولد التزامني وثوابت التحكم المستخدمة في حلقات التحكم المذكورة سابقاً في الجداول الموجودة في الملحق.

يبين الشكل (4_12) مخطط الخط الواحد للشبكة المقترحة بالإضافة إلى مكان توزيع المولدات الموزعة. في الواقع تم اختيار هذين الموقعين لإدراج التوليد الموزع بعد عدة اختبارات للشبكة المدروسة.

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العينية

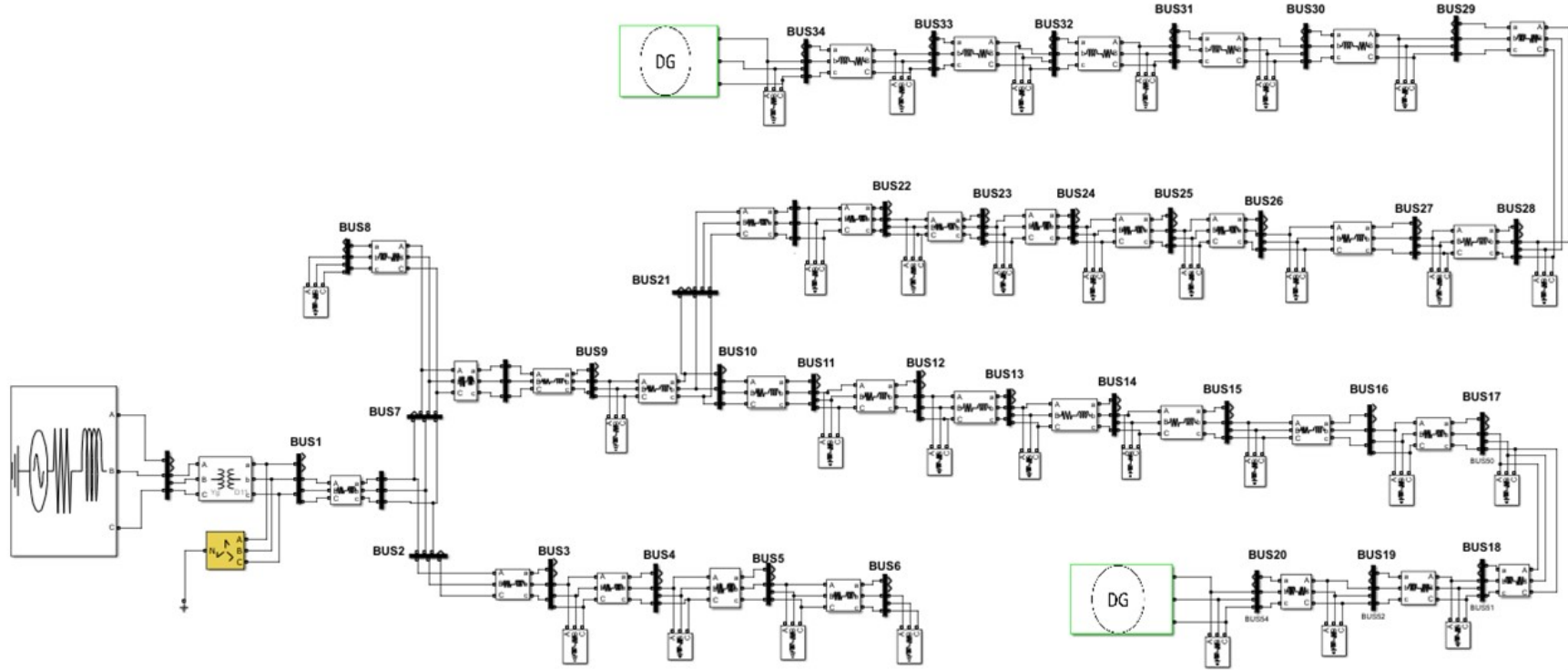
الفصل الرابع: دراسة جزء من الشبكة السورية بإدخال التوليد الموزع ونظم القياس



الشكل (4_11) جزء من الشبكة السورية بعد إضافة وحدات توليد موزع ومؤشرات الأعطال وتسمية مقاطع الخطوط

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العينية

الفصل الرابع: دراسة جزء من الشبكة السورية بإدخال التوليد الموزع ونظم القياس



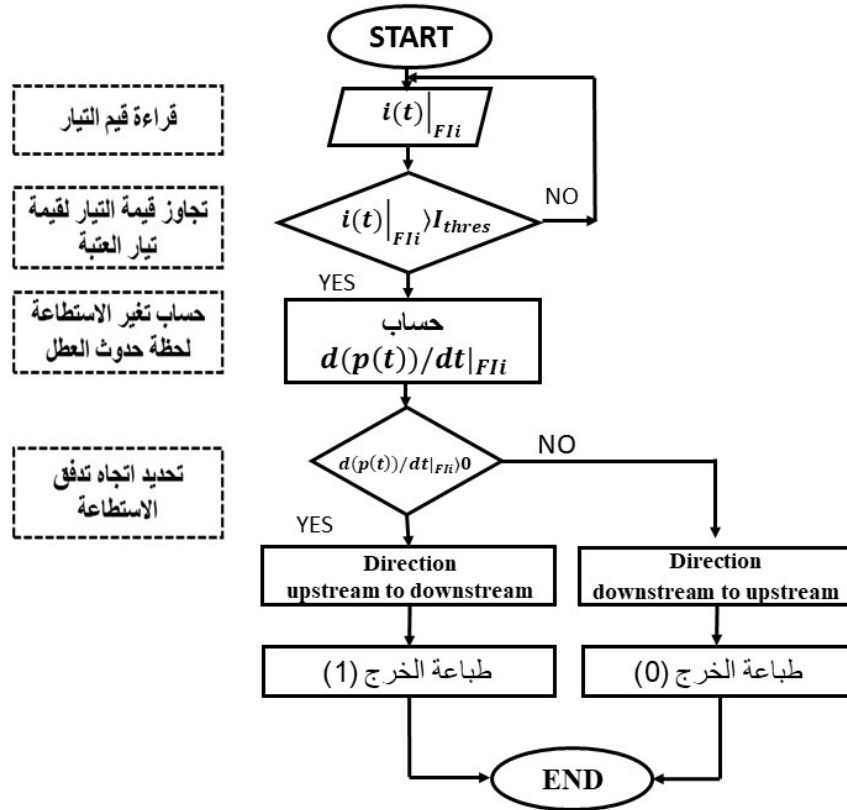
الشكل (4_12) نموذج جزء من الشبكة السورية بعد إضافة وحدات التوليد الموزع باستخدام MatLab-SimPowerSystem

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العبيد
الفصل الرابع: دراسة جزء من الشبكة السورية بإدخال التوليد الموزع ونظم القياس

3.4 خوارزمية تحديد اتجاه الاستطاعة عند حدوث العطل (Algorithm for Determining Power Direction During Faults)

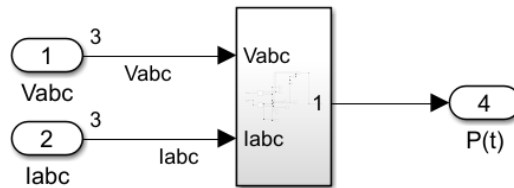
:(Direction During Faults)

نعمتد في تحديد اتجاه تيار العطل على قياس التيارات والتوترات، من ثم حساب تغير الاستطاعة اللحظية وذلك بعد التأكد من حدوث العطل. يتم التأكد من حدوث العطل عند تجاوز التيار لعتبه محددة مسبقاً I_{thres} وفق شروط عمل الشبكة النظامية.



الشكل (4_13) خوارزمية تحديد اتجاه تدفق التيار أثناء العطل والموجودة في وحدة المعالجة DCU

تم بناء نموذج خوارزمية تحديد الاتجاه في بيئة النمذجة matlab بالاستعانة بمكتبة Simulink كما يبينه الشكل (4_14).



الشكل (4_14) نموذج ماتلاب لحساب تغير الاستطاعة

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م. ندى العنينة

الفصل الرابع: دراسة جزء من الشبكة السورية بإدخال التوليد الموزع ونظم القياس

يقوم نموذج حساب الاستطاعة المنصب في وحدة المعالجة DCU، بتحليل موجة التوتر والتيار، وحساب

تغير الاستطاعة المارة عبر مؤشر العطل المدروس. ففي حال كان التغير موجباً (بنفس اتجاه سريان الاستطاعة

في حالة العمل الطبيعي)، تترجم هذه الإشارة على شكل نقطة ضوئية بلون أحمر في واجهة الماتلاب. وفي حال

كان التغير سالباً (بعكس اتجاه سريان الاستطاعة في حالة العمل الطبيعي)، تترجم هذه الإشارة على شكل نقطة

ضوئية بلون أزرق في واجهة الماتلاب.

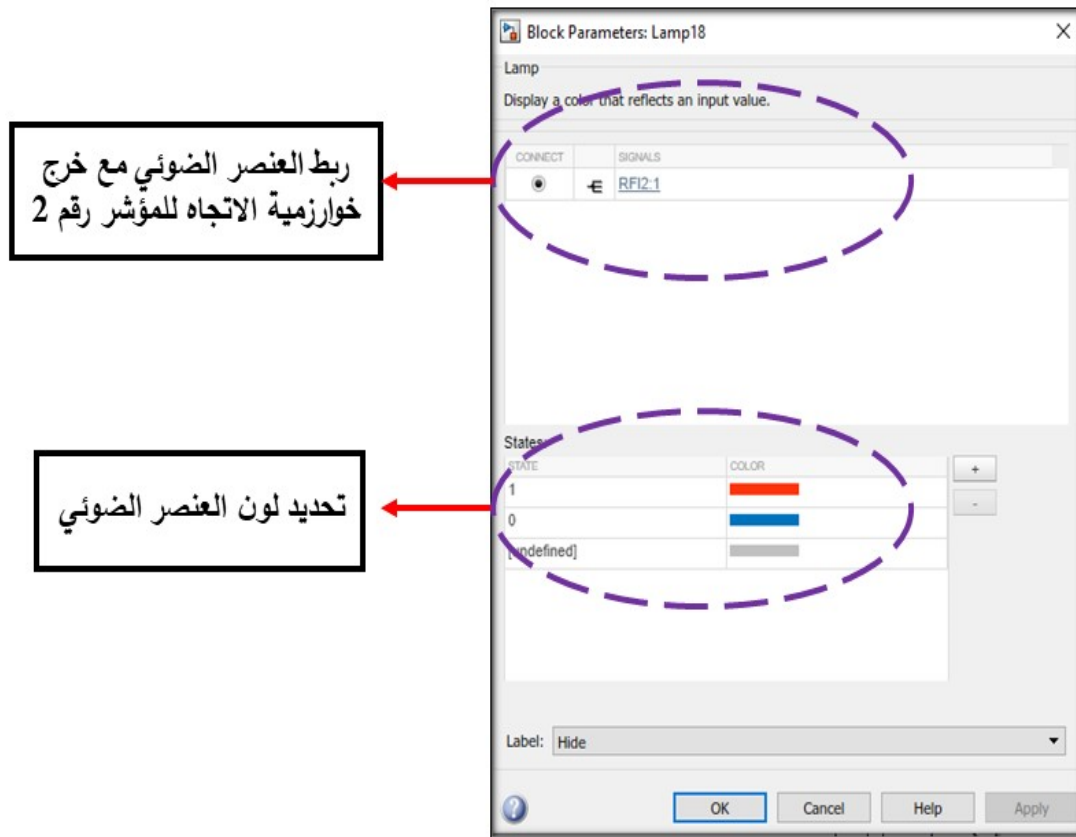
تم استخدام بلوك ضوئي في واجهة ماتلاب من أجل الحصول على النقاط الضوئية، وتم ربطه مع قيمة

عددية تمثل خرج خوارزمية تحديد الاتجاه، ففي حال كان خرج الخوارزمية رقم (1) يرمز للاتجاه من upstream

إلى downstream وفي حال كان (0) كان الاتجاه من downstream إلى upstream.

يبين الشكل (4_15) كيفية ربط نتائج تحديد جهة العطل الرقمية (0 أو 1) بالعنصر الضوئي في بيئة

ماتلاب Simulink.



الشكل (4_15) نموذج العنصر الضوئي في بيئة ماتلاب

تقوم مؤشرات الأعطال بإرسال معلومات حدوث العطل واتجاهه كمصفوفات (R_0^{ud}, R_0^{du}) ، إلى مركز

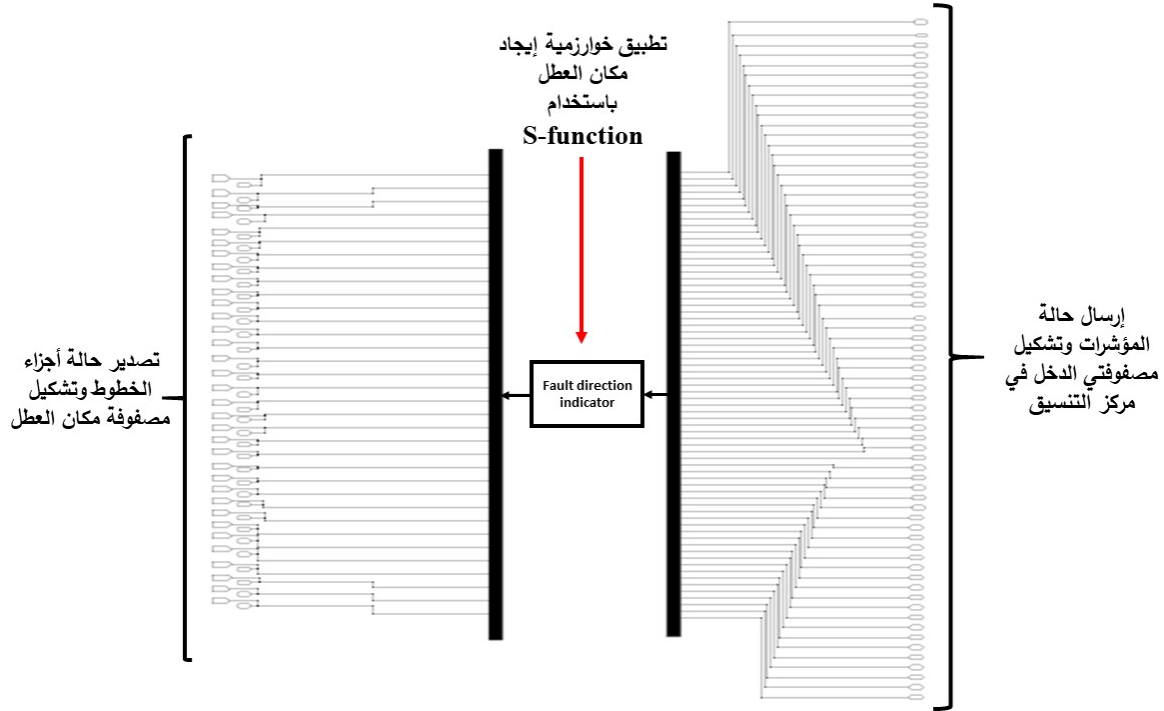
تشغيل شبكة التوزيع DSO كما بينا في الفصل السابق.

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العينية

الفصل الرابع: دراسة جزء من الشبكة السورية بإدخال التوليد الموزع ونظم القياس

يتم تجميع هذه المعلومات في مركز تشغيل شبكة التوزيع DSO على شكل مصفوفات شعاعية ليتم معالجتها في مركز التشغيل وفق الخوارزمية المقترحة والمبينة أيضاً في الفصل السابق. تم نمذجة ما سبق في بيئة الماتلاب Simulink باستخدام صندوق s-Function بعد ربطه ببيئة ECLIPS ويتم اصدار النتائج عن طريق مكان حدوث العطل.

يبين الشكل (4_16) نموذج الماتلاب المطبق لذلك الفرض.



