



الجمهورية العربية السورية

جامعة دمشق

كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية

قسم هندسة الطاقة الكهربائية

تطبيق نظرية الوكلاء المتعددين على التأهيل الذاتي لنظام الحماية للشبكات

الذكية

أطروحة مقدمة لنيل درجة الدكتوراه في هندسة الطاقة الكهربائية

إعداد

عبير أحمد زين

المشرف المشارك

الدكتور المهندس

غيث ورقوزق

المشرف

الدكتور المهندس

رائد الشرع

2023-2022



لابد لنا ونحن نخطو خطواتنا الأخيرة من وقفة نعود بها إلى أعوام قضيناها في
رحاب الجامعة مع أساتذتنا الكرام الذين قدموا لنا الكثير باذلين بذلك جهوداً كبيرة في
بناء جيل الغد...

وقبل أن نمضي أقدم أسمى آيات الشكر والامتنان والتقدير والمحبة إلى الذين
حملوا أقدس رسالة في الحياة...
إلى الذين مهدوا لنا طريق العلم والمعرفة...

إلى جميع أساتذتنا الأفاضل...

وأتوجه بخاص الشكر والامتنان إلى من ساعدني وأرشدني وقدم لي كل مساعدة
في أطروحتي هذه وأحاطني بالرعاية والاهتمام وذلل المصاعب والعقبات وكان مرشداً
حكيماً عسى أن نرد قسطاً صغيراً من عطائه لي..

الأستاذ المساعد الدكتور

فهيث درقوزق

الأستاذ المساعد الدكتور

روند الشرع



لى أبى وأمى ... فلولاهما لما وجدت فى هذه الحياة، ومنهما تعلمت الصمود وحب الحياة مهما كانت
الصعوبات.

لى أختى ... سندى وعضدى ومشاطرى أفراحى وأحزانى فى هذه الحياة.

لى زوجى ... رفيق الدرب والكتف المتين الذى اعتمد عليه.

لى بنتى ... الملاك الذى يملأ حياتى فرحاً وأمل.

أهدى ثمرة جهدى المتواضع...

جدول المصطلحات

الرمز	المصطلح
ACL	Agent Communication Language
AMS	Agent Management System
AP	Agent Platform
DER	Distributed Energy Resources
DES	Distributed Energy Sources
DF	Directory Facilitator
DG	Distributed Generation
DR	Demand Resources
EVs	Electrical Vehicles
FIPA	Foundation for Intelligent Physical Agent
IDMT	Inverse Definite Minimum Time
IEDs	Intelligent Electronic Devices
JADE	Java Agent Development framework
MAS	Multi Agent System
MG	Micro Grid
MIAGs	Middle Agents
MTS	Message Transport Service
OT	Operation Time
P2P	Peer-to-Peer
PMU	Phaser Measurements Unite
PSM	Plug Setting Multiplier
RERs	Renewable Energy Resources
ROCOF	Rate Of Change Of frequency

تطبيق نظرية الوكلاء المتعددين على التأهيل الذاتي لنظام الحماية للشبكات الذكية
عبير أحمد زين

SG	Smart Grid
SM	Smart Meters
SS	Smart Substation
TCL	Thermal Controllable Load
TDS	Time Delay Setting

الفهرس

4	جدول المصطلحات
21	الملخص
23	الفصل الأول الإطار العام للبحث
23	1.1. المقدمة Introduction
23	2.1. إشكاليات البحث
24	3.1. تساؤلات البحث
24	4.1. فرضيات البحث
24	5.1. مسلمات البحث
24	6.1. الهدف من البحث
25	7.1. أهمية البحث
25	8.1. مسوغات البحث
25	9.1. حدود البحث
25	10.1. الدراسة المرجعية
	1.10.1. تطوير نماذج لدمج مصادر الطاقة المتجددة ومكونات تخزين الطاقة في تطبيقات الشبكة
26	الذكية.....

- 2.10.1. مخطط مجموعة عملي للتوقيع الأعمى لحماية الخصوصية في الشبكة الذكية 29
- 3.10.1. طرائق تحسين وإدارة الطاقة في "الشبكات الذكية" 33
- 4.10.1. التأهيل الذاتي في الشبكات الذكية (عرض شامل) 36
- 5.10.1. دمج أجهزة الشبكة الذكية في الحماية التقليدية لشبكات التوزيع 37
- 6.10.1. مراجعة حديثة لأنظمة الطاقة الذكية وإدارتها في بيئة الشبكة الذكية 42
- 7.10.1. تحديات الشبكة الذكية في تطبيقات Blockchain 43
- 8.10.1. تكنولوجيا الوكلاء المتعددين للتسامح مع الخطأ والتحكم المرن 44
- 9.10.1. حماية الشبكة الكهربائية الذكية باستعمال التأهيل الذاتي 45
- 10.10.1. أثر تكامل مصادر الطاقة المتجددة في تحسين تنسيق حمايات التيار الزائد في أنظمة التوزيع 45
- 11.10.1. تطبيق خصائص التوتر - الزمن في مخطط التيار الزائد لتقليل الطاقة الخاصة بالقوس الكهربائي من أجل أمان وموثوقية الشبكات الميكروية 46
- 12.10.1. تقانات الشبكات الكهربائية الذكية في تكامل مصادر الطاقة المتجددة 47
- 11.1. مناهج البحث وأدواته 49
- 12.1. مكونات البحث 51
- الفصل الثاني تكامل مصادر الطاقة المتجددة مع الحماية في الشبكة الكهربائية 53
- 1.2. مقدمة 53

- 2.2. أثر إضافة مصادر الطاقة المتجددة على الشبكات الكهربائية 53
- 3.2. مشاكل تواجه دمج مصادر الطاقة المتجددة مع الشبكة الكهربائية 54
- 4.2. التوليد الموزع 55
- 5.2. الحماية الكهربائية 57
- 1.5.2. الحماية في الشبكات المغذاة من جهتين 58
- 2.5.2. متطلبات عامة لأجهزة الحماية 59
- 3.5.2. أنواع الحماية الكهربائية 61
- 6.2. الخاتمة 80
- الفصل الثالث الشبكات الكهربائية الذكية 82
- 1.3. مقدمة 82
- 2.3. الشبكات الكهربائية التقليدية 82
- 1.2.3. خصائص الشبكة التقليدية 83
- 2.2.3. سمات الشبكة التقليدية 83
- 3.3. الشبكات الكهربائية الذكية 84
- 1.3.3. المكونات الأساسية للشبكة الذكية 85
- 2.3.3. مزايا الشبكة الذكية 85
- 4.3. الانتقال من الشبكة التقليدية الى الشبكة الذكية 86

86.....	1.4.3. نظام توليد الطاقة
87.....	2.4.3. نظام تخزين ذكي
87.....	3.4.3. نظام نقل ذكي
88.....	4.4.3. شبكة التوزيع الذكية
89.....	5.4.3. إدارة التوزيع في الشبكة الذكية SG
90.....	6.3. الحماية الكهربية الذكية
90.....	1.6.3. موثوقية الحماية الذكية
90.....	2.6.3. موثوقية النظام الذكي
91.....	3.6.3. أمن المعلومات وخصوصيتها
91.....	4.6.3. التحديد الذكي للعطل
91.....	5.6.3. التأهيل الذاتي
93.....	7.3. الخاتمة
95.....	الفصل الرابع نظام الوكلاء المتعددين
95.....	1.4. مقدمة
95.....	2.4. الوكلاء
95.....	1.2.4. تعريف الوكيل
97.....	2.2.4. خصائص الوكيل

98.....	3.2.4. دورة حياة الوكيل
99.....	4.2.4. إدارة الوكيل
100	5.2.4. أنواع فشل الوكيل
102	3.4. نظام الوكلاء المتعددين
102	1.3.4. تعريف نظام الوكلاء المتعددين
102	2.3.4. خصائص نظام الوكلاء المتعددين
103	3.3.4. أنواع فشل نظام الوكلاء المتعددين
103	4.4. استعمال نظرية الوكلاء المتعددين في التأهيل الذاتي
104	1.4.4. خصائص نظام الوكلاء المتعددين المستعمل في التأهيل الذاتي
105	2.4.4. خصائص الوكيل المستعمل في التأهيل الذاتي
106	3.4.4. خصائص بيئة الوكيل المستعملة في التأهيل الذاتي
106	4.4.4. خصائص المعرفة الاجتماعية المستعملة في التأهيل الذاتي
107	5.4. منصة جاد (Java Agent DEvelopment Framework (Jade)
107	1.5.4. تثبيت المنصة وتشغيلها
109	2.5.4. بناء الوكيل في المنصة
110	3.5.4. سلوك الوكيل في المنصة
114	4.5.4. التواصل بين الوكلاء

117	5.5.4. هجرة الوكلاء
118	6.4. الخاتمة
	الفصل الخامس تطبيق نظرية الوكلاء المتعددين على التأهيل الذاتي لشبكة مرجعية (القسم العملي)
119	
119	1.5. المقدمة
119	2.5. اختيار الشبكة المرجعية
122	3.5. نمذجة شبكة IEEE-9Bus في بيئة الماتلاب
123	1.3.5. اختبار دائرة الحماية
126	4.5. تصميم نظام وكلاء متعددين لشبكة IEEE-9Bus
128	1.4.5. الوكلاء
128	2.4.5. آلية عمل نظام الوكلاء المتعددين
133	5.5. التأهيل الذاتي لشبكة IEEE-9Bus
134	1.5.5. بدون استعمال نظرية الوكلاء المتعددين
138	2.5.5. خوارزمية التأهيل الذاتي
142	3.5.5. نتائج تطبيق نظرية الوكلاء المتعددين على التأهيل الذاتي لشبكة IEEE-9Bus .
148	6.5. الخاتمة

الفصل السادس تطبيق نظرية الوكلاء المتعددين على التأهيل الذاتي لجزء من الشبكة السورية

149.....	
149	1.6. المقدمة
149	2.6. اختيار جزء من الشبكة السورية
154	3.6. نمذجة جزء من الشبكة السورية توتر 66kV في محافظة دمشق في بيئة ماتلاب
156	1.3.6. اختبار نظام الحماية
159	4.6. تصميم نظام وكلاء متعددين لجزء من الشبكة السورية توتر 66kV
160	1.4.6. الوكلاء
160	2.4.6. آلية عمل نظام الوكلاء المتعددين
167	5.6. التأهيل الذاتي لجزء من الشبكة السورية
168	1.5.6. نتائج تطبيق نظرية الوكلاء المتعددين على التأهيل الذاتي لجزء من الشبكة السورية
172	6.6. الخاتمة
174	الفصل السابع النتائج والتوصيات
174	1.7. الخاتمة
174	2.7. النتائج
176	3.7. التوصيات
177	المراجع

182 الملحق A

185 الملحق B

187 Abstract

قائمة الجداول

39.....	الجدول (1-1) نتائج البرنامج الحاسوبي
40.....	الجدول (2-1) نتائج القصر عند وجود وكيل واحد عند قضيب التجميع 64
41.....	الجدول (3-1) نتائج القصر عند وجود وكيلين في المحولين 64 و 68
42.....	الجدول (4-1) نتائج القواطع الصحيحة في القائمة
48.....	الجدول (5-1) أهم النقاط المدروسة في المراجع
68.....	الجدول (1-2) المتغيرات في منحنيات خصائص حماية التيار
71.....	الجدول (2-2): توترات قضبان التجميع واستطاعة الأحمال
71.....	الجدول (3-2): مجموعات التوليد
71.....	الجدول (4-2): خطوط النقل
74.....	الجدول (5-2): نتائج عطل ثلاثي الطور عند bus7
75.....	الجدول (6-2): نتائج عطل طور A مع الأرض
80.....	الجدول (7-2): تيار العطل عند bus1
86.....	الجدول (1-3) المقارنة بين الشبكات التقليدية والذكية
120	الجدول (1-5) محددات محطات التوليد
121	الجدول (2-5) محددات محطات التحويل

الجدول (3-5) محددات خطوط النقل	121
الجدول (4-5) محددات الأحمال	122
الجدول (5-5) أزمنة عمل حمايات التيار	124
الجدول (6-5) مقارنة بين حالتين بدون تطبيق نظرية الوكلاء المتعددين ومعها	146
الجدول (1-6) الاستطاعة المقدمة من طرف التوليد	150
الجدول (2-6) محددات خطوط النقل	152
الجدول (3-6) محددات الأحمال	153
الجدول (4-6) أزمنة عمل حمايات التيار	157

قائمة الأشكال

- الشكل (1- 4) المخطط الانسيابي لنظام إدارة الطاقة لنظام مرتبط مع الشبكة في بيئة Java.....29
- الشكل (1- 6) علاقة الزمن بعدد العدادات الذكية والمحطات الفرعية31
- الشكل (1- 7) علاقة الزمن بعدد المستعملين وعدد المحطات الفرعية32
- الشكل (1-10) منحنى حمولة سكنية مع مساهمة مصادر التوليد في تغذيتها34
- الشكل (1- 11) منحنى حمولة سكنية مع وجود برنامج إدارة بيانات35
- الشكل (1- 13) المخطط الانسيابي للبرنامج الحاسوبي المطور المستعمل38
- الشكل (1-15) منهجية البحث50
- الشكل (2- 1) مناطق الحماية لجزء من شبكة كهربائية57
- الشكل (2- 2) شبكة مغذاة من جهتين58
- الشكل (2-3) المخطط الشعاعي لتيارات الحماية وتوتراتها59
- الشكل (2- 4) منحنى الخواص لحماية تيار زائد آنية الفصل62
- الشكل (2- 5) منحنى الخواص لحماية تيار زائد مع تأخير زمني محدد63
- الشكل (2- 6) منحنيات حماية التيار الزائد بتأخير زمني عكسي normal inverse64
- الشكل (2- 7) منطقة الحماية للحماية التفاضلية69
- الشكل (2-8) المنطقة المحمية للحماية التفاضلية70

- الشكل (2-9) دارة حماية محول في بيئة ETAP - عطل خارجي 73
- الشكل (2-10) دارة حماية محول في بيئة Etap - عطل داخلي (فصل القاطع الأول) 76
- الشكل (2-11) دارة حماية محول في بيئة Etap - عطل داخلي (فصل القاطع الثاني) 77
- الشكل (2-12) دارة حماية محول في بيئة Etap - عطل داخلي (فصل القاطع الاحتياطي) 78
- الشكل (2-13) دارة حماية المحول T1 في بيئة Etap 79
- الشكل (3-1) النظام الأساسي للمنزل النموذجي في الشبكة الذكية 89
- الشكل (4-1) دورة حياة الوكيل 98
- الشكل (4-2) منهجية إدارة الوكيل 99
- الشكل (4-3) الصفحة الصفراء 100
- الشكل (4-4) البنية الأساسية لبناء ثلاث طبقات من الفرق الهرمية 107
- الشكل (4-5) الواجهة الرسومية الأساسية لمنصة جاد 108
- الشكل (4-6) الحاويات الأساسية في نظام الوكلاء المتعددين 109
- الشكل (4-7) تبادل الرسائل بين الوكلاء 115
- الشكل (4-8) الواجهة الرسومية الأساسية لنظام الرسائل بين الوكلاء الأساسيين 116
- الشكل (5-1) مخطط الخط الواحد لشبكة IEEE-9bus 120
- الشكل (5-2) الدارة المكافئة لشبكة IEEE-9bus في بيئة Matlab 123
- الشكل (5-3) مخطط صندوق لنظام الوكلاء المتعددين 126

- الشكل (4-5) تطبيق الوكلاء على الشبكة المرجعية 127
- الشكل (5-7) الرسائل المرسله من وكيل القواطع لوكيل الحماية 131
- الشكل (5-8) الرسائل المتبادلة بين وكيل الحماية ومركز التنسيق العام 132
- الشكل (5-9) الرسائل المتبادلة بين وكيل القواطع و مركز التنسيق العام 133
- الشكل (5-12) أثر العطل على قضيب التجميع 5 136
- الشكل (5-13) أثر العطل في الحمل 137
- الشكل (5-14) مخطط توضيحي لمبدأ التأهيل الذاتي 138
- الشكل (5-15) المخطط الصندوقي لآلية عمل الحماية والتنسيق مع بقية الحماية 140
- الشكل (5-16) المخطط الصندوقي لآلية التنسيق بين حمايتي بداية ونهاية خط النقل 5-7 141
- الشكل (5-17) أثر العزل في المولد G1 143
- الشكل (5-18) أثر التأهيل الذاتي في قضيب التجميع 7 144
- الشكل (5-19) أثر التأهيل في الأحمال 145
- الشكل (6-1) مخطط الخط الواحد لجزء من الشبكة السورية 151
- الشكل (6-2) الدارة المكافئة لجزء من الشبكة السورية 66kV في بيئة Matlab 155
- الشكل (6-3) الأدوات المستعملة في الماتلاب 156
- الشكل (6-4) الرسائل المرسله من وكيل الحماية لوكيل القواطع 164
- الشكل (6-5) الرسائل المرسله من وكيل القواطع لوكيل الحماية 165

- الشكل (6-6) الرسائل المتبادلة بين وكيل الحماية ومركز التنسيق العام 166
- الشكل (7-6) الرسائل المتبادلة بين وكيل القواطع ومركز التنسيق العام 167
- الشكل (8-6) أثر التأهيل الذاتي في محطات التحويل 169
- الشكل (9-6) أثر التأهيل الذاتي في قضيب التجميع في منطقة الجامعة 170
- الشكل (A1) الوكلاء في برنامج Eclipse 182
- الشكل (B1) الوكلاء في برنامج Eclipse 186

قائمة المعادلات

46.....	1-1
46.....	2-1
59.....	1-2
60.....	2-2
60.....	3-2
65.....	4-2
65.....	5-2
66.....	6-2
67.....	7-2
69.....	8-2
70.....	9-2

الملخص

إن إضافة التوليد الموزع على الشبكات الكهربائية أثر بصورة كبيرة في تنسيق عمل حمايات الشبكة الحالية التي كانت تعمل وفق جريان استطاعة باتجاه واحد (من مصدر التوليد إلى الحمل) ومركزية القرار ثم أصبحت ثنائية الاتجاه. نظراً لدخول مصادر الطاقة المتجددة وبنسب مشاركة متزايدة، أصبحنا بحاجة لتعزيز التحكم اللامركزي، ونظام حماية قادر على التعامل مع شبكة ثنائية الاتجاه؛ فضلاً عن تنسيق متطور وواسع النطاق بين أجزاء الشبكة كاملة.

لذلك يجب تصميم نظام طاقة كهربائي مقسم إلى قطاعات موثوق بها، ومستقلة قابلة لإعادة الهيكلة للتأمين ضد الأعطال، يتمتع كل قطاع منها بسعة كافية لتوليد الطاقة اللازمة في الوقت الحرج للحمل؛ مع إمكانية الاتصال الداخلي بين أجهزة التوليد والنقل والتوزيع والتحكم، وتبادل المعلومات مع جميع مراكز التنسيق الموزعة على طول الشبكة الكهربائية.

من الأساسي أن توفر الشبكات الكهربائية الذكية إمدادات طاقة غير منقطعة للأحمال الحرجة ذات الأولوية الأعلى؛ اعتماداً على برامج تنسيق متطورة. وهو ما يعرف بمبدأ التأهيل الذاتي الذي يعد أحد الطرائق الحديثة، يعتمد التأهيل الذاتي الذي درس في هذه الأطروحة على نظام وكلاء متعددين الذي برمج باستعمال بيئة جاد Jade لبناء نظام اتصالات بين الوكلاء يسهم في رفع سوية التنسيق بين أجزاء الشبكة؛ مع استمرارية تغذية الحمل رغم وجود أعطال ضمن الشبكة المدروسة.

تم في هذه الأطروحة دراسة شبكة كهربائية مرجعية IEEE-9Bus؛ فضلاً عن جزء من الشبكة السورية 66kV في بيئة Matlab/Simulink؛ من أجل محاكاة نظام تأهيل ذاتي لامركزي يحتوي مجموعة

وكلاء (للمنابع والحمايات ومركز التنسيق) قادرين على صنع القرار بشكل لامركزي دون انقطاع التغذية عن الأحمال.

لقد بينت النتائج قدرة وكيل الحماية على اكتشاف العطل، وفصل الوكيل المسؤول عن عزل العطل، وإعادة هيكلة الشبكة بحيث تحافظ على استمرار تغذية الأحمال، يتمتع هذا النظام بمرونة العمل، ودقة في فصل أصغر جزء يحتوي على العطل وإعادة توصيل التغذية الكهربائية لبقية أجزاء الشبكة التي لم تكن جزءاً من العطل، لكن حذف العطل سبب قطع التغذية عنها.

كما تقدم هذه الأطروحة طريقة استعمال منصة جاد في التأهيل الذاتي المتضمنة وصف ومبدأ عمل

كل من:

- وكلاء الحماية الذين يقومون بتحسس العطل، وتحسين زمن الفصل؛ إذ يمثل وكيل الحماية مركز تنسيق للحمايات يحدد مكان العطل بدقة تبعاً لزمن الفصل.
- وكلاء تمثل القواطع بداية كل خط ونهايته تقوم بفصل خطوط النقل أو وصلها.
- وكلاء توليد موزع تضاف في حالة نقص التغذية الكهربائية؛ تبعاً لأوامر من مركز تنسيق الأحمال والتوليد.

الكلمات المفتاحية: نظام الوكلاء المتعددين – التأهيل الذاتي – برنامج Java – Matlab .

الفصل الأول

الإطار العام للبحث

1.1 المقدمة Introduction

يُعد قطاع الطاقة الكهربائية من أسرع قطاعات الطاقة نمواً، بسبب النمو السريع لاقتصاديات الدول، وذلك بسبب زيادة استهلاك الكهرباء في الصناعة، ونمو الطبقة المتوسطة فيها. كما أن تغير أنماط الاستهلاك للطاقة الكهربائية في الدول المتقدمة يطرح تحدياً في كيفية استجابة محطات التوليد له. خصوصاً أن دمج مصادر الطاقات المتجددة؛ بما يعرف بالتوليد الموزع أصبح أمراً أساسياً في الشبكات الكهربائية. عند حدوث أعطال على الشبكة الكهربائية، يجب أن تعمل الحماية الكهربائية بصورة متناسقة لفصل العطل دون الإضرار بعمل التوليد الموزع ذي الطاقة المتجددة من جهة، كما يجب إعادة الشبكة الكهربائية كما كانت قبل حدوث العطل بطريقة مناسبة من جهة أخرى.

إن من أهم أهداف الشبكة الكهربائية الذكية هو زيادة الموثوقية؛ إذ تظهر الأبحاث الحديثة كيف يمكن لتطبيقات الشبكة الذكية من تحسين مردود نظم الحماية، وتحسين تحديد الأعطال، وعزلها واستعادة وضع الشبكة من جديد.

2.1 إشكاليات البحث

نظراً لحدوث الأعطال بصورة متكررة على شبكات النقل؛ فضلاً عن وجود التوليد الموزع فإنه قد يحدث أخطاء في تقديرات الحماية في بعض الحالات؛ لذلك يجب العمل على وضع رؤية حديثة لتطوير نظم الحماية وأتمتها في خطوط النقل لحل هذه المشكلات.

تطبيق نظرية الوكلاء المتعددين على التأهيل الذاتي لنظام الحماية للشبكات الذكية
عبير أحمد زين

3.1. تساؤلات البحث

هل هذا البحث يجعل أداء الحماية أفضل؟ وهل سيقدم بالدليل سرعة الاستجابة والموثوقية في الشبكات الكهربائية؟ وهل هو قابل للتنفيذ على كل نماذج الشبكات الكهربائية؟

4.1. فرضيات البحث

هناك مجموعة من القضايا التي يجب تحديدها عند تطبيق الدراسة:

- الشبكة الكهربائية المرجعية.
- نظام التأهيل الذاتي لهذه الشبكة.
- الشبكة الكهربائية السورية.
- نظام التأهيل الذاتي لجزء من الشبكة الكهربائية السورية.

5.1. مسلمات البحث

يستند هذا البحث إلى الانتشار الواسع والكبير لنظم الحماية المتطورة والتوليد الموزع، بهدف استمرارية تغذية الأحمال في جميع حالات التشغيل للشبكة الكهربائية نظراً لزيادة الطلب على الطاقة وحاجتنا لمصادر جديدة ونظيفة.

6.1. الهدف من البحث

يهدف هذا البحث إلى:

- نمذجة شبكة نقل كهربائية مرجعية تحتوي على حماية تيار زائد ذات خواص زمنية عكسية ومحاكاتها؛ لدراسة تأثير تطبيق نظرية الوكلاء المتعددين في التأهيل الذاتي فيها.
- تصميم نظام وكلاء متعددين قادر على فصل العطل دون التأثير في تغذية الأحمال.

7.1. أهمية البحث

تستعمل نظرية الوكلاء المتعددين في كثير من التطبيقات الهندسية، درس [1] تطوير نماذج لدمج مصادر الطاقة المتجددة، ومكونات تخزين الطاقة في تطبيقات الشبكة الذكية؛ مستعملاً هذه الطريقة، تكمن أهمية البحث في استثمار نظرية الوكلاء المتعددين في نظم الحماية الكهربائية لخطوط النقل، بحيث نتمكن من تحسين طريقة تحديد الأعطال على خطوط النقل وعزلها من جهة، والتأهيل الذاتي للشبكة الكهربائية (Self-healing) من جهة أخرى.

8.1. مسوغات البحث

- زيادة الطلب على الطاقة الذي يرافق التطور، والحرص على استمرارية التغذية للأحمال.
- ازدياد التوليد الموزع، ومساهمته في الشبكات الكهربائية.
- أثر فصل الأعطال غير السليم في استمرارية تغذية الأحمال في الشبكة الكهربائية.

9.1. حدود البحث

يشمل نطاق البحث فهم نظرية الوكلاء المتعددين، واستعمالها في التأهيل الذاتي لشبكة IEEE-9Bus

كشبكة مرجعية، وجزء من الشبكة السورية 66kV.