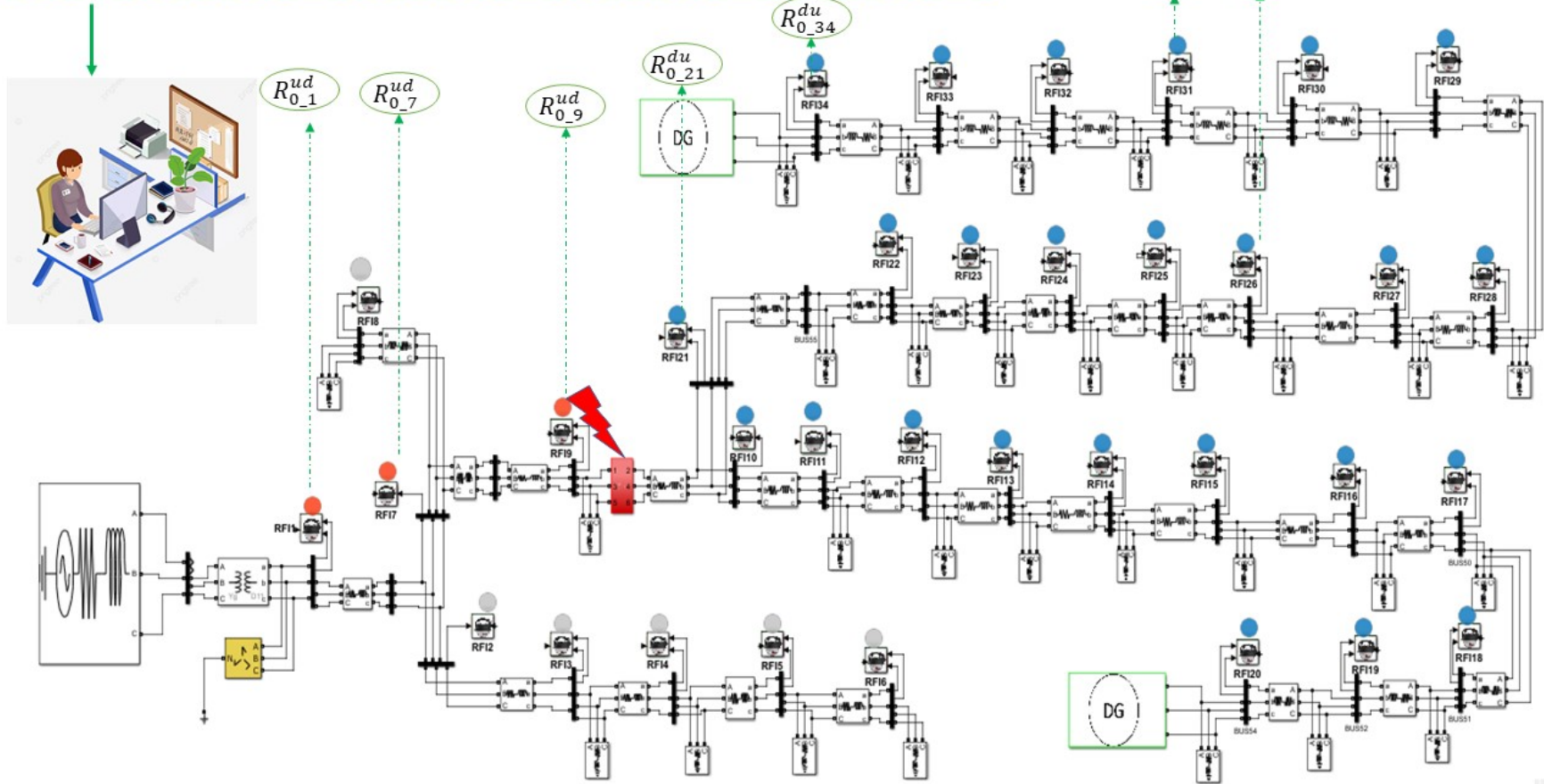
الشكل (4_16) تمثيل خوارزمية إيجاد مكان العطل في مركز التشغيل DSO باستخدام بيئة Matlab-Simulink

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.بندى العينية

الفصل الرابع: دراسة جزء من الشبكة السورية بإدخال التوليد الموزع ونظم القياس

$$R_0^{ud} = \{1, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 1, 0\}$$

$$R_0^{du} = \{0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1\}$$



الشكل (4_17) حالة وجود عطل في LS9 وعمل جميع المؤشرات بشكل مثالي

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العبينه
 الفصل الرابع: دراسة جزء من الشبكة السورية بإدخال التوليد الموزع ونظم القياس

4.4 تطبيق خوارزمية تحديد مكان العطل على الشبكة المدروسة (Application of Fault Location)

:(Algorithm on the Studied Network

عند حدوث أي نوع من أنواع الأعطال في الشبكة المقترحة، ترسل جميع مؤشرات الأعطال حالتها إلى

مركز التشغيل، ليتم تشكيل مصفوفتي الدخل R_0^{ud}, R_0^{du} .

يتم تطبيق مسألة الأمثلة الخطية لتحديد مكان العطل على مصفوفات الدخل، ويتم ذلك عن طريق الماتلاب بالاستعانة بدالة S-Function، ليتم إستدعاء خوارزمية الأمثلة الخطية عن طريق الدالة

system('java -jar File-name.jar');

حيث يتم تطبيق مسألة الأمثلة في بيئة الأمثلة وتصدير النتيجة عن طريق طباعة مصفوفة LSF في بيئة ECLIPS كما يلي:

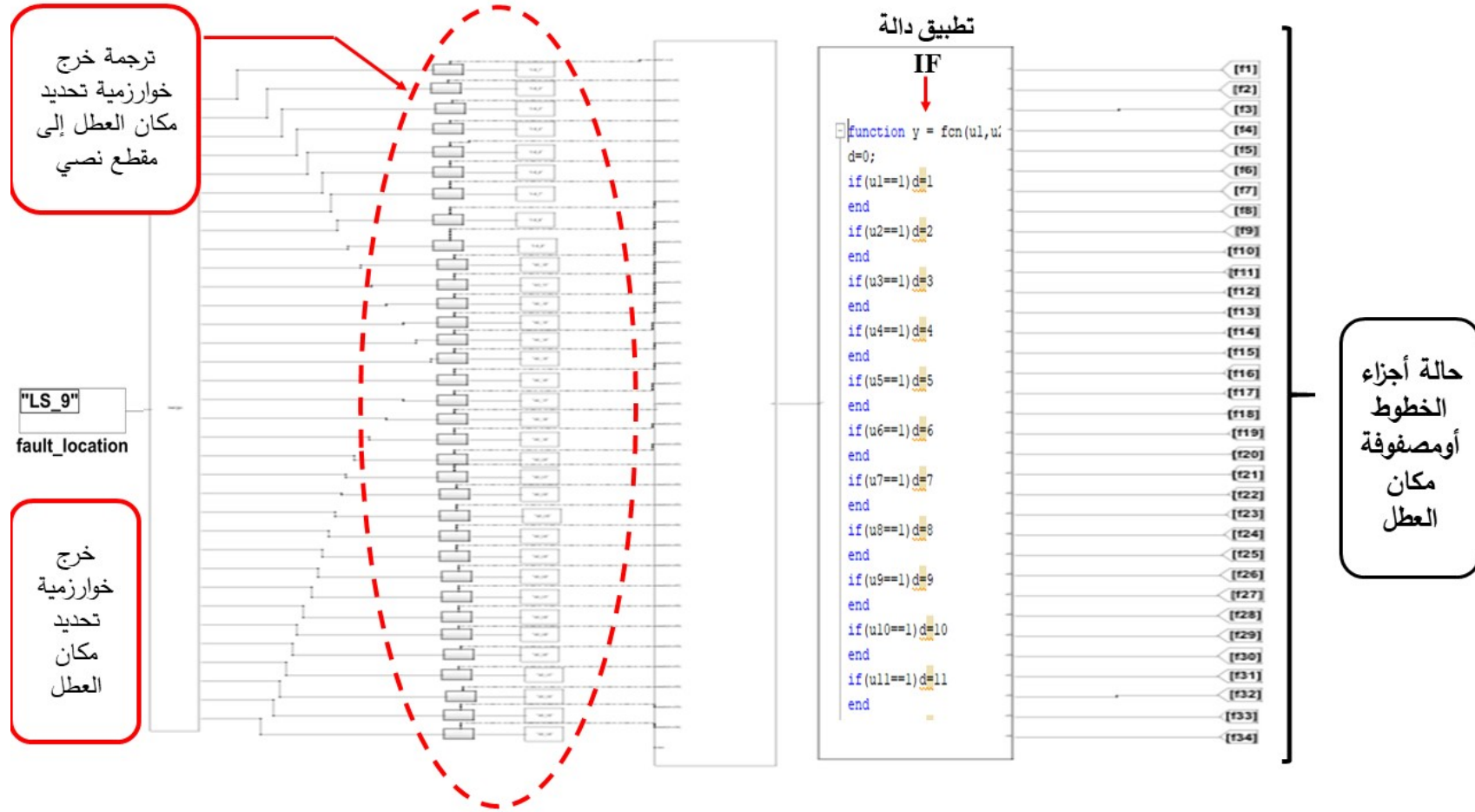
```
for(int i=0;i<n;i++){
    write.addrecord_matlab((int) ( Math.round(cplex.getValue(LSF[i]))));
}
write.closeFile_writing();
```

الشكل (4_18) جزء من البرنامج في بيئة Eclips الخاص بإصدار النتيجة

يتم تصدير مصفوفة LSF ، بالاستعانة بالأمر write.addrecord_matlab في بيئة ECLIPS، والتي تحدد مكان العطل، ثم تتم قراءة هذه المصفوفة في بيئة ماتلاب، ويتم ترجمتها إلى أمر نصي كما هو مبين في الشكل (4_19).

من أجل اختبار نموذج استقبال الخوارزمية لمعلومات مؤشرات الأعطال وإظهار الخرج على شكل عبارة نصية، وفق التعليمات السابقة، قمنا بتطبيق عطل على الشبكة المدروسة المبينة الشكل (4_17) عند الباسبار (9)، حيث نلاحظ من الشكل (4_19) أن خرج الخوارزمية قد حدد بدقة مكان العطل وظهره على شكل "LS-9"

الفصل الرابع: دراسة جزء من الشبكة السورية بإدخال التوليد الموزع ونظم القياس



الشكل (4_ 19) نموذج ماتلاب يبين كيفية ترجمة خرج خوارزمية تحديد مكان العطل إلى مقطع نصي

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العبيد
الفصل الرابع: دراسة جزء من الشبكة السورية بإدخال التوليد الموزع ونظم القياس

5.4 الخوارزمية المقترحة لتصنيف الأعطال في شبكات التوزيع الكهربائية (The Proposed Algorithm for Fault Classification in Electrical Distribution Networks):

تساهم عملية تصنيف الأعطال في مركز تشغيل نظام التوزيع، في تسهيل إجراءات الصيانة وعزل العطل، كما تعطي تصور واضح حول عدد ونوع الأعطال عند إجراء الدراسات الإحصائية لكل منطقة جغرافية. أدى وجود وحدات التوليد الموزع في شبكات التوزيع، إلى تغيير في قيم تيارات الأعطال، كما يسبب خلل في حالات التوازن، وتوزيع التيارات في الأطوار عند حدوث الأعطال غير المتناظرة.

1.5.4 تصنيف الأعطال المتناظرة (Classification of Symmetrical Faults):

نظراً لانعدام المركبة الصفيرية والسالبة في الأعطال المتناظرة الشكل (4_20) (Helios & H, 2024)، لذلك يعد كشف هذا النوع من الأعطال من الأمور غير المعقدة، حيث نحدد شروط حدوث الأعطال المتناظرة بتساوي تيارات الأطوار I_{ph1} ، I_{ph2} ، I_{ph3} بالإضافة إلى تجاوزها لعتبة محددة I_{ph_Lim} بما يتجاوز 1.5 مرة حسب الشروط التالية:

$$I_{ph1} > 1.5 * I_{ph_Lim} \quad (4_1)$$

$$I_{ph2} > 1.5 * I_{ph_Lim} \quad (4_2)$$

$$I_{ph3} > 1.5 * I_{ph_Lim} \quad (4_3)$$

$$I_{ph1} = I_{ph2} = I_{ph3} \quad (4_4)$$

تم أخذ قيمة حدية تبلغ 1.5 من تيار العمل الاسمي بالاعتماد على خصائص حماية التيار الأعظمية (over current protection) حيث يتم أخذ عوامل بحدود 1.5 من التيار الاسمي، تجنباً لفصل الحماية عند ظروف خاصة بعيدة عن حالة العطل.

كما يتم تعيين I_{ph_Lim} أكثر بمقدار 10% من تيار العمل الاسمي عند المؤشر المدروس.

غالباً ما يترافق حدوث العطل بمرحلة عابرة عند لحظة حدوثه، تزيد المولدات الموزعة التقليدية في حال وجودها من هذه الحالة العابرة، لذلك تترافق لحظة حدوث العطل بحالة عدم توازن بسيطة بين الأطوار الثلاثة. عندئذ تظهر قيم صغيرة جداً للمركبات الصفيرية والسالبة في هذه المرحلة عند هذا النوع من الأعطال المتوازنة، لتمييز هذا النوع من الأعطال وتجاوز مشكلة حدوث عدم التوازن المرحلي قمنا بحساب الاستطاعة الفعلية للمركبة الصفيرية والسالبة P_{neg} و P_{zero} وذلك عن طريق استقبال وحدة المعالجة DCU لموجات التيار الثلاث من مؤشرات الأعطال الموجودة في العقدة الأولى، واستقبال موجات التوتر الثلاث من أقرب محطة تحويل، ثم معالجة

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العبيه
 الفصل الرابع: دراسة جزء من الشبكة السورية بإدخال التوليد الموزع ونظم القياس
 هذه الموجات في وحدة ال DCU الموجودة في العقدة الأولى من أجل حساب P_{neg} و P_{zero} والقيام بتصنيف نوع العطل .

قمنا بإضافة شرط حدي بسيط لهتين المركبتين قريب من الصفر كما يلي:

$$P_{neg} < Thre_1 \quad (4_5)$$

$$\& P_{zero} < Thre_1 \quad (4_6)$$

حيث: $Thre_1 = 10W$ ، تم فرض القيمة الحدية بقيمة 10 وهي قيمة صغيرة جداً وقريبة من الصفر نسبياً من أجل تغطية الحالة العابرة فقط.

تقرض الخوارزمية حساب الاستطاعة الفعلية لكل من المركبة السالبة والصفرية، من أجل تحديد شرط الحد الأدنى لهذه المركبات.

حيث:

$$P_{zero} = U_{zero} \times I_{zero} \times \cos(\varphi_{zero}) \quad (4_7)$$

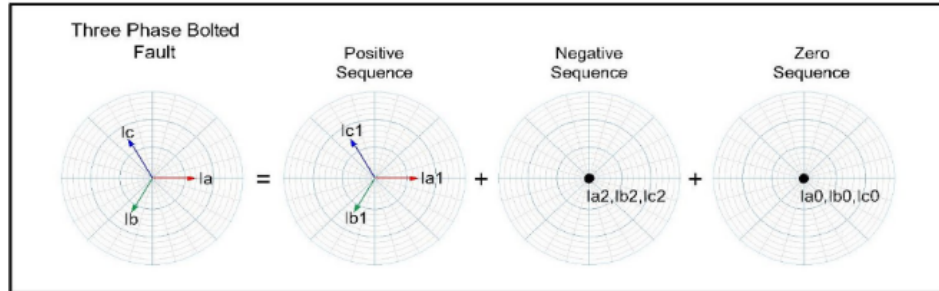
$$P_{neg} = U_{neg} \times I_{neg} \times \cos(\varphi_{neg}) \quad (4_8)$$

يعد هذا الاقتراح فعال جداً من أجل تمييز الأعطال بقيم ممانعات أعطال تتراوح بين 0.0001 – 15 Ω وقد تم اختيار نقطة مرجعية في الشبكة، من أجل أخذ قراءات التيارات والتوترات اللازمة لتحديد نوع العطل، حيث تم اعتبار العقدة رقم 1 لهذا الغرض، أي عند المؤشر FI1.

2.5.4 تصنيف الأعطال غير المتناظرة (Classification of Asymmetrical Faults):

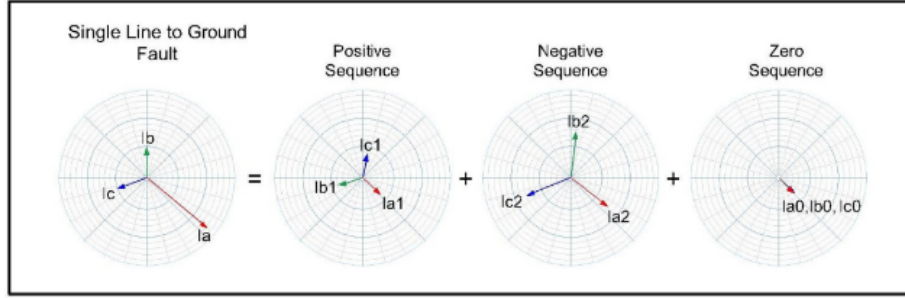
يتم تحليل الأعطال غير المتناظرة، في الشبكات الكهربائية عن طريق تحويل أشعة التوترات والتيارات إلى مركباتها المتناظرة، الصفرية والسالبة والموجبة.

تبيين الأشكال الشكل (4_20)، الشكل (4_21)، الشكل (4_22)، الشكل (4_23) المخطط الشعاعي للتيارات في كافة حالات الأعطال، كما نجد تحليل هذه التيارات إلى مركبات سالبة وموجبة (Helios & H, 2024).