10.1. الدراسة المرجعية

اطلع على عدد من الكتب والرسائل والأوراق البحثية؛ لمعرفة ما توصل إليه العالم في مجال بحثنا، ونعرض هنا بعض هذه الأبحاث:

1.10.1. تطوير نماذج لدمج مصادر الطاقة المتجددة ومكونات تخزين الطاقة في تطبيقات

الشبكة الذكية [1]

Development of models for integrating renewables and energy storage components in smart grid applications

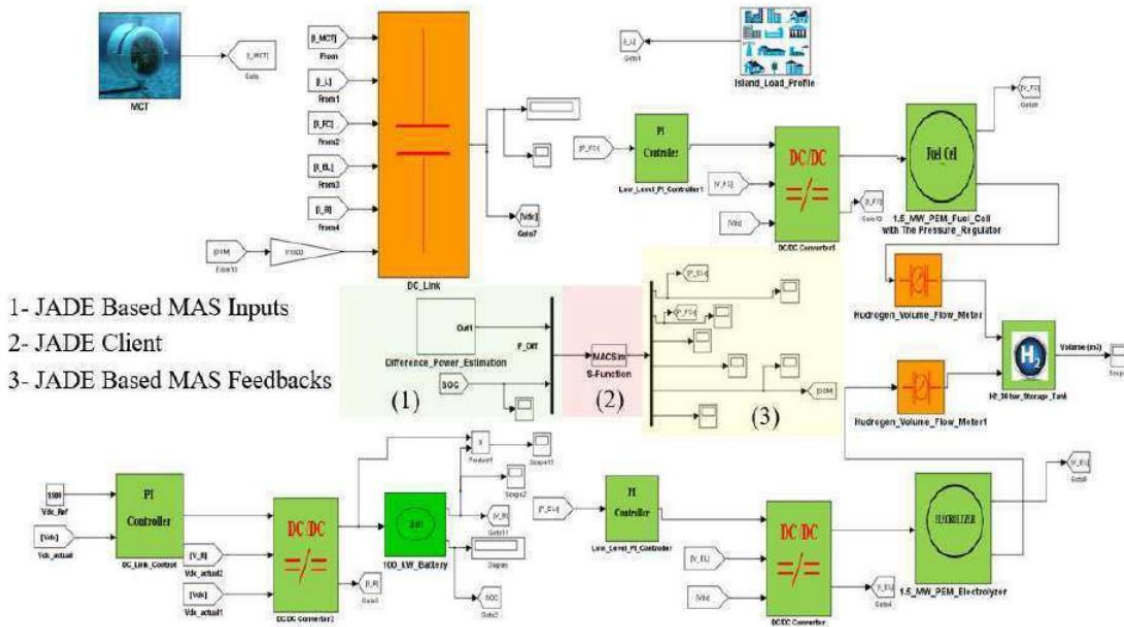
الهدف من هذا البحث:

- تحليل نظام إدارة الطاقة المركزي واللامركزي .
 - تحليل استراتيجية التحكم في جريان الاستطاعة وتطويرها؛ للتقليل من الضياعات.
- استخدم الباحث منصة جاد JADE في تطوير نظام وكلاء متعددين (MAS) Multi Agent System؛ بسبب نطاقها العام؛ بعدها برمجيات مفتوحة المصدر، وتراخيصها مجانية.

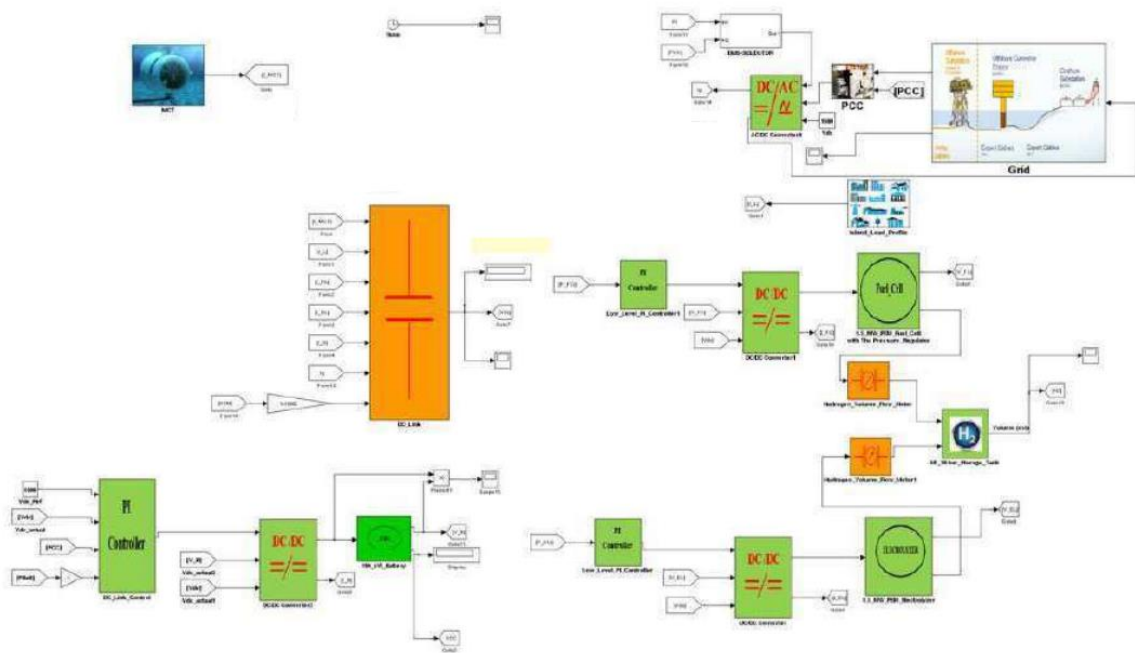
منهجية البحث:

حقن تيار في لفات الآلة؛ بهدف الحد من الضياعات الحديدية وتم التوصل إلى توفير الطاقة بمايكفي لتوليد مايقرب 100kg من الهيدروجين، اعتمد الباحث في عمله على برنامجي Matlab و Java؛ إذ بنيت الدارة في بيئة Matlab لحالتين (نظام معزول - نظام مرتبط بالشبكة)، يوضح الشكل (1-1) النظام المعزول والشكل (2-1) النظام المرتبط بالشبكة الذين استخدمهما الباحث.

تطبيق نظرية الوكلاء المتعددين على التأهيل الذاتي لنظام الحماية للشبكات الذكية
عبير أحمد زين

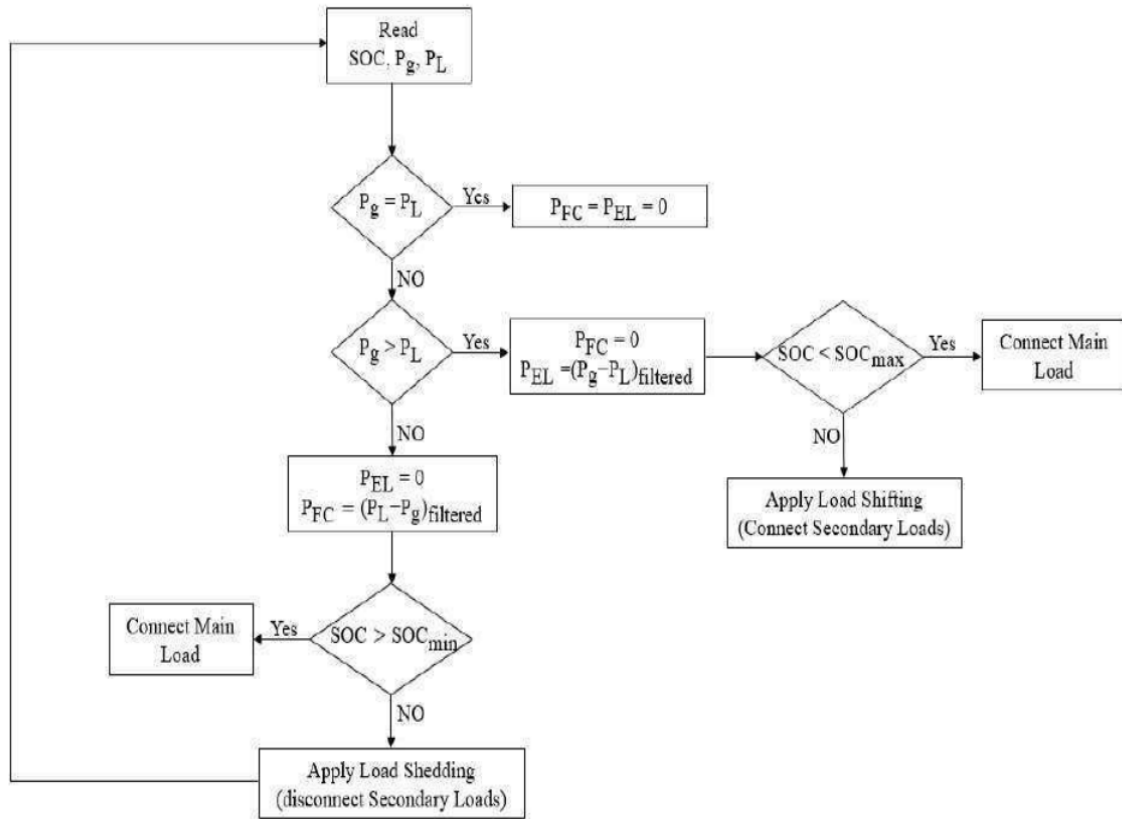


الشكل (1-1) نمذجة النظام المعزول لمحطة هيدروجين

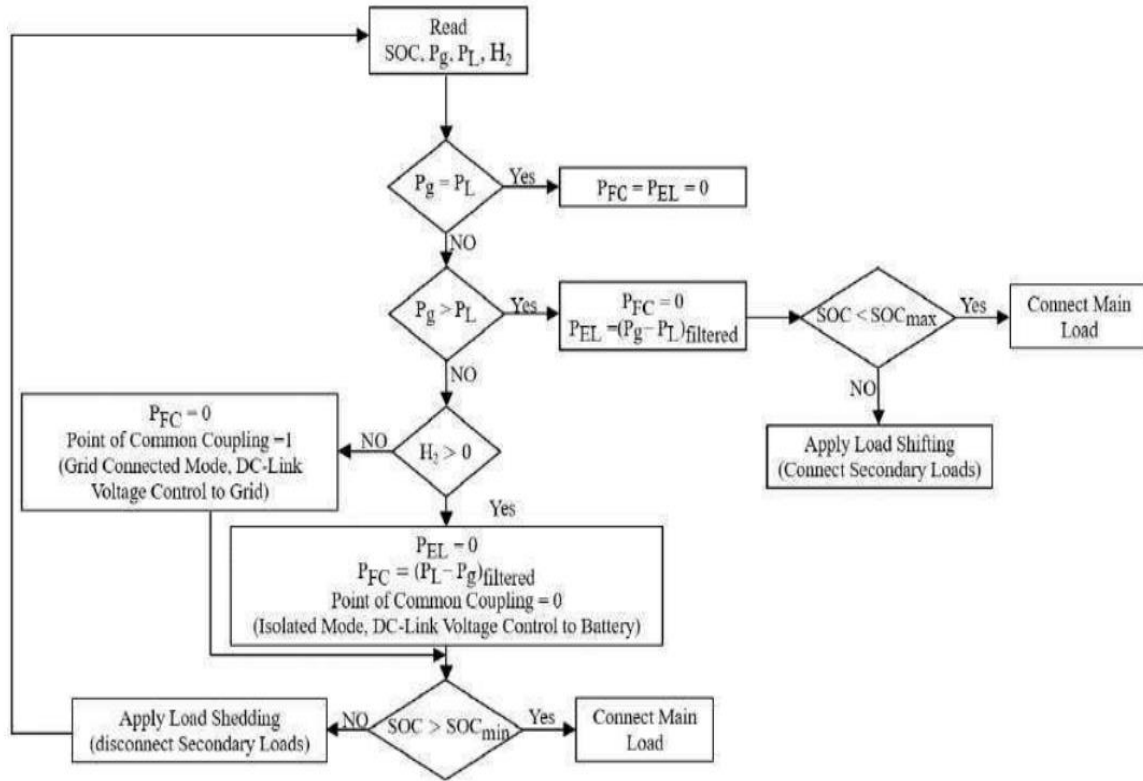


الشكل (1-2) نمذجة نظام مرتبط مع الشبكة لمحطة هيدروجين

دمج الباحث مصادر الطاقة المتجددة؛ وفقا لنتائج الخوارزمية الموضحة من خلال الشكل (3-1) الذي يمثل المخطط الانسيابي لخوارزمية الحل في بيئة Java، كما قدم خوارزمية للنظام المرتبط مع الشبكة موضح في الشكل (4-1)



الشكل (3-1) المخطط الانسيابي لنظام إدارة الطاقة في بيئة Java



الشكل (1- 4) المخطط الانسيابي لنظام إدارة الطاقة لنظام مرتبط مع الشبكة في بيئة Java

2.10.1. مخطط مجموعة عملي للتوقيع الأعمى لحماية الخصوصية في الشبكة الذكية [2]

Protection in A Practical Group Blind Signature Scheme for Privacy Smart Grid

يعد تسرب خصوصية أحد العوامل الرئيسة لتقييد تطوير الشبكة الذكية. تركز أبحاث حماية الخصوصية

في الشبكة الذكية حالياً على جانبين:

(1) تجميع البيانات بناءً على النموذج الرياضي والخوارزمية.

(2) المصادقة المجهولة للمستعمل.

ومع ذلك، فإن تجميع البيانات يكون على حساب الحصول على معلومات استهلاك الكهرباء الجديدة

لحماية الخصوصية. بينما، لا يمكن للمصادقة المجهولة التعرف إلى المستعمل الضار في الأبحاث السابقة. ومن

تطبيق نظرية الوكلاء المتعددين على التأهيل الذاتي لنظام الحماية للشبكات الذكية
عبير أحمد زين

ثم، في هذا العمل، اقترح مخطط توقيع أعمى جماعي في الشبكة الذكية؛ لإنجاز إخفاء الهوية المشروط. علاوة على ذلك، يمكن التحقق من سلامة بيانات الاستهلاك عن طريق التشفير متماثل الشكل (HE) والذي يمكن أن يقلل من عبء الاتصال بين مركز التحكم والعداد الذكي بصورة ملحوظ.

تقييم الأداء:

نفذت تجربة المحاكاة بلغة C؛ باستعمال مكتبة تشفير (PBC) ومكتبة حسابية دقيقة. تم الحصول على النتائج التجريبية من محطة لينكس، وحساب متوسط القيمة عشرين مرة. في الوقت نفسه، حصل على الرسم البياني باستعمال MATLAB 2017a.

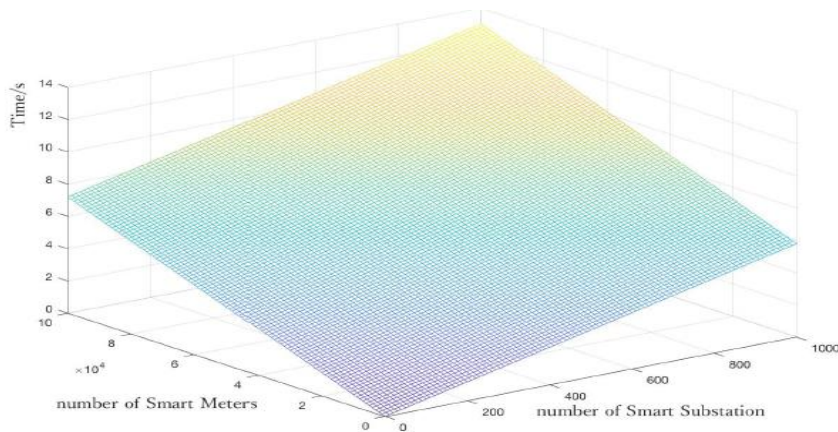
تتكون المحاكاة من أربع مراحل:

❖ المرحلة الأولى : يقدم وقت الإعداد من خلال زيادة عدد العدادات الذكية والمحطات الفرعية

الذكية، يوضح الشكل (1-5) أن زمن المعالجة يزداد بصورة خطية؛ مع زيادة عدد العدادات

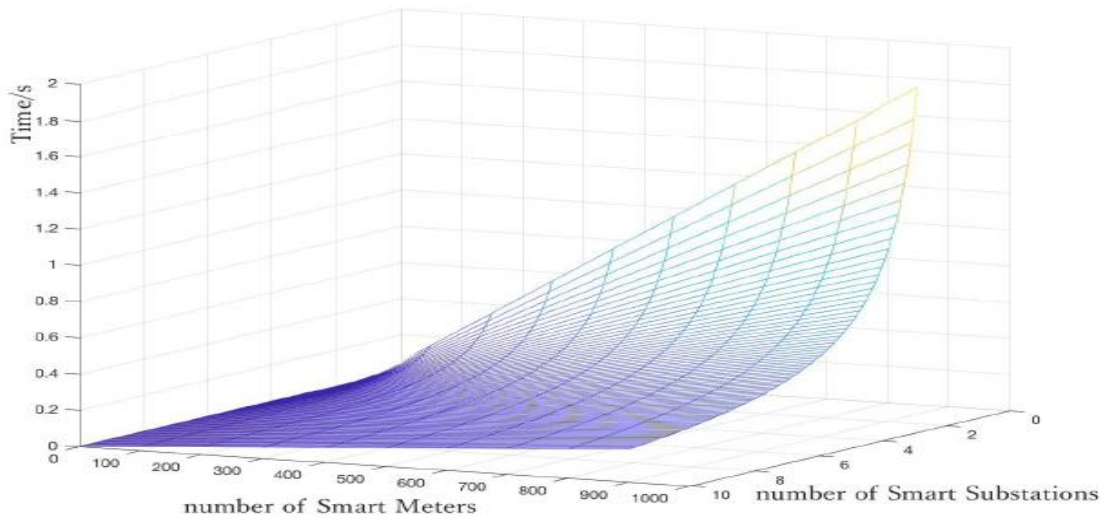
الذكية والمحطات الفرعية الذكية حيث عندما يصل عدد العدادات الذكية إلى 1000 ويصل

عدد المحطات الفرعية الذكية إلى 10 ، يكون زمن المعالجة 13.005 ثانية.



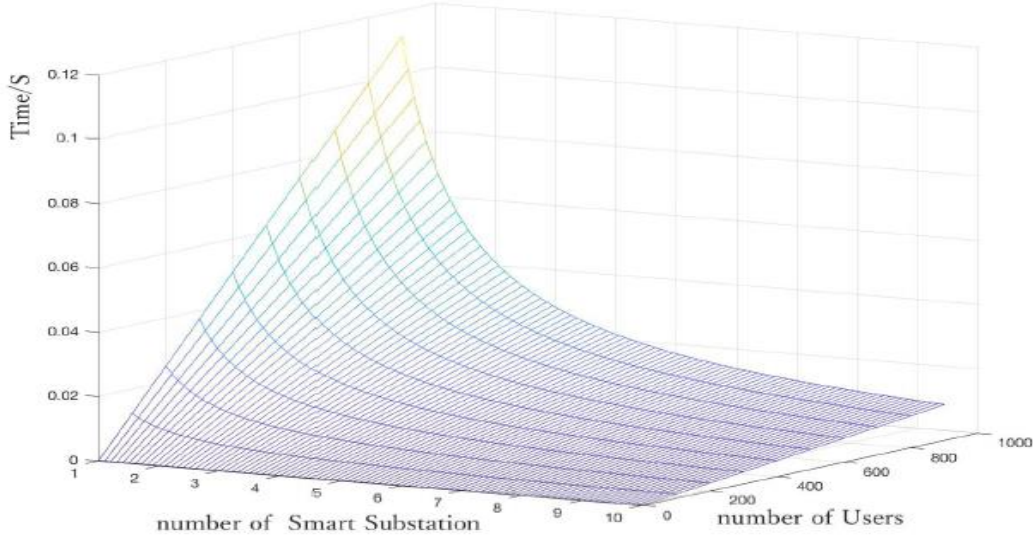
الشكل (1-5) علاقة الزمن بعدد العدادات الذكية وعدد المحطات الفرعية

كما يوضح الشكل (6-1) أن زمن المعالجة سيزداد مع زيادة العدادات الذكية، وينخفض مع ازدياد المحطات الفرعية؛ إذ الوقت الزائد هو 0.202 ثانية عندما يصل عدد SM (Smart Meters) و SS (Smart Substation) إلى 1000 و 10 على التوالي. والسبب هو أن تقانة موازنة الحمل ستخصص خدمات مصادقة مختلفة من SM إلى SS؛ لزيادة قدرة معالجة البيانات.



الشكل (6-1) علاقة الزمن بعدد العدادات الذكية والمحطات الفرعية

من الناحية المثالية، مع زيادة SM و SS، سيكون زمن المعالجة مستقرًا ضمن نطاق معين. تمامًا كما هو موضح في الشكل (7-1)، فإن زمن المعالجة للتوقيع الأعمى يتوافق أيضًا مع هذه القاعدة؛ لأنه سينخفض زمن المعالجة بسرعة مع زيادة SS.



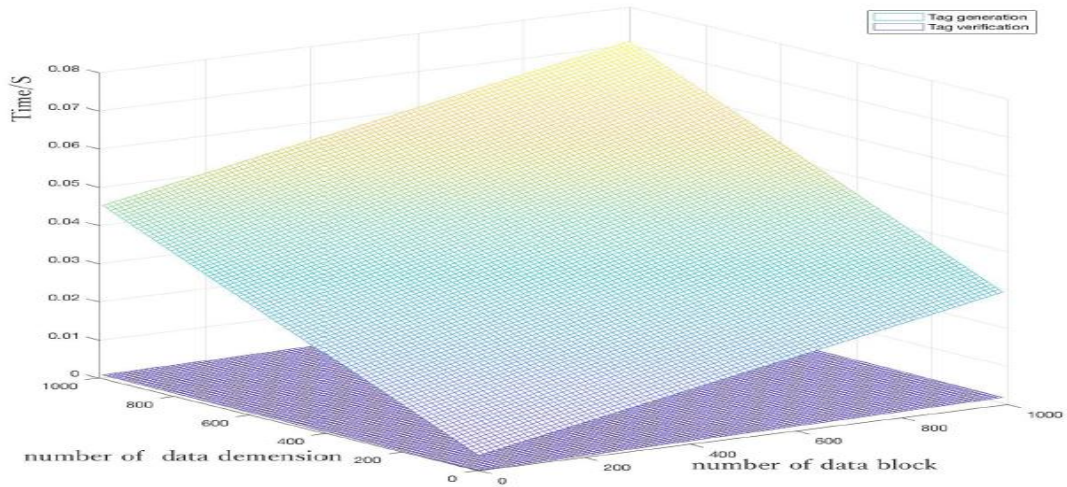
الشكل (1-7) علاقة الزمن بعدد المستعملين وعدد المحطات الفرعية

يعرض الشكل (1-8) زمن المعالجة في مرحلة إنشاء العلامة ومرحلة التحقق منها، تبين النتائج أن

زمن المعالجة مرتبط طردياً بعدد كتل البيانات وأبعاد المعطيات. عندما يصل عدد أبعاد البيانات وكتلة البيانات

إلى 1000، يكون زمن المعالجة لإنشاء العلامات، والتحقق من العلامة 0.071835 ثانية و9 ميكرو ثانية

على التوالي.



الشكل (1-8) علاقة الزمن بكتل البيانات وأبعاد المعطيات

3.10.1. طرائق تحسين وإدارة الطاقة في "الشبكات الذكية" [3]

Optimization methods and energy management in " smart grids"

الهدف من هذا البحث:

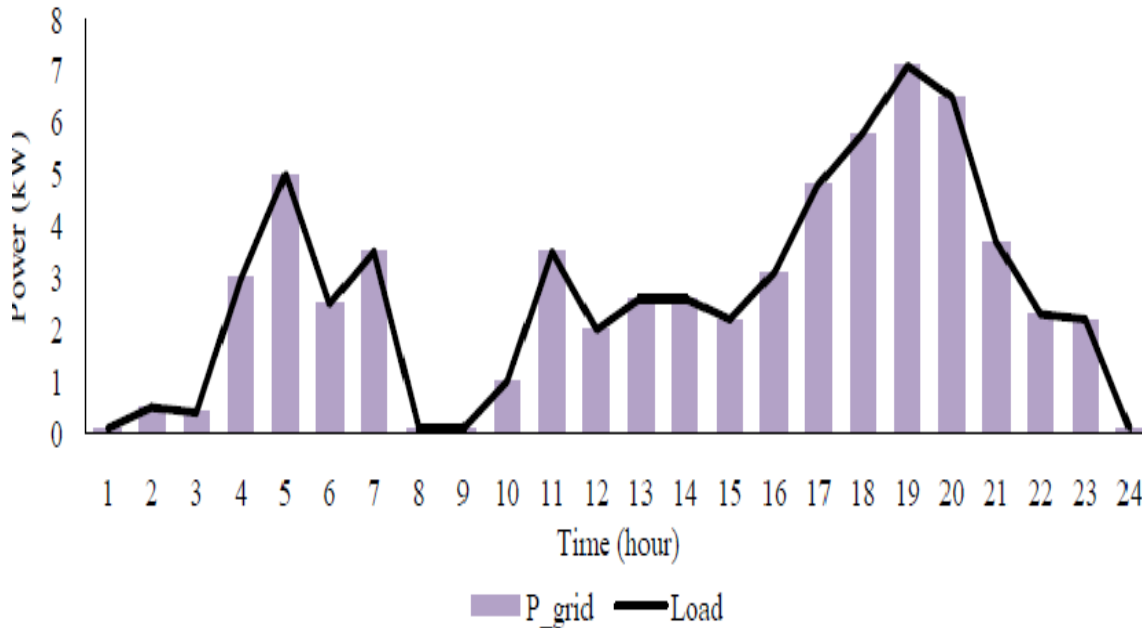
تحسين طرق إدارة الطلب على الطاقة الكهربائية في الشبكات الذكية؛ إذ قام الباحث في البداية بالتفريق بين الشبكات الذكية والشبكات التقليدية؛ إذ تتمتع الشبكة الذكية بالاستقرار، والمرونة، وانتقالها من حالة المركزية في الشبكة التقليدية إلى اللامركزية في الشبكة الذكية.