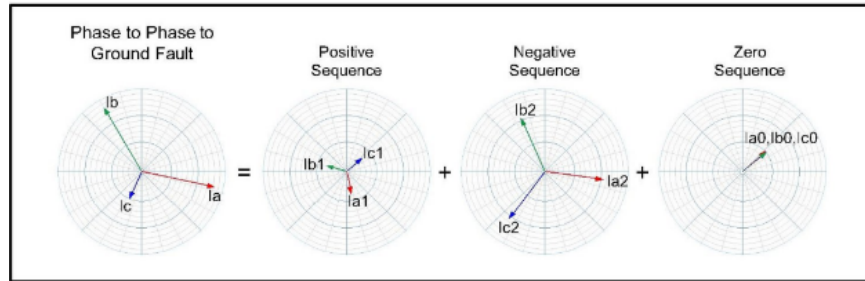


الشكل (4_20) مركبات التيارات عند حدوث أعطال متناظرة

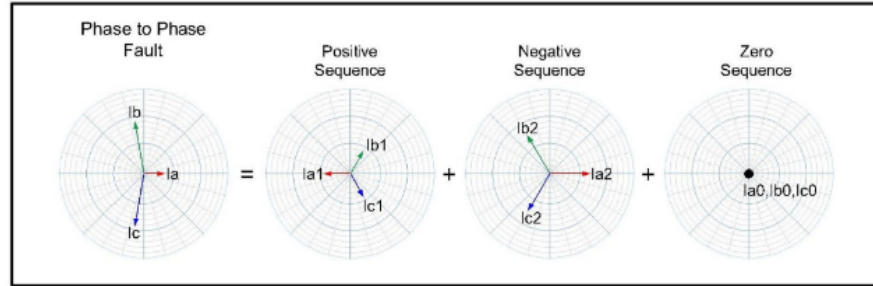
تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العبيد
 الفصل الرابع: دراسة جزء من الشبكة السورية بإدخال التوليد الموزع ونظم القياس



الشكل (4_21) مركبات التيارات عند حدوث عطل طور مع الأرض



الشكل (4_22) مركبات التيارات عند حدوث عطل طورين مع الأرض



الشكل (4_23) مركبات التيارات عند حدوث عطل طورين

نلاحظ من الأشكال السابقة، أنه يمكن الاعتماد على خصائص المركبات المتناظرة في تحديد نوع العطل، ويمكن إنجاز ذلك بسهولة عند حدوث أعطال بممانعات صغيرة، بسبب وجود تمايز عالي جداً بين تيارات الأطوار المعطلة والأطوار السليمة. في حالة الأعطال ذات الممانعات المرتفعة، فإن وجود التوليد الموزع الأحادي أو الثلاثي الطور، يفرض تغييراً في قيم التيارات وبالتالي تغييراً في قيم المركبات المتناظرة.

يمكن من خلال ضبط وحساب قيم هذه المركبات الحصول على تمييز جيد لمختلف أنواع الأعطال بوجود توليد موزع.

من أجل الحصول على القيم الحدية اللازمة لعملية تصنيف الأعطال كان لابد من حساب قيم تيارات الأعطال بمركباتها الموجبة والصفرية والسالبة وحساب استطاعات هذه المركبات عند قيم مختلفة لممانعة العطل. إن ذلك يضيف على الخوارزمية المقترحة المتانة اللازمة والموثوقية في إعطاء التصنيف الصحيح عند العمل في

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العينية

الفصل الرابع: دراسة جزء من الشبكة السورية بإدخال التوليد الموزع ونظم القياس الزمن الحقيقي. يبين الجدول (4_3) و الجدول (4_4) حساب قيم تيارات الأطوار الثلاثة و استطاعة المركبات السالبة والصفريّة مأخوذة عند المؤشر الأول FI1، لكل حالة من حالات الأعطال، عند أصغر مقاومة عطل وأكبر مقاومة مدروسة. وتم بالاعتماد على هذه القيم استنتاج القيم الحدية للتمييز بين الأعطال في الشبكة المدروسة بوجود التوليد الموزع.

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.بندى العينية

الفصل الرابع: دراسة جزء من الشبكة السورية بإدخال التوليد الموزع ونظم القياس

الجدول (4_3) قيم التيارات واستطاعة المركبات الصفرية والسالبة عند مختلف أنواع الأعطال عند مقاومة عطل $RF=0.0001[\Omega]$ مأخوذة عند FI1

	L1_G					L_L_G (L1-L2_G)					L_L (L1_L2)					3PH				
	I_{ph1} (A)	I_{ph2} (A)	I_{ph3} (A)	P_0 (W)	P_- (W)	I_{ph1} (A)	I_{ph2} (A)	I_{ph3} (A)	P_0 (W)	P_- (W)	I_{ph1} (A)	I_{ph2} (A)	I_{ph3} (A)	P_0 (W)	P_- (W)	I_{ph1} (A)	I_{ph2} (A)	I_{ph3} (A)	P_0 (W)	P_- (W)
LS2	1.8e4	675	552	4.5e6	1.6e7	1.8e4	1.8e4	1272	6.3e6	5.7e6	1.3e4	1.4e4	409	0	2.4e7	1.6e4	1.6e4	1.6e4	0	0
LS4	1.1e4	364	365	2.5e6	5.5e6	1.1e4	1e4	602	3.1e6	3.4e6	8900	8916	240	0	1e7	10452	10452	10452	0	0
LS6	8082	286	283	1.3e6	2.8e6	8390	7612	482	1.4e6	2.6e6	6701	6709	211	0	5.6e6	7948	7948	7948	0	0
LS9	1.5e4	813	690	4.4e6	1.1e7	1.5e4	1.3e4	1443	6.3e6	4.6e6	1.1e4	1.1e4	422	0	1.7e7	13447	13447	13447	0	0
LS10	1.2e4	830	731	3e6	7.3e6	1.2e4	1.1e4	1331	3e6	3.6e6	9734	1e4	384	0	1.2e7	11395	11395	11395	0	0
LS12	1.1e4	817	729	2.4e6	6.2e6	1.1e4	1e4	1274	3.2e6	3.2e6	9040	9306	365	0	1.1e7	10582	10582	10582	0	0
LS14	1e4	805	725	1.8e6	4.9e6	1e4	9434	1227	2.4e6	2.7e6	8139	8394	345	0	8.6e6	9547	9547	9547	0	0
LS17	8885	798	719	1.3e6	3.7e6	9120	8248	1197	1.7e6	2.1e6	7156	7405	329	0	6.7e6	8424	8424	8424	0	0
LS22	1.2e4	830	727	2.9e6	7.5e6	1.2e4	1.1e4	1334	4e6	3.7e6	9815	1e4	387	0	1.3e7	11491	11491	11491	0	0
LS26	1e4	805	717	2e6	5.4e6	1e4	9874	1231	2.7e6	2.9e6	8499	8757	353	0	9.4e6	9956	9956	9956	0	0
LS29	8058	788	699	1.1e6	3.1e6	8295	7518	1170	1.3e6	1.8e6	6541	6789	321	0	5.6e6	7722	7722	7722	0	0
LS31	7514	788	695	9.5e5	2.7e6	7747	7042	1165	1.1e6	1.6e6	6130	6378	316	0	4.9e6	7253	7253	7253	0	0
LS33	6564	790	689	7e5	2.1e6	6782	6204	1161	8.6e5	1.3e6	5398	5648	309	0	3.8e6	6415	6415	6415	0	0

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العينية

الفصل الرابع: دراسة جزء من الشبكة السورية بإدخال التوليد الموزع ونظم القياس

الجدول (4_4) قيم التيارات واستطاعة المركبات الصفرية والسالبة عند مختلف أنواع الأعطال عند مقاومة عطل $RF=15 [\Omega]$ مأخوذة عند FI1

	L1_G					L_L_G (L1-L2_G)					L_L (L1_L2)					3PH				
	I_{ph1}	I_{ph2}	I_{ph3}	P_0	P_-	I_{ph1}	I_{ph2}	I_{ph3}	P_0	P_-	I_{ph1}	I_{ph2}	I_{ph3}	P_0	P_-	I_{ph1}	I_{ph2}	I_{ph3}	P_0	P_-
LS2	678	119	97	8874	1.9e4	2796	2666	193	1.4e5	2.9e5	1184	1265	100	0	1.8e5	748	748	748	0	0
LS4	666	119	97	8508	1.8e4	2487	2386	175	1.1e5	2.3e5	1113	1194	100	0	1.6e5	726	726	726	0	0
LS6	652	118	98	8129	1.7e4	2276	2191	163	9.5e4	1.9e5	1059	1140	100	0	1.4e6	707	707	707	0	0
LS9	790	394	341	1141	4e4	2680	2514	239	1.2e5	2.6e5	1152	1227	96	0	1.7e5	734	734	734	0	0
LS10	757	376	320	1844	3.6e4	2644	2464	255	1.1e5	2.5e5	1123	1197	96	0	1.6e5	724	724	724	0	0
LS12	762	375	319	1770	3.6e4	2531	2335	276	1e5	2.3e5	1110	1185	97	0	1.6e5	720	720	720	0	0
LS14	773	374	317	1661	3.7e4	2430	2219	297	8.9e4	2.1e5	1092	1167	97	0	1.5e5	714	714	714	0	0
LS17	776	376	318	1537	3.7e4	2385	2167	307	8.4e4	2e5	1068	1145	100	0	1.4e5	706	706	706	0	0
LS22	709	371	310	1943	3.2e4	2578	2392	266	1e5	2.4e5	1123	1197	96	0	1.6e5	724	724	724	0	0
LS26	726	370	308	1756	3.3e4	2448	2247	288	9.1e4	2.1e5	1097	1172	97	0	1.5e5	715	715	715	0	0
LS29	744	369	306	1475	3.4e4	2313	2096	315	7.7e4	1.8e5	1046	1124	101	0	1.4e5	697	697	697	0	0
LS31	758	367	303	1406	3.5e4	2234	2007	331	6.9e4	1.7e5	1033	1112	103	0	1.3e5	693	693	693	0	0
LS33	766	367	303	1282	3.6e4	2186	1952	343	6.5e4	1.6e5	1006	1088	105	0	1.3e5	685	685	685	0	0

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العبيد
الفصل الرابع: دراسة جزء من الشبكة السورية بإدخال التوليد الموزع ونظم القياس

(a) عطل طور مع الأرض (L-G):

يتميز عطل طور مع الأرض بأن تيار الطور المعطل أعلى بكثير، من تيار الطورين الآخرين، عند مقاومة عطل صغيرة جداً، ويقل الفرق بين الطور المعطل والطورين الآخرين من أجل مقاومات عطل أعلى.

يمكن توضيح ذلك من معادلة تيار العطل الأحادي الطور مع الأرض (Saadat, 1999) ،

$$I_{fault} = 3I_0 = \frac{V_0}{3Z_f + Z_0 + Z_1 + Z_2} \quad (4-9)$$

حيث:

V_0 : توتر نقطة العطل قبيل العطل.

Z_f : ممانعة العطل.

Z_0, Z_1, Z_2 : مركبات الممانعات السالبة والموجبة والصفرية على التوالي.

نلاحظ انخفاض قيمة تيار العطل عند ارتفاع قيمة ممانعة العطل، وبالتالي تتخفص قيمة تيار الخط المساهم بتيار العطل، ويمكن أن يصل تيار الخط عندئذ أثناء العطل إلى قيم قريبة من قيم تيارات الخطين الآخرين غير المعطلين. يمكن تحديد الحد الأدنى لهذا الفرق عند أكبر مقاومة عطل وهي $15[\Omega]$ بحوالي 1.5 مرة، لذلك تم وضع الحد الأدنى بناءً على هذه النتيجة.

افترضنا في هذا النوع من الأعطال كما في الأعطال المتناظرة، الاعتماد على حساب المركبة الصفرية للاستطاعة الفعلية، بدلاً من الاعتماد على المركبة الصفرية للتيار، كمعيار لبيان حدوث الأعطال الأحادية مع الأرض. من المهم جداً أن نبين سبب ذلك الفرض دائماً، وهو الحصول على إشارة كشف العطل ذات حالة عابرة مقبولة، حيث نعتمد هنا على قيمة توتر المركبة الصفرية وتيار المركبة الصفرية كما في معادلات P_{zero} في الأعطال غير المتوازنة.

يمكن تصنيف العطل على أنه عطل أحادي الطور بسهولة في حالة مقاومات العطل الصغيرة ولكن تكمن المشكلة في المقاومات العالية حيث يمكن اعتبار العطل على أنه حالة عدم توازن.

إن قيمة استطاعة المركبة الصفرية الموافقة لعطل طور مع أرض والموافقة لمقاومة عطل $15[\Omega]$ في الشبكة المدروسة تختلف قيمتها المقاسة في FI1، تبعاً لموقع العطل، وتتراوح بين مختلف أماكن حدوث العطل بين $1[kW]$ عند مقاومة عطل عالية، وترتفع حتى $1[MW]$ عند مقاومة عطل منخفضة، وتتخفص في عطل طورين مع الأرض حتى حوالي $2[kW]$ ، لذلك سنعمل على إيجاد حد مناسب للحالتين. يبين الشكل (4_24) الشروط والحدود الدنيا المطلوبة لكشف العطل LG.

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العبييه
الفصل الرابع: دراسة جزء من الشبكة السورية بإدخال التوليد الموزع ونظم القياس

(b) عطل طورين مع الأرض (LL-G) :

يشبه هذا العطل عطل طور مع الأرض من حيث أن استطاعة المركبة الصفريّة عالية جداً عند مقاومة عطل صغيرة، ولكن يتميز عنه بأن قيمة مركبات التيار على الطورين المعطلين، أعلى بقيمة كبيرة من قيمة التيار على الطور الثالث السليم، ولكن ينخفض هذا الفرق عند مقاومة عطل عالية للعطل $15[\Omega]$ ، ليصبح الفرق أقل بشكل واضح بين الطورين المعطلين والطور السليم، لذلك افترضنا في هذا البحث وضع معيار لتحديد هذا الفرق وللتمييز بين هذا النوع من الأعطال وعطل طور مع الأرض وهو:

$$\Delta I = \left[\frac{I_{ph1}}{I_{ph3}} - \frac{I_{ph2}}{I_{ph3}} \right] \quad (4_10)$$

حيث تكون هذه النسبة أقل من 1 في حالة طورين مع الأرض وأكبر من واحد في حال عطل طور مع الأرض
يبين الشكل (4_24) الشروط الموضوعة.

(c) عطل طورين (L-L):

يتميز هذا النوع من الأعطال بتيار عالي لكل من الطورين المعطلين، وفرق واضح جدا عن الطور الثالث يزيد ب 10 أضعاف، حتى عند مقاومة عطل عالية $15[\Omega]$ ، بالإضافة لانعدام المركبة الصفريّة للاستطاعة تقريبا، ووجود مركبة استطاعة سالبة عالية تفوق $100[kW]$ عند التطبيق على الشبكة المدروسة.