تطرق الباحث للتقانات الست الأكثر استعمالاً في إدارة الطلب على الطاقة، ودرس أربع حالات، وهي:

الحالة الأولى: هو التصور الأساسي، ويتكون من حمل سكني واحد يمكنه بذلك شراء الكهرباء فقط من الشبكة،

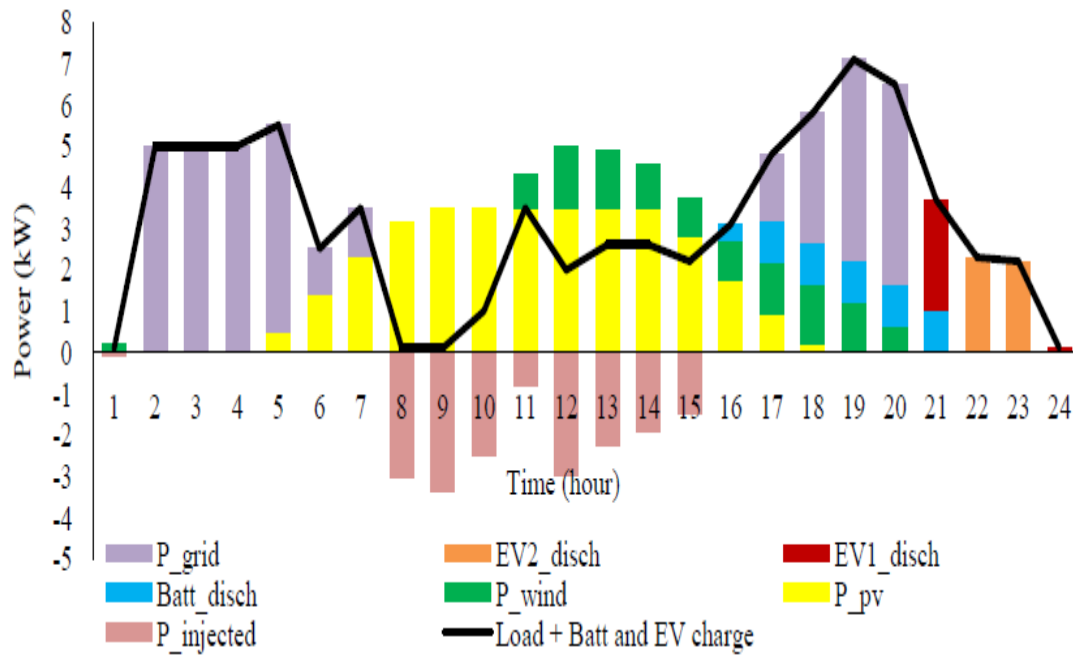
يوضح الشكل (1-9) تغير الاستطاعة التي يستجرها المستهلك في يوم واحد، وكانت تكلفة الكهرباء 1008.56

cent €/day



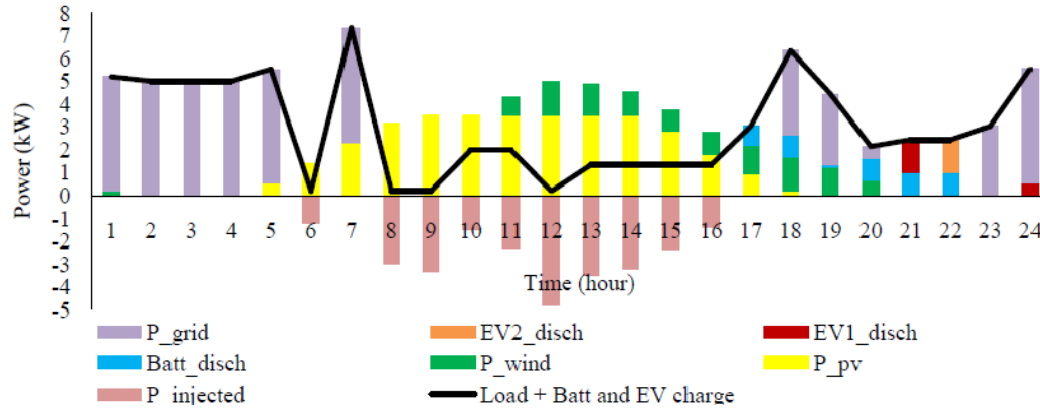
الشكل (1-9) منحنى الحمل سكني واحد

الحالة الثانية: تشمل دراسة الحالة 1؛ فضلا عن تكامل النظام الكهروضوئي، ونظام عنفات الرياح، والمدخرات كنظام التخزين والسيارات الكهربائية (EVs (Electrical Vehicles، وكانت التكلفة اليومية في هذه الحالة 34.45cent€/day، يوضح الشكل (10-1) نسبة مساهمة مصادر الطاقة في تغذية هذا الحمل.



الشكل (10-1) منحنى حمولة سكنية مع مساهمة مصادر التوليد في تغذيتها

الحالة الثالثة: تشمل دراسة الحالة 2؛ فضلا عن اعتبار برنامج إدارة الطلب على الطاقة demand resources (DR) الذي يحول بعض الأحمال الحرارية الكهربائية إلى الفترات ذات السعر المنخفض إذ انخفضت قيمة الاستهلاك اليومي ليصبح هذا المستهلك مولداً، وكانت قيمة الاستهلاك اليومي 39.42cent€/day، يوضح الشكل (11-1) توزيع الأحمال اليومي، ومساهمة مصادر الطاقة المختلفة في تغذية هذا الحمل.



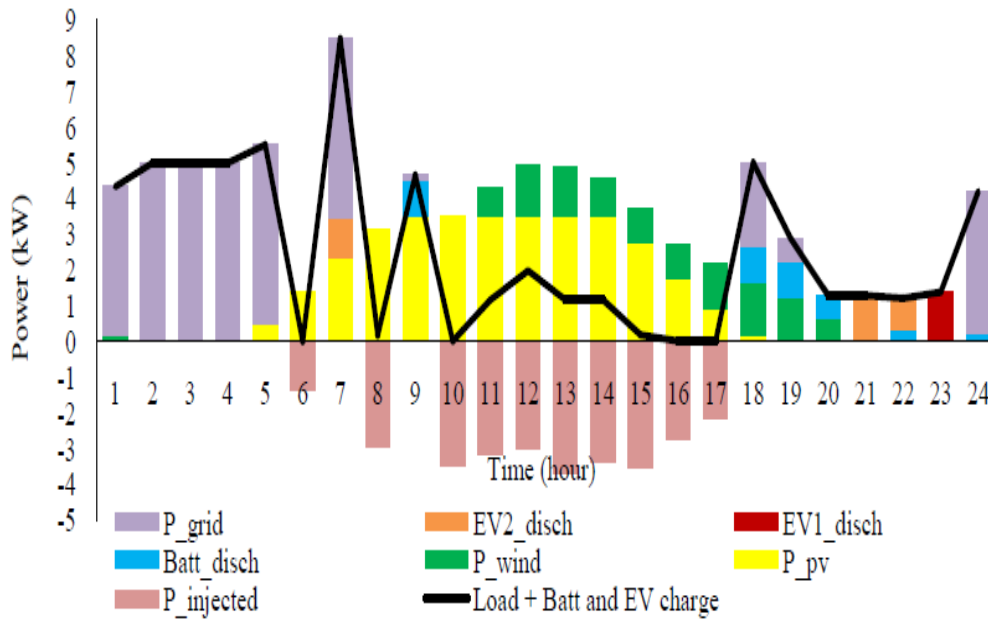
الشكل (11 -1) منحنى حمولة سكنية مع وجود برنامج إدارة بيانات

الحالة الرابعة: تشمل دراسة الحالة الثالثة؛ فضلا عن برنامج (DR) مع Thermal (TCL)

controllable load الذي يمكنه الحفاظ على بعض درجات الحرارة المحددة مسبقاً في النطاق المطلوب، هنا

انخفضت قيمة الاستهلاك اليومي ليصل إلى 106.98 cent€-؛ أي الحقن في الشبكة، يوضح الشكل (12-1)

(توزع الأحمال اليومي، ومساهمة مصادر الطاقة المختلفة في تغذية هذا الحمل لهذه الحالة.



الشكل (12 -1) منحنى حمولة سكنية مع نظام TCL

4.10.1. التأهيل الذاتي في الشبكات الذكية (عرض شامل) [4]

Self-Healing in Smart Grid: A Review

الهدف من هذا البحث:

يهدف البحث لشرح المبادئ الأساسية للمعالجة الذاتية للشبكة وتطبيقاتها، فضلاً عن التعريف بأهداف

التأهيل الذاتي، وتشمل:

- نظام آمن: الشبكة ذات مصداقية فيما يتعلق بقدرتها على تقديم الخدمة.
- أنظمة تحمل الخطأ: لا يتأثر أداء النظام بحدوث الأعطال.
- أنظمة مرنة: يتمكن النظام من إعادة تكوينه، للتعامل مع الأعطال.

تقدم المقالة طرائق توفير استقرار حالة عابرة في الشبكة الذكية التي تتمثل في:

- (a) طريقة التجزئ: تشمل التقسيم إلى جزر، وتقليل اضطراب الحمل.
- (b) وحدات قياس الطور (PMU) phaser unit يتتبع زوايا دوائر المولد التي تصبح غير متوازنة، هنا يجب تسريع العملية باستعمال طريقة حساب وتحسين متقدمة، لأن الوضع غير مستقر.
- (c) طريقة فصل الأحمال: تقارن فيها البيانات الواردة من PMU، مع القيم الفعلية لتحديد الأحمال التي تفصل، وتستعمل خوارزمية التحسين المتقدمة؛ لضمان قدرة النظام على التأهيل.

5.10.1. دمج أجهزة الشبكة الذكية في الحماية التقليدية لشبكات التوزيع [5]

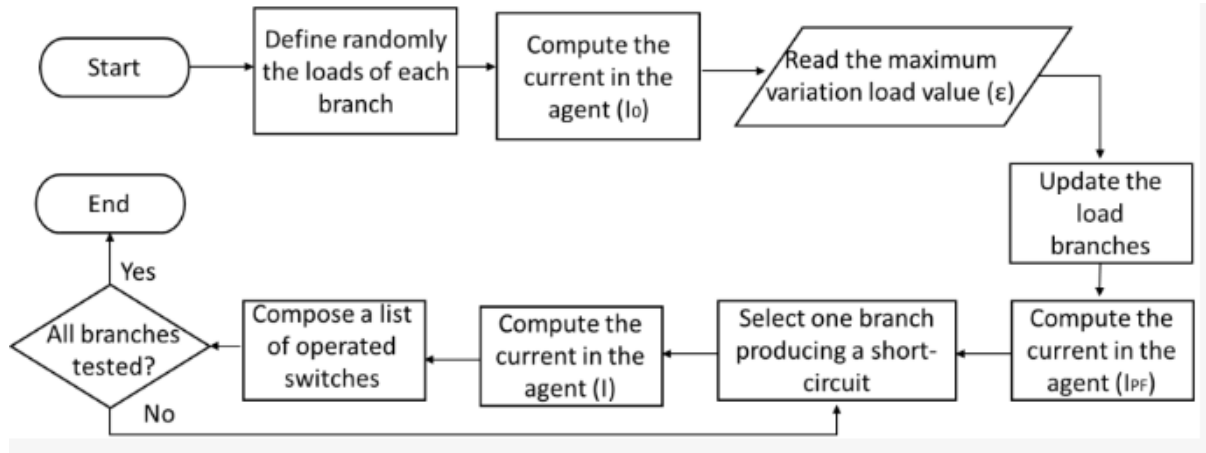
Integrating Smart Grid Devices into the Traditional Protection of Distribution Networks

الهدف من هذا البحث:

دراسة تبديل الشبكة الذكية للعمل مع عناصر الحماية التقليدية (الصمامات ، وأجهزة إعادة الإغلاق ، والمقطعات)، تخلق هذه الإضافة مشكلة في مخططات الحماية؛ بسبب اختلاف آلية العمل بينهما، عرض ومناقشة أمثلة عملية؛ باستعمال أنظمة التوزيع الحقيقية

تدرس هذه المقالة الأجهزة الإلكترونية الذكية الأكثر شيوعاً intelligent electronic devices (IEDs)؛ للتحقق من ميزاتها، وإمكانية دمجها مع الحماية التقليدية؛ إذ توضح كيفية التفاعل بين الأجهزة الإلكترونية الذكية والتقليدية، كما يمكن دمج الوظائف الخاصة لإبلاغ مركز التحكم بمشكلة تشغيلية. يقسم العمل في هذه المقالة إلى ثلاثة أقسام:

القسم الأول: يعرض هيكل البرنامج الحسابي الذي طور لاختبار صلاحية النهج المقترح، يوضح الشكل (13-1) المخطط الانسيابي لهذا البرنامج، في البداية ، يزود الوكيل بهيكل الشبكة المراقبة ومواقع المحولات ومواقع الوكلاء المجاورين. يبدأ بمجموعة عشوائية من الأحمال (معبراً عنها بالتيار) لكل فرع. الخطوة التالية هي حساب التيار الأولي (I_0) ؛ من خلال الوكيل باستعمال الحمل العشوائي لكل فرع .سيستعمل الوكيل هذه الأحمال في الخطوات التالية . هذا الجزء من الخوارزمية يكافئ النهج المقترح عندما يعرف الوكيل الحمل الساعي لكل فرع مسجل في الذاكرة المحلية.



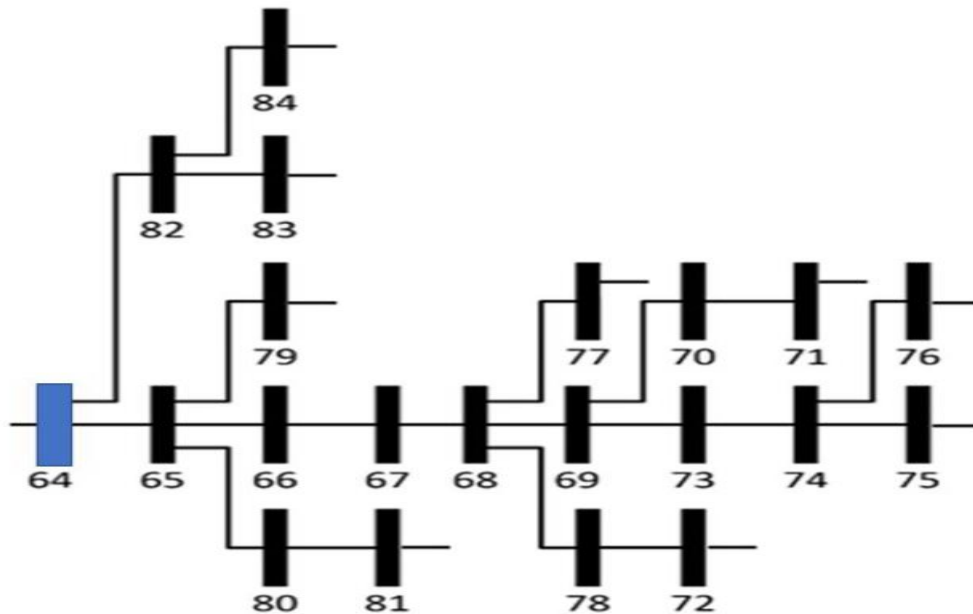
الشكل (1-13) المخطط الانسيابي للبرنامج الحاسوبي المطور المستعمل

القسم الثاني: يصف تنفيذ البرنامج المطور بالخوارزمية المقترحة مرة واحدة، لتحديد قائمة بالمفاتيح المشغلة

، وإنشاء دارة قصر واحدة منفصلة لكل فرع.

يوضح الشكل (1-14) دارة الخط الواحد للشبكة المدروسة؛ إذ وضع وكيل عند قضيب التجميع 64،

وهو مسؤول عن المفاتيح المرقمة من 65 إلى 81.



الشكل (1-14) مخطط الخط الواحد للدارة المستعملة

بعد البدء بتشغيل البرنامج يوفر تحميل عشوائي لكل فرع، يرمز له I_o مقاساً بال pu، كما هو موضح

في الجدول (1-1)، إذ:

I_o : الحمل العشوائي.

I_{PF} : الحمل قبل العطل.

$I_{SWx,new}$: الحمولة بعد التعديل

الجدول (1-1) نتائج البرنامج الحاسوبي

Bus	Registrated Load (I_{SWx})	Load (I_{PF})	Up-Date Registrated Load ($I_{SWx,new}$)
64	5.067	5.168	5.062
65	1.259	1.239	1.258
66	2.836	2.738	2.833
67	2.522	2.637	2.519
68	5.786	5.691	5.780
69	5.421	5.199	5.415
70	6.796	6.521	6.789
71	1.675	1.733	1.674
72	3.798	3.837	3.794
73	1.312	1.352	1.310
74	2.515	2.573	2.512
75	4.342	4.358	4.338
76	1.292	1.353	1.291
77	2.379	2.350	2.377
78	5.242	5.269	5.237
79	4.511	4.660	4.506
80	2.483	2.512	2.480
81	4.792	4.966	4.787
82	6.132	6.179	6.125
83	1.138	1.161	1.135
84	6.114	5.836	6.098

يوضح الجدول (2-1) نتائج البرنامج الحاسوبي الذي يوضح أن النهج المقترح قد أصاب الهدف في

معظم الاختبارات. على سبيل المثال:

في المثال الأول : طبق حالة قصر في الفرع 64-65 مع تشغيل المفتاح 64 ؛ تبين النتائج أن هذا المفتاح موجود في المقام الأول في قائمة تبديل التشغيل الممكنة، عثر على الحل الصحيح في المرتبة الثانية عند تشغيل المفتاحين 70 و 79.

الجدول (1-2) نتائج القصر عند وجود وكيل واحد عند قضيب التجميع 64

Operated Switch	Complete Ordered List	Rank of Correct Switch
64	[64, 65, 66, 67, 68, 69, 82, 73, 78, 70, 74, 80, 84, 81, 79, 75, 72, 77, 71, 76, 83]	1
65	[65, 66, 67, 64, 68, 69, 82, 73, 78, 70, 74, 80, 84, 81, 79, 75, 72, 77, 71, 76, 83]	1
66	[66, 67, 68, 65, 69, 64, 82, 73, 78, 70, 74, 80, 84, 81, 79, 75, 72, 77, 71, 76, 83]	1
67	[67, 68, 66, 65, 69, 82, 73, 78, 64, 70, 74, 80, 84, 81, 79, 75, 72, 77, 71, 76, 83]	1
68	[68, 67, 66, 69, 65, 82, 73, 78, 70, 74, 80, 84, 81, 79, 75, 72, 64, 77, 71, 76, 83]	1
69	[69, 82, 73, 78, 70, 74, 80, 68, 84, 81, 79, 75, 72, 67, 77, 71, 76, 83, 66, 65, 64]	1
70	[74, 70, 78, 80, 73, 84, 81, 79, 75, 72, 82, 77, 71, 76, 83, 69, 68, 67, 66, 65, 64]	2
71	[71, 76, 83, 77, 72, 75, 79, 81, 84, 80, 74, 70, 78, 73, 82, 69, 68, 67, 66, 65, 64]	1
72	[72, 75, 79, 81, 77, 84, 71, 76, 83, 80, 74, 70, 78, 73, 82, 69, 68, 67, 66, 65, 64]	1
73	[73, 78, 70, 74, 80, 82, 84, 81, 79, 75, 72, 77, 71, 76, 83, 69, 68, 67, 66, 65, 64]	1
74	[74, 70, 78, 80, 73, 84, 81, 79, 75, 72, 82, 77, 71, 76, 83, 69, 68, 67, 66, 65, 64]	1
75	[75, 79, 81, 72, 84, 77, 71, 80, 76, 83, 74, 70, 78, 73, 82, 69, 68, 67, 66, 65, 64]	1
76	[76, 83, 71, 77, 72, 75, 79, 81, 84, 80, 74, 70, 78, 73, 82, 69, 68, 67, 66, 65, 64]	1
77	[77, 71, 76, 83, 72, 75, 79, 81, 84, 80, 74, 70, 78, 73, 82, 69, 68, 67, 66, 65, 64]	1
78	[78, 73, 70, 74, 80, 84, 82, 81, 79, 75, 72, 77, 71, 76, 83, 69, 68, 67, 66, 65, 64]	1
79	[81, 79, 75, 72, 84, 77, 80, 71, 76, 83, 74, 70, 78, 73, 82, 69, 68, 67, 66, 65, 64]	2
80	[80, 74, 70, 84, 78, 73, 81, 79, 75, 72, 77, 71, 82, 76, 83, 69, 68, 67, 66, 65, 64]	1
81	[81, 79, 75, 84, 72, 80, 77, 71, 74, 70, 76, 83, 78, 73, 82, 69, 68, 67, 66, 65, 64]	1
82	[82, 73, 78, 70, 74, 80, 84, 81, 79, 75, 72, 69, 77, 71, 76, 83, 68, 67, 66, 65, 64]	1
83	[83, 76, 71, 77, 72, 75, 79, 81, 84, 80, 74, 70, 78, 73, 82, 69, 68, 67, 66, 65, 64]	1
84	[84, 81, 79, 75, 80, 72, 74, 70, 78, 77, 73, 71, 76, 83, 82, 69, 68, 67, 66, 65, 64]	1

في المثال الثاني: يوجد وكيلان في المحولين 64 و 68 بالشكل (1-14)، يقسمان إمكانية ملاحظة هذا الجزء من الشبكة. استعملت البيانات نفسها الواردة في الجدول (1-1)، وتظهر النتائج في الجدول (1-3) أن معظم هذه المحاولات تصل أيضًا إلى الهدف الصحيح. وجاءت الأخطاء 71 و 79 فقط في المرتبة الثانية و 77 في المرتبة الثالثة.

الجدول (3-1) نتائج القصر عند وجود وكيلين في المحولين 64 و 68

Operated Switch	Complete Ordered List	Rank of Correct Switch
64	[64, 69, 65, 73, 74, 70, 66, 75, 67, 78, 76, 77, 68, 72, 71, 82, 79, 80, 83, 84, 81]	1
65	[65, 69, 66, 67, 68, 64, 73, 74, 70, 75, 78, 76, 77, 72, 71, 82, 79, 80, 83, 84, 81]	1
66	[66, 67, 68, 69, 65, 73, 74, 82, 70, 64, 75, 78, 76, 77, 72, 71, 79, 80, 83, 84, 81]	1
67	[67, 66, 68, 69, 65, 73, 74, 82, 70, 75, 64, 78, 76, 77, 72, 71, 79, 80, 83, 84, 81]	1
68	[68, 67, 66, 69, 65, 73, 82, 74, 70, 75, 78, 79, 80, 76, 77, 83, 84, 64, 72, 71, 81]	1
69	[69, 73, 82, 68, 74, 67, 66, 70, 75, 78, 79, 80, 76, 77, 83, 84, 72, 71, 81, 65, 64]	1
70	[70, 75, 78, 79, 80, 76, 77, 83, 84, 72, 71, 81, 74, 82, 73, 69, 68, 67, 66, 65, 64]	1
71	[81, 71, 72, 84, 77, 83, 76, 80, 79, 78, 75, 70, 74, 82, 73, 69, 68, 67, 66, 65, 64]	2
72	[72, 71, 81, 84, 77, 83, 76, 80, 79, 78, 75, 70, 74, 82, 73, 69, 68, 67, 66, 65, 64]	1
73	[73, 82, 74, 70, 75, 69, 78, 79, 80, 76, 77, 83, 84, 72, 71, 81, 68, 67, 66, 65, 64]	1
74	[74, 82, 73, 70, 75, 78, 79, 80, 76, 77, 83, 84, 72, 71, 81, 69, 68, 67, 66, 65, 64]	1
75	[75, 70, 78, 79, 80, 76, 77, 83, 84, 72, 71, 81, 74, 82, 73, 69, 68, 67, 66, 65, 64]	1
76	[76, 83, 77, 80, 79, 78, 84, 72, 71, 81, 75, 70, 74, 82, 73, 69, 68, 67, 66, 65, 64]	1
77	[76, 83, 77, 80, 79, 78, 84, 72, 71, 81, 75, 70, 74, 82, 73, 69, 68, 67, 66, 65, 64]	3
78	[78, 79, 80, 76, 77, 83, 75, 84, 72, 71, 81, 70, 74, 82, 73, 69, 68, 67, 66, 65, 64]	1
79	[80, 79, 83, 84, 81, 71, 72, 77, 76, 78, 75, 70, 82, 74, 73, 69, 68, 67, 66, 65, 64]	2
80	[80, 79, 83, 84, 81, 71, 72, 77, 76, 78, 75, 70, 82, 74, 73, 69, 68, 67, 66, 65, 64]	1
81	[81, 84, 83, 80, 79, 71, 72, 77, 76, 78, 75, 70, 82, 74, 73, 69, 68, 67, 66, 65, 64]	1
82	[82, 71, 72, 77, 76, 78, 75, 70, 79, 80, 83, 84, 81, 74, 73, 68, 67, 66, 69, 65, 64]	1
83	[83, 80, 84, 79, 81, 71, 72, 77, 76, 78, 75, 70, 82, 74, 73, 69, 68, 67, 66, 65, 64]	1
84	[84, 83, 80, 79, 81, 71, 72, 77, 76, 78, 75, 70, 82, 74, 73, 69, 68, 67, 66, 65, 64]	1

القسم الثالث: يوضح التحقق من صحة النهج المقترح، استعمل البرنامج الحسابي عمليات مرسومة

وعشوائية؛ لذلك من الضروري التحقق من صحة النهج المقترح بألف اختبار، شغل ألف عملية تنفيذ للبرنامج لكل

قيمة ع ، وكانت قيم ع المختارة 1% ، 2% و 5% و 10%؛ لذلك نفذ 4000 عملية حذف، يوضح الجدول (1-1)

(4) هذه النتائج.

الجدول (4-1) نتائج القواطع الصحيحة في القائمة

ε	Position in the List				Error	Hits	Error	Hits
	1st	2nd	3rd	4th	Total	Total	1st	1st + 2nd
1%	96.19%	3.81%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%	3.81%	0.00%
2%	95.24%	4.29%	0.48%	0.00%	0.00%	100.00%	4.76%	0.48%
5%	92.00%	4.67%	3.33%	0.00%	0.00%	100.00%	8.00%	3.33%
10%	74.29%	18.57%	6.19%	0.48%	0.48%	99.52%	25.71%	7.14%

6.10.1. مراجعة حديثة لأنظمة الطاقة الذكية وإدارتها في بيئة الشبكة الذكية [6]

A State-of-the-Art Review of Smart Energy Systems and Their Management in a Smart Grid Environment

قسمت الشبكة الذكية SG في هذه المقالة إلى ثلاثة أنظمة رئيسية:

1- نظام البنية التحتية الذكية: يتألف من توليد الطاقة ونقلها، وقياس المعلومات، والمراقبة والبنية

التي تحتية للاتصالات في SG، تزيد مصادر الطاقة الموزعة (DES) من كفاءة شبكة الطاقة، لأنها

تقوم بتغذية الوكيل المستهلك، ويمكن إعادة الطاقة المتبقية إلى الشبكة العامة. يحدث هذا عند

تشغيل DES في الوضع المقترن مع الشبكة؛ مما يؤدي إلى ظهور مفهوم "الشبكة الميكروية".

يمكن أن توفر DES أيضًا القدرة إلى حمل معين في وضع "الجزيرة"؛ إذ لا يمكن لهذا الحمل

تبادل الطاقة مع الشبكة الكلية (إما الحمل خارج المنظومة أو أثناء حدوث عطل). ينتج عن تدفق

المعلومات ثنائي الاتجاه من الوكلاء إلى الأداة، ومن الأداة المساعدة إلى الوكلاء تبادل معلومات

مفيد؛ مما يوفر مراقبة الحالة عن بُعد للوكيل، وفصل الاتصال، وإعادة الاتصال.

يقسم هذا الاستطلاع نظام البنية التحتية الذكية إلى عدة أنظمة فرعية:

1. يوفر النظام الفرعي للطاقة الذكية إعدادًا حديثًا لمولد طاقة ذكي، ونقل ذكي، ووسيلة توزيع

ذكية، واستعمال ذكي.

2. يوفر النظام الفرعي للمعلومات الذكية المعلومات أو قياس البيانات، والمراقبة، وطرائق إدارتها.

3. يوفر النظام الفرعي للاتصالات الذكية وسيلة لنقل المعلومات، فصلت الأنظمة الفرعية للمعلومات والاتصالات للتعامل مع التعقيد الهيكلي والتشغيلي المتضمن لـ SG كنظام من الأنظمة لتلبية المتطلبات مثل قابلية التشغيل البيئي.

2- نظام إدارة ذكي: يوفر الخدمات والوظائف الإدارية. تتعلق أهداف الإدارة بتعزيز كفاءة الطاقة ، والمساواة في العرض والطلب، وخفض انبعاثات ثاني أكسيد الكربون، وخفض التكلفة التشغيلية.

3- نظام الحماية الذكي: يوفر موثوقية الشبكة، وتحليل الاستقرار والحماية من أعطال النظام وأمن شبكة الطاقة والبيانات وخصوصيتها.

7.10.1. تحديات الشبكة الذكية في تطبيقات Blockchain [7]

Challenges Smart Grid in Blockchain Applications

تعرض هذه المقالة أهمية تطبيق تقانة blockchain التي تقدم طريقة جديدة لإنشاء نظام لامركزي يمنع التفاعل مع طرف ثالث؛ أي إن التفاعل وتبادل البيانات بين المستهلك من جهة والمولد من جهة أخرى بدون أي وسيط. تعمل تقانة Blockchain كدفتر مشترك بين مستعملي الشبكة؛ بهدف الحماية من التلاعب في عملية المعاملات. تتيح بنية Blockchain إنشاء كتل جديدة يمكن استعمالها لتخزين البيانات باستمرار. مع هذه البنية ، تكون الشبكة الذكية مزدوجة redundant ضد الأخطاء والهجمات الإلكترونية. يمكن أن تعمل سلاسل الكتل الذكية القائمة على العقود دون تدخل بشري؛ لإنشاء كتل من البيانات، وتسجيلها من ثم تكون أكثر مقاومة للتغيير، وغير معرضة للخطر. تعمل عقود Blockchain الذكية عند استيفاء جميع الشروط والمتطلبات المحددة مسبقاً للبروتوكول. يعمل العقد عادةً وفقاً للهيكل المبرمج مسبقاً ولا يمكن تغييره. نظراً لظهور أسواق الكهرباء المحلية،

والحاجة إلى زيادة أمان معاملات نظير إلى نظير (P2P) وشفافيتها، جذبت تقانة blockchain والعقود الذكية كثير من الاهتمام مؤخراً، تعرض هذه المقالة البنية التحتية لتبادل طاقة P2P القائمة على blockchain لسوق الطاقة المحلي لمجتمع الشبكة الذكية.

قيمت ملاءمة blockchain للاستعمال في الشبكات الذكية، وتوصيف لامركزية blockchain؛ فضلاً عن دراسة حول أسواق تداول الطاقة القائمة على blockchain والتي تناولت الأمن والخصوصية، وآلية تسعير سوق الكهرباء، وكيفية تحسين مزايا الشبكة الذكية.

ناقش الباحث فرص بحث blockchain في مجال الشبكات الذكية، وإدراك الإمكانيات الحديثة لتقانة blockchain في تطبيقات الشبكة الذكية؛ فضلاً عن عرض موجز للصعوبات والمشكلات المرتبطة باستعمال blockchain في الشبكات الذكية.

المحاور الأساسية لهذه المقالة:

- 1- مراجعة لمكونات الشبكة الذكية.
- 2- استعمال blockchain في الشبكة الذكية.
- 3- مناقشة عدد من مخاوف البحث، والصعوبات المتعلقة باستعمال الشبكة الذكية لتقانة blockchain.

8.10.1. تكنولوجيا الوكلاء المتعددين للتسامح مع الخطأ والتحكم المرن [8]:

Multi Agent Technology For Fault Tolerant And Flexible Control

يقدم هذا الكتاب تحمل الخطأ كأهم خصائص نظام الوكلاء المتعددين الذي يتمتع بالاتصال الموثوق، منصة الوكيل المتسامح مع الخطأ، المعرفة الاجتماعية لتحمل الخطأ، والتوزيع الفيزيائي، وهيكل الوكيل والتفاوض، كما تم التعريف بضرورة تقليل حالات الفشل سواء فشل الوكيل الذي لا يعد بالضرورة فشل النظام كاملاً أو فشل النظام، وكيفية بناء هذا النظام ابتداء ببناء الوكلاء.

درس مثالان تطبيقيان على نظام وكلاء متعددين متسامح مع الخطأ الأول قائم على اكتشاف مكان العطل لنظام تبريد ماء لنسخة مصغرة من سفينة بحرية أمريكية حقيقية، والتطبيق الثاني لنظام النقاط المواد لتحديد مكان العطل في هذا النظام وتبيان مدى قدرة هذا النظام على التعامل مع هذا العطل.

9.10.1. حماية الشبكة الكهربائية باستعمال التأهيل الذاتي [9]:

Smart Grid Protection Through Self-Healing

في هذا البحث صنفنا الشبكات الذكية على أنها الجيل الجديد لنظام القدرة؛ إذ تستعمل نموذجي تواصل كهربائي وتقانات رقمية، وتفرق بين الشبكات التقليدية التي تستعمل الريليات في عزل العطل، والشبكات الذكية التي تستعمل التأهيل الذاتي مما حسن موثوقية تحمل العطل.

قدمت هذه المقالة تعريف بالحمايات الكهربائية المستعملة وبني نموذجاً شبكة كهربائية IEEE-9Bus و IEEE-14Bus؛ باستعمال برنامج Etap، وخلصت الدراسة إلى تحديد الحمايات الأساسية والاحتياطية التي تعمل عند حدوث الأعطال.

10.10.1. أثر تكامل مصادر الطاقة المتجددة في تحسين تنسيق حمايات التيار الزائد في أنظمة

التوزيع [10]:

Effect of renewable energy sources integration on the optimal coordination of directional over-current relays in distribution system

تقدم هذه المقالة أثر إضافة مصادر الطاقة المتجددة على شبكات التوزيع؛ إذ يختلف هذا الأثر باختلاف حجم هذه الإضافة وموقعها، وباختلاف التوزيع الجغرافي لهذه المصادر نحن بحاجة لدراسة تنسيق الحمايات؛ بهدف الحصول على تنسيق أمثل للحمايات لاكتشاف العطل، وعزله بأقل زمن ممكن.

تطبيق نظرية الوكلاء المتعددين على التأهيل الذاتي لنظام الحماية للشبكات الذكية
عبير أحمد زين

استعملت طريقة Dual Simplex في تنسيق الحماية التي تعتمد على تحويل معادلة حساب زمن العمل لحماية التيار ذات الخواص الزمنية العكسية إلى علاقة خطية بين الزمن T ، وزمن التأخير TDS؛ وفق العلاقات (1-1) و (2-1):

$$T = a \times TDS \quad (1-1)$$

$$a = \frac{0.14}{\left(\frac{I_f}{I_{pi}}\right)^{0.02} - 1} \quad (2-1)$$

حيث:

I_f : تيار العطل.

I_{pi} : زمن تعيير الحاكمة.

طبقت هذه الطريقة على شبكة IEEE-33Bus مع توليد موزع وبدونه بعد بنائها في بيئة matlab؛ ومن

نتائج تعيير الحاكمات نجد أن:

- عند انخفاض زمن العمل؛ بسبب زيادة تيار العطل المشاهد من قبل الحاكمة يجب زيادة TDS، والعكس

صحيح.

- زيادة تيار العطل تقلل زمن عمل الحاكمة للقضبان التي لا تحتوي توليد موزع وتزيد زمن العمل للقضبان

التي تحوي توليداً موزعاً.

11.10.1. تطبيق خصائص التوتر - الزمن في مخطط التيار الزائد لتقليل الطاقة الخاصة بالقوس

الكهربائي من أجل أمان وموثوقية الشبكات الميكروية [11]:

Application of Time-Voltage Characteristics in Overcurrent Scheme to Reduce Arc-Flash Incident Energy for Safety and Reliability of Microgrid Protection

تدرس هذه المقالة أثر إضافة التوليد الموزع على الحماية عند وجود أقواس كهربائية؛ إذ أدت إضافة مصادر الطاقة المتجددة لنقل الشبكة الكهربائية الشعاعية إلى مجموعة من الأنظمة الحلقية، تبين النتائج أهمية عدم زيادة مصادر الطاقة عن الحد المسموح به لأثرها في الحماية، ودرست حالة على شبكة كهربائية مع توليد موزع وبدونه؛ لمعرفة أثر القوس الكهربائي في تنسيق الحماية، وتبين النتائج أنه يجب إعادة التنسيق، وتغيير قيم TDS لتتلاءم مع وجود القوس؛ بهدف اكتشاف العطل، وعزله بالسرعة القصوى.

12.10.1. تقانات الشبكات الكهربائية الذكية في تكامل مصادر الطاقة المتجددة [12]:

Smart Grid Protection And Its Impact On Renewable Energy Integration

تقدم هذه المقالة سبب الحاجة لمصادر الطاقة المتجددة من زيادة انبعاثات الغازات الدفيئة وزيادة الطلب على الطاقة وغيرها؛ فصلا عن الصعوبات التي نواجهها عند تكامل هذه المصادر مع الشبكات الكهربائية الناتجة عن عدم استقرار مصادر الطاقة المتجددة، وتوزيعها الجغرافي، والمشاكل الاقتصادية. تبين النتائج أن استعمال الشبكات الذكية التي تعد نظام مراقبة وتحكم متطور في توليد الطاقة واستهلاكها هو الحل الأمثل لتحسين هذا الدمج؛ فصلا عن استعمال نظم تنسيق وتحكم متطورة تعزز دور الشبكات الذكية في إدارة الطاقة وتحسينها.

يبين الجدول (1-5) أهم النقاط التي تناولتها المراجع السابقة:

A. دمج مصادر الطاقة المتجددة مع الشبكات الذكية.

B. دمج مكونات تخزين الطاقة مع الشبكات الذكية.

C. دمج أجهزة الشبكة الذكية مع الحماية التقليدية.

D. إدارة الطاقة في الشبكات الذكية.

E. إدارة الطلب على الطاقة في الشبكات الذكية.

تطبيق نظرية الوكلاء المتعددين على التأهيل الذاتي لنظام الحماية للشبكات الذكية
عبير أحمد زين

F. التحكم اللا مركزي.

G. التحكم في جريان الاستطاعة.

H. التأهيل الذاتي.

I. التسامح مع العطل.

J. أثر الجريان ثنائي الاتجاه في الحماية الكهربائية.

K. تقليل ضياعات الطاقة.

L. حماية الخصوصية.

M. تحسين زمن المعالجة.

N. نظام الوكلاء المتعددين.

O. برنامج matlab.

P. منصة جاد.

Q. برنامج Etap.

الجدول (5-1) أهم النقاط المدروسة في المراجع

رقم المرجع	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A	X		X							X	X	X
B	X											
C					X							
D	X		X			X						X
E			X									
F	X					X						X
G	X											
H				X					X			
I								X				
J					X					X	X	
K	X											
L		X					X					
M		X										
N					X			X				

		X								X	X	O
											X	P
		X	X									Q

بناء على ما تقدم من دراسات سيتم العمل ضمن هذه الأطروحة على دراسة أثر إضافة مصادر الطاقة المتجددة في الحماية في الشبكات الذكية، وتطبيق نظرية الوكلاء على التأهيل الذاتي؛ لتحسين تحديد مكان العطل بدقة، وعزله باستعمال نظرية الوكلاء المتعددين.

11.1. مناهج البحث وأدواته

تعتمد منهجية البحث على إجراء دراسة متكاملة لتطبيق نظام الوكلاء المتعددين على التأهيل الذاتي في الشبكات الكهربائية؛ ومن ثم إجراء نمذجة تتضمن:

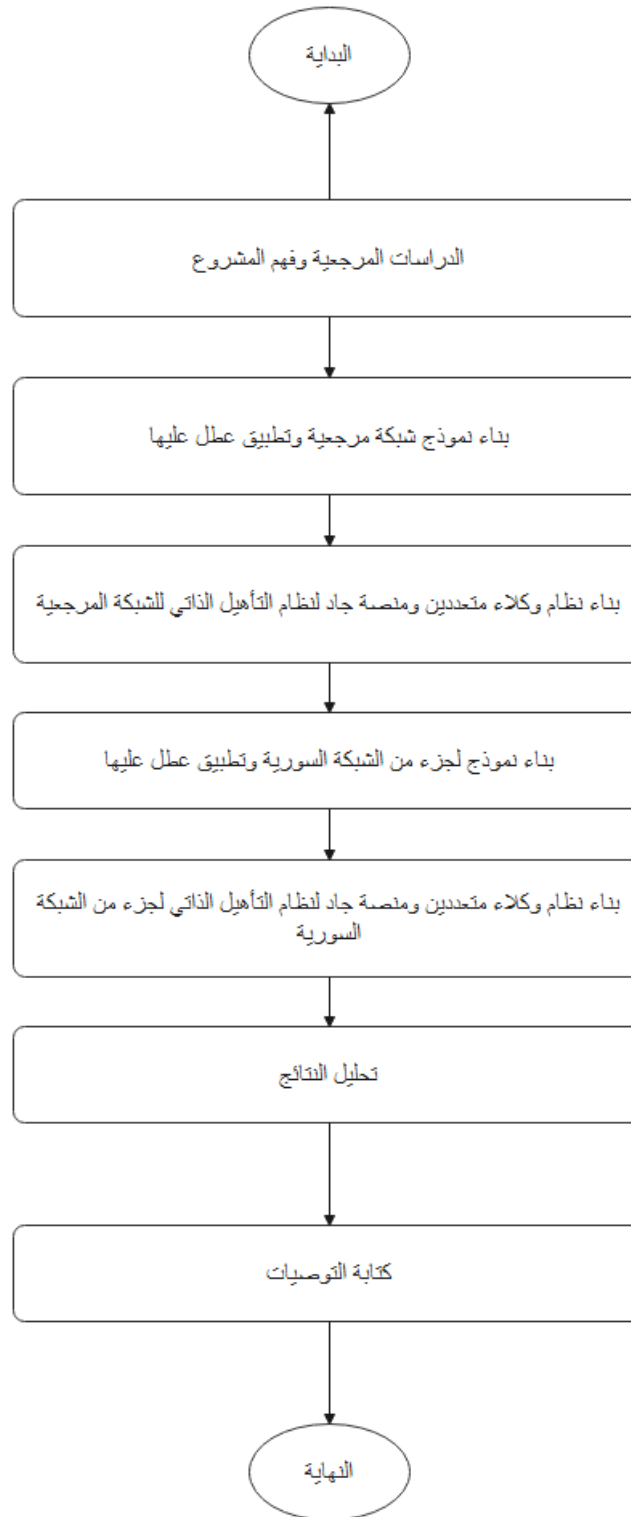
- تأثير العطل في الحماية الكهربائية.
- تأثير تطبيق التأهيل الذاتي في الشبكة المختارة.

ومن ثم تطبيق نظام الوكلاء المتعددين على التأهيل الذاتي للشبكات المختارة.

استعملت بيئة النمذجة والمحاكاة MATLAB/Simulink الذي ستبنى فيه الشبكات المدروسة، وبيئة

البرمجة Eclipse الذي سيبني من خلاله نظام الوكلاء المتعددين ضمن منصة جاد Jade.

يوضح الشكل (1-15) المنهجية المتبعة للوصول لأهداف البحث:



الشكل (1-15) منهجية البحث

12.1. مكونات البحث

تم اجراء البحث وفقاً للمراحل الآتية:

- 1- الدراسة المرجعية.
- 2- الشبكات الكهربائية الذكية.
- 3- نظرية الوكلاء المتعددين.
- 4- تحديد شبكة مرجعية مع نظام الحماية الكهربائية .
- 5- تصميم نظام وكلاء متعددين متناسب مع مكونات الشبكة المرجعية.
- 6- وضع خوارزمية عمل لنظام الوكلاء؛ لتحقيق مبدأ التأهيل الذاتي Self healing للشبكة.
- 7- دراسة حالة على شبكة كهربائية محلية وفقاً للنموذج الحاسوبي.
- 8- النتائج، والمقترحات.

تتكون هذه الدراسة من سبعة فصول مقسمة على النحو الآتي:

يتضمن الفصل الأول الإطار النظري للبحث، والدراسات المرجعية التي تعرض آخر الأبحاث ذات الصلة

بالبحث.

على حين يتناول الفصل الثاني دراسة نظرية عن أثر إضافة مصادر الطاقة المتجددة في الشبكات

الكهربائية وخصيصاً على تنسيق الحماية.

يقدم الفصل الثالث الشبكات الكهربائية الذكية، والتوليد الموزع، وإدارة التوزيع؛ فضلاً عن الحماية

الكهربائية الذكية.

تطبيق نظرية الوكلاء المتعددين على التأهيل الذاتي لنظام الحماية للشبكات الذكية
عبير أحمد زين

أما الفصل الرابع يدرس نظام الوكلاء المتعددين، ميزاته وأهميته، وكيفية استعماله، وخصائص الوكلاء ونظام الوكلاء المتعددين.

والفصل الخامس يتضمن بناء شبكة مرجعية ضمن بيئة MATLAB وخوارزمية تنسيق عمل الحماية باستعمال حماية التيار ذات الخواص الزمنية العكسية؛ فضلاً عن تصميم نظام وكلاء متعددين الخاص بهذه الشبكة المرجعية وخوارزمية عمله؛ لتحقيق مبدأ التأهيل الذاتي للشبكة.

أما الفصل السادس بناء نموذج حاسوبي لجزء من الشبكة السورية توتر 66kV، وتطبيق نظام الحماية المناسب عليه؛ فضلاً عن نظام وكلاء متعددين يؤهل ذاتياً هذه الشبكة. وأخيراً الخاتمة والنتائج والتوصيات في الفصل السابع.

الفصل الثاني

تكامل مصادر الطاقة المتجددة مع الحماية في الشبكة الكهربائية

1.2. مقدمة

مع زيادة مصادر الطاقة المتجددة مثل الطاقة الشمسية والريحية وغيرها من المصادر النظيفة التي تعاني عدم استقرار في خرجها؛ لأنها تعتمد بصورة أساسية على البيئة غير مستقرة بالتالي نحن بحاجة لشبكة قادرة على التعامل مع هذه المصادر تكون ذكية وقادرة على التعامل بمرونة مع هذه المصادر، تقدم الشبكات الذكية حلاً لهذا الاضطراب من خلال متابعة البيانات في الزمن الحقيقي لتوليد الطاقة واستعمالها.

نظراً لتأثير مصادر الطاقة المتجددة في الشبكة الكهربائية، مثل تقليل انبعاثات الغازات الدفيئة، وتغيير المناخ ودور الشبكة الذكية في تكامل هذه المصادر مع الشبكة الكهربائية، سيعرض في هذا الفصل الصعوبات التي يواجهها هذا التكامل، والتركيز على أثرها في الحماية الكهربائية.

2.2. أثر إضافة مصادر الطاقة المتجددة على الشبكات الكهربائية

إن إضافة مصادر الطاقة المتجددة على الشبكة الكهربائية تؤدي إلى تحول مسار الطاقة الذي كان باتجاه واحد في الشبكة التقليدية (من المنبع إلى الحمل) إلى اتجاهين (تحول الشبكة الشعاعية التقليدية إلى مجموعة من الأنظمة الحلقية)، كما أن التوزيع الجغرافي لمصادر الطاقة المتجددة يزيد مخاطر التعطيم، كما تؤثر في الأعطال [11] [12].

عند إضافة مصادر الطاقة المتجددة إلى الشبكة الكهربائية يجب أن تكون الشبكة مرنة ومتجاوبة بحيث
تمكننا من إدارة جريان الاستطاعة في الزمن الحقيقي، وموازنة توليد الطاقة وطلبها بصورة أكثر فاعلية، بعض
الآثار الإيجابية لهذا الدمج:

- 1- تقلل انبعاثات الغازات الدفيئة؛ بفضل اعتمادنا على مصادر طاقة نظيفة.
 - 2- زيادة مرونة الشبكة؛ بسبب استعمال مصادر الطاقة الموزعة، والتحكم اللامركزي اللذين يساعدان في
تحسين وثوقيه الشبكة.
 - 3- موازنة الشبكة والاستقرار مما يتطلب استعمال أنظمة تحكم متقدمة، وتقانات إدارة الشبكة في الزمن الحقيقي
- [12].

3.2. مشاكل تواجه دمج مصادر الطاقة المتجددة مع الشبكة الكهربائية

إن إضافة مصادر الطاقة المتجددة تؤثر في استقرار، وثوقيه وكفاءة الشبكة؛ لذلك نعاني من بعض
المشاكل عند دمجها مع الشبكة الكهربائية، مثل:

- 1- هذه المصادر متغيرة وغير مستقرة؛ لذلك نحن بحاجة لنظام إدارة لهذا التغيير.
- 2- إضافة استطاعات كبيرة تؤثر في استقرار الشبكة وتوازنها؛ لذلك نحن بحاجة لأنظمة تحكم متقدمة، وتقانات
إدارة تطبيقات الشبكة في الزمن الحقيقي.
- 3- يجب أن نتأكد أن أنظمة التوزيع، والنقل قادرة على التعامل مع زيادة السعة، والتدفق الكهربائي الناتج عن
إضافة مصادر الطاقة المتجددة.

تطبيق نظرية الوكلاء المتعددين على التأهيل الذاتي لنظام الحماية للشبكات الذكية
عبير أحمد زين

4- إضافة مصادر الطاقة المتجددة تتطلب تحسين البنية التحتية للشبكة.

5- عند إضافة مصادر الطاقة المتجددة نحن بحاجة إلى لوائح أسعار، وحواجز جديدة.

6- كلفة التأسيس العالية [12].

7- التنسيق المناسب للحمايات الذي يعد المشكلة الأصعب والأهم، وهدفه الحصول على أقل زمن عمل

للحماية، وزيادة الموثوقية [11].

يعتمد أثر إضافة مصادر الطاقة المتجددة إلى الشبكة الكهربائية على حجم هذا الدمج ومكانه؛ إذ يمكن تصنيف محطات التوليد الموزع وفق الحجم إلى:

5KW-1محطات ميكروية.

5KW-5MW محطات صغيرة.

5MW-50MW محطات متوسطة.

50MW-300MW محطات كبيرة.

4.2. التوليد الموزع

أسهمت الحاجة المتزايدة للكهرباء، ونضوب الوقود الأحفوري، وضرورة استعمال الطاقة النظيفة في زيادة بروز مصادر الطاقة المتجددة؛ لذلك اقترح التوليد الموزع (DG) كحل لحالات الانقطاع واسعة الانتشار في الآونة الأخيرة. كما يقترح التوليد الموزع فكرة التوليد في الموقع [7]. على الرغم من أن دمج مصادر التوليد الموزع (DERs) Distributed Energy Resources في شبكات الطاقة يمكن أن يوفر

فوائد متعددة، مثل تحسين كفاءة الطاقة، وتعزيز الاقتصادي. يثير الاختراق العالي لـ DERs تحديات متزايدة أمام قابلية التوسع في استراتيجيات التحكم الحالية [13]. كما يتطلب تركيب DGs في النظام الكهربائي مراقبة دقيقة؛ لضمان موثوقية النظام، وسلامته، وجودة الطاقة [14].

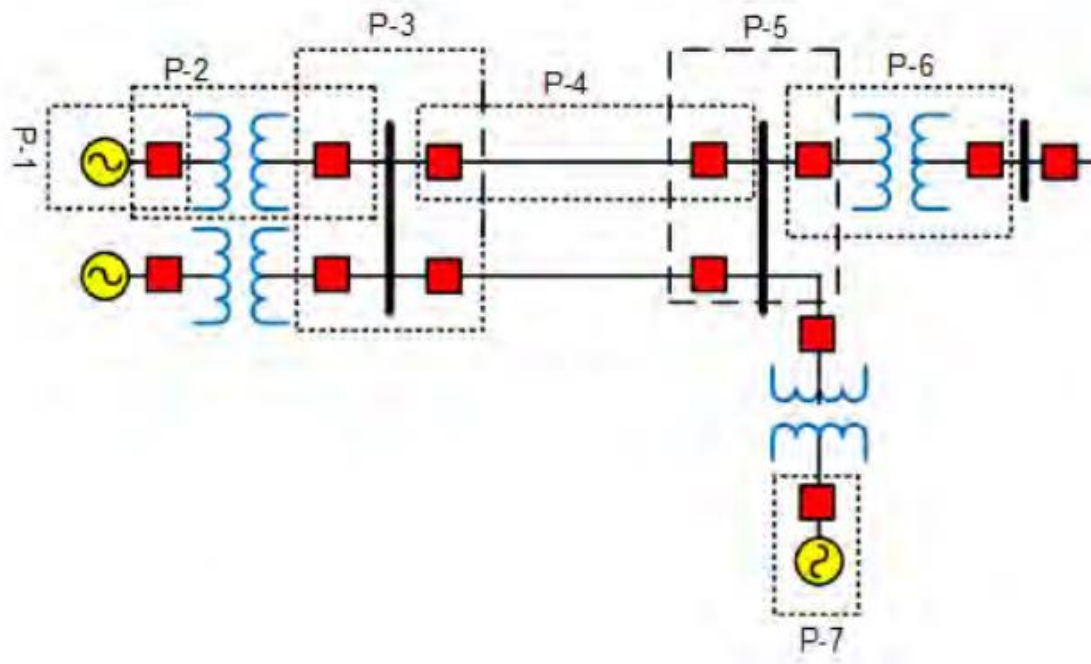
تستعمل الشبكة الذكية (SG) التي تعد شبكة كهرباء مستقبلية، جريان استطاعة ثنائي الاتجاه، وتدفق للمعلومات في أنظمة توليد الطاقة المؤتمتة والموزعة ضمن نطاق واسع، وأنظمة مراقبة لمصادر الطاقة في الزمن الحقيقي؛ بهدف زيادة جودة الطاقة، وزيادة الاستقرار والموثوقية، ومشاركة المعلومات ثنائية الاتجاه [6].

أفضل طريقة لدمج التوليد الموزع DG في شبكة الطاقة دون استبدال البنية التحتية للتوزيع بالكامل وإنفاق ثروة هي إنشاء شبكة ميكروية [MG] Micro Grid. تعرف الشبكة الميكروية، وفقًا لوزارة الطاقة الأمريكية "مجموعة الأحمال المترابطة، وموارد الطاقة المنتشرة داخل حدود كهربائية محددة بوضوح والتي تعمل ككيان واحد خاضع للرقابة فيما يتعلق بالشبكة". يمكن أن تكون متصلة بالشبكة أو منفصلة (وضع الجزيرة)، وهي مسؤولة عن الحفاظ على تردد وتوتر ثابت في كلا الوضعين المتصلة بالشبكة والمعزولة، يجب أن تحافظ MG على التيارات الثابتة لمتابعة الإشارات المحددة مسبقًا للشبكة الرئيسية، وفي الوضع المعزول يجب أن تحافظ MG على توتر خرج ثابت للحمل [7]..

تدمج الشبكة الميكروية موارد الطاقة التقليدية المنتشرة باستعمال الأدوات التكنولوجية وتكنولوجيا المعلومات؛ مما يجعلها أكثر فاعلية ومرونة؛ لتعزيز الأوضاع الاقتصادية والبيئية. إحدى هذه التقانات التي جذبت الاهتمام بتطبيقات الشبكات الميكروية لإنشاء مجتمع مستدام؛ وفق سلسلة الكتل blockchain. يمكن أن توفر فكرة blockchain ثباتًا لمعاملات الشبكة الميكروية microgrid مثل تسجيل مستويات توليد الطاقة، وتأكيد المعاملات بين المولدين والمستهلكين النهائيين. من خلال الاستغناء عن الاتصال بطرف ثالث، يمكن استعمال العقود الذكية القائمة على blockchain للتدقيق أو حل نزاع المعاملات بين المنتجين والمستهلكين. [15]

5.2. الحماية الكهربائية

بما أن منظومة الطاقة الكهربائية منظومة ضخمة ومعقدة؛ لذلك لا يمكن تصميم جهاز واحد فقط لحمايتها ككل، بل تقسم إلى مناطق صغيرة Zones، يصبح دور جهاز الحماية حماية هذه المنطقة الصغيرة بصورة أساسية؛ مع إمكانية حماية مناطق أخرى بصورة احتياطية، يجب أن تتعاون هذه الحماية لضمان أعلى درجات الحماية، يوضح الشكل (1-2) مناطق الحماية لجزء من شبكة كهربائية؛ إذ إن كل منطقة مكونة من عدة أجهزة حماية، وليست مكونة من جهازاً واحداً [16].