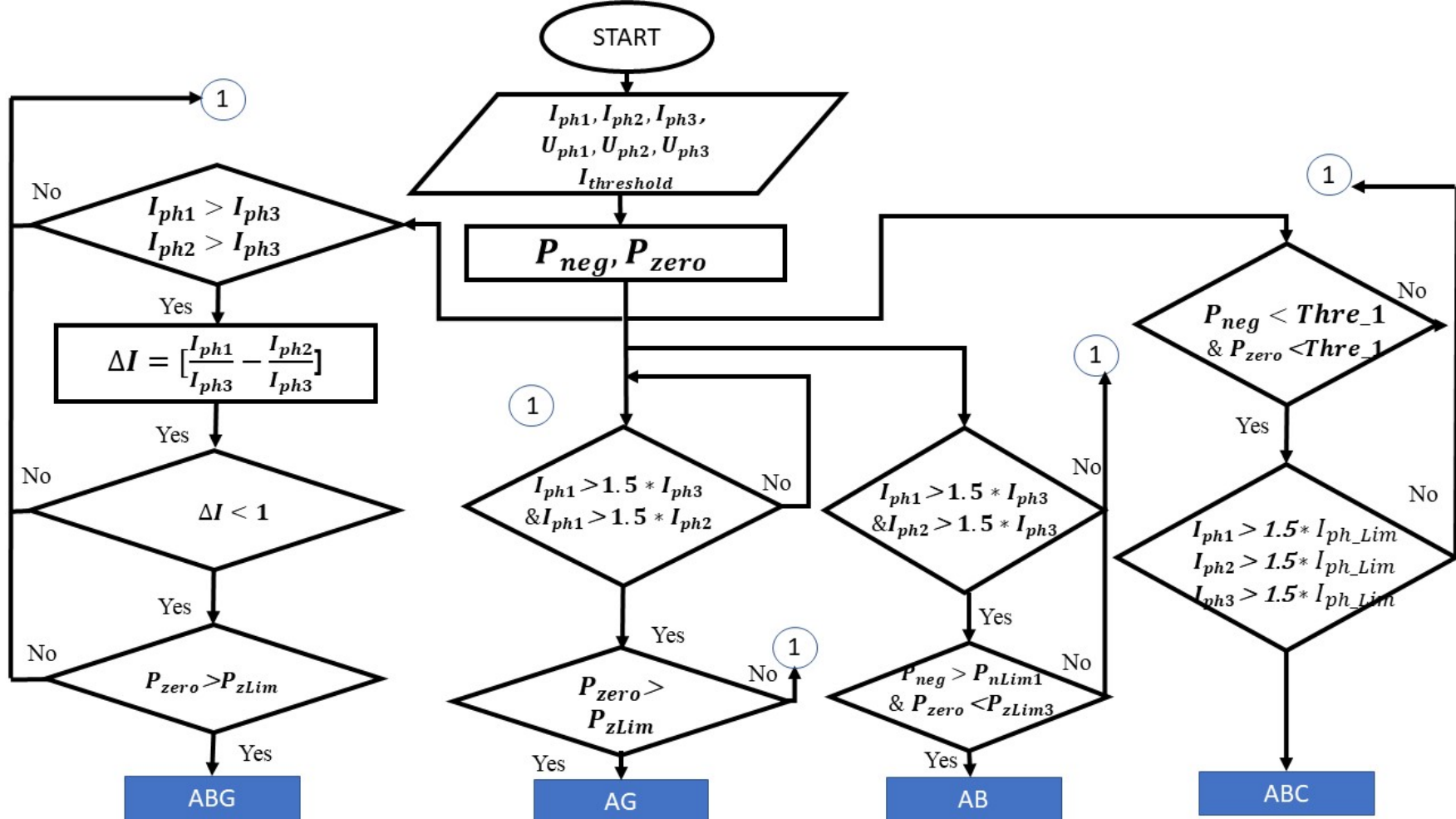
يبين الشكل (4_24) خوارزمية تصنيف الأعطال، مع الأخذ بعين الاعتبار بأن القيم الحدية هي على التوالي:

P_{zLim} : المركبة الصفريّة الحدية لعطل طور مع الأرض وعطل طورين مع الأرض، حددت حسابياً بالقيمة 100 واط حيث بلغت قيمة مركبة الاستطاعة الصفريّة حوالي $1[MW]$ عند مقاومة عطل صفريّة، تقريبا لتتخفض حتى حوالي $1[kW]$ عند مقاومة عطل $15[\Omega]$ ، وقد تم وضعها $100[W]$ حتى تستطيع تقادي أي حالات عابرة.

P_{zLim3} : وهي قيمة المركبة الصفريّة الحدية عند حالة طورين مع بعضهما وهي ذات قيمة صفريّة تماما بسبب انعدام تماس العطل مع الأرض.

P_{nLim1} : وهي القيمة الحدية للمركبة السالبة في حالة عطل طورين مع بعضهما، وقد حددت حسابياً عبر برنامج الماتلاب ب $1[kW]$ حيث تتراوح قيمة المركبة السالبة بين $10[MW]$ في حالة مقاومة عطل صفريّة تقريبا، وتتنخفض حتى حوالي $100[kW]$ عند مقاومة عطل $15[\Omega]$ ، وقد تم وضعها بقيمة $1[kW]$ حتى تستطيع تقادي أي حالات عابرة.

الفصل الرابع: دراسة جزء من الشبكة السورية بإدخال التوليد الموزع ونظم القياس



الشكل (4_24) الخوارزمية المقترحة لتصنيف الأعطال في مركز تشغيل شبكة التوزيع مع وجود توليد موزع

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العنينة
الفصل الرابع: دراسة جزء من الشبكة السورية بإدخال التوليد الموزع ونظم القياس

6.4 تحليل الأعطال في الشبكة المختارة ذات مصادر التوليد الموزع عند حالات الاعطال القياسية في

الشبكات الكهربائية - تطبيق على الشبكة السورية المدروسة (Fault Analysis in the Selected

Network with Distributed Generation Sources under Standard Fault Conditions in

(Electrical Networks – Application to the Studied Syrian Network

نقدم في هذا الجزء من البحث تطبيق العديد من سيناريوهات حدوث الأعطال على جزء الشبكة السورية المدروسة. سنقدم فيما يلي تطبيق عدة أنواع من الأعطال وعند عدة قيم من ممانعة العطل وفي أماكن متعددة من الشبكة. ندرج ضمن هذا الإطار نتائج خرج الخوارزمية في تحديد المكان الدقيق للعطل بناءً على المعلومات الواردة من مؤشرات الأعطال عند ورود معلومات خاطئة أو وهمية من هذه المؤشرات.

كما يتم إظهار نتائج الخوارزمية في تحديد مكان العطل على شكل نص محرفي (كما تم شرحه سابقاً). بالإضافة لذلك تم تطوير طريقة إظهار لنوع العطل على شكل واجهة رسومية، عبارة عن أربع دوائر (دائرة لكل طور ودائرة للتعبير عن العطل مع الأرض) بحيث تضيء الدوائر باللون الأحمر حسب نوع العطل.

A. سيناريو 1

- حالة عطل LLG بمقاومة عطل $R=0.0001[\Omega]$ وبدون وجود أي خلل وظيفي في مؤشرات الأعطال طبقنا عطل ثنائي الطور مع الأرض في قطاع الشبكة رقم 21 (LS21) كما يبين الشكل (4_25).

نلاحظ أن جميع نماذج مؤشرات الأعطال الموجودة في مسار العطل قد استجابت لمرور تيار العطل أكبر من القيمة الحدية المفروضة، وانتقلت إلى وضعية التفعيل. تظهر وضعية التفعيل لمؤشر العطل على شكل نقطة ضوئية باللون الأحمر بسبب تدفق الاستطاعة من خلاله من upstream إلى downstream ، ونقطة ضوئية زرقاء بسبب تدفق الاستطاعة من خلاله من downstream إلى upstream . يبين الجدول (4_5) المؤشرات التي انتقلت إلى وضع التفعيل.

الجدول (4_5) مؤشرات الأعطال المفعلة (ترسل إشارة (1) إلى مركز التشغيل - الأحمر ud - الأزرق du)

FI(du)	FI1	FI7	FI9	FI21									
FI(du) _{G1}	FI10	FI11	FI12	FI13	FI14	FI15	FI16	FI17	FI18	FI19	FI20		
FI(du) _{G2}	FI22	FI23	FI24	FI25	FI26	FI27	FI28	FI29	FI30	FI31	FI32	FI33	FI34

نلاحظ من الشكل (4_25) صحة نماذج مؤشرات الأعطال حيث أن المؤشرات أضاءت باللون المناسب حسب جهة تدفق تيار العطل.

- تشكيل المصفوفتين R_0^{du} و R_0^{ud} :

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العبيد
 الفصل الرابع: دراسة جزء من الشبكة السورية بإدخال التوليد الموزع ونظم القياس
 عند تفعيل مؤشرات الأعطال السابقة و كل حسب جهة ورود تيار العطل (downstream إلى upstream)

أو (upstream إلى downstream) فإن إشارات التفعيل المرسل من مؤشرات الأعطال إلى مركز التشغيل، حيث توجد الخوارزمية المقترحة في بيئة Eclips، تستقبل على شكل مصفوفة سطرية من الواحدات (1) عند العنصر الممثل لرقم كل مؤشر عطل و باقي قيم هذه المصفوفة السطرية تملك القيمة (0) المعبرة عن بقية مؤشرات الأعطال غير المفعلة (غير الواقعة في مسار تغذية العطل). بالتالي يتم تشكيل مصفوفتين لدخل الخوارزمية عدد عناصرها يساوي عدد عناصر مؤشرات الأعطال وذات قيم 1 للمؤشرات المفعلة و 0 للمؤشرات غير المفعلة. نعبر عن هاتين المصفوفتين كالتالي:

$$R_0^{ud}=[1\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 1\ 0\ 1\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 1\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0]$$

$$R_0^{du}=[0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 0\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1]$$

• خرج خوارزمية تحديد مكان العطل في بيئة Eclips

يتم تطبيق إشارات الدخل بشكل تلقائي من خلال البرنامج الذي قمنا بكتابته في بيئة Eclips، فنحصل على المصفوفات المبينة في الشكل (4_26).

- إن قيمة تابع الهدف الناتج عن تطبيق الخوارزمية تساوي 0 (obj fun=0) وذلك باعتبار أننا فرضنا عدم وجود أي مؤشر عطل يقع في حالة خلل وظيفي (Malfunction) أو حالة فشل بالعمل (Failure) وأن تابع الهدف يمثل مجموع عدد مؤشرات الأعطال الواقعة في حالة الخلل الوظيفي أو فشل في العمل.
- كما توضح خرج الخوارزمية في الشكل (4_26) مصفوفات الخرج المخزنة R^{ud} و R^{du} وهي مصفوفات مطابقة للمصفوفات الحقيقية الواردة إلى مركز التنسيق و المعبر عنها في الفقرة السابقة.
- تظهر نتائج الخوارزمية مكان حدوث العطل عبر المصفوفة LSF التي تملك القيم صفر في كل عناصرها باستثناء رقم العنصر المعبر عن قطاع الشبكة المعطل. نلاحظ من الشكل (4_26) أن المصفوفة LSF أعطت القيمة 1 فقط عند LS21 لتدل على المكان الدقيق لحدوث العطل في القطاع رقم 21 من خطوط الشبكة المدروسة. كما تم اظهار مكان العطل بشكل نصي ضمن واجهة الماتلاب بالشكل ("LS_21") (الشكل (4_25) المربع المعبر عن DSO).

- نلاحظ أيضاً من خرج الخوارزمية أن المصفوفتين MAL و FAL قد أعطت جميع صفراً لجميع عناصرها بسبب عدم فرض أي خلل وظيفي لأي مؤشر عطل سواء من جهة الشبكة العامة FAL_{ud} , MAL_{ud} أو من جهة التوليد الموزع FAL_{du} , MAL_{du} .

• تحديد نوع العطل:

عند تطبيق عطل طورين مع الأرض ABG تجاوز قيمة التيار في كلا الطورين A,B قيمة التيار في الطور

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العينية

الفصل الرابع: دراسة جزء من الشبكة السورية بإدخال التوليد الموزع ونظم القياس

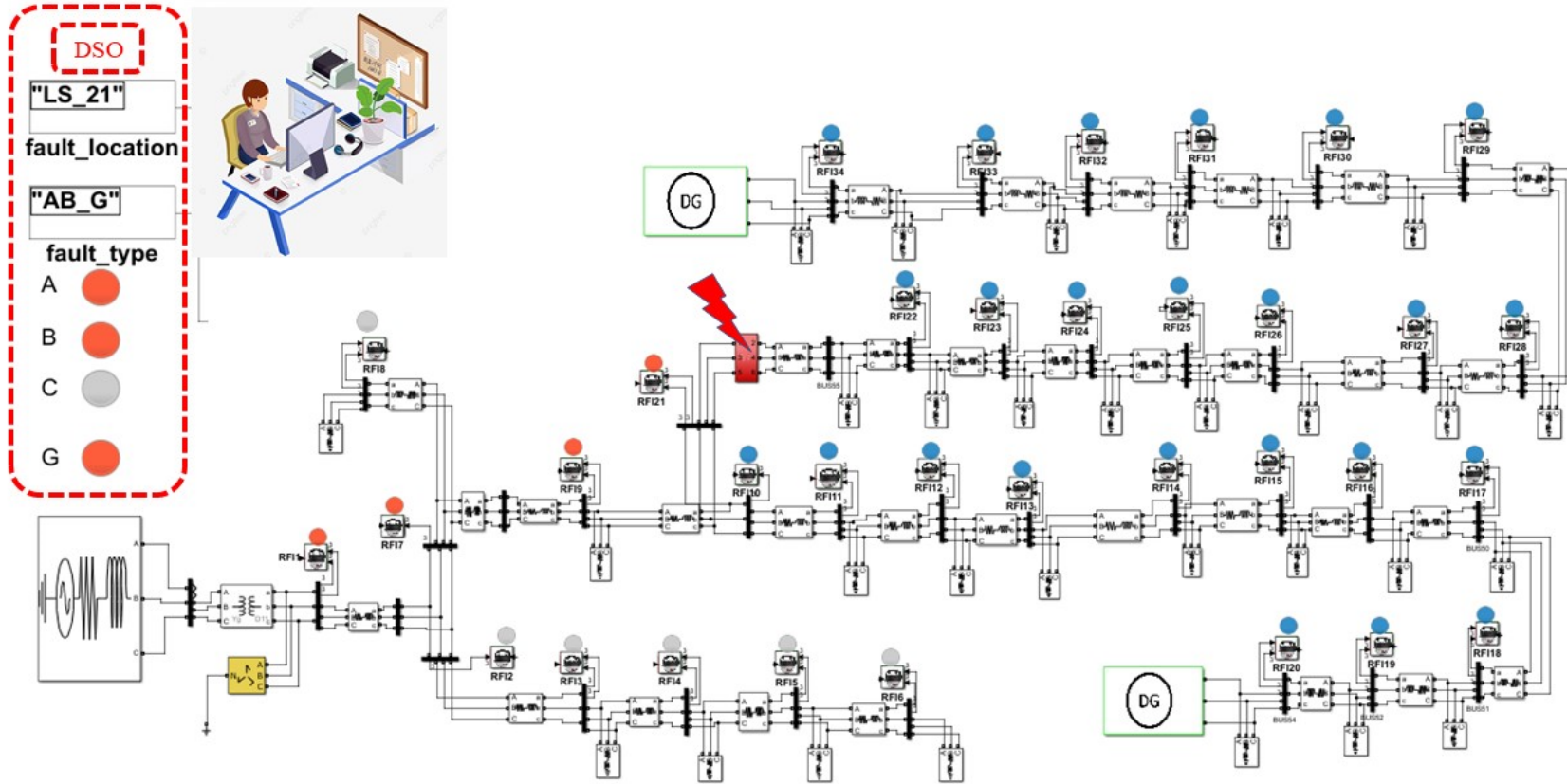
الثالث تحقق الشرط الأول في الخوارزمية المبينة في الشكل (4_24) كما تحقق شرط أن $\Delta I < 1$ وتم تفعيل

شروط عمل طورين مع الأرض وإظهاره على شكل رسومي من خلال إضاءة الدوائر الخاصة بالطورين A,B

و الأرض G باللون الأحمر.

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العينية

الفصل الرابع: دراسة جزء من الشبكة السورية بإدخال التوليد الموزع ونظم القياس



153

الشكل (4_25) نمذجة جزء من الشبكة السورية حالة وجود عطل طورين مع الأرض في LS21، مقاومة عطل $R=0.0001[\Omega]$ ، عمل مثالي لجميع مؤشرات الأعطال ونتائج خوارزمية تحديد مكان العطل

الفصل الرابع: دراسة جزء من الشبكة السورية بإدخال التوليد الموزع ونظم القياس

رقم
المؤشر

Root relaxation solution time = 0.00 sec.

Obj fun = 0

n	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
Rud	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rdu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
LSF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
MAL_ud	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
MAL_du	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
FAL_ud	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
FAL_du	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
FAL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
MAL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

الشكل (4_26) خرج خوارزمية تحديد مكان العطل عند حصول عطل في الجزء LS21 ، عمل مثالي لجميع مؤشرات الأعطال

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العينية
الفصل الرابع: دراسة جزء من الشبكة السورية بإدخال التوليد الموزع ونظم القياس

B. سيناريو 2

- حالة عطل LG بمقاومة عطل $R=15 [\Omega]$ مع وجود عدة حالات فشل في العمل وخلل وظيفي في مؤشرات الأعطال طبقنا عطل أحادي الطور مع الأرض في قطاع الشبكة رقم 33 (LS33) كما يبين الشكل (4_27).

نلاحظ أن معظم نماذج مؤشرات الأعطال الموجودة في مسار العطل قد استجابت لمرور تيار العطل أكبر من القيمة الحدية المفروضة، وانتقلت إلى وضعية التفعيل. تظهر وضعية التفعيل لمؤشر العطل على شكل نقطة ضوئية باللون الأحمر بسبب تدفق الاستطاعة من خلاله من upstream إلى downstream ، ونقطة ضوئية زرقاء بسبب تدفق الاستطاعة من خلاله من downstream إلى upstream . يبين الجدول (4_6) المؤشرات التي انتقلت إلى وضع التفعيل.