الشكل (1 - 2) مناطق الحماية لجزء من شبكة كهربائية [16]

P1, P7: مسؤول عن الأعطال التي تقع داخل المولد.

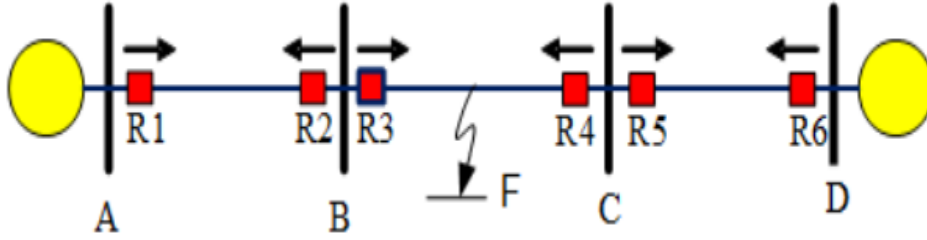
P2, P6: مسؤول عن الأعطال التي تقع في المحول.

P3, P5: مسؤول عن الأعطال التي تقع على قضبان التجميع.

P4: مسؤول عن الأعطال التي تقع على خطوط نقل الطاقة.

1.5.2. الحماية في الشبكات المغذاة من جهتين

مع تعقيد الشبكات الكهربائية لأسباب متعددة منها إضافة التوليد الموزع، كما في الشبكات الذكية أصبح التنسيق بين الحماية أكثر تعقيداً، على سبيل المثال الدارة المبينة في الشكل (2-2) هي دارة غذيت من طرفين وأحدث عطل عند النقطة F، هنا يجب أن تفصل الحماية R3, R4 فقط.



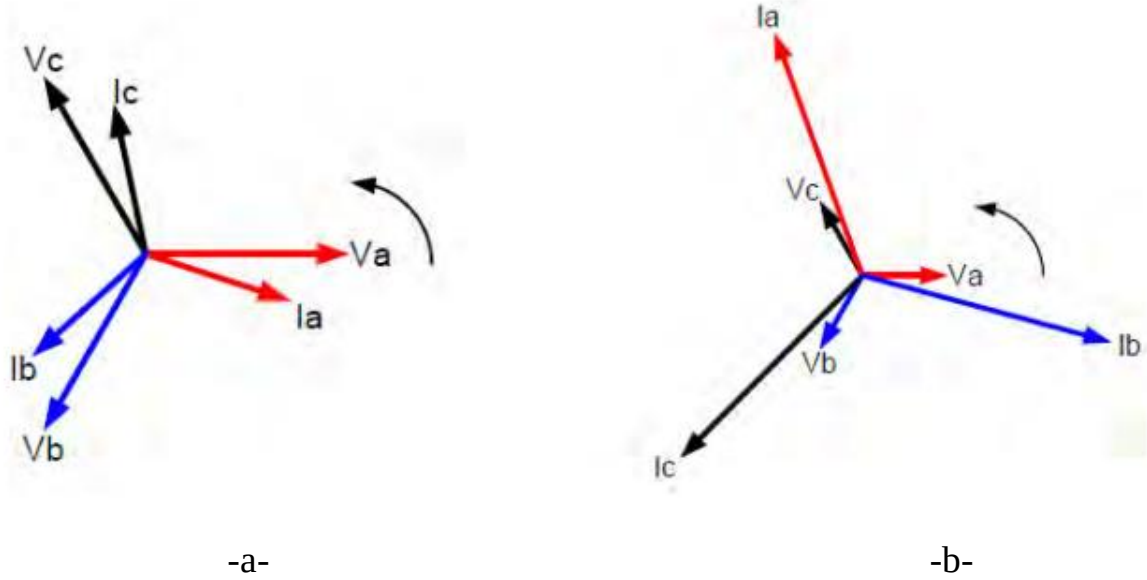
الشكل (2-2) شبكة مغذاة من جهتين [16]

R1, R6: يمكن تأخير عملهما من خلال إضافة تأخير زمني لهما.

R2, R5: تيار العطل عندهما، ومسافة العطل متشابهان تماماً مع تيار R3, R4 ومسافته؛ لذلك يمكن

منع هاتين الحمايةتين من الفصل من خلال تحديد اتجاه العطل، باعتماد مبدأ الاتجاهية في أجهزة الحماية (أي إن كل جهاز حماية يمكنه فصل العطل الذي أمامه فقط، كما هو مبين في الشكل (2-2) من خلال الأسهم).

يعتمد مبدأ الاتجاهية على الزاوية بين التيار والتوتر، في الوضع الطبيعي تكون الزاوية بينهما في حدود (20-30 درجة)، ويكون التيار متأخراً عن التوتر، كما في الشكل (a-3-2)، عند انعكاس اتجاه التيار يصبح متقدماً على التوتر، كما في الشكل (b-3-2) من ثم نكتشف تغير اتجاه التيار بتتبع زاوية فرق الطور بين التيار والتوتر [16].



الشكل (3-2) المخطط الشعاعي لتيارات الحماية وتوتراتها -a- حالة العطل الأمامي -b- حالة العطل الخلفية [16]

عند تطبيق هذا المبدأ، فإن الحماية R2, R5 لا يمكنهما رؤية العطل، لأنه يقع في المنطقة الخلفية

بالنسبة لهما بينما

R1, R3, R4, R6 تشاهد العطل، لأنه في المنطقة الأمامية بالنسبة لهما، ولكن بتيارات وأزمنة مختلفة.

2.5.2. متطلبات عامة لأجهزة الحماية

بصورة عامة تتطلب أجهزة الحماية مجموعة من المواصفات والمعايير نوردتها وفق الآتي [16]

1- الاعتمادية:

يحدد من خلال قدرة الجهاز على إعطاء أوامر فصل صحيحة، وتقاس من خلال قسمة عدد أوامر الفصل

الصحيحة على عدد أوامر الفصل المطلوبة وفق المعادلة (1-2):

$$Dependability\% = \frac{\text{number of correct trips}}{\text{number of desired trips}} * 100 \quad (1 - 2)$$

تطبيق نظرية الوكلاء المتعددين على التأهيل الذاتي لنظام الحماية للشبكات الذكية
عبير أحمد زين

2- الأمان:

يحدد من خلال تحليل عدد أوامر الفصل الخاطئ للجهاز، وتقاس من خلال تقسيم عدد مرات الفصل

الصحيح على عدد مرات الفصل الكلي للجهاز وفق المعادلة (2-2):

$$Security\% = \frac{\text{number of correct trips}}{\text{total number of actual trips}} * 100 \quad (2 - 2)$$

3- الموثوقية:

تقيس هذه الخاصية نسبة الفصل الصحيح إلى عدد مرات الفصل المطلوب وغير الصحيح وفق المعادلة

(3-2) حيث *desired trips* هي عدد مرات الفصل والوصل للحاكمة سواء صحيحة ام خاطئة:

$$Reliability\% = \frac{\text{number of correct trips}}{\text{number of (desired trips + incorrect trips)}} * 100 \quad (3 - 2)$$

4- الانتقائية:

هي قدرة الجهاز على تحديد إذا كان العطل ضمن المنطقة المحمية المخصص لها أو لا.

5- الحساسية:

يتمتع جهاز الحماية بحساسية معينة لاكتشاف الأعطال، وتزداد حساسية الجهاز مع زيادة تيار العطل؛

لذلك يجب أن يتمتع جهاز الحماية بحساسية لا تقل عن أقل قيمة تيار عطل متوقع في المنطقة.

6- الملاءمة:

يجب أن تلائم أجهزة الحماية الجزء المخصصة لحمايته، ويحدد ذلك وفق العوامل الآتية:

- قدرة العنصر المحمي.
- مكان هذا العنصر وأهميته وكلفته.
- احتمالات التعرض لحالات غير عادية لأسباب داخلية أو خارجية.
- تأثير انهيار العنصر في استمرارية التغذية الكهربائية.

تطبيق نظرية الوكلاء المتعددين على التأهيل الذاتي لنظام الحماية للشبكات الذكية
عبير أحمد زين

7- السرعة في عزل العطل:

تقلل سرعة عزل العطل من احتمال انهيار المعدات المراد حمايتها، كما تساعد على تحسين استقرار

الشبكة الكهربائية.

على الرغم من أهمية الفصل السريع إلا أن التأخير الزمني يساعد على:

- التمييز بين الحماية الرئيسة والاحتياطية.
- تجنب التشغيل الخاطئ للحماية.

8- الاستقرار:

تساعد هذه الخاصية على استقرار نظام الحماية في حالة الأعطال الخارجية أو الحالات العابرة.

9- الاقتصاد:

تتحقق هذه الخاصية من خلال تصميم نظام حماية ذي كفاءة عالية بأقل التكاليف.

3.5.2. أنواع الحماية الكهربائية

إن الشبكات الكهربائية تحتوي على عدد من الحماية الكهربائية تتوزع على امتداد الشبكة؛ بهدف حمايتها

من الأعطال على اختلاف أنواعها، منها:

حماية من زيادة التيار:

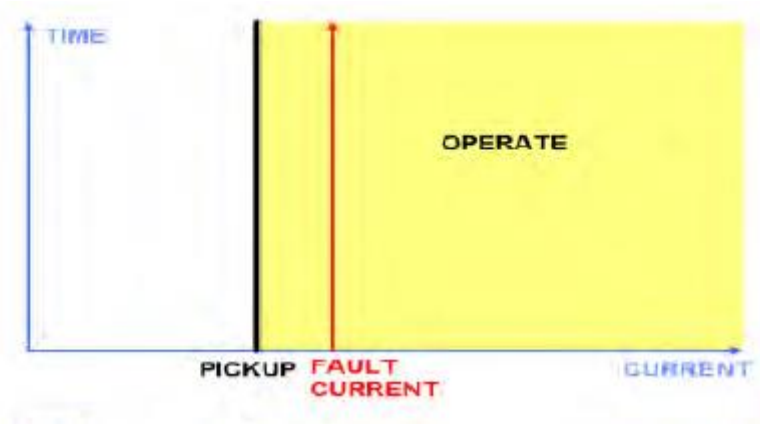
هي أقدم وأشهر وأوسع انتشاراً؛ لأن معظم الأعطال ينتج عنها زيادة في التيار، لكنها تعاني من مشاكل

اكتشاف الأعطال البعيدة، لأنه كلما زاد بعد العطل عن الحاكمة انخفض التيار الذي تقرأه الحاكمة [16]، وله عدة

أنواع من حيث التأخير الزمني:

1- الحماية الآنية:

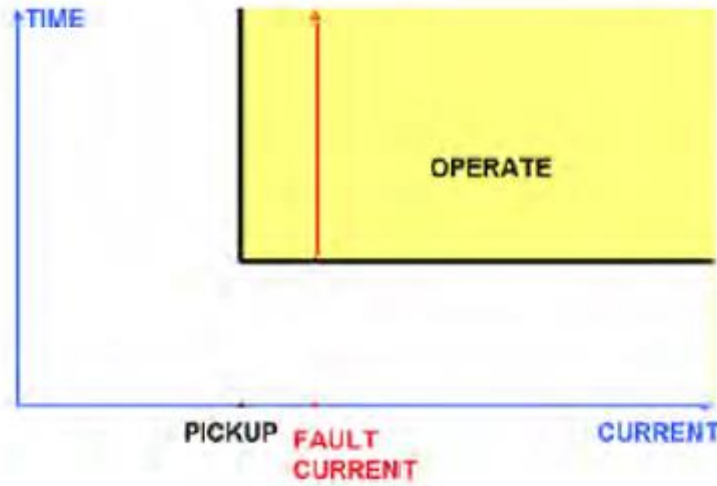
هذا النوع مناسب لفصل الأعطال عالية التيار التي لا تتحمل الانتظار، لأن الأعطال تكون خطيرة مهما كانت مدتها، لكن هذه الحماية تعاني مشاكل التنسيق بين الحماية في حال وجود خطين متتاليين قصيرين؛ لأن فرق التيار لن يكون كبيراً، يوضح الشكل (2-4) منحنى الخواص لهذه الحماية [16] [17].



الشكل (2-4) منحنى الخواص لحماية تيار زائد آنية الفصل [16]

2- حماية تيار زائد مع تأخير زمني محدد:

هذا النوع مناسب للأعطال الأكثر خطورة، عنده القدرة على تجنب فصل الدارة؛ بسبب عطل عابر، لا تعاني من عيوب الحماية الآنية؛ لكنها تعاني مشكلة أن زمن الفصل قرب التوليد يكون كبير جداً في حالة الخطوط المتتالية، يوضح الشكل (2-5) منحنى الخواص لهذه الحماية [16] [17].

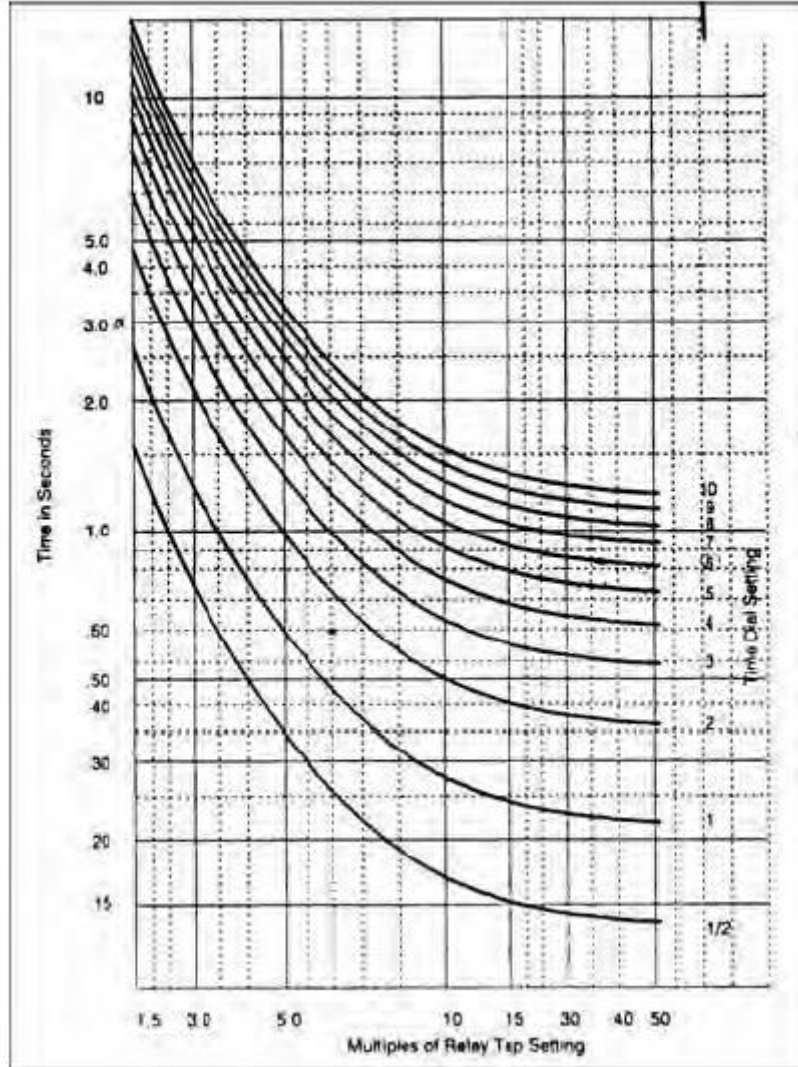


الشكل (2-5) منحنى الخواص لحماية تيار زائد مع تأخير زمني محدد [16]

3- حماية تيار زائد مع تأخير زمني عكسي:

تجمع بين ميزات النوعين السابقين حيث لا يتأثر بالأعطال العابرة، ويفصل بسرعة في حالة الأعطال ذات التيار العالي، ويتميز بمنحنيات ميول متعددة؛ لتتناسب مع جميع الاستعمالات، ويعطي سرعات متنوعة لنفس قيم التيار، كما في الشكل (2-6) [17] [16].

تطبيق نظرية الوكلاء المتعددين على التأهيل الذاتي لنظام الحماية للشبكات الذكية
عبير أحمد زين



الشكل (2-6) منحنيات حماية التيار الزائد بتأخير زمني عكسي normal inverse [16]

لضبط هذه الحماية يجب تحديد أربعة محددات:

1- محول التيار:

يجب اختيار قيم محول التيار بحيث يكون التيار الأعظمي الطبيعي من جهة الثانوي في حدود أقل من

1A, 5A، كما يجب اختيار هذه القيمة بحيث إن أعلى تيار قصر يمر في المحولة لا يسبب تشبع في المحولة

[16] [17].

تطبيق نظرية الوكلاء المتعددين على التأهيل الذاتي لنظام الحماية للشبكات الذكية
عبير أحمد زين

2- تيار الإقلاع للحاكمة Pickup current:

هي القيمة التي يبدأ عندها الجهاز بالعمل، تختار هذه القيمة بحيث تكون أعلى من Rated current للجزء المركب عليه الحماية بنسبة 125-150% من تيار التغذية/ الحمل الأعظمي، كما نعرف النسبة بين تيار القصر إلى تيار العمل Plug Setting Multiplier PSM [17] [16].

يختار تيار التعيير وفق المعادلة (2-4):

$$I_{PI}^{min} \leq I_{PI} \leq I_{PI}^{max} \quad (4 - 2)$$

حيث:

I_{PI}^{min} : هي القيمة الأعظمية بين تيار التعيير الأصغري I_{PI}^{min} ، وتيار الحمل الأعظمي I_{load}^{max} .

I_{PI}^{max} : هي القيمة الصغرى بين تيار التعيير الأعظمي I_{PI}^{max} ، وأصغر تيار عطل I_{fault}^{min} [16].

3- تعيير التأخير الزمني Time Delay Setting TDS:

يحدد زمن الفصل لتيار معين من خلال اختيار منحني الخواص؛ مع الأخذ بالحسبان قواعد التنسيق بين أجهزة الحماية، كما يوضع فترات لمنع عمل الحماية في الوقت نفسه تمثل هامشاً زمنياً ناتجاً عن عدة أسباب، كما هو موضح في العلاقة (2-5) [17] [16]:

$$\Delta t \geq t_{CB} + t_{Reset} + t_{Inacc} + t_{Marg} \quad (5 - 2)$$

حيث:

t_{CB} : زمن عمل القاطع (40:100mSec).

t_{Reset} : زمن إعادة ضبط/الحاكمة (40:70mSec).

t_{Inacc} : جمع لأزمنة عدم الدقة في القياس (50:100mSec).

t_{Marg} : زمن زيادة الأمان safety margin [16].

تطبيق نظرية الوكلاء المتعددين على التأهيل الذاتي لنظام الحماية للشبكات الذكية
عبير أحمد زين

Δt : هو فرق الزمن بين الحاكمة الرئيسة والاحتياطية تكون قيمها بين 0.2-0.5Sec وغالبا ما تؤخذ 0.3Sec [10].

4- قيمة تيار الفصل اللحظي Instantaneous Trip:

ان حماية التيار الزائد مناسبة للحماية من الأعطال الخطيرة ذات التيار العالي لأنها افصل أنيا اذا تجاوز تيار العطل قيمة محددة مسبقاً هي تيار الفصل اللحظي تساوي 1.25 من أقصى تيار عطل .

أجهزة حماية التيار الرقمية:

تستعمل هذه الحماية حديثاً بصورة كبيرة في نظم القدرة الكهربائية، وتعمل عند ازدياد قيمة التيار المار في عناصر الشبكة نتيجة لظهور قصر أو زيادة الحمولة الكهربائية [17] .

تعد هذه الحماية حماية بسيطة لاعتمادها على كمية كهربائية واحدة لكي تعمل هي التيار، ولكنها غير انتقائية؛ أي إن زيادة التيار التي تنتج بسبب قصر دارة ما خارج المنطقة المحمية يؤدي إلى تشغيلها؛ لذلك يضاف للحماية عناصر أخرى تؤمن الانتقائية مثل الحاكمت الزمنية [17].

تقسم حسب التأخير الزمني إلى:

أ. حاكمة التيار الزائد اللحظية: تعطي أمر الفصل آنياً عند تحسسها للعطل.

ب. ذات خواص زمنية محددة: بعد تحسس هذه الحاكمة للعطل يشغل مؤقت زمني لعمل القاطع.

ت. ذات خواص زمنية عكسية [18].

يعتمد مبدأ عمل حماية التيار الزائد على مجموعة من حواكم التيار تعمل عندما تزداد قيمة التيار في الدارة

المحمية عن القيمة الحدية المعير عليها الحاكمة ويسمى تيار إقلاع الحماية I_{pp} ؛ وفق العلاقة (2-6):

$$I_{pr} = \frac{I_{pp}}{n_{ct}} \quad (6-2)$$

حيث:

n_{ct} : هي نسبة التحويل لمحولات التيار التي تغذي حاكمة التيار [17].

تطبيق نظرية الوكلاء المتعددين على التأهيل الذاتي لنظام الحماية للشبكات الذكية
عبير أحمد زين

I_{pr} : هو تيار ثانوي محول التيار كما تراه الحاكمة.

تعمل الحاكمة عندما: $I > I_{pr}$ حيث I هو التيار المار بالحاكمة

حتى لا تعمل في حالة العمل الطبيعي يجب أن يكون تيار إقلاع الحماية أكبر من تيار الحمل الأعظمي [17]:

من المهم جداً تحديد إعدادات هذه الحماية بصورة دقيقة؛ إذ تؤدي الإعدادات الخاطئة إلى التحسس لعطل في حال

عدم وجوده أو المرور بعطل دون التحسس له [18].

ستستعمل الحماية ذات الخواص الزمنية العكسية في الجزء العملي؛ إذ يعتمد مبدأ عملها على زمن التشغيل

العكسي للحاكمة [18]؛ أي إن قيمة تيار العمل للحاكمة تتناسب عكساً مع تيار عمل الحاكمة. يمكن حساب زمن

التشغيل للحاكمة؛ باستعمال المنحنيات المميزة، ويمكن حسابها حسب معيار IEC 60255 أو BS142؛ وفقاً

للمعادلة (7-2):

$$T = \frac{C}{\left(\frac{I}{I_s}\right)^\alpha - 1} * TMS \quad (7 - 2)$$

حيث:

T: زمن عمل الحاكمة.

C: ثابت يحدد من خصائص الحاكمة.

I_s : تيار التشغيل.

I : تيار دخل الحاكمة.

α : ثابت يحدد الخواص العكسية للزمن [18].

يوضح الجدول (1-2) قيم الثوابت السابقة:

الجدول (1-2) المتغيرات في منحنيات خصائص حماية التيار [18]

Relay characteristic type	α	C
Standard Inverse	0.02	0.14
Very Inverse	1	13.5
Extremely Inverse	2	80
Long Inverse	1	120

الحماية التفاضلية:

هي حماية تقوم بتوصيلها بين نقطتين من الدارة حيث المنطقة التي تقوم بحمايتها هي المنطقة الموجودة ضمن هاتين النقطتين، وتعتمد في مبدأ عملها على المفاضلة بين قيمتي التيار اللتين تقرأان في هاتين النقطتين، كما تعد الحماية التفاضلية حماية مركبة؛ لأنها تحتاج إلى قيمتين للتيار على جانبي المنطقة المحمية لكي تعمل [19] [20].

تتميز هذه الحماية بما يأتي:

- سرعة الاستجابة.
- الموثوقية العالية.
- الانتقائية إذ إنها تميز بين الأعطال داخل المنطقة المحمية والأعطال خارج المنطقة المحمية.
- الحساسية العالية؛ إذ إنه يمكن اختيار تيار إقلاع هذه الحماية عند قيمة أصغر من التيار الاسمي والتيار الفصل يكون بحدود (250 mA)، وهو رقم صغير جداً مقارنةً بتيار الحمل أو تيار الخطأ الخارجي [16].

من سلبيات هذه الحماية أنها لا تحمي من زيادة التحميل أو العطل الخارجي (خارج مجال الحماية

التفاضلية) وللتغلب على هذه السلبية يمكن إضافة حماية من زيادة التيار [9].

تطبيق نظرية الوكلاء المتعددين على التأهيل الذاتي لنظام الحماية للشبكات الذكية
عبير أحمد زين

مبدأ عمل الحماية التفاضلية: Differential protection working principle

تعتمد على مبدأ (Merz price) الذي ينص على أنه إذا كان التيار الداخل إلى الوحدة المحمية يساوي

التيار الخارج منها؛ بحسب العلاقة (8-2):

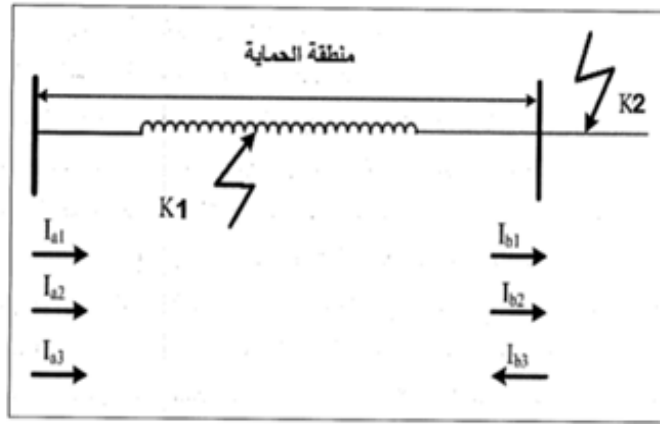
$$\begin{aligned} I_{a1} &= I_{b1} \\ I_{a1} - I_{b1} &= 0 \end{aligned} \quad (8 - 2)$$

فإن هذا يعني أن العطل خارج المنطقة المحمية في النقطة K_2 الموضحة في الشكل (8-2) إذ إن هذا

العطل لا يقع في المنطقة المحمية والحماية لا تعمل [20].

ومن ناحية أخرى، فإن وجود فرق بين التيار الداخل والتيار الخارج يدل على وجود عطل ضمن المنطقة

المحمية مثل النقطة K_1 من الشكل (7-2) والحماية في هذه الحالة تعمل لفصل تيار العطل بأسرع ما يمكن.



الشكل (7-2) منطقة الحماية للحماية التفاضلية

في حالة ظهور عطل أو قصر دائرة داخل المنطقة المحمية، النقطة (K_1) من الشكل (7-2)، فإن قيمتي

التيار لن تكون متساويتين، ولن يساوي الفرق بينهما صفر، كما أن الاتجاه بالنسبة لتيار I_b سوف يتغير فتتحقق

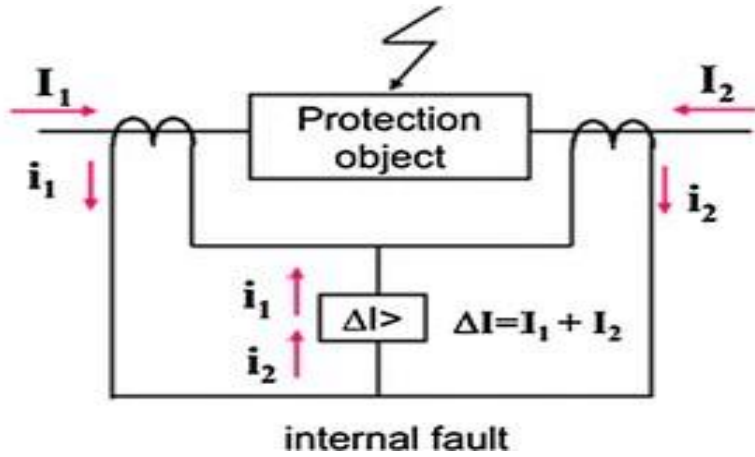
العلاقة (9-2):

تطبيق نظرية الوكلاء المتعددين على التأهيل الذاتي لنظام الحماية للشبكات الذكية
عبير أحمد زين

$$I_{a3} \neq I_{b3}$$

$$I_{a3} - I_{b3} \neq 0 \quad (9 - 2)$$

يبين الشكل (8-2) حماية تفاضلية في حالة عطل داخلي:



الشكل (8-2) المنطقة المحمية للحماية التفاضلية

مثال عملي:

بحسبان أن الحماية التفاضلية هي الأهم في منظومة حماية المحولات الكهربائية، لذلك ستختبر حماية

محولات في شبكة IEEE-9Bus، باستعمال برنامج E-tap:

تتكون هذه الشبكة من 9 قضبان تجميع و 3 محطات توليد وأربع أحمال و 6 خطوط نقل محدداًها موضحة

ضمن الجداول (2-2) و (3-2) و (4-2):

الجدول (2-2): توترات قضبان التجميع واستطاعة الأحمال

Bus		Load		
ID	kV	P MW	Q Mvar	Pf
Bus1	16.5			
Bus2	18			
Bus3	13.8			
Bus4	230			
Bus5	230	125.842	50.327	92.85
Bus6	230	87.705	29.235	94.87
Bus7	230			
Bus8	230	96.879	33.894	94.39
Bus9	230			

الجدول (3-2): مجموعات التوليد

Generation bus		Generation		Mvar Limits	
ID	kV	Type	MW	Max	Min
Bus1	16.5	Swing			
Bus2	18	Voltage control	163	100	-50
Bus3	13.8	Voltage control	85	100	-50

الجدول (4-2): خطوط النقل

Line ID	Length Adj.(ft)	T (°C)	R $\Omega/1000ft$	X $\Omega/1000ft$	Y s/1000ft
Line1	1000	75	5.29	44.9654	0.0003327
Line2	1000	75	8.993	48.668	0.0002987
Line3	1000	75	16.928	85.169	0.0005785
Line4	1000	75	20.631	89.93	0.0006767
Line5	1000	75	6.2951	53.3232	0.0003951
Line6	1000	75	4.4965	38.088	0.0002817

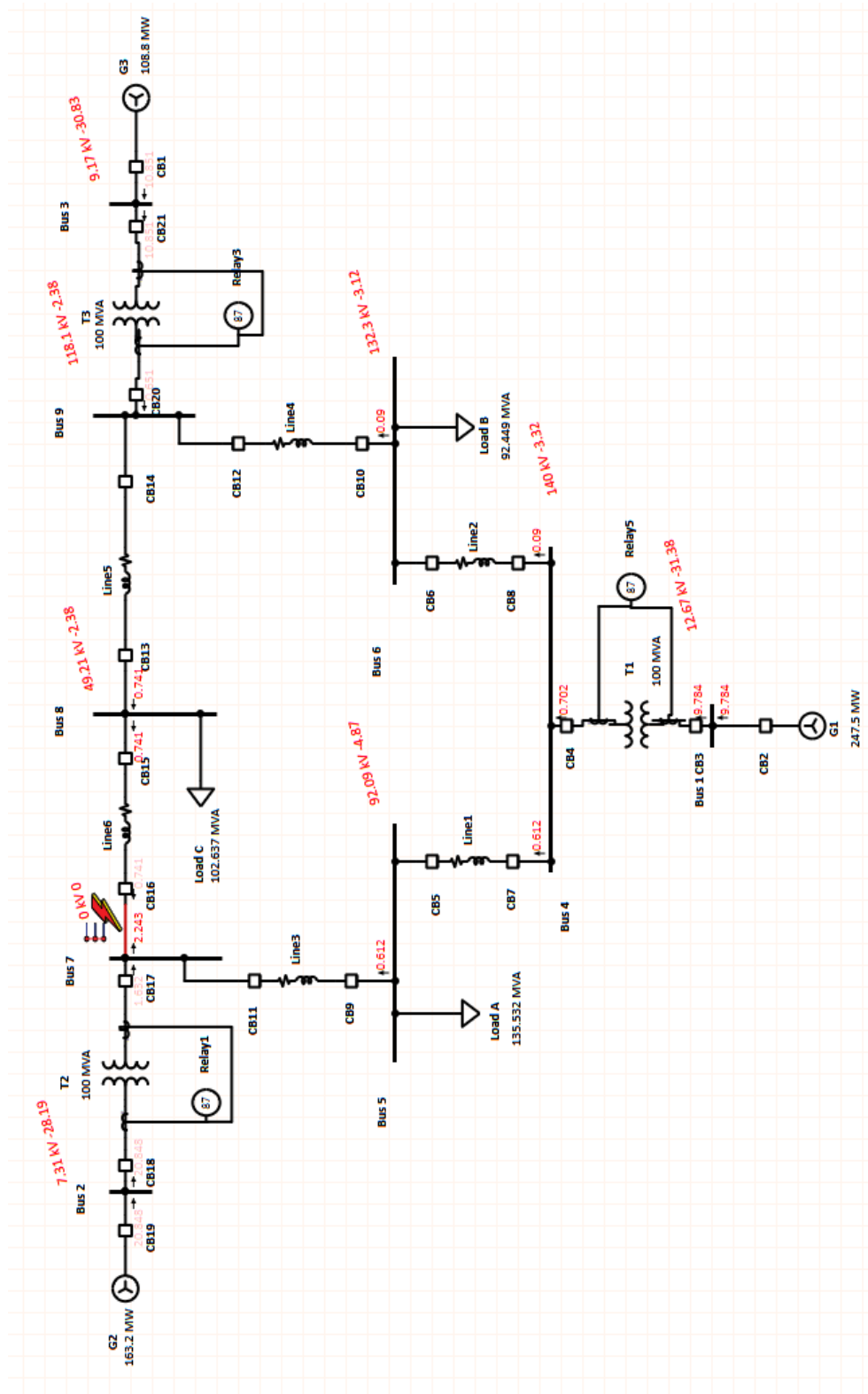
حالة وجود عطل خارج منطقة الحماية:

يوضح الشكل (2-9) عمل الدارة في حال وجود عطل في المنطقة غير المحمية حيث تمثل القيم الموجودة بجانب كل قضيب تجميع قيمة توتره طويلة، وزاوية على سبيل المثال bus1 توتره 12.67kV كطويلة، وزاويته 31.38؛ إذ طبق عطل على قضيب التجميع 7.

وتغير اتجاه التيار بعد المحول؛ ليصبح مغزياً للعطل، ولكن لن تختلف قراءة التيار بالنسبة للحماية التفاضلية ومن ثم الفرق بينهما يساوي الصفر؛ أي إن الحماية لا ترى العطل، وكأنه حالة عمل طبيعي وهو غير صحيح بالنسبة للشبكة.

تطبيق نظرية الوكلاء المتعددين على التأهيل الذاتي لنظام الحماية للشبكات الذكية

عبير أحمد زين



الشكل (9-2) دارة حماية محول في بيئة ETAP - عطل خارجي

بعد تشغيل الدارة انخفض التوتر، وازداد التيار؛ لتصبح النتائج كما هي موضحة في الجدول (2-2) الذي

يبين لنا نتائج عطل ثلاثي الطور، يبين لنا الجدول (3-2) نتائج عطل طور A مع الأرض.

الجدول(2-5): نتائج عطل ثلاثي الطور عند bus7

أ. التوتر على العقد

Bus ID	%V
Bus7	0.00
Bus5	40.04
Bus8	21.39
Bus2	40.62
Bus4	60.88
Bus9	51.35
Bus6	57.54
Bus1	76.81
Bus3	66.46

ب. التيارات في الخطوط

Contribution		3-phase fault kA
From bus ID	To bus ID	
Bus 7	Fault	2.983
Bus 5	Bus 7	0.612
Bus 8	Bus 7	0.741
Bus 2	Bus 7	1.632
Bus 4	Bus 5	0.612
Bus 9	Bus 8	0.741
G2	Bus 2	20.848
Bus 6	Bus 4	0.090
Bus 1	Bus 4	0.702
Bus 6	Bus 9	0.090
Bus 3	Bus 9	0.651

الجدول (2-6): نتائج عطل طور A مع الأرض أ. التوتر في العقد ب. التيارات في الخطوط

أ-

Bus ID	التوتر %V		
	Va	Vb	Vc
Bus7	0.00	124.53	126.75
Bus5	46.67	113.48	112.68
Bus8	16.73	123.02	125.22
Bus2	84.05	84.66	104.18
Bus4	70.95	107.93	106.57
Bus9	40.15	120.94	123.12
Bus6	60.17	112.27	111.89
Bus1	96.44	96.12	103.51
Bus3	92.61	92.46	104.3

ب-

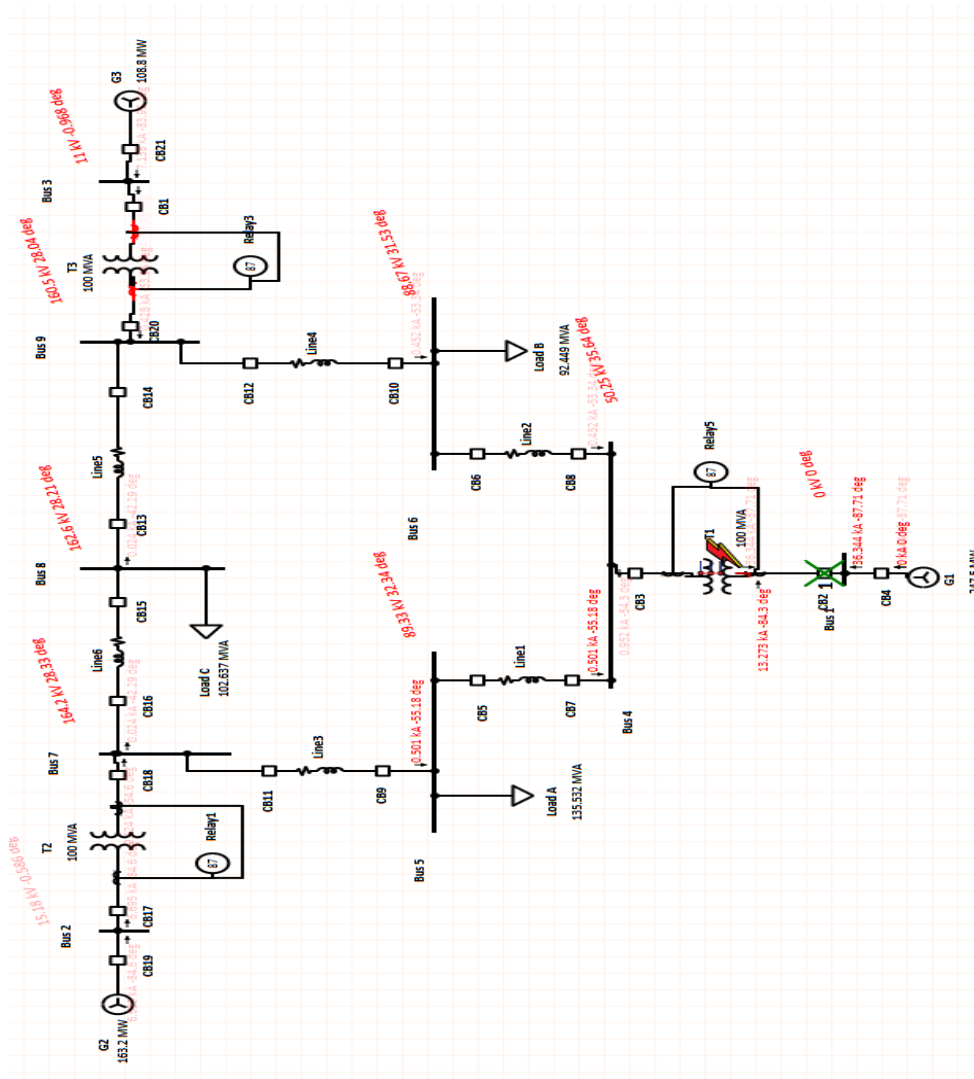
Contribution		Line to ground fault	
From bus ID	To bus ID	Ia [kA]	3Io [kA]
Bus 7	Fault	2.983	2.029
Bus 5	Bus 7	0.741	1.297
Bus 8	Bus 7	0.579	0.733
Bus 2	Bus 7	0.737	0.000
Bus 4	Bus 5	0.741	1.297
Bus 9	Bus 8	0.579	0.733
G2	Bus 2	8.141	0.000
Bus 6	Bus 4	0.289	0.733
Bus 1	Bus 4	1.003	2.029
Bus 6	Bus 9	0.289	0.733
Bus 3	Bus 9	0.290	0.000

ج - حالة وجود عطل داخل منطقة الحماية للمحول T1:

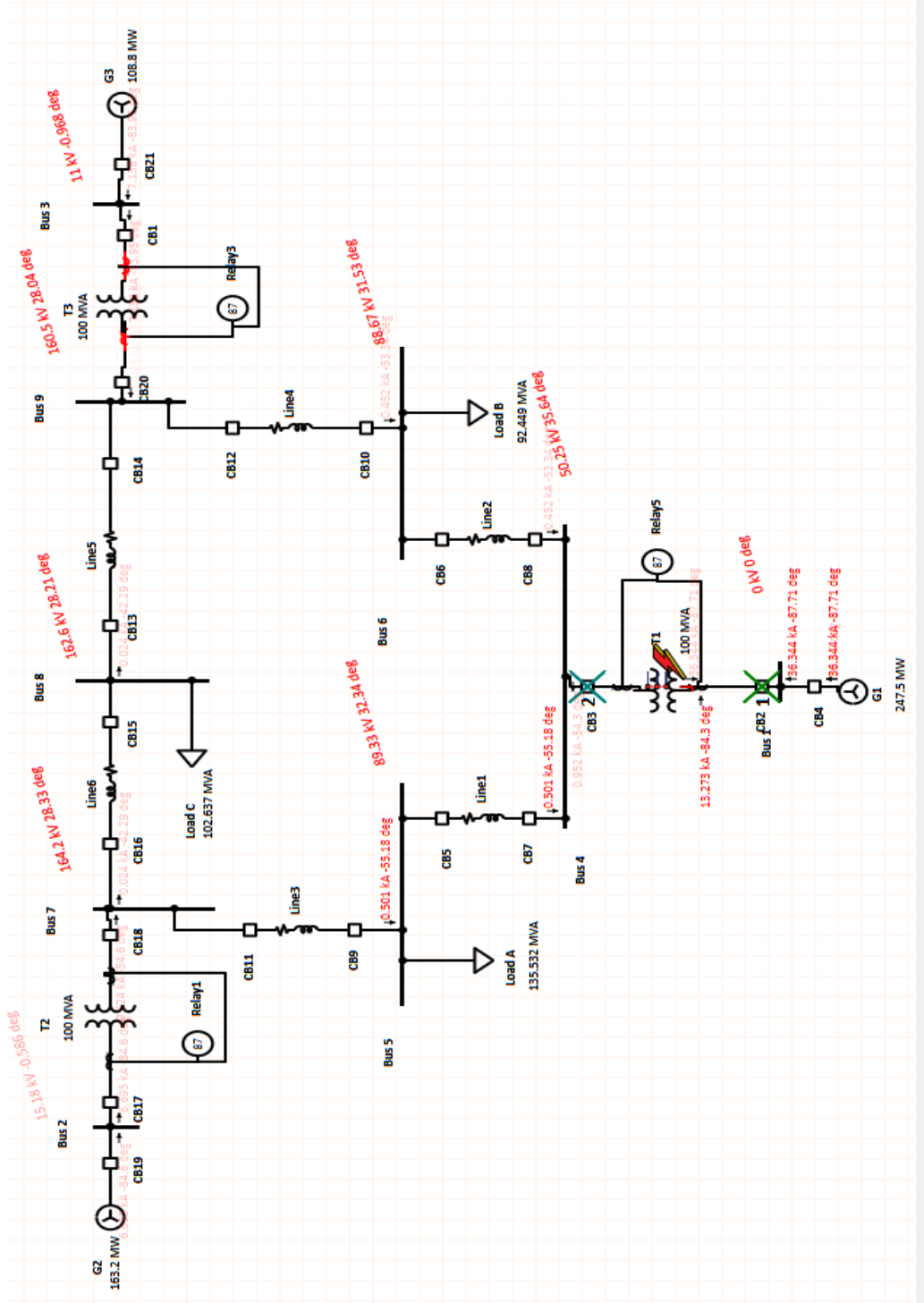
توضح الأشكال (10-11-12) عمل الدارة في حال كان العطل ضمن المنطقة المحمية الخاصة بالمحول

T1؛ إذ تتحسس الحماية للعطل وتعطي أمر للقواطع CB2 بالفصل ثم للقواطع CB3 اللذين يفصلان المحولة T1

وأيضاً يوجد أمر ثالث لفصل التوليد عن المحول من خلال القاطع CB4، وهذا ما حدده الباحث كإعدادات التشغيل للحماية التفاضلية؛ إذ اعتمدنا فصل القاطعين في حال حدوث عطل ضمن المنطقة المحمية بالترتيب يفصل القاطع CB2، كما في الشكل (10-2) ثم القاطع CB3، كما في الشكل (11-2) ثم القاطع CB4 الشكل (12-2)؛ بفارق زمني 0.2sec.

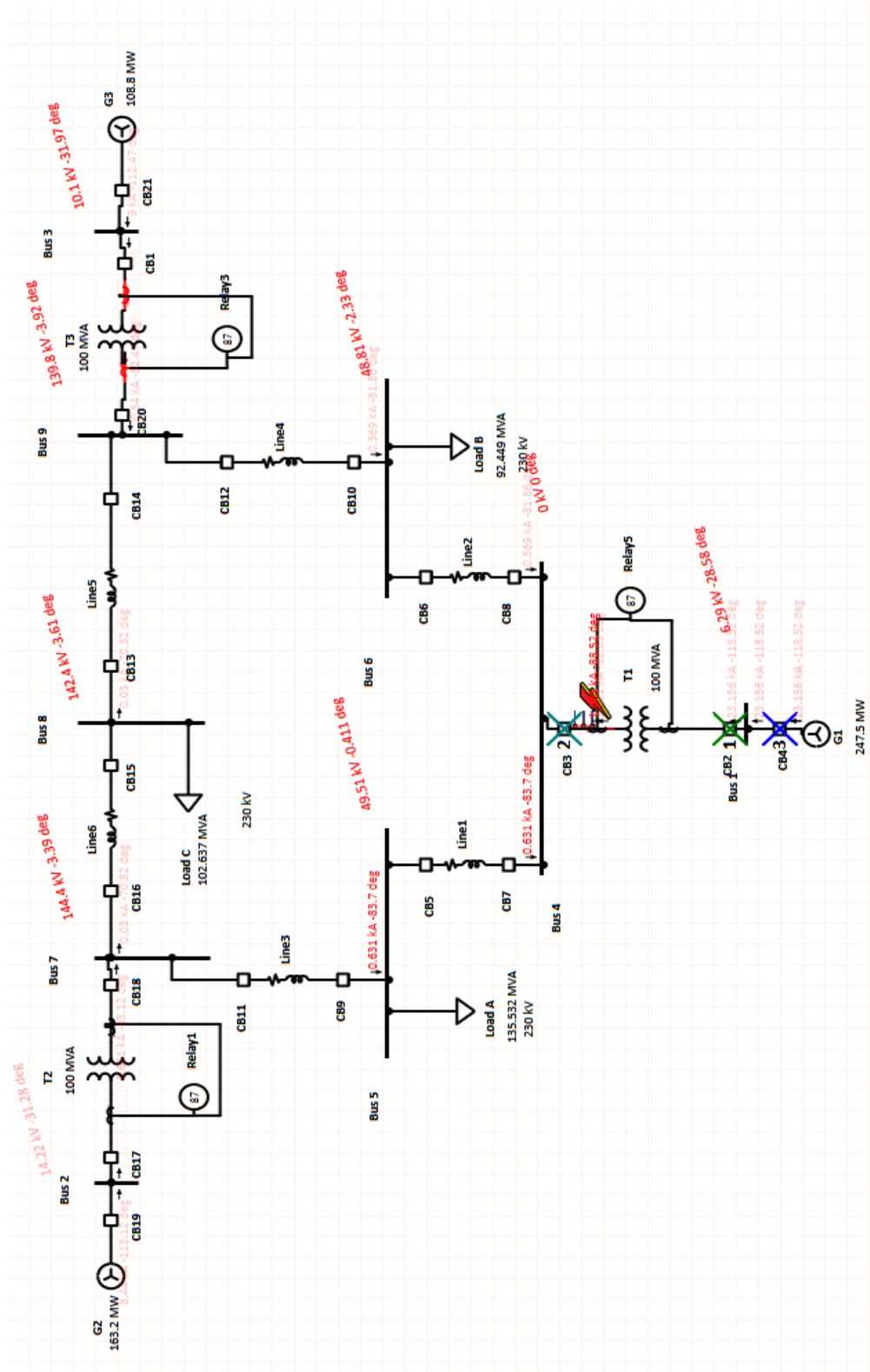


الشكل (2- 10) دارة حماية محول في بيئة Etap - عطل داخلي (فصل القاطع الأول)



الشكل (2- 11) دارة حماية محول في بيئة Etap - عطل داخلي (فصل القاطع الثاني)

تطبيق نظرية الوكلاء المتعددين على التأهيل الذاتي لنظام الحماية للشبكات الذكية
عبيد أحمد زين



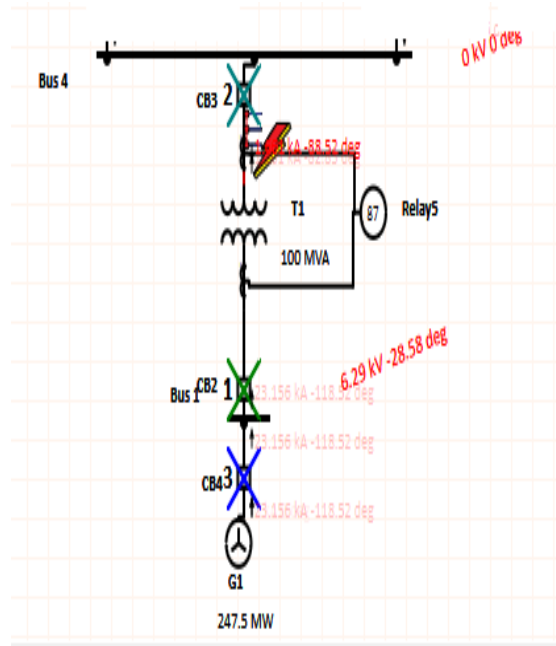
الشكل (2-12) دارة حماية محول في بيئة Etap - عطل داخلي (فصل القاطع الاحتياطي)

تطبيق نظرية الوكلاء المتعددين على التأهيل الذاتي لنظام الحماية للشبكات الذكية
عبير أحمد زين

تبين لنا الأشكال (10-11-12) أن قيمة تيار العطل هي نفسها في حالة العطل الخارجي، ولكن بما أن العطل ضمن المنطقة المحمية، فهو يسبب فرقاً بين تياري الأولي والثانوي للمحول، وعليه أعطي أمر الفصل للقواطع.

بعد أن يتم هذا الفصل تكون الحماية قد حققت فصل الجزء المعطل بأسرع وقت ممكن عن الشبكة، كما سيفصل المولد G1 عن طريق القاطع CB4، ويكون هذا القاطع بمنزلة قاطع احتياطي لهذه الحماية، كما في الشكل (12).

يمثل الشكل (2-13) تكبيراً للجزء المخصص لحماية المحول T1:



الشكل (2-13) دائرة حماية المحول T1 في بيئة Etap

تيارات العطل عند bus 1 موضحة من خلال الجدول (2-4) للأعطال (عطل ثلاثي الطور - عطل طور

مع الأرض - عطل طورين - عطل طورين مع الأرض).

الجدول (7-2): تيار العطل عند bus1

Bus		3-phase fault [kA]		
ID	kV	Real	Imag	Mag
Bus 1	16.500	2.770	-49.523	49.600
Bus		Line to ground fault [kA]		
ID	kV	Real	Imag	Mag
Bus 1	16.500	6.250	-68.475	68.759
Bus		Line to line fault [kA]		
ID	kV	Real	Imag	Mag
Bus1	16.500	48.134	3.859	48.291
Bus		Line to line fault [kA]		
ID	kV	Real	Imag	Mag
Bus 1	16.500	-48.594	36.446	60.743

تغذي الشبكة الأحمال التي تتغذى من العطل سابقاً من محطات التوليد G2-G3، عبر خطوط النقل 3-4 حتى يصلح العطل، وتعود الجاهزية للشبكة.

6.2. الخاتمة

إن دمج مصادر الطاقة المتجددة على اختلاف أنواعها (شمسية - ريحية وغيرها) مع الشبكات الكهربائية يؤثر في عمل الحماية، نظراً للانتقال من جريان قدرة أحادي الاتجاه إلى ثنائي الاتجاه، من ثم نحن بحاجة لشبكة كهربائية ذات بنية تحتية تستطيع التعامل مع هذا التغير، وقادرة على التحكم بجميع مكوناتها مثل الشبكات الذكية التي تتمتع بنظام تأهيل ذاتي قادر على التعامل مع الأعطال الكهربائية بأنواعها المختلفة.

تم في هذا الفصل التعريف ببعض الحماية الكهربائية، وشرح الحماية التفاضلية، وبناء نموذج حاسوبي لحماية المحولات لشبكة IEEE-9Bus؛ باستعمال برنامج ETAP لاختبار قدرته على التأهيل الذاتي، بينت النتائج أن هذا البرنامج غير قادر على تلبية هدف الأطروحة وهو العمل في الزمن الحقيقي رغم المزايا الجيدة له في دراسة

تطبيق نظرية الوكلاء المتعددين على التأهيل الذاتي لنظام الحماية للشبكات الذكية
عبير أحمد زين

جريان الاستطاعة، وتحديد تيارات، وتوترات جميع مكونات الدارة؛ لذلك سيتم العمل في الجزء العملي باستعمال برنامج الماتلاب.

الفصل الثالث

الشبكات الكهربائية الذكية

1.3. مقدمة

يعرض هذا الفصل المفهوم الأساسي للشبكة الذكية وخصائصها وفوائدها. علاوة على ذلك، سيقارن شبكات التوزيع الذكية بالشبكات التقليدية؛ إذ من الضروري الإشارة إلى أنه يمكن تغيير الشبكة التقليدية إلى شبكة ذكية SG، ويمكن تحديد مستوى الذكاء إلى حد معين؛ وفقاً لحدود الاستثمار، ومتطلبات المستهلك، والمرافق [6].