الجدول (4_6) مؤشرات الأعطال المفعلة (ترسل إشارة (1) إلى مركز التشغيل - الأحمر ud - الأزرق du)

FI(du)	FI1	FI5	FI9	FI12	FI21	FI22	FI23	FI24	FI26	FI27	FI28	FI29
	FI30	FI31	FI32	FI33								
FI(du) _{G1}	FI10	FI11	FI13	FI14	FI15	FI16	FI17	FI18	FI19	FI20		
FI(du) _{G2}	FI34											

نلاحظ من الشكل (4_27) صحة نماذج مؤشرات الأعطال حيث أن المؤشرات أضاءت باللون المناسب حسب جهة تدفق تيار العطل.

- تشكيل المصفوفتين R_0^{ud} و R_0^{du} :

عند تفعيل مؤشرات الأعطال السابقة و كل حسب جهة ورود تيار العطل (downstream إلى upstream) أو (upstream إلى downstream) فإن إشارات التفعيل المرسله من مؤشرات الأعطال إلى مركز التشغيل، حيث توجد الخوارزمية المقترحة في بيئة Eclips، تستقبل على شكل مصفوفة سطرية من الواحدات (1) عند العنصر الممثل لرقم كل مؤشر عطل، و باقي قيم هذه المصفوفة السطرية تملك القيمة (0) المعبرة عن بقية مؤشرات الأعطال غير المفعلة . بالتالي يتم تشكيل مصفوفتين لدخل الخوارزمية عدد عناصرها يساوي عدد عناصر مؤشرات الأعطال وذات قيم 1 للمؤشرات المفعلة و 0 للمؤشرات غير المفعلة. نعبر عن هاتين المصفوفتين كالتالي:

$$R_0^{ud}=[1\ 0\ 0\ 0\ 1\ 0\ 0\ 0\ 1\ 0\ 0\ 1\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 1\ 1\ 1\ 1\ 0\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 0]$$

$$R_0^{du}=[0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 1\ 1\ 0\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 1]$$

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العبيد
الفصل الرابع: دراسة جزء من الشبكة السورية بإدخال التوليد الموزع ونظم القياس

• خرج خوارزمية تحديد مكان العطل في بيئة Eclips

يتم تطبيق إشارات الدخل بشكل تلقائي من خلال البرنامج الذي قمنا بكتابته في بيئة Eclips، فنحصل على المصفوفات المبينة في الشكل (4_28).

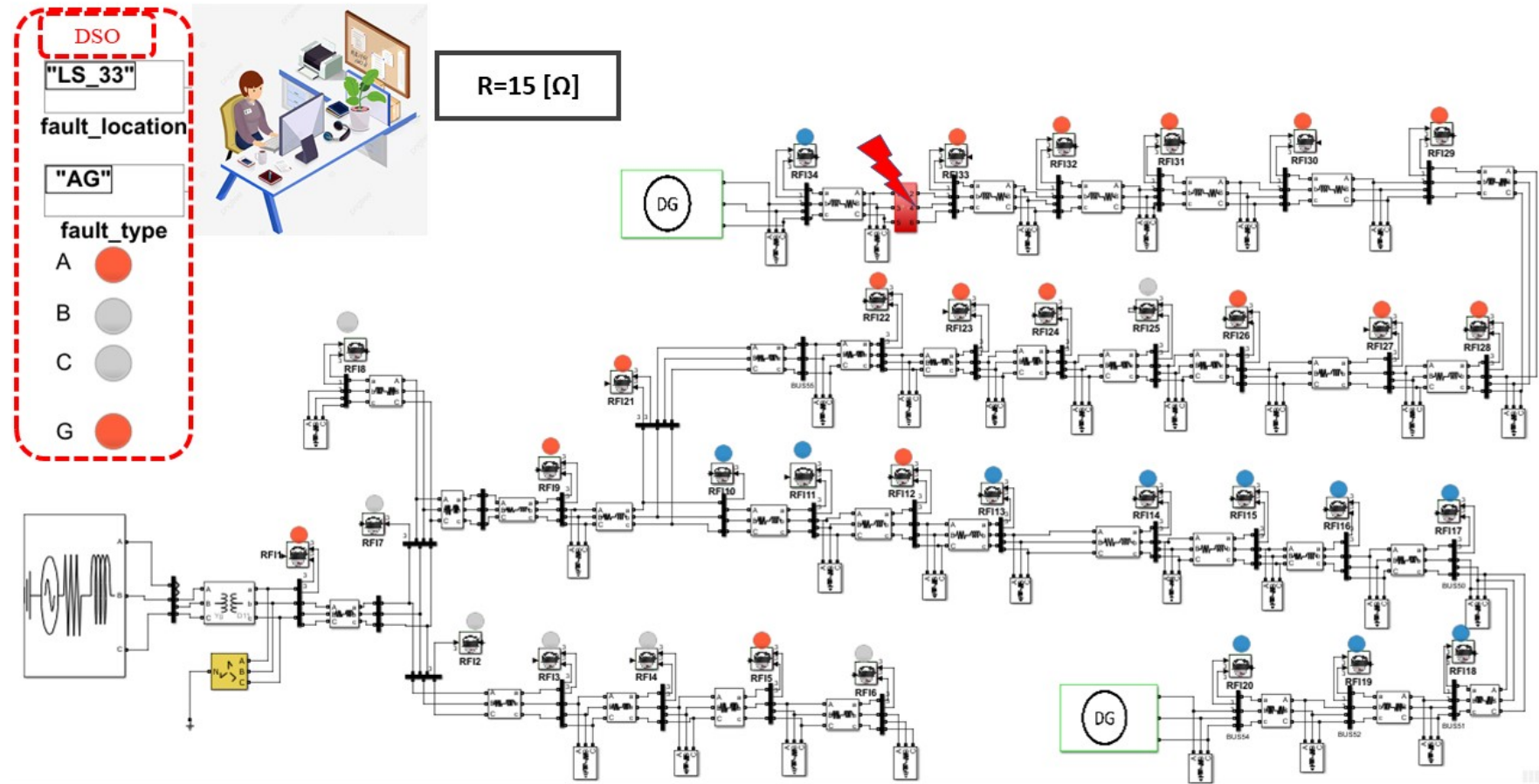
- إن قيمة تابع الهدف الناتج عن تطبيق الخوارزمية تساوي 4 ($obj\ fun=4$) وذلك باعتبار أننا فرضنا جود 4 مؤشرات عطل يقع في حالة خلل وظيفي (Malfunction) و حالة فشل بالعمل (Failure) وأن تابع الهدف يمثل مجموع عدد مؤشرات الأعطال الواقعة في حالة الخلل الوظيفي أو فشل في العمل.
- كما توضح خرج الخوارزمية في الشكل (4_28) مصفوفات الخرج المخزنة R^{ud} و R^{du} وهي مصفوفات مختلفة عن المصفوفات الحقيقية الواردة إلى مركز التنسيق و المعبر عنها في الفقرة السابقة.
- تظهر نتائج الخوارزمية مكان حدوث العطل عبر المصفوفة LSF التي تملك القيم صفر في كل عناصرها باستثناء رقم العنصر المعبر عن قطاع الشبكة المعطل. نلاحظ من الشكل (4_28) أن المصفوفة LSF أعطت القيمة 1 فقط عند LS33 لتدل على المكان الدقيق لحدوث العطل في القطاع رقم 33 من خطوط الشبكة المدروسة. كما تم اظهار مكان العطل بشكل نصي ضمن واجهة الماتلاب بالشكل ("LS_33") الشكل (4_27) المربع المعبر عن (DSO).
- نلاحظ أيضاً من خرج الخوارزمية أن المصفوفتين MAL و FAL قد أعطت جميعها صفراً لجميع عناصرها ماعدا المؤشرات FI5, FI7, FI12, FI25 بسبب فرض خلل وظيفي أو فشل في العمل لمؤشر العطل سواء من جهة الشبكة العامة FAL_{ud} , MAL_{ud} أو من جهة التوليد الموزع FAL_{du} , MAL_{du} .

• تحديد نوع العطل:

عند تطبيق عطل طور مع الأرض AB تجاوز قيمة التيار في الطور المعطل A لقيمة التيار في الطور الثاني والثالث بأكثر من 1.5 مرة، وبالتالي تحقق الشرط الأول في الخوارزمية المبينة في الشكل (4_24) كما تحقق شرط أن $P_{zero} > P_{zlim}$ وتم تفعيل شروط عمل طور مع الأرض وإظهاره على شكل رسومي من خلال إضاءة الدوائر الخاصة بالطور A و الأرض G باللون الأحمر.

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العينية

الفصل الرابع: دراسة جزء من الشبكة السورية بإدخال التوليد الموزع ونظم القياس



الشكل (4_27) نمذجة جزء من الشبكة السورية حالة وجود عطل طور مع الأرض في LS33، مقاومة عطل $R=15[\Omega]$ ، فشل في عمل بعض المؤشرات $FI_{5,7,12,25}$ ونتائج خوارزمية تحديد مكان العطل

الفصل الرابع: دراسة جزء من الشبكة السورية بإدخال التوليد الموزع ونظم القياس

Console Problems Debug Shell Coverage

<terminated> n1_SY_2DG_different_symbols_input_mannual [Java Application] C:\Program Files (x86)\Java\jre7\bin\javaw.exe (Mar 27, 2024, 4:22:2)

Presolve time = 0.02 sec.
Clique table members: 1218.
MIP emphasis: balance optimality and feasibility.
Root relaxation solution time = 0.02 sec.

Nodes	Node	Left	f	Best Integer	Cuts/ Best Node	ItCnt	Gap	Variable	B Parent	Depth																								
0	0	0	3.3333	10	3.3333	122																												
* 0+	0	0	0	4.0000	3.3333	122	16.67%																											
Obj fun =	4																																	
n	=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
Rud	-1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
Rdu	=0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
LSF	=0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
MAL_ud=	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MAL_du=	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FAL_ud=	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FAL_du=	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FAL	=0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MAL	=0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

الشكل (4_28) نتائج خرج خوارزمية تحديد مكان العطل عند حصول عطل طور مع الأرض في الجزء LS33، فشل في عمل بعض المؤشرات $FI_{6,7,12,25}$ مقاومة عطل $R=15[\Omega]$

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العينية
 الفصل الرابع: دراسة جزء من الشبكة السورية بإدخال التوليد الموزع ونظم القياس
 يتم تطبيق إشارات الدخل بشكل تلقائي من خلال البرنامج الذي قمنا بكتابته في بيئة Eclips، فنحصل على
 المصفوفات المبينة في الشكل (4_29).

- إن قيمة تابع الهدف الناتج عن تطبيق الخوارزمية تساوي 4 ($obj\ fun=4$) وذلك باعتبار أننا فرضنا جود 4 مؤشرات عطل يقع في حالة خلل وظيفي (Malfunction) و حالة فشل بالعمل (Failure) وأن تابع الهدف يمثل مجموع عدد مؤشرات الأعطال الواقعة في حالة الخلل الوظيفي أو فشل في العمل.
- كما توضح خرج الخوارزمية في الشكل (4_29) مصفوفات الخرج المخزنة R^{ud} و R^{du} وهي مصفوفات مختلفة عن المصفوفات الحقيقية الواردة إلى مركز التنسيق و المعبر عنها في الفقرة السابقة.
- تظهر نتائج الخوارزمية مكان حدوث العطل عبر المصفوفة LSF التي تملك القيم صفر في كل عناصرها باستثناء رقم العنصر المعبر عن قطاع الشبكة المعطل. نلاحظ من الشكل (4_29) أن المصفوفة LSF أعطت القيمة 1 فقط عند LS19 لتدل على المكان الدقيق لحدوث العطل في القطاع رقم 19 من خطوط الشبكة المدروسة. كما تم اظهار مكان العطل بشكل نصي ضمن واجهة الماتلاب بالشكل ("LS_19") الشكل (4_29) المربع المعبر عن (DSO).
- نلاحظ أيضاً من خرج الخوارزمية أن المصفوفتين MAL و FAL قد أعطت جميعها صفراً لجميع عناصرها ماعدا المؤشرات FI7, FI12, FI14, FI31 بسبب فرض خلل وظيفي أو فشل في العمل لمؤشر العطل سواء من جهة الشبكة العامة FAL_{ud} , MAL_{ud} أو من جهة التوليد الموزع FAL_{du} , MAL_{du} .
- تحديد نوع العطل:

عند تطبيق عطل طورين مع الأرض ABG تجاوز قيمة التيار في كلا الطورين A,B قيمة التيار في الطور الثالث تحقق الشرط الأول في الخوارزمية المبينة في الشكل (4_24) كما تحقق شرط أن $\Delta I < 1$ وتم تفعيل شروط عمل طورين مع الأرض وإظهاره على شكل رسومي من خلال إضاءة الدوائر الخاصة بالطورين A,B و الأرض G باللون الأحمر.

D. سيناريو 4:

يبين الشكل (4_30) حالة عطل طورين في LS19، بمقاومة عطل $R=1[\Omega]$ ، مع وجود نفس حالات الإشارات الخاطئة، نلاحظ كما في الشكل قدرة الخوارزمية على تحديد مكان العطل، وتصنيف العطل وترجمته إلى نص خطي بشكل صحيح.

Figure 10: The proposed fault location algorithm. The figure is divided into three main sections: a command window, a data table, and a network diagram.

Command Window: Shows the command `<terminated> n1_SY_2DG` and the output `Obj fun = 4`.

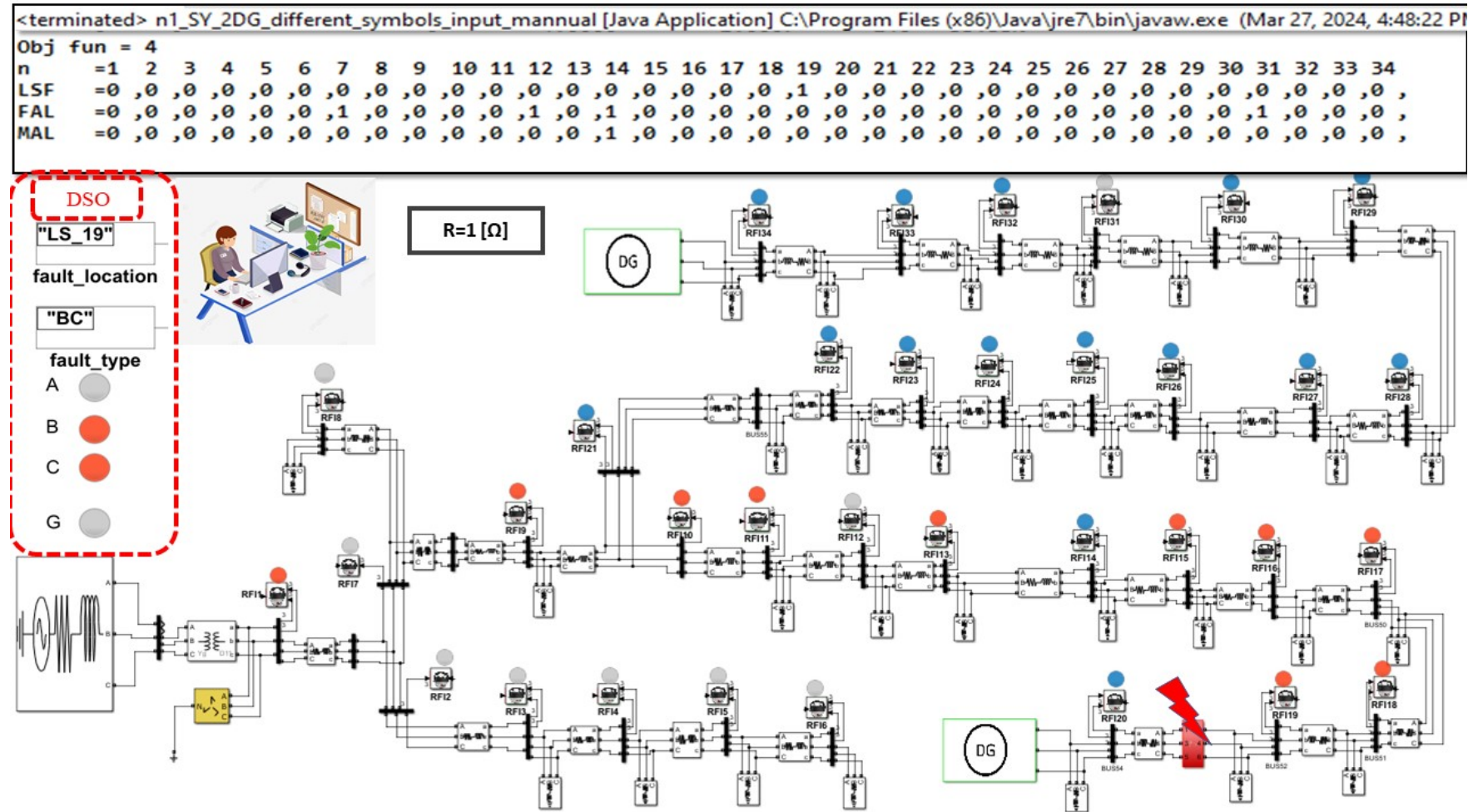
Data Table: A table with 34 columns (n=1 to 34) and 4 rows (LSF, FAL, MAL). The values are binary (0 or 1). The table is titled "التابع الهدف" (Objective Function) in Arabic. The values for LSF, FAL, and MAL are 0 for most columns, with some 1s in columns 19, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34. The value 1 in column 19 is circled in red.

Network Diagram: A detailed diagram of a power distribution network. It shows a main bus (DG) connected to a series of feeders (RF1 to RF34). Each feeder is connected to a set of distribution buses (BUS1 to BUS34). The diagram includes a fault location indicator (a red lightning bolt) and a fault location table (LS 19, BC G) with a fault type (A, B, C, G) and a fault location (A, B, C, G).

الشكل(4_29) نمذجة جزء من الشبكة السورية، حالة وجود عطل طورين مع الأرض في LS19 ، $R=10\ [\Omega]$ ، مع اعتبار فشل في عمل بعض المؤشرات $FI_{7,12,14,31}$. ونتائج خوارزمية تحديد مكان العطل

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.بندى العينية

الفصل الرابع: دراسة جزء من الشبكة السورية بإدخال التوليد الموزع ونظم القياس



الشكل (4_30) نمذجة جزء من الشبكة السورية، حالة وجود عطل طورين في LS19 ، مقاومة عطل $R=1[\Omega]$ ، مع اعتبار فشل في عمل بعض المؤشرات $FI_{7,12,14,31}$ ونتائج خوارزمية تحديد مكان العطل

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العبيد
الفصل الرابع: دراسة جزء من الشبكة السورية بإدخال التوليد الموزع ونظم القياس

E. سيناريو 5:

يبين الشكل (4_31) حالة عطل طورين عند LS6، بمقاومة عطل $R=0.001[\Omega]$. ونلاحظ من الشكل، وجود إشارات خاطئة في عدة مؤشرات، حيث أعطت المؤشرات $FI_{1,3 \rightarrow 6}$ نقطة ضوئية ذات لون أحمر، مما يعني بأن مؤشر لعطل قد تم تفعيله نتيجة تجاوز التيار المار فيه لقيمة العتبة، بالإضافة لإرساله إشارة تبين تدفق الاستطاعة من خلاله من downstream إلى upstream، وفشل المؤشر FI_2 في إعطاء إشارة صحيحة، وأعطت المؤشرات $FI_{9,10,11,13 \rightarrow 22,24,26 \rightarrow 30,32 \rightarrow 34}$ نقطة ضوئية ذات لون أزرق، مما يعني بأن مؤشر لعطل قد تم تفعيله نتيجة تجاوز التيار المار فيه لقيمة العتبة، بالإضافة لإرساله إشارة تبين تدفق الاستطاعة من خلاله من upstream إلى downstream، وفشل $FI_{23,25,31}$ في إعطاء إشارة صحيحة، حيث أعطى إشارة معاكسة للاتجاه الصحيح.

يتم تطبيق إشارات الدخل بشكل تلقائي من خلال البرنامج الذي قمنا بكتابته في بيئة Eclips، فنحصل على مصفوفات خرج خوارزمية تحديد مكان العطل كما يبينه الشكل (4_31)، والذي يظهر مكان العطل بشكل صحيح ودقيق من خلال المصفوفة LSF والتي أعطت قيمة 1 عند LS6، كما بينت نتيجة تطبيق مسألة الأمثلة بأن التابع الهدف $obj_fun=6$ ، والذي يعبر عن عدد الإشارات الخاطئة، والذي قد أعطى قيمة =6 فشل بعض المؤشرات في العمل.

نلاحظ من الشكل (4_31) قدرة خوارزمية تصنيف الأعطال على تحديد نوع العطل بشكل صحيح، كما نلاحظ كيفية تحويل مكان العطل إلى الشكل النصي، حيث تظهر على واجهة ماتلاب مكان العطل بشكل نصي "LS_6".

F. سيناريو 6:

يبين الشكل (4_32) حالة عطل متوازن عند LS21، بمقاومة عطل $R=1[\Omega]$ ، ونلاحظ من الشكل، وجود إشارات خاطئة في عدة مؤشرات، $FI_{5,7,12,24,25}$.

يتم تطبيق إشارات الدخل بشكل تلقائي من خلال البرنامج الذي قمنا بكتابته في بيئة Eclips، فنحصل على مصفوفات خرج خوارزمية تحديد مكان العطل كما يبينه الشكل (4_32)، والذي يظهر مكان العطل بشكل صحيح من خلال المصفوفة LSF والتي أعطت قيمة 1 عند LS21، كما بينت نتيجة تطبيق مسألة الأمثلة بأن التابع الهدف $obj_fun=5$ ، والذي يعبر عن عدد الإشارات الخاطئة، والذي قد أعطى قيمة =5 بسبب فشل بعض المؤشرات في العمل.

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العينية
الفصل الرابع: دراسة جزء من الشبكة السورية بإدخال التوليد الموزع ونظم القياس
نلاحظ من الشكل (4_32) قدرة خوارزمية تصنيف الأعطال على تحديد نوع العطل بشكل صحيح، كما
نلاحظ كيفية تحويل مكان العطل إلى الشكل النصي، حيث تظهر على واجهة ماتلاب مكان العطل بشكل نصي
"LS_21".

Console: `<terminated> n1_SY_2DG_different_symbols_input_mannual [Java Application] C:\Program Files (x86)\Java\jre7\bin\javaw.exe (Mar 27, 2024, 5:01:)`

Obj	fun	=	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
LSF	=	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
FAL	=	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	
MAL	=	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

DSO

fault_location: "LS_6"

fault_type: "BC"

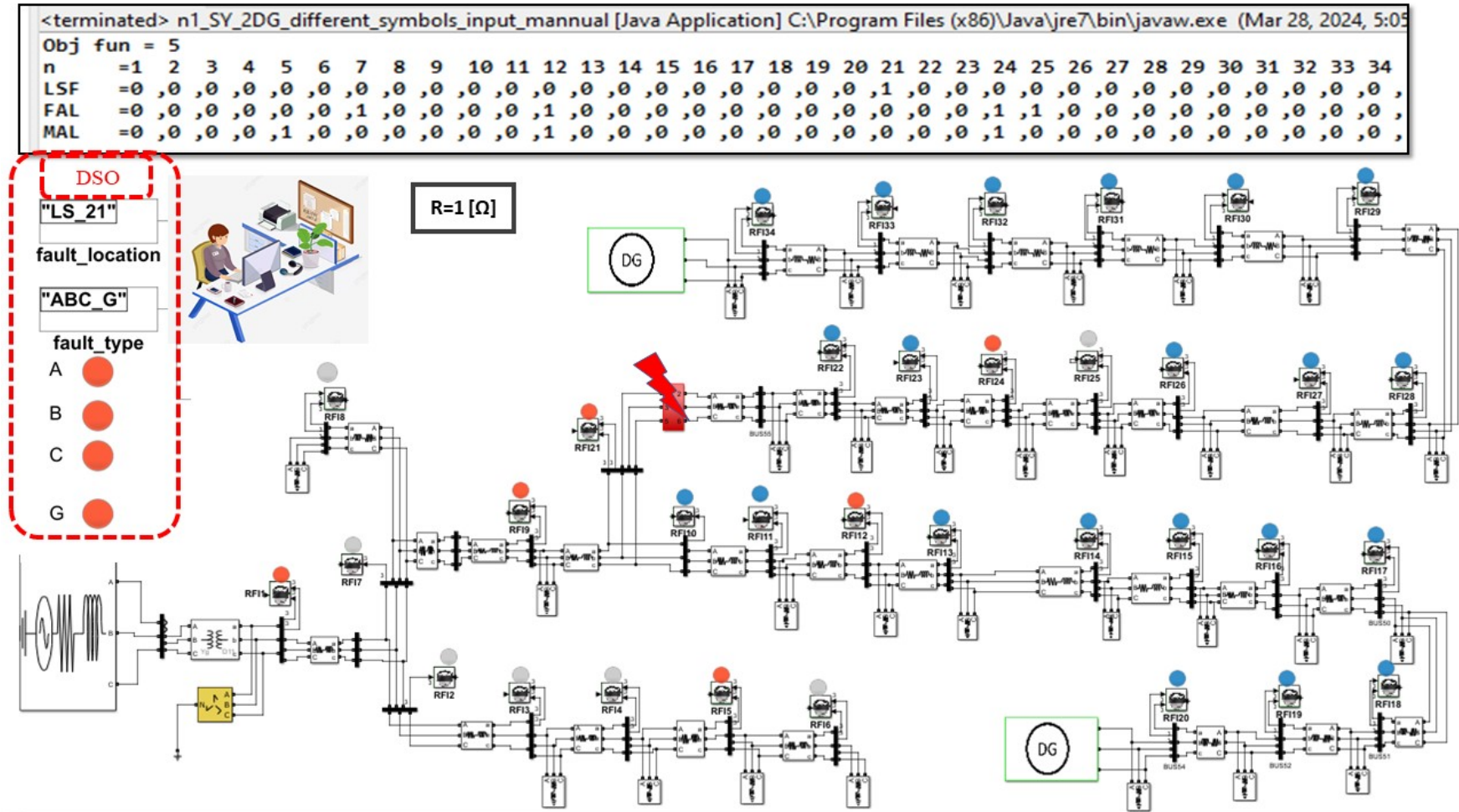
R=0.001 [Ω]

Diagram components: DG (Distributed Generation), RF1-RF34 (Circuit Breakers), BUS51-BUS55 (Busbars).

الشكل (4_31) نمذجة جزء من الشبكة السورية، حالة وجود عطل طورين في LS6، مقاومة عطل $R=0.001[\Omega]$ ، فشل في عمل بعض المؤشرات $FI_{2,7,12,23,25,31}$ ونتائج خوارزمية تحديد مكان العطل

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.بندى العينية

الفصل الرابع: دراسة جزء من الشبكة السورية بإدخال التوليد الموزع ونظم القياس



الشكل (4_32) نمذجة جزء من الشبكة السورية، حالة وجود عطل متوازن في LS21، مقاومة عطل $R=1[\Omega]$ ، فشل في عمل بعض المؤشرات $FI_{5,7,12,24,25}$ ونتائج خوارزمية تحديد مكان العطل

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العبينه
الفصل الرابع: دراسة جزء من الشبكة السورية بإدخال التوليد الموزع ونظم القياس

7.4 إجراءات عزل منطقة العطل ورفع موثوقية التغذية لبقية النظام (Fault Isolation Procedures)

:(and Enhancing Supply Reliability for the Rest of the System

إن أحد أهم مهمات مركز تشغيل شبكة التوزيع هو التنسيق مع مشغل النظام الكهربائي المركزي فيما يتعلق بنقل حالة نظام التوزيع التشغيلية وتوفير بعض الحسابات والمهمات لمركز التنسيق المركزي للنظام الكهربائي.

تتخصص برامج مركز تشغيل شبكة التوزيع الكهربائية السورية ببعض الوظائف المحدودة، كعمليات التنسيق بين محطات التوزيع الكهربائية بالإضافة إلى الحصول على معلومات الاستهلاك الكهربائي اللحظية من قبل محطات ومراكز التحويل. كما يقوم مهندسو مركز تشغيل شبكة التوزيع بعمليات المراقبة لكافة محددات النظام الكهربائي ووضع جداول تخفيف الحملات الدورية في حال طلب مركز التنسيق الكهربائي المركزي القيام بذلك. علاوةً على ذلك، يقوم مهندسو مركز تشغيل شبكة التوزيع بوضع جداول للصيانات الدورية وإعداد الورش الخاصة للقيام بأعمال الصيانات الطارئة وخاصة صيانة أجزاء شبكة التوزيع المعطوبة، والناجمة عن حدوث الأعطال بشتى أنواعها وأماكنها.

يقوم نظام الحماية الكهربائية، عند حدوث الأعطال في شبكة التوزيع الكهربائية التقليدية، بفصل المغذي من أقرب جهاز حماية بالنسبة للعطل، وبالتالي فصل التغذية الكهربائية عن كامل الأحمال المنتشرة على طول المغذي المعطل. ويبقى الجزء المعطل خارج الخدمة ريثما تقوم وحدات الصيانة بكشف مكان حدوث العطل وإصلاحه ومن ثم إعادته للخدمة. ويلعب زمن كشف مكان حدوث العطل، دوراً هاماً في تخفيف زمن انقطاع التغذية الكهربائية عن الأحمال المنتشرة على طول المغذي المفصول نتيجة العطل. عادة، يتم كشف مكان حدوث العطل بالبحث العملي على أرض الواقع بالإضافة إلى المعلومات الواردة من المستهلكين.

اقترحنا وطورنا في هذا البحث، كما هو موجود في مراكز تشغيل شبكات التوزيع في الأنظمة الكهربائية الحديثة، خوارزمية تحديد مكان حدوث العطل بسرعة ودقة وقبل عمل تجهيزات الحماية ودون الحاجة إلى معلومات المستهلكين عن مكان حدوث العطل. يمكن عبر هذه الخوارزمية، تدعيم برمجيات مركز تشغيل شبكة التوزيع وبالتالي المساهمة الفعالة في تحديد المكان الدقيق لحدوث العطل وبالتالي توجيه فرق الصيانة الأقرب لمكان العطل من أجل إزالة أسباب وجوده وإعادة الخط المعطل للخدمة، مما يساهم بشكل فعال في زيادة موثوقية التغذية الكهربائية للأحمال الكهربائية.

8.4 الخاتمة (Conclusion):

قدم هذا البحث طريقة حديثة لتحديد موقع الأعطال في شبكات التوزيع الكهربائية، بوجود وحدات توليد موزع، باستخدام مؤشرات أعطال ذات عنصر اتجاهي، وقد تم اختبار هذه الطريقة بعدة سيناريوهات وعلى شبكات

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العبيد
 الفصل الرابع: دراسة جزء من الشبكة السورية بإدخال التوليد الموزع ونظم القياس
 مختلفة الهيكلية، وبوجود العديد من الإشارات الخاطئة المتلقاة من مؤشرات الأعطال الموزعة في مختلف الأماكن
 في الشبكة الكهربائية المدروسة.

تم شرح آلية بناء مسألة الأمثلة بدايةً بتحديد التابع الهدف القائم على تقليل عدد الإشارات الخاطئة، ثم
 تحديد قيود مسألة الأمثلة بعد إضافة العنصر الاتجاهي لمؤشرات الأعطال.

تم تطبيق الخوارزمية المقترحة، باستخدام الأمثلة الخطية، وبالاعتماد على مصفوفتي دخل R_0^{ud}, R_0^{du} ،
 على جزء من الشبكة السورية ذات 34 عقدة والتي تحتوي على أربع فروع بتوتر $20[kV]$ ، ووحدي توليد موزع
 مربوطة عند العقد 20 و 34، بتوتر $2.4[kV]$ وتربط عبر محولة $2.4/20[kV]$ ، وقد تم عرض عدة
 سيناريوهات للأعطال. تتضمن السيناريوهات المقدمة حالة عمل نظامية بوجود عطل في الشبكة، ثم تطبيق
 الطريقة على الشبكة بوجود عطل مع فرض وجود عدة حالات فشل في عمل مؤشرات الأعطال بحالتي الإخفاق
 في العمل Failure والخلل الوظيفي Malfunction. أعطت الطريقة نتائج صحيحة في تحديد مكان العطل
 في مختلف السيناريوهات المطروحة، بالرغم من عدم العمل الصحيح لبعض مؤشرات الأعطال.

تم تقديم خوارزمية لتصنيف الأعطال (LG,LL,LLG,LLLG) وتحويل خرج هذه الخوارزمية إلى صيغة
 رسومية ونصية، وتم اختبار خوارزمية تصنيف الأعطال على جميع السيناريوهات المدروسة سابقاً، بالتزامن مع
 اختبار خوارزمية كشف وتحديد مكان العطل. إن أهم مميزات هذه الخوارزمية هي عملها عند مجال مقاومة
 أعطال واسع من $0.0001[\Omega]$ وحتى $15[\Omega]$ حيث أثبتت النتائج مدى فعالية الخوارزمية ضمن هذا المجال.