تسمى الشبكات الكهربائية التي توفر طاقة مستدامة وأمنة وغير منقطعة للمستهلكين من خلال توفير بيانات ثنائية الاتجاه وتدفق الكهرباء الشبكات الذكية؛ إذ تعد شكلاً مطوراً أو ذكياً عن الشبكة التقليدية؛ مما يؤدي لإنشاء نظام إمداد طاقة مؤتمت، ومتقدم للغاية [4] [6].

أهم ما يميز الشبكات الذكية التأهيل الذاتي؛ لأنه مع زيادة تعقيد الأنظمة يصبح تصحيح أخطاء الشبكة وإعادتها إلى حالة التشغيل العادية أكثر تكلفة وتعقيداً لذلك يجب استعمال أنظمة التأهيل الذاتي لتحقيق ذلك؛ فضلاً عن إدارة الطلب المتزايد مع ضمان خدمة أفضل [3].

2.3. الشبكات الكهربائية التقليدية

النموذج التقليدي لهذه الشبكة أحادي الاتجاه: من التوليد (مثل محطات توليد الطاقة) إلى الحمل (مثل المصانع- المنازل..... إلخ) [4]؛ فضلاً عن ضياعات القدرة عالية التكلفة الناتجة عن نقل الطاقة لمسافات طويلة. فضلاً عن ذلك، إن الشبكة التقليدية لا تدعم عمليات دمج الطاقات المتجددة، وهناك مشاركة محدودة من المستهلكين مع وظائف الشبكة [21].

1.2.3. خصائص الشبكة التقليدية

يمكن تلخيص خصائص تشغيل الشبكة التقليدية كما يأتي:

1. تعتمد في التوليد على الوقود الأحفوري عالي الاستطاعة، والذي يسبب انبعاث الكربون بصورة كبيرة.
 2. إنتاج الكميات الكبيرة من القدرة في الأماكن البعيدة نسبياً، والتي تتطلب خطوط نقل طويلة لتوصيل القدرة المستهلكة.
 3. تحكم محدود بالزمن الحقيقي لجريان الاستطاعة في مساحات معينة (كالمنازل مثلاً).
 4. لا يمكن الاعتماد عليها في حالة حدوث أخطاء أو كوارث مفاجئة.
- لمعالجة بعض هذه القيود، طورت الشبكة الذكية لبناء أنظمة قدرة صديقة للبيئة؛ باستعمال الطاقات المتجددة؛ إذ تهدف إلى حلّ المسائل الاقتصادية عبر تمكين المستهلكين بدعم الشبكة، وإلى زيادة الموثوقية حتى عند حدوث أعطال أو كوارث [21].

2.2.3. سمات الشبكة التقليدية

1. تحتوي على نظام توليد مركزي.
2. تحكم محدود في التردد والتوتر.
3. التحكم مركزي.
4. مراقبة حالة الشبكة محدودة.
5. نظام التوزيع اليدوي.
6. عدم وجود حمل ذكي [6].

3.3. الشبكات الكهربائية الذكية

تتعلق كلمة (ذكية) بالشبكة المحوسبة (لها مقدرة خاصة على معالجة البيانات المحلية)، الاتصالات (مثل بروتوكولات تغيير المعلومات)، والاستشعار (ملاحظة/ مراقبة/ جريان الاستطاعة في الزمن الحقيقي).. المصطلح (شبكة ذكية) عُرِف في عدة طرائق:

✓ دول منصة التكنولوجيا الأوروبية The European Technology Platform states : عرّفت الشبكة

الذكية بأنها عبارة عن شبكة كهربائية يمكن دمجها مع كل المستعملين (مثل: المولدات والمستهلكين...); مما يضمن الموثوقية بصورة دائمة، والوفر الاقتصادي، وتأمين إمدادات الكهرباء [21].

✓ وفقاً لقسم الولايات المتحدة للطاقة: تستعمل الشبكة الذكية تقانة رقمية لتحسين موثوقية، وأمان، وفاعلية

النظام الكهربائي من التوليد لمستهلكي الكهرباء عبر أنظمة التوصيل؛ فضلاً عن الأعداد المتزايدة للتوليد الموزّع، ومصادر التخزين.

✓ هنالك تعريفات أخرى متقدمة تقول إن الشبكة الذكية عبارة عن بيانات متقدمة ثنائية الاتجاه وجريان

الاستطاعة قادر على التأهيل الذاتي والتكيف والمرونة والاستدامة مع القدرة على التنبؤ بالخطأ المحتمل

[22] تستعمل للاستشعار، التأهيل الذاتي والاتصالات الرقمية، لكي تُمكن الشبكة الكهربائية من أن تكون:

مرئية (يمكن أن تُقاس وتُصوّر)، يمكن التحكم بها (قابلة للتحسين)، آلياً (يمكن أن تتكيف، وترمّم ذاتياً)،

تُدمج بصورة كاملة (قابلة للتشغيل المتبادل مع الأنظمة الموجودة، ولها قدرة إضافية لدمج مجموعات

جديدة من مصادر الطاقة) [21].

إنّ الشبكات الذكية تسمح بتطوير مفهوم جديد مثل الاتصال ثنائي الاتجاه بين الشبكة الكهربائية

والمستهلكين، وإدخال مصادر التوليد الموزع المتجددة؛ مما يسمح بدمج تكنولوجيا المعلومات والاتصالات مع

الشبكة التقليدية؛ إذ هنالك اتجاهان فاعلان لمصادر توليد الطاقة؛ بمعنى آخر إن المستعمل النهائي يمكن أن ينتج الطاقة [21].

1.3.3. المكونات الأساسية للشبكة الذكية

1- إدارة التوزيع هو نظام يستعمل حساسات متقدمة، وأنظمة اتصالات والغوريتيمات تحكم إدارة شبكة التوزيع بصورة أكثر فاعلية، يستطيع هذا النظام تحديد العطل وعزله عن الشبكة وإعادة الطاقة لتقليل أثر الانقطاع؛ فضلاً عن تحسين المردود الكلي لشبكات التوزيع.

2- مصادر طاقة متجددة، وتخزين الطاقة التي تسهم في تخزين الطاقة عند انخفاض الطلب لتستعمله عند ارتفاع الطلب على الطاقة؛ ومن ثم تسهم في موازنة الشبكة (التوليد والاستهلاك)، وتحسين موثوقيتها.

3- نظام اتصالات متكامل.

4- توليد موزع للطاقة.

5- إدارة الطلب على الطاقة هو نظام يمكن المستعمل من إدارة الطاقة؛ تبعاً للسعر أو مفاهيم أخرى، يسهم هذا النظام في تقليل ذروة الطلب على الطاقة، ويقلل إجهاد الشبكة، ويقلل الحاجة لمصادر طاقة إضافية فضلاً عن تحسين تحكم المستهلك بطاقته، وتوفيره للمال.

6- المقاييس الذكية تستعمل لتقديم معلومات تفصيلية عن استعمال الكهرباء، وبيانات التوتر؛

لتعالج في الزمن الحقيقي [12] [4].

2.3.3. مزايا الشبكة الذكية

1- الاستجابة للطلب.

تطبيق نظرية الوكلاء المتعددين على التأهيل الذاتي لنظام الحماية للشبكات الذكية
عبير أحمد زين

2- أتمتة التوزيع.

3- الاستخدام الأمثل للطاقة.

4- سوق الكهرباء.

5- مراقبة حالة الشبكة في الزمن الحقيقي.

6- تنظيم التوتر أو التحكم VAR .

7- تخزين الكهرباء [6].

4.3. الانتقال من الشبكة التقليدية الى الشبكة الذكية

في البداية سيوضح الفرق بين الشبكة التقليدية والذكية من خلال الجدول (3-1)

الجدول (3-1) المقارنة بين الشبكات التقليدية والذكية [6]

الشبكة التقليدية	الشبكة الذكية
التجهيزات كهروميكانيكية	التجهيزات رقمية
اتصال أحادي الاتجاه	اتصال ثنائي الاتجاه
تحكم مركزي	تحكم لا مركزي
عدد صغير من الحساسات	عدد كبير من الحساسات
مراقبة يدوية	مراقبة ذاتية / آلية
التأهيل اليدوي	التأهيل الذاتي
سيطرة محدودة على الأعطال	سيطرة واسعة على الأعطال
عدد صغير من خيارات الوكلاء	عدد كبير من خيارات الوكلاء

1.4.3. نظام توليد الطاقة

يتكون نظام توليد الطاقة الذكي من مصادر طاقة كهربائية تقليدية متكاملة مع تقانات الاتصالات الرقمية،

تعد طاقة الرياح والشمس من مصادر الطاقة المتجددة (RERs) renewable energy resources للكهرباء،

فالوقود الأحفوري يلوث الغلاف الجوي وقابل للنضوب، ويصبح مكلفاً بمرور الوقت (تكلفة تشغيل الوقود الأحفوري مرتفعة للغاية). لدى الطاقة الكهرومائية المصدر مشاكل أيضاً؛ إذ يستغرق بناء سدود الخزانات الكبيرة كثيراً من الوقت والمال؛ فضلاً عن أن مثل هذه المشاريع لها عواقب بيئية في شكل التشبع بالمياه، وتحويل الأرض المحيطة إلى أرض قاحلة بينما لا تتطلب مشاريع جريان النهر تكلفة رأسمالية كبيرة ووقت بناء [6].

يمكن الإشارة إلى أن محطات توليد الطاقة البخارية التي تعمل بالفحم والمشاريع الصغيرة لتشغيل النهر هما نوعان من مصادر الطاقة التي تتطلب وقتاً أقل للبناء، وتكاليف أقل من رأس المال والتشغيل، يمكن للبلدان النامية التي تعاني من نقص حاد في الكهرباء والارتفاع الشديد في سعر الكهرباء استعمال هذه الاستراتيجية حلاً قصير الأجل منخفض السعر [6].

2.4.3. نظام تخزين ذكي

تقلل RERs من الاعتماد على مصادر التوليد التقليدية، ولكنها غير مستقرة مما يعرض الشبكة لخطر عدم الاستقرار؛ لذلك ستكون هناك حاجة إلى وحدات تحكم أكثر قوة واستقراراً، كما تُستعمل أنظمة تخزين الطاقة بصورة شائعة لمعالجة تقلب مصادر الطاقة المتجددة.

كما يجب الإشارة إلى أن مبدلات الطاقة الإلكترونية تؤدي دوراً محورياً أثناء دمج تخزين الطاقة المتجددة، وتخزين الطاقة في SG [6].

3.4.3. نظام نقل ذكي

الشبكات الكهربائية التقليدية مسؤولة عن نقل الطاقة لمسافات طويلة. تتمثل التحديات الحقيقية في تقادم المكونات بسرعة، والبنية التحتية لطلب الطاقة المتزايد باستمرار، واستعمال التقانات الممكنة لتحديث الشبكة للحصول على شبكة نقل صحية، بوصفه أمراً بالغ الأهمية في الحفاظ على استقرار النظام.

تتكون شبكة النقل الذكية من ثلاثة أجزاء [6]:

1- مراكز التحكم الذكية المستقبلية: تتيح ميزات جديدة، مثل: القياس، وجمع البيانات المتعلقة بحالة الشبكة من خلال العدادات، وأجهزة الاستشعار، وقنوات الاتصال، والقدرات التحليلية للتحليل، وتقدير الحالة، ومراقبة حالة الشبكة، والتنبؤ.

2- شبكة النقل الذكية: تمثل تقدماً للشبكة التقليدية من خلال إضافة أجهزة استشعار، وتقانات اتصال، ومحركات حسابية، ومعالجات إشارات يمكنها تحسين استعمال الطاقة وجودتها، وموثوقية النظام والأمان. لم يتغير الهيكل الأساسي لمحطة فرعية ذات التوتر العالي، ولكن تغير نظام المراقبة والقياس وأجهزة التحكم.

3- المحطة الفرعية الذكية: تشمل التطورات في هذه المحطة قياس البيانات ونقلها، وتقدير الحالة، والتنبؤ، وتحويل المحددات إلى محدّدات رقمية، والأداء الآلي، والتنسيق، والتأهيل الذاتي [6].

4.4.3. شبكة التوزيع الذكية

تخدم شبكة التوزيع المستعملين النهائيين؛ لذلك لها أهمية كبيرة جداً في تقديم خدمة عالية الجودة. سيكون لنظام التوزيع الحاوي (s) DER الذي يجعل النظام أكثر مرونة واستقراراً ونوعية وفاعلية، ولكنه بالمقابل يجعل جريان الاستطاعة أكثر تعقيداً [6].

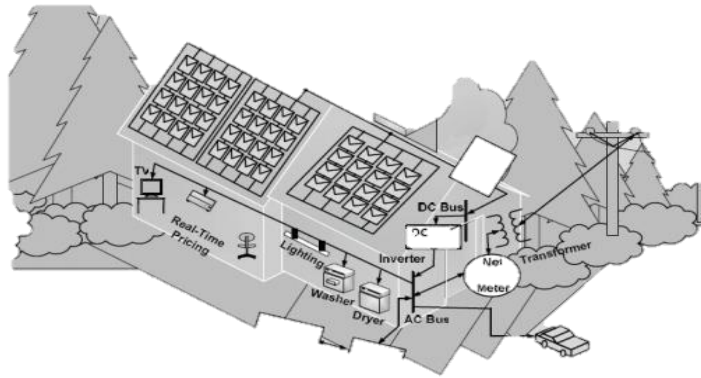
ناقش الباحثون في [23] جهاز توجيه طاقة ذكي يقسم الطاقة إلى حزم. ترتبط البدايات (محطات التوليد) والنهايات (الحمولة) بوحدة طاقة لإنشاء حزمة طاقة، في جانب الاستقبال، توجه كل حزمة بجهاز توجيه إلى العنوان الموصوف في محطات التوليد ثم يرسل إلى الحملولة المعنية؛ مما يجعل توصيل الطاقة داخلياً فاعلاً. الغرض الرئيس من أتمتة التوزيع هو إجراء تعديلات في الزمن الحقيقي للتحكم في الأحمال، والتحكم في التوليد المتصل بنظام توزيع الطاقة [3]، والتأهيل الذاتي، والتحكم التلقائي في تدفق الطاقة دون تدخل بشري. هذا يستلزم التحكم في الأجهزة من خلال التحكم المركزي أو اللامركزي؛ إذ يتم التحقق من المعلومات التي تجمع من العدادات، وتنقل إلى وحدات التحكم بوساطة وسيط الاتصال [6].

تطبيق نظرية الوكلاء المتعددين على التأهيل الذاتي لنظام الحماية للشبكات الذكية
عبير أحمد زين

5.4.3. إدارة التوزيع في الشبكة الذكية SG

يعد المستهلك مكوناً مهماً جداً كالمنازل الذكية سريعة الاستجابة، والمباني الذكية، والأحمال المرنة وغيرها [6].

يوضح الشكل (3-1) النظام الأساسي للمنزل النموذجي في الشبكة الذكية والذي يحتوي على: الأجهزة الكهربائية، وتخزين الطاقة، والسيارة الكهربائية، واللوائط الكهروضوئية، ومبدلات القدرة، والعدادات الذكية، وشبكات الاتصال وغيرها.... [21].



الشكل (3-1) النظام الأساسي للمنزل النموذجي في الشبكة الذكية [21]

هذه الأجهزة لها القدرة على تغيير المعلومات المتعلقة بجريان الاستطاعة؛ فضلاً عن إنتاج القدرة واستهلاكها.

يستعمل نظام إدارة الطاقة لإدارة الطاقة المتاحة من خلال الاستجابة للطلب والتقانات المختلفة، وفي الوقت نفسه، يؤدي نظام تخزين الطاقة الذكي دوراً حيوياً في الاستعمال الذكي كما تُستعمل أنواع مختلفة من أنظمة التخزين؛ لتخزين الطاقة بهدف استعمالها لأغراض مختلفة لاحقاً، مثل: موازنة الطاقة، وبرنامج تبادل الطاقة، والحفاظ على استقرار نظام الطاقة [6].

6.3. الحماية الكهربائية الذكية

تتميز الحماية الذكية بوجود حساسات متطورة قابلة للتحكم بها من خلال نظام قدرة متطور مثل الشبكات الذكية بهدف التأهيل الذاتي.

1.6.3. موثوقية الحماية الذكية

يتميز نظام الحماية الذكي بقدرته على حماية الشبكة من الأعطال الناتجة عن الخطأ البشري، وتعطل المعدات والكوارث الطبيعية. كما يجب أن توفر الحماية من الهجمات الإلكترونية. قدرة النظام على أداء الوظائف المطلوبة مع تلبية مجموعة من الشروط هي الموثوقية. تعتمد الموثوقية على عدد من العوامل، مثل: جمع المعلومات من الأجهزة، وتوجيهها إلى وحدات التحكم، ومن ثم توجيهها إلى المحولات، واعتماد إجراءات صيانة المعدات القياسية [6].

2.6.3. موثوقية النظام الذكي

سيستعمل التوليد الموزع DGs بكثافة في الشبكة الذكية SGs وقد يؤدي استعمال بعض مصادر الطاقة المتجددة إلى تقليل استقرار الشبكة؛ لذلك تعد أدوات التحكم وواجهات البنى والتصميمات الجديدة ضرورية لتحسين الاستقرار. اقترحت مصادر الطاقة المتجددة لفائدة استعمال RERS الموزعة في التخفيف من حالات الفشل المتتالية في SG؛ نظرًا لوجود شبكات صغيرة، تتدفق طاقة أقل من الشبكة الكلية؛ مما يزيد من موثوقية الشبكة واستقرارها. وخلص الباحثون إلى أن إدخال عدد صغير من DGs يمكن أن يقلل من احتمالات الفشل المتتالي. أثبت [24] أن مزيج موارد SG المناسب يعطي حملاً أكثر سلاسة ومن ثم يحسن الموثوقية. يعتمد الاستقرار والموثوقية أيضاً على أجهزة القياس والتحكم، مثل: المستشعرات، ووحدات إدارة المشروع، والتهيج، ومثبتات نظام الطاقة، والحواكم، وقواطع الدارة، وما إلى ذلك. يجب تحديد جوانب الضعف في النظام للتنبؤ بالأخطاء واتخاذ الخطوات اللازمة

لمنعها من خلال طريقة تحديد العقدة الضعيفة؛ ومن ثم تساعد على التنبؤ بالخطأ كما يمكن الجمع بين أجهزة الاستشعار، والعدادات، ووحدات إدارة المشروع، ووسائل الاتصال للتنبؤ بالفشل [6].

3.6.3. أمن المعلومات وخصوصيتها

إن أمان البيانات وخصوصيتها لهما أهمية قصوى للتشغيل الموثوق والأمن لـ SG . إذا لم يتم تأمين البيانات فقد يخترق النظام بالكامل، كما أن تأمين الأمن العام يتطلب استعمال بروتوكولات متطورة. يجب الحفاظ على أصالة البيانات وحمايتها على جميع المستويات مثل مبدأ التوقيع الأعمى الذي صودق عليه في الشبكة الذكية؛ لإنجاز إخفاء الهوية المشروط [6]. كما يمكن التحقق من سلامة بيانات الاستهلاك عن طريق التشفير متماثل الشكل (HE) والذي يمكن أن يقلل من عبء الاتصال بين مركز التحكم والعداد الذكي بصورة ملحوظة [2].

4.6.3. التحديد الذاتي للعطل

عند حدوث العطل، تكون الخطوة الأولى هي تحديد السبب، وتشخيصه بسرعة والتأهيل الذاتي في تجنب الأحداث المتتالية. كما يمكن تقسيم شبكة الطاقة إلى جزر لحمايتها من التعتيم، يمكن فصل هذه الجزر، وإعادة ربطها لاحقاً [7]. من خلال التحكم بشكل مناسب في تكوين النظام وتأثير الاضطراب، يمكن أن تكون كفاءة النظام محسنة. اقترح الباحثون أن التحكم اللا مركزي الموزع أفضل من المركزي؛ لأنه يساعد على تعزيز موثوقية النظام [6].

5.6.3. التأهيل الذاتي

التأهيل الذاتي هو الخاصية التي تمكن النظام من ملاحظة الأعطال، وإجراء التعديلات اللازمة لإعادة النظام إلى وضعه الطبيعي من خلال (إعادة تكوين - فصل أحمال - التحكم في قوى خرج المولد ...) بدون أي تدخل بشري [25].

يضمن التأهيل الذاتي موثوقية الشبكة وإمداد الطاقة غير المنقطع للأحمال [4] على سبيل المثال، استجابة لفشل مغذي التوزيع أو المحول، تستعيد SG تلقائياً جريان الاستطاعة للأحمال؛ باستعمال قدرتها على التأهيل الذاتي وبالمثل تستجيب الشبكة تلقائياً للتحميل الزائد أو حقن التوليد الموزع [6].

للتأهيل الذاتي هدفان أساسيان:

(أ) تحسين العملية، والتخلص من المشاكل الخفية.

(ب) إصلاح الخطأ في أسرع وقت ممكن، ويمكن تقسيمه إلى أعطال داخلية وخارجية، وهو الوسيلة الرئيسة لإزالة الأعطال واستردادها بسرعة، وتقليل المنطقة المعزولة (الحاوية على العطل) وفقدان تشغيل النظام، عند حدوث خطأ كبير خارج منطقة التحكم تفصل شبكة الأعطال عن الشبكة الخارجية. يعتمد النظام على التشغيل المستقل لمصادر الطاقة الموزعة، وأجهزة تخزين الطاقة في المنطقة؛ للحفاظ على إمدادات الطاقة غير المنقطعة [4].

يستعمل التأهيل الذاتي للوصول إلى نظام:

- آمن: ذو مصداقية فيما يتعلق بقدرته على تقديم الخدمة.
- قليل التأثير بالأعطال: عند حدوث عطل لا يتأثر أداء النظام.
- مرن: يمكنه إعادة تكوين نفسه للتعامل مع الاضطرابات [4].

لتحقيق التأهيل الذاتي يجب أن يحتوي النظام على حساسات - تحكم آلي وبيئة برمجية متطورة تستعمل الزمن الحقيقي في نقل البيانات، لتحديد العطل وعزله، وإعادة هيكليّة الشبكة الموزعة؛ لتقليل انقطاع التيار الكهربائي [25] [4].

أحد الأهداف الأساسية لشبكة التأهيل الذاتي هو تحسين موثوقية النظام، ويمكن تحقيق ذلك من خلال إعادة تكوين القواطع، وأجهزة إعادة الإغلاق الموجودة في الشبكة لعزل القسم المعطل عن التغذية، وإعادة التغذية

الكهربائية لأكثر عدد ممكن من الوكلاء من مصادر ومغذيات بديلة، تحتاج هذه العملية من الوقت من دقيقة إلى 5 دقائق لإعادة هيكلة الشبكة [4] [26]
وهناك طرائق عدة للتأهيل الذاتي:

1. التجزير Islanding: تعد من أهم الطرائق المستعملة في التأهيل الذاتي؛ إذ تعتمد على فصل المنطقة المعطلة، وتحويل الشبكة الكهربائية إلى مجموعة من الجزر، هذه الجزر إما أن تكون قادرة على تلبية الطلب من الطاقة الكهربائية، وإما موصولة مع جزر أخرى تحتوي على التوليد اللازم من أجل ضمان استمرارية الشبكة ريثما يصلح العطل الموجود.
2. تقنين الأحمال Load shedding.
3. وحدات قياس الطور (PMU) measurement unit phaser: تستعمل هذه الطريقة في الشبكات المتحكم بها في الزمن الحقيقي، وهذه الطريقة تكون أكثر سرعة وأماناً. هي قادرة أيضاً على تقدير التزامن ، والتردد ، ومعدل تغير التردد (rate of change of frequency) (ROCOF) أو (df / dt) للتوتر المكتسب و / أو أشكال الموجة الحالية [22]
4. حماية الشبكة من الهجوم السيبراني.
5. الخوارزميات تحكم باستعمال المنطق العائى [4].

7.3. الخاتمة

عرف في هذا الفصل الشبكة الذكية، وقورنت بالشبكة التقليدية، كما ذكرت سمات كل منهما، ومكوناتهما، وطرائق الانتقال من الشبكة التقليدية إلى الذكية، بالإضافة إلى التعريف بالتوليد الموزع وأثره على الشبكة والحمايات.

تطبيق نظرية الوكلاء المتعددين على التأهيل الذاتي لنظام الحماية للشبكات الذكية
عبير أحمد زين

عرفت الحمائيات الكهربائية الذكية، وركز على التأهيل الذاتي المستعمل في الجزء العملي من هذه
الأسطروحة.

وسيدرس في الفصل التالي نظام الوكلاء المتعددين وإمكانية استعماله في التأهيل الذاتي للشبكات الكهربائية
بعد اختيارنا للبرنامج القادر على العمل في الزمن الحقيقي للشبكة الكهربائية.

الفصل الرابع

نظام الوكلاء المتعددين

1.4. مقدمة

يتزايد الطلب على الكهرباء بصورة مطردة، والهيكل الحالي للشبكات الكهربائية الخاضع للتحكم المركزي غير مناسب؛ لتلبية متطلبات الطاقة المعقدة الحديثة. نتيجة لذلك، وكما أوردنا في الفصول السابقة ظهرت مفاهيم جديدة، مثل الشبكات الميكروية، والشبكات الذكية، وأنظمة الطاقة المتعددة، ومحطات الطاقة الافتراضية؛ جنباً إلى جنب مع مفاهيم جديدة، مثل نظام الوكلاء المتعددين (Multi Agents System) MAS وإنترنت الأشياء؛ إذ تنتقل شبكة الطاقة الكهربائية لدينا إلى نظام إدارة طاقة أكثر لامركزية ذي كفاءة عالية [27].

عند الانتقال لنظام الوكلاء المتعددين، فإن القدرة على التسامح مع العطل من أهم خصائصه في الشبكات الكهربائية حيث عند غياب أحد الوكلاء لسبب ما يعوض وكيل آخر هذه الخسارة؛ فضلاً عن المرونة والتحكم السريع [8].

2.4. الوكلاء

1.2.4. تعريف الوكيل

يوجد عدد من التعاريف المختلفة للوكيل تشترك في مجموعة أساسية من المفاهيم، هي: مفهوم الوكيل،

وبيئته، وخاصية الاستقلالية [28]

الوكيل: هو عبارة عن كيان برمجي صمم ليتواجد في بيئة معينة - حيث البيئة هي كل شيء خارجي

بالنسبة للوكيل من الممكن أن تكون بيئة مادية أو برمجية- ولتحقيق أهداف محددة [29]، له القدرة على العمل

باستقلالية بناء على معارف مسبقة أو تم تعلمها من خلال التعامل والتفاعل والتواصل مع بيئته أو وكلاء آخرين؛ إذ يتعاون مع الوكلاء الآخرين؛ بهدف إنجاز مهام مشتركة [28]

ميّز الباحث **Wooldridge** مفهوم الوكيل السابق عن الوكيل الذكي الذي انتقل من الحكم الذاتي إلى الحكم الذاتي المرن [28].