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م. ندى العينية
الفصل الخامس: النتائج والتوصيات

5 الفصل الخامس

النتائج والتوصيات (Results and Recommendations)

1.5 النتائج (Results):

قمنا في هذا البحث بدراسة العديد من السيناريوهات المحتملة لحدوث أعطال في شبكة التوزيع الكهربائية، والتي أعطت جميعها نتائج صحيحة في تحديد مكان العطل بدقة وتحديد نوعه في شبكات التوزيع الكهربائية، حيث بدأنا بالسيناريو الأول الموجود في الشكل (4_25)، والذي يحوي عطل في LS21 بمقاومة عطل $R=0.0001[\Omega]$ والذي يمثل حالة عمل نظامية لجميع مؤشرات الأعطال، وبيننا قدرة الخوارزمية على تحديد مكان العطل بشكل دقيق، كما بيننا قدرت خوارزمية تصنيف الأعطال على تحديد نوعه في شبكة التوزيع المدروسة، ثم درسنا بعض السيناريوهات الأخرى حول أنواع أعطال مختلفة في الشبكة الكهربائية، والتي تحوي حالات فشل في عمل بعض مؤشرات الأعطال، وحالات خلل وظيفي لمؤشرات أعطال أخرى مختلفة، ولمقاومات أعطال مختلفة ضمن مجال $R=0.0001[\Omega]$ وحتى $R=15[\Omega]$ ، وذلك في أماكن مختلفة للأعطال في شبكة التوزيع، وقد بيننا قدرة الخوارزمية على تحديد مكان العطل بدقة في كل حالة من الحالات، وقدرتها على تحديد نوع العطل بدقة، كما بيننا قدرة الخوارزمية على تحديد مؤشرات الأعطال التي خضعت لحالة فشل في العمل أو حالة خلل وظيفي.

يمكن تلخيص نتائج العمل في هذه الأطروحة إلى ما يلي:

- تم تحسين خوارزمية كشف العطل لتتلاءم مع وجود التوليد الموزع في شبكة التوزيع وذلك بإضافة تصنيف للأعطال وإظهاره كنتيجة رسومية وكرسالة نصية ضمن مركز التشغيل.
- تمت البرمجة بلغة JAVA في بيئة الأمثلة CPLEX وربطها مع بيئة المحاكاة Matlab-simulink لحل المسألة الرياضية واختبارها في معالجة البيانات.
- تم اختبار عمل وأداء الخوارزمية عند كافة أنواع الأعطال وعند مجال واسع لمقاومات العطل

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العبيد

الفصل الخامس: النتائج والتوصيات

- تطبيق الخوارزمية على شبكات واقعية (جزء من الشبكة السورية) ومحاكاتها، وإظهار قدرتها على كشف وتحديد الأعطال بدقة عالية وزمن قصير، ورفع مستوى الخدمة والأمن للمستهلكين والمشغلين.

2.5 التوصيات (Recommendations)

تصميم واجهة رسومية لمركز التنسيق باستخدام أحد برامج نظام SCADA، يتضمن تطبيق خوارزمية كشف وتحديد مكان العطل.

- اقتراح إضافة التقنيات الحديثة FI على الشبكة السورية.
- اختبار الخوارزمية على شبكة النقل الكهربائي السورية.
- البحث في عتبات القيم الدنيا اللازمة لعمل خوارزمية تصنيف الأعطال، من أجل إعطاء صفة العمومية بنسبة كبيرة لخوارزمية تصنيف الأعطال عند تطبيقها على شبكة النقل.
- العمل على تطبيق خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواقعها وتصنيفها في شبكة الكابلات الأرضية والبحث في الاختلافات بينها وبين الشبكة الهوائية.
- ان الخوارزمية المقترحة تعتمد في تقييم مكان حدوث العطل على معلومات واردة من مؤشرات الأعطال. حيث تتم معالجتها على شكل مسألة أمثلة مع وجود قيود لتحديد مكان العطل. لذلك إن وجود عطل في مؤشر العطل المجاور تماماً لمكان حدوث العطل يقف عائقاً في قطاع الخط الدقيق. حيث ستحدد الخوارزمية القطاع المجاور لقطاع حدوث العطل.
- يعد ذلك أمر بديهي حيث لا توجد معلومات من مؤشر حدوث العطل المجاور للعطل، في هذه الحالة تحديداً تعطي الخوارزمية مكان لحدوث العطل في قطاع مجاور لقطاع حدوث العطل أي أن دقة الخوارزمية الخاصة بهذه الحالة تكون أقل، لابد من البحث في المراحل اللاحقة لهذه النقطة.

قائمة المراجع

6 قائمة المراجع (References):

- [1] Abrahamsen, F. E., Ai, Y., & Cheffena, M. (2021). Communication Technologies for Smart Grid: A Comprehensive Survey. *Sensors*, 21(23), 8087. <https://doi.org/10.3390/s21238087>
- [2] Agrawal, R., & Thukaram, D. (2013). Identification of fault location in power distribution system with distributed generation using support vector machines. *2013 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference (ISGT)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/ISGT.2013.6497853>
- [3] Alcala, D., Alonso, M., Amaris, H., Florez R., D. M., & Pindado, S. (2020). A unified adaptive scheme for fault location and relay coordination in Smart Grids. *2020 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2020 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I&CPS Europe)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/EEEIC/ICPSEurope49358.2020.9160510>
- [4] Asian, Y., & Aggarwal, R. K. (2008). An alternative approach to fault location on main line feeders and laterals in low voltage overhead distribution networks. *IET 9th International Conference on Developments in Power Systems Protection (DPSP 2008)*, 354–359. <https://doi.org/10.1049/cp:20080063>
- [5] Aslan, Y., & Aggarwal, R. K. (2008). Analysis of shunt faults in the laterals of overhead power distribution feeders using superimposed components. *Electrical Engineering*, 90(4), 255–264. <https://doi.org/10.1007/s00202-007-0079-x>
- [6] Atmaja, T. D., Andriani, D., & Darussalam, R. (2019). Smart Grid communication applications: measurement equipment and networks architecture for data and energy flow. *Journal of Mechatronics, Electrical Power, and Vehicular Technology*, 10(2), 73–84. <https://doi.org/10.14203/j.mev.2019.v10.73-84>
- [7] Birk, M., Chaves-Ávila, J. P., Gómez, T., & Tabors, R. (2017). *TSO/DSO Coordination in a Context of Distributed Energy Resource Penetration*.
- [8] Buchholz, B. M., & Styczynski, Z. (2014). *Smart Grids – Fundamentals and Technologies in Electricity Networks*. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-45120-1>
- [9] Budka, K. C., Deshpande, J. G., & Thottan, M. (2014). *Communication Networks for Smart Grids*. Springer London. <https://doi.org/10.1007/978-1-4471-6302-2>
- [10] Choi, M.-S., Lee, S.-J., Lim, S.-I., Lee, D.-S., & Yang, X. (2007). A Direct Three-Phase Circuit Analysis-Based Fault Location for Line-to-Line Fault. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 22(4), 2541–2547. <https://doi.org/10.1109/TPWRD.2007.905535>
- [11] Dileep, G. (2020). A survey on smart grid technologies and applications. *Renewable Energy*, 146, 2589–2625. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.08.092>

قائمة المراجع

- [12] Eriksson, L., Saha, M. M., & Rockefeller, G. D. (1985). An Accurate Fault Locator with Compensation for Apparent Reactance in the Fault Resistance Resulting from Remote-End Infeed. *IEEE Power Engineering Review*, PER-5(2), 44–44. <https://doi.org/10.1109/MPER.1985.5528881>
- [13] FICO. (2017). *MIP formulations and linearizations*, Quick reference.
- [14] Four-Faith Smart Power. (2022, August 23). *Smart Power, JJZ-FF Overhead Line Fault Indicator*. <https://en.four-faith.net/Overhead-Line-Fault-Indicator/Overhead-Line-Fault-Indicator.html#Characteristic>
- [15] Grainger, J. J., & Stevenson, Jr., W. D. (1994). *Power system analysis*. McGraw-Hill series in electrical and computer engineering.
- [16] Gururajapathy, S. S., Mokhlis, H., & Illias, H. A. (2017). Fault location and detection techniques in power distribution systems with distributed generation: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 74, 949–958. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.03.021>
- [17] Helios, & H. (2024, February 17). <https://www.helioselectric.net/blog/identifying-detecting-fault-type>.
- [18] IBM Corporation. (2024). *About IBM CPLEX*. <https://ampl.com/products/solvers/solvers-we-sell/cplex/>
- [19] Jiang, Y. (2019). Toward Detection of Distribution System Faulted Line Sections in Real Time: A Mixed Integer Linear Programming Approach. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 34(3), 1039–1048. <https://doi.org/10.1109/TPWRD.2019.2893315>
- [20] Jiang, Y. (2020). Data-Driven Fault Location of Electric Power Distribution Systems With Distributed Generation. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 11(1), 129–137. <https://doi.org/10.1109/TSG.2019.2918195>
- [21] Jiang, Y., Liu, C.-C., Diedesch, M., Lee, E., & Srivastava, A. K. (2016). Outage Management of Distribution Systems Incorporating Information From Smart Meters. *IEEE Transactions on Power Systems*, 31(5), 4144–4154. <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2015.2503341>
- [22] Jiang, Y., Liu, C.-C., & Xu, Y. (2016). Smart Distribution Systems. *Energies*, 9(4), 297. <https://doi.org/10.3390/en9040297>
- [23] Jiang, Y., & Xia, Y. (2018). Smart fault indicators for advanced outage management of distribution systems. *2018 IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exposition (T&D)*, 1–9. <https://doi.org/10.1109/TDC.2018.8440284>
- [24] Jianwen, Z., Hui, H., Yu, G., Yongping, H., Shuping, G., & Jianan, L. (2020). Single-phase ground fault location method for distribution network based on traveling wave time-frequency characteristics. *Electric Power Systems Research*, 186. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2020.106401>
- [25] Kaddah, S. S., El-Saadawi, M. M., & El-Hassanin, D. M. (2015). Influence of Distributed Generation on Distribution Networks During Faults. *Electric Power Components and Systems*, 43(16), 1781–1792. <https://doi.org/10.1080/15325008.2015.1057782>
- [26] Keerthi, S. S., & Lin, C.-J. (2003). Asymptotic Behaviors of Support Vector Machines with Gaussian Kernel. *Neural Computation*, 15(7), 1667–1689. <https://doi.org/10.1162/089976603321891855>

قائمة المراجع

- [27] Kezunovic, M. (2011). Smart Fault Location for Smart Grids. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 2(1), 11–22.
<https://doi.org/10.1109/TSG.2011.2118774>
- [28] Kuzlu, M., Pipattanasomporn, M., & Rahman, S. (2014). Communication network requirements for major smart grid applications in HAN, NAN and WAN. *Computer Networks*, 67, 74–88.
<https://doi.org/10.1016/j.comnet.2014.03.029>
- [29] Lawrence, D. J., Cabeza, L. Z., & Hochberg, L. T. (1992). Development of an advanced transmission line fault location systems. I. Input transducer analysis and requirements. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 7(4), 1963–1971. <https://doi.org/10.1109/61.157000>
- [30] Lin, H.-T., & Lin, C.-J. (2003). A Study on Sigmoid Kernels for SVM and the Training of non-PSD Kernels by SMO-type Methods. *Submitted to Neural Computation*, 3(16), 1–32.
- [31] Lopes, J. A. P., Hatziargyriou, N., Mutale, J., Djapic, P., & Jenkins, N. (2007). Integrating distributed generation into electric power systems: A review of drivers, challenges and opportunities. *Electric Power Systems Research*, 77(9), 1189–1203. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2006.08.016>
- [32] Majidi, M., Arabali, A., & Etezadi-Amoli, M. (2015). Fault Location in Distribution Networks by Compressive Sensing. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 30(4), 1761–1769.
<https://doi.org/10.1109/TPWRD.2014.2357780>
- [33] Manditereza, P. T., & Bansal, R. C. (2016). Multi-Agent Based Distributed Voltage Control Algorithm for Smart Grid Applications. *Electric Power Components and Systems*, 44(20), 2352–2363.
<https://doi.org/10.1080/15325008.2016.1219889>
- [34] Manditereza, P. T., & Bansal, R. C. (2018). Introducing A New Type of Protection Zone for the Smart Grid Incorporating Distributed Generation. *2018 IEEE Innovative Smart Grid Technologies - Asia (ISGT Asia)*, 86–90.
<https://doi.org/10.1109/ISGT-Asia.2018.8467792>
- [35] Masaud, T. M., & Mistry, R. D. (2016). Fault current contribution of Renewable Distributed Generation: An overview and key issues. *2016 IEEE Conference on Technologies for Sustainability (SusTech)*, 229–234.
<https://doi.org/10.1109/SusTech.2016.7897172>
- [36] Mora-Flòrez, J., Meléndez, J., & Carrillo-Caicedo, G. (2008). Comparison of impedance based fault location methods for power distribution systems. *Electric Power Systems Research*, 78(4), 657–666.
<https://doi.org/10.1016/j.epsr.2007.05.010>
- [37] Nielsen, J. J., Jorgueski, L., Zhang, H., Ganem, H., Zhu, Z., & Popovski, P. (2018). <sc>5G</sc> and Cellular Networks in the Smart Grid. In *Transportation and Power Grid in Smart Cities* (pp. 69–102). Wiley.
<https://doi.org/10.1002/9781119360124.ch3>
- [38] Nigel Charig. (2024, February 23). *The smart grid – what it is, and why we need it*. The Smart Grid – What It Is, and Why We Need It.
<https://www.power-and-beyond.com/the-smart-grid-what-it-is-and-why-we-need-it-a->

قائمة المراجع

- 390575215d5f5a136fc35a372cba7b26/#:~:text=A%20smart%20grid%20uses%20digital%20technology%20for%20two-way,can%20respond%20digitally%20to%20quickly%20changing%20electric%20demand.
- [39] Pepermans, G., Haeseldonckx, D., Belmans, R., & D'haeseleer, W. (2005). Distributed generation definition benefits and issues. *Energy Policy*.
- [40] Perez, R., Vásquez, C., & Vilorio, A. (2019). An intelligent strategy for faults location in distribution networks with distributed generation. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 36(2), 1627–1637. <https://doi.org/10.3233/JIFS-18807>
- [41] Postolache, O., Dias Pereira, J. M., Cretu, M., & Girao, P. S. (1998). An ANN fault detection procedure applied in virtual measurement systems case. *IMTC/98 Conference Proceedings. IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference. Where Instrumentation Is Going (Cat. No.98CH36222)*, 257–260. <https://doi.org/10.1109/IMTC.1998.679769>
- [42] Pourahmadi-Nakhli, M., & Safavi, A. A. (2011). Path Characteristic Frequency-Based Fault Locating in Radial Distribution Systems Using Wavelets and Neural Networks. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 26(2), 772–781. <https://doi.org/10.1109/TPWRD.2010.2050218>
- [43] Prakash, K., Lallu, A., Islam, F. R., & Mamun, K. A. (2016). Review of Power System Distribution Network Architecture. *2016 3rd Asia-Pacific World Congress on Computer Science and Engineering (APWC on CSE)*, 124–130. <https://doi.org/10.1109/APWC-on-CSE.2016.030>
- [44] Revision of IEEE Std 1610- 2007. (2016). *1610-2016 - IEEE Guide for the Application of Faulted Circuit Indicators on Distribution Circuits* (pp 1-26). IEEE Std.
- [45] Saadat, H. (1999). *Power System Analysis*. Tada McGraw.
- [46] Saldaña-González, A. E., Sumper, A., Aragüés-Peñalba, M., & Smolnikar, M. (2020). Advanced Distribution Measurement Technologies and Data Applications for Smart Grids: A Review. *Energies*, 13(14), 3730. <https://doi.org/10.3390/en13143730>
- [47] Saqib Saeed. (2021). *UK Transition from DNO to DSO model amidst changing grid landscape*. <https://ptr.inc/uk-transition-from-dno-to-dso-model-amidst-changing-grid-landscape/>
- [48] Tashakkori, A., Wolfs, P. J., Islam, S., & Abu-Siada, A. (2020). Fault Location on Radial Distribution Networks via Distributed Synchronized Traveling Wave Detectors. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 35(3), 1553–1562. <https://doi.org/10.1109/TPWRD.2019.2948174>
- [49] Thomas, D. W. P., Carvalho, R. J. O., & Pereira, E. T. (2003). *Fault Location in Distribution Systems Based on Traveling Waves*.
- [50] Thukaram, D., Khincha, H. P., & Vijaynarasimha, H. P. (2005). Artificial Neural Network and Support Vector Machine Approach for Locating Faults in Radial Distribution Systems. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 20(2), 710–721. <https://doi.org/10.1109/TPWRD.2005.844307>
- [51] Trindade, F. C. L., & Freitas, W. (2017). Low Voltage Zones to Support Fault Location in Distribution Systems With Smart Meters. *IEEE*

قائمة المراجع

- Transactions on Smart Grid*, 8(6), 2765–2774.
<https://doi.org/10.1109/TSG.2016.2538268>
- [52] Trindade, F. C. L., Freitas, W., & Vieira, J. C. M. (2014). Fault Location in Distribution Systems Based on Smart Feeder Meters. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 29(1), 251–260.
<https://doi.org/10.1109/TPWRD.2013.2272057>
- [53] Usman, M. U., Ospina, J., & Faruque, Md. O. (2018). Fault Classification and Location Identification in a Smart Distribution Network Using ANN. *2018 IEEE Power & Energy Society General Meeting (PESGM)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/PESGM.2018.8586471>
- [54] Usman, M. U., Ospina, J., & Faruque, Md. O. (2020). Fault classification and location identification in a smart DN using ANN and AMI with real-time data. *The Journal of Engineering*, 2020(1), 19–28.
<https://doi.org/10.1049/joe.2019.0896>
- [55] VK, M., & Rohit, M. (2005). *Principles of Power System*. S. Chand Publishing, 2005.
- [56] Wang, Y., Chen, Q., Hong, T., & Kang, C. (n.d.). *Review of Smart Meter Data Analytics: Applications, Methodologies, and Challenges*.
<https://doi.org/10.1109/TSG.2018.2805>
- [57] Weedy, B. M., Cory, B. J., Jenkins, N., Ekanayake, J. B., & Strbac, G. (2012). *Electric Power Systems* (Fifth Edition).
www.wiley.com/go/weedy_electric
- [58] Youssef, O. A. S. (2004). Combined Fuzzy-Logic Wavelet-Based Fault Classification Technique for Power System Relaying. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 19(2), 582–589.
<https://doi.org/10.1109/TPWRD.2004.826386>
- [59] Zheng, Wang, Jiang, & He. (2019). A Novel Machine Learning-Based Short-Circuit Current Prediction Method for Active Distribution Networks. *Energies*, 12(19), 3793. <https://doi.org/10.3390/en12193793>
- [60] إبراهيم، هاني & زيدان، خالد. (2019). تخفيض الفاقد الكهربائي في شبكات التوزيع بوجود التوليد الموزع. جامعة دمشق.
- [61] الجابي، سميح & زيدان، خالد. (2016). حماية نظم القدرة الكهربائية. جامعة دمشق.
- [62] حمزة، علي. (2011). تكامل التوليد الموزع في أنظمة التوزيع الكهربائية. جامعة دمشق.
- [63] حمزة، علي & السويدان، حسان. (2006). نظم القدرة الكهربائية. جامعة دمشق.

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العبييه

الملحق

7 الملحق

(1) بعض تقسيمات البرنامج المنجز بلغة JAVA في بيئة ECLIPS لتطبيق خوارزمية تحديد مكان

العطل بوجود وحدات توليد موزع، وإضافة عنصر اتجاهي لمؤشرات الأعطال

1. الجزء الخاص بقراءة مصفوفات الدخل R_0^{du} و R_0^{ud}

```

105
106 List<Double>list_fi= new ArrayList<Double>();
107 read_file2 count=new read_file2();
108 read_file2 write=new read_file2();
109 count.openFile_reading("D:/F/Doctora/matlab/IEEE_15/IEEE_15/fault_indicator_ud.txt");
110 count.readFile();
111
112 List<Double>list_fi2= new ArrayList<Double>();
113 read_file2 count2=new read_file2();
114 read_file2 write2=new read_file2();
115 count2.openFile_reading("D:/F/Doctora/matlab/IEEE_15/IEEE_15/fault_indicator_du.txt");
116 count2.readFile();
117
118

```

Console X Problems J Debug Shell Coverage
<terminated> n1_SY_2DG_different_symbols_input_manual [Java Application] C:\Program Files (x86)\Java\jre7\bin\javaw.exe (May 28, 2024, 12:54:42 PM – 12:54:43 PM) [pid: 1866]

2. الجزء الخاص بتعريف المتغيرات

```

150 IloNumVar [] MAL=cplex.boolVarArray(n);
151 IloNumVar [] MAL_ud=cplex.boolVarArray(n);
152 IloNumVar [] MAL_du=cplex.boolVarArray(n);
153 IloNumVar [] FAL=cplex.boolVarArray(n);
154 IloNumVar [] FAL_ud=cplex.boolVarArray(n);
155 IloNumVar [] FAL_du=cplex.boolVarArray(n);
156
157 IloNumVar [] R=cplex.boolVarArray(n);
158 IloNumVar [] R_ud_dir=cplex.boolVarArray(n);
159 IloNumVar [] R_du_dir=cplex.boolVarArray(n);
160 IloNumVar [] R_ud=cplex.boolVarArray(n);
161 IloNumVar [] R_du=cplex.boolVarArray(n);
162 IloNumVar [] L1_ud=cplex.boolVarArray(n);
163 IloNumVar [] L2_ud=cplex.boolVarArray(n);

```

Console X Problems J Debug Shell Coverage
<terminated> n1 SY 2DG different symbols input manual [Java Application] C:\Program Files (x86)\Java\jre7\bin\javaw.exe (May 28, 2024, 12:54:42 PM – 12:54:43 PM) [pid: 1866]

3. الجزء الخاص بتطبيق القيود

```

192
193
194 for(int i = 0; i < n; i++) {
195     for(int j = 0; j < n; j++) {
196         if(down_up_fi[i][j]==1 ) {c3.addTerm(1.0, LSF[j]);}
197         if(up_down_fi[i][j]==1 ) {c4.addTerm(1.0, LSF[j]);}
198         cplex.addGe(cplex.prod(M, R_ud[i]), c3);
199         cplex.addGe(cplex.prod(M, R_du[i]), c4);
200         cplex.addLe(R_ud[i], c3);
201         cplex.addLe(R_du[i], c4);
202     }
203 }

```

Console X Problems J Debug Shell Coverage
n1_SY_2DG.java ieee_28_DG.java ieee_28_matlab.java n1_SY_2DG_differ... n1_SY_2DG_differ... ieee_28_matlab_D...

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العنينة

الملحق

```

n1_SY_2DG_different_symbols_input_mannual.java X
201 }
202
203
204 for(int i = 0; i < n; i++) {
205     cplex.addEq(R_ud_dir[i], R_ud[i]);
206     cplex.addLe(R_du_dir[i], cplex.sum(1,cplex.prod(-1,R_ud[i]));
207     cplex.addLe(R_du_dir[i], R_du[i]);
208     cplex.addGe(R_du_dir[i], cplex.diff(R_du[i], R_ud[i]));
209 }
210
211 //replace between R_ud_dir and R_ud

```

```

n1_SY_2DG_different_symbols_input_mannual.java X
211 een R_ud_dir and K_ud
212 *****
213 for (int i=0; i<n; i++) {
214     cplex.addLe(L1_ud[i], R_ud_dir[i]);cplex.addLe(L1_ud[i],cplex.sum(1,cplex.prod(-1,FAL_ud[i]));
215     cplex.addGe(L1_ud[i],cplex.sum(R_ud_dir[i],cplex.prod(-1, FAL_ud[i]));
216 }
217 for (int i=0; i<n; i++) {cplex.addLe(L2_ud[i], cplex.sum(1,cplex.prod(R_ud_dir[i], -1));cplex.addLe(L2_ud[i], MAL_ud[i]);
218     cplex.addGe(L2_ud[i],cplex.sum(MAL_ud[i],cplex.prod(-1,R_ud_dir[i]));
219     cplex.addGe(R0_ud[i], L1_ud[i]);
220     cplex.addGe(R0_ud[i], L2_ud[i]);
221     cplex.addLe(R0_ud[i], cplex.sum(L1_ud[i],L2_ud[i]));
222 }

```

4. الجزء الخاص بإحصاء عدد الإشارات الخاطئة

```

n1_SY_2DG_different_symbols_input_mannual.java X
235 *****
236 for (int i=0; i<n; i++) {
237
238     cplex.addLe(cplex.sum(MAL_ud[i],MAL_du[i]), 1);
239     cplex.addLe(cplex.sum(FAL_ud[i],MAL_ud[i]), 1);
240 }
241
242
243
244 lex.addEq(LSF[10], 1);
245 for (int i=0; i<n; i++) {
246     cplex.addGe(FAL_F3, FAL_ud[i]);cplex.addGe(FAL_F3, FAL_du[i]);

```

5. الجزء الخاص بتطبيق التابع الهدف

```

n1_SY_2DG_different_symbols_input_mannual.java X
266 //*****
267
268 cplex.addEq(N_FAL, cplex.sum(nd_FAL));
269 cplex.addEq(N_MAL, cplex.sum(nd_MAL));
270 cplex.addEq(N_D, cplex.sum(N_FAL,N_MAL));
271
272 IlolLinearNumExpr obj = cplex.linearNumExpr();
273
274 obj.addTerm(1, N_D);
275
276 cplex.addMinimize(obj);
277 if(cplex.solve()) {

```

الملحق

6. الجزء الخاص بطباعة مصفوفة مكان العطل والمتغيرات الأخرى

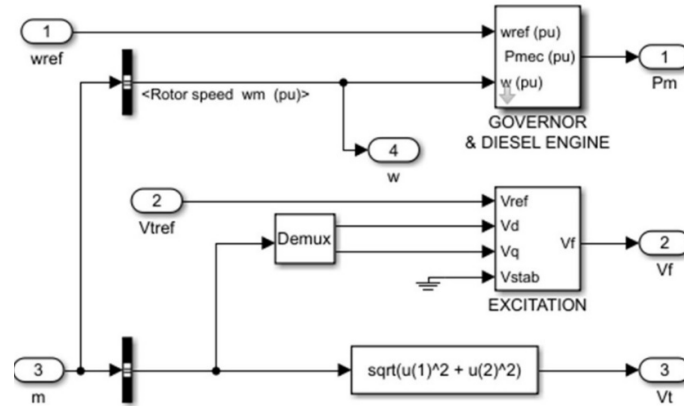
```

n1_SY_2DG_different_symbols_input_mannual.java X
282 System.out.println("Obj fun = " + Math.round(cplex.getObjValue()));
283
284 System.out.print("n   =") ;
285 for(int j=1;j<10 ;j++) {
286     System.out.print( j+" ");
287 }
288 for(int j=10;j<n+1 ;j++) {
289     System.out.print( j+" ");
290 }
291 System.out.println("");
292
293
294 System.out.print("LSF   =") ;
295 for(int j=0;j<n ;j++) {
296     {System.out.print( Math.round(cplex.getValue(LSF[j]))+" ,"); }
297 }
298
299 System.out.println(" ");
300 System.out.print("R     =") ;
301 for(int j=0;j<n ;j++) {
302     {System.out.print( Math.round(cplex.getValue(R[j]))+" ,"); }
303 }
304
305 System.out.println(" ");

```

(2) مواصفات المولد التزامني

نظام التحكم بالمولد التزامني. حيث يتألف هذا النظام من حلقة للتحكم بالتردد وحلقة للتحكم بمطال الجهد الكهربائي.



نظام التحكم للمولد التزامني المستخدم

قيم ثوابت التحكم المستخدمة في حلقات التحكم لوحدة التوليد الموزع

Regulator gain K	40	Low-pass filter time constant Tr	20e-3
Regulation time constants [T1 T2 T3]	[0.001, 0.02, 0.2]	Regulator gain and time constant[Ka() Ta()]	[400, 0.02]
Actuator time constants [T4 T5 T6]	[0.25, 0.009, 0.0384]	Exciter [Ke() Te(s)]	[1,0]

تحسين خوارزمية كشف الأعطال وتحديد مواضعها في شبكات التوزيع الكهربائية بوجود التوليد الموزع م.ندى العنينة

الملحق

Torque limits [Tmin Tmax]	[0, 1.1]	Transient gain reduction [Tb(s) Tc(s)]	[0,0]
Engine time delay Td	0.024	Damping filter gain and time constant [Kf() Tf()]	[0.001,0.1]
Initial value of mechanical power Pm0	0.000270147	Regulator output limits and gain [Efmin,Efmax,Kp()]	[0,6,0]
		Initial values of terminal voltage and field voltage [Vt0 Vf0]	[1,1.42734]

Block Parameters: GOVERNOR & DIESEL ENGINE

Diesel Engine Governor (mask)

This block implements a diesel engine and governor system:
1st and 2nd inputs: Desired and actual speed (pu)
Output: Diesel engine mechanical power. Motor inertia should be combined with generator.

Controller transfer function:
 $H_c = K_c(1+T3.s)/(1+T1.s+T1.T2.s^2)$
Actuator transfer function:
 $H_a = (1+T4.s) / [(s(1+T5.s)(1+T6.s)]$
Motor:
Time delay Td

(See reference in Tutorial Session 5)

Parameters

Regulator gain K:

40

Regulator time constants [T1 T2 T3] (s):

[0.001 0.02 0.2]

Actuator time constants [T4 T5 T6] (s):

[0.25 0.009 0.0384]

Torque limits [Tmin Tmax] (pu):

[0 1.1]

Engine time delay Td (s):

0.024

Initial value of mechanical power Pm0 (pu):

0.000270147

OK Cancel Help Apply

Block Parameters: EXCITATION

Excitation System (mask) (link)

Implements an IEEE type 1 synchronous machine voltage regulator combined to an exciter.

The output of the block is the field voltage vfd, in pu, to be applied to the Vf Simulink input of a Synchronous Machine block.

Connect the Vd and Vq measurements signals of the Synchronous Machine block (signals 9 and 10) to the Vd and Vq inputs of the Excitation System block.

Parameters

Low-pass filter time constant Tr(s):

20e-3

Regulator gain and time constant [Ka() Ta(s)]:

[400, 0.02]

Exciter [Ke() Te(s)]:

[1, 0]

Transient gain reduction [Tb(s) Tc(s)]:

[0, 0]

Damping filter gain and time constant [Kf() Tf(s)]:

[0.001, 0.1]

Regulator output limits and gain [Efmin, Efmax (pu), Kp()]:

[0, 6, 0]

Initial values of terminal voltage and field voltage [Vt0 (pu) Vf0(pu)]:

[1, 1.42734]

OK Cancel Help Apply

ثوابت التحكم المستخدمة في حلقات التحكم

Abstract

The expansion of electrical distribution networks across challenging geographical areas, in addition to having multiple primary and secondary branches, poses one of the main challenges for operators of this type of network. The most significant challenge lies in the precise detection of the fault location to subsequently rectify the issue for power restoration and achieve the highest level of reliability in power supply.

In fact, protective equipment for this type of network may be distributed across wide sectors of these networks, thus relying on this equipment for pinpointing fault locations is not feasible. Moreover, the increasing integration of Distributed Generation (DG) units into distribution networks has impacted fault currents and their directions. This necessitates the development of algorithms and modern methods for precise fault detection.

Smart devices have found their way into the electrical system through various applications and functions. One of the key applications was the use of smart electronic devices specialized in sensing faults known as Fault Indicators (FIs). This research contributed to the utilization of FIs in the precise fault location detection process when integrated with a specific algorithm processing the information from these devices to the distribution network operation center.

Linear Optimization was employed in this research to determine fault locations, considering fault detection as an optimization problem with specific objectives and constraints. The objective function addressed the issue of false information from some fault indicators and aimed to minimize them to zero. Additionally, adjustments were made to the fault indicator model by adding a directional element to address the issue of distributed generation and the resultant fault feeding from different directions.

The fault detection and location algorithm in this research were enhanced with an algorithm for classifying necessary faults for statistical operations at the operation center, along with a real estimation of the fault removal requirements.

The algorithm was programmed using JAVA language and ECLIPS software, applied to reference networks and a portion of the 20 kV Syrian network. Network modeling was done using the MATLAB environment after linking the Java algorithm to the network model.

The results showed the effectiveness of the algorithm in fault detection and precise fault location determination, including fault type identification. The improvements to the fault indicator model in the presence of distributed generation, followed by modifications to the algorithm tailored to this enhancement, played a vital role in highlighting the proposed algorithm's effectiveness.

Syrian Arab Republic
Damascuse University
Faculty of Mech. & Elec. Engineering
Department of Electric Power



PHD Thesis

Improvement of Faults Detection and Location Identification Algorithm in Distribution Networks with Distributed Generation

PhD Thesis Proposal in Electrical Power Systems Engineering

By

Eng. Nada Alainiah

Supervisor

Dr. Mostafa Mohamad Alkhaled Alhazori

Co-Supervisor

Dr. Fouad Mohammad Salha

2023/2024