يمكن أن يصنف الوكلاء إلى:

1. **الوكلاء المتفاعلون:** تظهر ردود أفعالهم لأي تغير، وهي مفيدة عند الحاجة لاستجابة سريعة، كما يساعد التفاعل بين الوكلاء إلى تحقيق مهام يصعب تحقيقها عند العمل بصورة منفردة.
2. **الوكلاء الأنكباء:** يتميزون بقدرة فكرية كبيرة؛ إذ يمكنهم استعمال مواردهم ومهاراتهم للوصول لأهدافهم.
3. **وكلاء التعلم:** يمكنهم اكتساب المعرفة من خلال تحليل النتائج من أفعالهم [30].

قسم بعض الباحثين الوكلاء إلى قسمين [31]:

أولاً: الوكيل التفاعلي: لا يخطط، إنما يستجيب للتغيرات الحاصلة في بيئته، يحصل على المعلومات؛ ويتعامل معها على أساس قواعد معرفية مخزنة ضمنه مسبقاً، وتضم:

(a) وكيل ذو رد فعل بسيط: يتفاعل فقط مع الأحداث الآنية بناء على قواعد معرفية موجودة مسبقاً،

يتميز هذا النوع بالسرعة الكبيرة؛ لذلك يستعمل في أنظمة الحماية.

(b) الوكيل المتتبع: يتتبع التحديثات المحيطة به؛ ومن ثم يكون ملماً ببيئته، ويحدث معلوماته بناء

على تطور البيئة من جهة، وتغيير موقعه فيها.

ثانياً: الوكيل المعرفي: يعتمد هذا الوكيل على معارفه، فيقوم بعدة عمليات قبل اتخاذ القرار على أساس

الهدف، ويضم [31]:

- (a) وكيل ذو أهداف: يجمع هذا الوكيل بين الوصف الجيد لمحيط الهدف لاتخاذ قراراته؛ إذ إنه يحاول تكوين نظرة استباقية للمستقبل، هذه العمليات تجعل منه أبطأ من الوكيل التفاعلي.
- (b) وكيل يحدد أي القرارات أفضل للوصول إلى الهدف بالتالي يحدد الحل الأقصر، والأقل خطورة، والأقل تكلفة وهكذا؛ لذلك يمكن استعماله في إدارة الطاقة، وإدارة الطلب على الطاقة في الشبكات الكهربائية.

2.2.4. خصائص الوكيل

- 1- **التموضع:** يتواجد الوكيل في بيئة معينة، وله القدرة على التعامل، والتفاعل مع بيئته عن طريق معطيات يحصل عليها من بيئته [32].
- 2- **الاستقلالية:** يتمتع الوكيل باستقلالية تامة فيما يخص ذاته، واتخاذ قراراته، وكيفية تعامله مع الأحداث والوكلاء الآخرين المتواجدين في البيئة نفسها؛ إذ يتحكم الوكيل في تصرفاته بدون تدخل طرف آخر، ويتخذ قراراته بناء على حالته الأنية، وباستقلالية تامة، ويتمتع الوكيل الذكي بالاستقلالية المرنة [28].
- 3- **الاستباقية:** يتمتع الوكيل بالقدرة على أخذ زمام المبادرة في الوقت المناسب لتحقيق أهدافه [32]، يظهر الوكلاء الأذكياء سلوكاً موجهاً نحو الهدف؛ إذ الوكيل يغير سلوكه ديناميكياً من أجل تحقيق الأهداف، على سبيل المثال إذا فقد وكيل الاتصال بوكيل آخر يحتاج خدماته لتحقيق الهدف، سوف يبحث عن وكيل آخر يقدم الخدمات نفسها [28].
- 4- **الاستجابة المباشرة (reactivity):** يجب أن يكون الوكيل قادراً على الاستجابة آنياً للتطورات والأحداث المحيطة به، والتفاعل في الوقت والمدة المطلوبة [28].
- 5- **اجتماعي:** يتمتع الوكيل بخصائص اجتماعية، مثل: التواصل، والتعامل مع الوكلاء الآخرين الذين يشاركونه بيئته، والانتقال من بيئة لأخرى في بعض الحالات [32] [28].

يوضح الشكل (4-1) دورة حياة الوكيل في منصة ما، وكيفية الانتقال من حالة لأخرى، وفيما يأتي حالات الوكيل [31]:

-
- ```

graph TD
 Waiting((Waiting)) -- Wait --> Active((Active))
 Active -- Wake Up --> Waiting
 Suspended((Suspended)) -- Resume --> Active
 Active -- Suspend --> Suspended
 Transit((Transit)) -- Move --> Active
 Active -- Execute --> Transit
 Initiated((Initiated)) -- Invoke --> Active
 Active -- Destroy --> Unknown((Unknown))
 Initiated -- Quit --> Unknown
 Unknown -- Create --> Initiated
 subgraph MAS
 Waiting
 Suspended
 Active
 Transit
 Initiated
 end

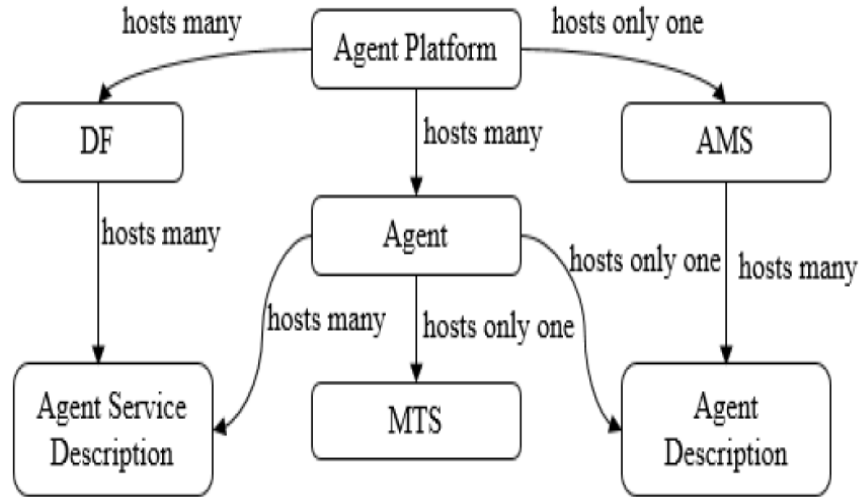
```

الشكل (4-1) دورة حياة الوكيل [31]

#### 4.2.4. إدارة الوكيل

تحدد كيفية إدارة الوكيل على مستويين، الأول إدارة الوكلاء على مستوى الوكيل، والثاني كيفية تفاعل الوكلاء فيما بينهم على مستوى MAS، والعمل بطريقة موزعة ومرنة.

يحدد المستوى الأول دورات حياة الوكلاء من إنشائهم حتى حذفهم [30] الموضحة في الشكل (4-1) كما يوضح الشكل (4-2) منهجية إدارة الوكيل، وتتألف من عدة أقسام [29]:



الشكل (4 - 2) منهجية إدارة الوكيل [1]

1. بيئة الوكيل (Agent Platform (AP): وهي المكان الذي يتواجد فيه العملاء، وتوفر البنية

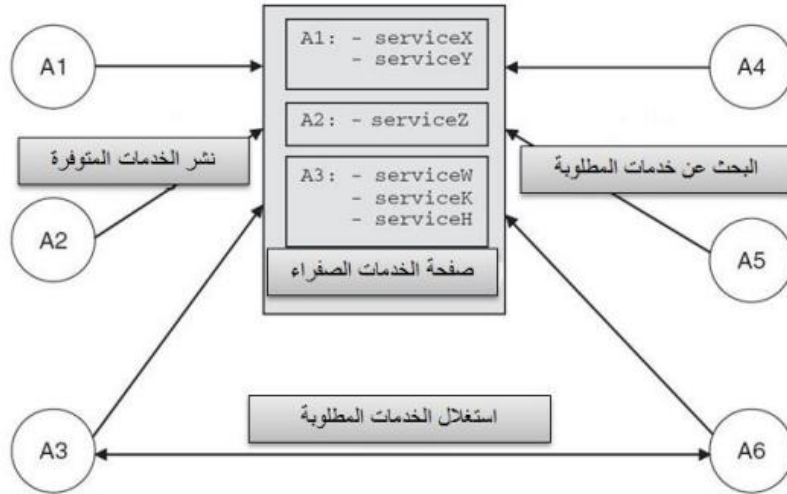
الأساسية التي يعيش فيها العملاء. ويضم الآلات، ونظام التشغيل، والوكلاء، وكل الإضافات

2. الوكيل Agent.

3. الصفحة الصفراء (DF) Directory Facilitator: هو وكيل خاص يسيّر الصفحة الصفراء

(pages yellow)، وهي صفحة خاصة توفرها المنصة، بغرض نشر الخدمات وطلبها؛ إذ

تسمح للوكيل بوضع وصف للخدمات التي يقدمها، وهذا يسهل لباقي العملاء اكتشافها، واستغلالها، كما هو موضح في الشكل (4-3):



الشكل (4-3) الصفحة الصفراء [31]

4. Agent Management System (AMS): هذا العميل هو المسؤول عن اعطاء أسماء

الوكلاء وعناوينهم عند إنشائهم؛ إذ إن كل وكيل يأخذ عنوانه منه، وهو نقطة الجمع بين كل

الوكلاء الذين يريدون التواصل، وهو الوكيل الوحيد المخول له بتسيير العمليات في البيئة، مثل

إنشاء الوكلاء أو إنهائهم [31].

5. MTS: هو نظام الرسائل المتبادلة بين الوكلاء [29].

#### 5.2.4. أنواع فشل الوكيل

يتم تصنيف فشل الوكيل إلى قسمين رئيسيين:

1- **الفشل غير الملحوظ:** هو الفشل الذي لا يكون واضحاً على مداخل الوكيل ومخارجه، وله نوعان:

1. فشل داخلي: أي عطل في العملية الداخلية للعملية، وهو عطل غير واضح بالنسبة لمراقب خارجي، في

هذه الحالة الوكيل أمام خيارين (التعافي من الفشل - استعمال طرائق بديلة؛ لتجنب مظاهر الفشل).

2. فشل مخفي: فشل في تنفيذ الوكيل الذي لم يظهر بعد، هنا ينتقل الفشل لشكل آخر؛ ربما فشل داخلي.

**2- الفشل الملحوظ:** هو الفشل الذي يمكن ملاحظته عند مداخل الوكيل ومخارجه، وله نوعان:

1. فشل تصرف: وله عدة أنواع:

- (a) الوكيل لا يستجيب: يفشل الوكيل في الاستجابة لطلب ما في الإطار الزمني المحدد.
- (b) استجابة خاطئة للوكيل: يستجيب الوكيل بطريقة مختلفة عن المحددة ضمن خواصه.
- (c) تأخر استجابة الوكيل: يستجيب الوكيل للطلب، لكن أبطأ من الزمن المحدد في خواصه.
- (d) فشل المعلومات: يرسل الوكيل معلومة خاطئة.
- (e) إرسال العميل معلومات ضخمة يمكن عدها وهمية.
- (f) فشل داخلي: فشل في اتخاذ الأمر؛ كأن يختار أفعالاً غير متطابقة مع خواصه.
- (g) فشل خارجي: فشل في التواصل مع الوكلاء الآخرين [8].

2. فشل معرفة: يمكن تصنيفه إلى:

- (a) معرفة غير صحيحة: يمتلك الوكيل معلومات غير صحيحة أو خاطئة.
- (b) معرفة غير مكتملة: بعض المعلومات الواجب عرضها مفقود، مثل رسالة طلب بحث لا تتطلب المادة الواجب البحث عنها.
- (c) معرفة غير متناسقة: المعلومة صحيحة، لكن في الوضع الراهن غير صحيحة.
- (d) المعرفة المتكررة: مثل إرسال رسالة إلى وكيل مرتين بالمضمون نفسه [8].

### 3.4. نظام الوكلاء المتعددين

#### 1.3.4. تعريف نظام الوكلاء المتعددين

هو نظام متكامل، وموزع لعدة عوامل قائمة على البرامج، يتألف من مجموعة من الكيانات المستقلة والمتفاعلة شرحت في الفقرات السابقة، وهي الوكلاء، تتطور في بيئة معينة بحيث يمكنهم بصورة مستقلة الإدراك والعمل على تحقيق أهداف محددة [27] [32].

يمكن تعريفه بصورة أبسط بنظام يتألف من وكيلين أو أكثر، كل وكيل يمتلك أهدافاً منفصلة [28]، أو فكرة لتقسيم مشكلة معقدة إلى مشاكل بسيطة أصغر، يتعامل معها كيانات عدة [29] يهدف هذا النظام للقيام بمهمة ما، ويعمل ضمن بيئة برمجية محددة.

#### 2.3.4. خصائص نظام الوكلاء المتعددين

إن أهم خصائص نظام الوكلاء المتعددين، هي [31]:

1- **التفاعل:** يجب أن يتمتع بمستوى تفاعلي عالٍ فيما يخص التنسيق، والتواصل، والتنظيم، والحل المشترك للمشاكل.

2- **التنسيق:** هناك ثلاثة أقسام للوكلاء من ناحية التنسيق بينها:

1. **الوكلاء المتعاونون:** يتعاون وكلاء هذا القسم مع الوكلاء الآخرين لأداء مهامهم.

2. **الوكلاء المنفردين:** ويضم الوكلاء الذين يعتمدون على أنفسهم فقط لأداء مهامهم.

3. **الوكلاء المتنافسون:** ويتمتعون بالتنافس فيما بينهم.

إذ ينسق عن طريق التفاوض أو التحالف.

3- **التواصل:** ويعتمد التواصل بين الوكلاء على (لغة التواصل - بروتوكول الاتصال - دلالات الاتصال؛ أي

مضمون الرسالة المرسله من طرف الوكيل).

### 3.3.4. أنواع فشل نظام الوكلاء المتعددين

عند توصيف فشل نظام الوكلاء المتعددين، لا يمكننا ببساطة افتراض أن فشل هذا النظام بسبب فشل

الوكيل؛ بل يتعدى إلى مكونات النظام ككل؛ لذلك يمكن تصنيفها إلى:

1. فشل الوكيل: فشل الوكيل يمثل فشلاً داخلياً في MAS، لكن لا يعني بالضرورة فشل كامل النظام.

2. فشل بيئة الوكيل: أي إن البيئة لا تعمل بصورة صحيحة.

3. سلوك طارئ غير صحيح: الوكيل لا يتصرف بصورة صحيحة؛ ربما لأن المصمم لم يقترح هذه

الحالة.

4. الإمكانية الضائعة: يتحقق هذا الفشل عندما يفقد النظام وكيلاً أو مجموعة من الوكلاء المعتمدين

على هذه الإمكانية.

5. المعرفة الضائعة: الوكيل غير قادر على الحصول على معرفة معينة بعد استعمال جميع الطلبات

الممكنة التي تقع تحت تصرفه.

6. فشل في العتاد: مثل الفشل بوسائط الاتصال.

7. فشل الاستجابة في الزمن الحقيقي: يفشل MAS في تقديم المخرجات المطلوبة في الوقت المحدد.

8. فشل المتانة: فشل في تقديم سلوك تحمل العطل المحتمل أو المستهدف [8].

### 4.4. استعمال نظرية الوكلاء المتعددين في التأهيل الذاتي

عند تصميم نظام وكلاء متعددين؛ بهدف التأهيل الذاتي يجب ألا يركز فقط على الوكيل المتحمل للعطل،

بل على التصميم الذي يمكنه من تقليل الأخطاء بصورة كبيرة في برنامج الوكيل، والمصادقة على إمكانية

اكتشاف العطل [8].

تطبيق نظرية الوكلاء المتعددين على التأهيل الذاتي لنظام الحماية للشبكات الذكية  
عبير أحمد زين

#### 1.4.4. خصائص نظام الوكلاء المتعددين المستعمل في التأهيل الذاتي

يجب أن يقدم النظام الخصائص الآتية:

- 1- **الاتصال الموثوق:** يجب أن يضمن النظام عدم ضياع الرسائل أو تكرارها؛ أي يجب تسليم كل الرسائل، أو بمعنى آخر المرسل يُعلم في حال عدم وصول الرسالة.
  - 2- **منصة الوكيل:** بما أن المنصة هي بيئة حيث يتعايش الوكلاء ينبغي ألا يؤثر الفشل المحتمل لبعض الوكلاء في بيئته الخاصة، ولا في الوكلاء الآخرين في النظام.
  - 3- **المعرفة الاجتماعية:** معرفة الوكلاء الآخرين هو جزء رئيس من MAS؛ لذلك هذه المعرفة حاضرة أو واضحة ديناميكياً في إدارة تحمل الخطأ في التأهيل الذاتي.
  - 4 - **التوزيع الفيزيائي:** يجب أن يكون من الممكن توزيع الوكلاء فيزيائياً في MAS، والسماح بالتواصل فيما بينهم. هذا التوزيع يزيد الأخطاء المحتملة في حال فشل العتاد، فشل الطاقة وغيرها .....
  - 5- **هيكل الوكيل:** يجب أن يكون الوكيل مصمماً داخلياً للتعامل مع الأخطاء الداخلية والخارجية الممكنة، على سبيل المثال: عند فصل أحد الوكلاء عن البقية يجب أن يستمر بالعمل بصورة صحيحة؛ ربما مع انخفاض كفاءة
  - 6- **التفاوض:** بروتوكولات الاتصال والتفاعل بين الوكلاء يجب أن تؤكد تحمل الخطأ. على سبيل المثال: تبعاً لبروتوكول معطى يتوقع الوكيل إجابة من وكيل آخر.
- الوكيل المستقل يجب أن يعرف كم من الوقت سينتظر الإجابة، وكيفية المتابعة إذا لم تصل الإجابة في الوقت المحدد.

#### 2.4.4. خصائص الوكيل المستعمل في التأهيل الذاتي

ليكون الوكيل قادراً على التأهيل الذاتي يجب أن يصمم، وفقاً للخصائص الآتية:

- 1- الحكم الذاتي: يصنع كل وكيل اقتراحاته وهو مسؤول عن إخراجها؛ بهدف نجاح المهمة الموكلة له.
- 2- الاتصال: يشارك الوكيل لغة شائعة؛ ليتم التواصل معه بصورة مباشرة؛ عبر تمرير الرسائل أو بصورة غير مباشرة من خلال وسائل تفاعل أخرى.
- 3- التعاون والتنسيق: يجمع الوكيل قدراته مع قواعد بسيطة للتواصل ضمن مجموعة متعاونة لتتكيف وتستجيب للأحداث والأهداف، أو على الأقل يقومون بتنسيق أعمالهم؛ لتجنب الاصطدام أو لتحسين المردود.
- 4- يستعمل الوكلاء بروتوكولات شائعة (تقانات اتصال) لأغراض التفاعل.
- 5- تحمل الخطأ: يمتلك الوكلاء القدرة على كشف العطل أو الخطأ كي تمنع تطورها، والقدرة على معالجة حلول متعددة لتطبيق حلول بديلة في حال فشل الخطة الأفضل في الحل.
- 6- الإجراءات المساعدة: يقترح الوكلاء استراتيجيات دورياً؛ لتحسين أداء النظام.
- 7- التنظيم: يمتلك الوكلاء القدرة على الإنشاء، والحفاظ على الهيكل التنظيمي؛ إذ إن كل وكيل له دوره ومكانه.
- 8- التعلم: الوكلاء لديهم القدرة على تكيف سلوكهم، ومعرفتهم مع وكيل آخر للحقائق الجديدة؛ لتحسين الكفاءة والأداء، يمكن تحقيق التكيف بطريقة مركزية، لكن الأفضل هو تنفيذه بطريقة موزعة (لا مركزية).
- 9- التشخيص: يمكن للوكلاء مراقبة أنفسهم أو غيرهم من الوكلاء وتحليلها؛ للكشف عن الأعطال، وتحديد حالات الفشل (هنا التنفيذ الموزع أفضل من المركزي).
- 10- التخطيط: يمكن للوكيل بناء خطط مستقبلية [8].

تطبيق نظرية الوكلاء المتعددين على التأهيل الذاتي لنظام الحماية للشبكات الذكية  
عبير أحمد زين

#### 3.4.4. خصائص بيئة الوكيل المستعملة في التأهيل الذاتي

- 1- يجب أن توفر بيئة الوكيل مؤشر ترابط خاص بالوكلاء للتنفيذ؛ أي أن الوكيل لديه وقت تنفيذ متاح، ويمكنه إدارة هذا الوقت بكفاءة.
- 2- يجب أن تتأكد من أن الوكلاء لديهم خيوط تنفيذ مستقلة قدر الإمكان كي لا يؤثر جمود أحد الوكلاء أو فشله على الآخرين.
- 3- يجب أن تضمن اتصالاً موثقاً به.
- 4- يجب أن يتوفر عدد من بروتوكولات الاتصال واللغات ووسائل الاتصال؛ لزيادة تحمل الخطأ.
- 5- التعامل مع محادثات الوكيل على أنها موزعة لزيادة المتانة [8].

#### 4.4.4. خصائص المعرفة الاجتماعية المستعملة في التأهيل الذاتي

المعرفة الاجتماعية: هي المعرفة التي تستعمل للتعامل مع وكلاء آخرين في MAS، تتكون من المعلومات حول أسماء الوكلاء وموقعهم، وقدراتهم، واللغة التي يستخدمونها، وحالتهم الفعلية، ومحادثاتهم، وسلوكهم وغيرها...

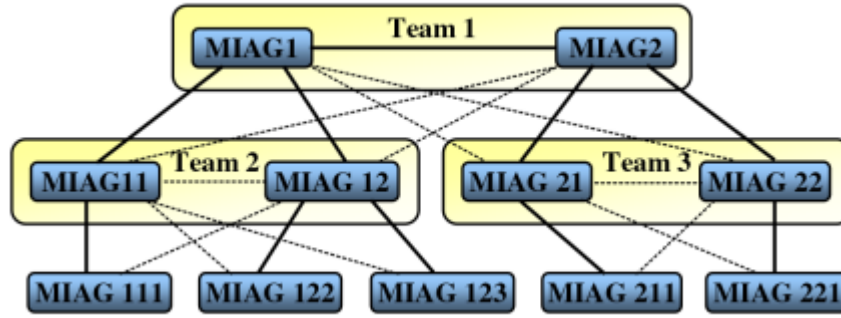
يمكن توزيع المعرفة الاجتماعية بطرائق عدة:

- 1- المركزية: تخزين وتدار وتعرض من جهاز مادي أو نقطة وظيفية.
  - 2- الموزعة: توزع بصورة ثابتة أو ديناميكياً مباشرة في جميع الوكلاء في النظام.
- الهيمنة: المعرفة الاجتماعية المنظمة في مجموعات، والتسلسلات الهرمية، وهي المستعملة في الجزء العملي من أطروحتنا [8].

عند استعمال الأسلوب الجماعي صمم وكلاء وساطة Middle Agents (MIAGs) تدعى الفرق الهرمية الديناميكية؛ تتميز بقدرتها على تحمل الخطأ؛ فضلاً عن قابليتها للتوسع، يوضح الشكل (4-4) البنية

تطبيق نظرية الوكلاء المتعددين على التأهيل الذاتي لنظام الحماية للشبكات الذكية  
عبير أحمد زين

الأساسية لبناء ثلاث طبقات من الفرق الهرمية الديناميكية؛ إذ الخطوط الكاملة تمثل قنوات اتصال أساسية، والمتقطعة تمثل قنوات اتصال ثانوية تستعمل في حالة فشل القنوات الأساسية [8].



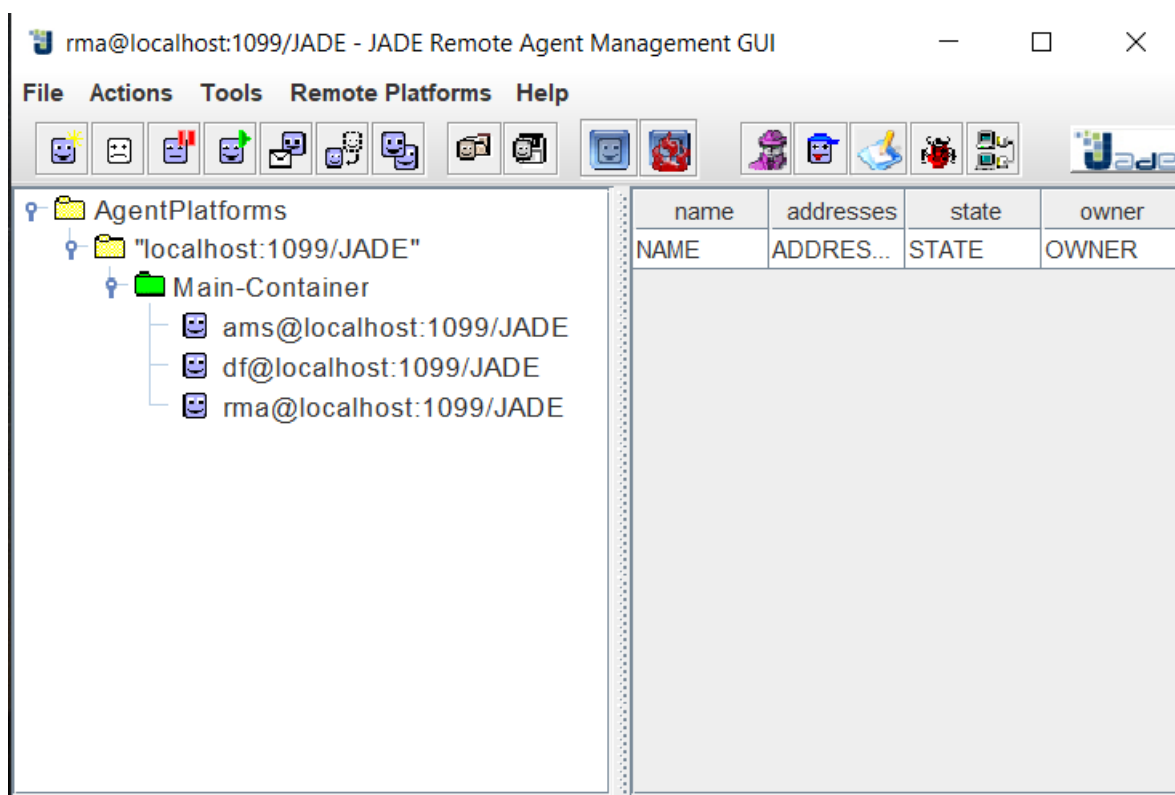
الشكل (4-4) البنية الأساسية لبناء ثلاث طبقات من الفرق الهرمية [8]

## 5.4. منصة جاد (Java Agent DEvelopment Framework (Jade)

### 1.5.4. تثبيت المنصة وتشغيلها

جاد هي اختصار لـ Java Agent DEvelopment Framework (Jade)، هي منصة برمجية مبرمجة، ومنفذة بالكامل بلغة البرمجة جافا Java؛ بهدف تسهيل أنظمة الوكلاء المتعددين وتنفيذها، من خلال طبقة برمجية بسيطة middleware متوافقة مع مواصفات FIPA The Foundation for Intelligent Physical Agents، ومجموعة من الأدوات الرسومية [30]، الموضحة في الشكل (4-5).

تطبيق نظرية الوكلاء المتعددين على التأهيل الذاتي لنظام الحماية للشبكات الذكية  
عبير أحمد زين



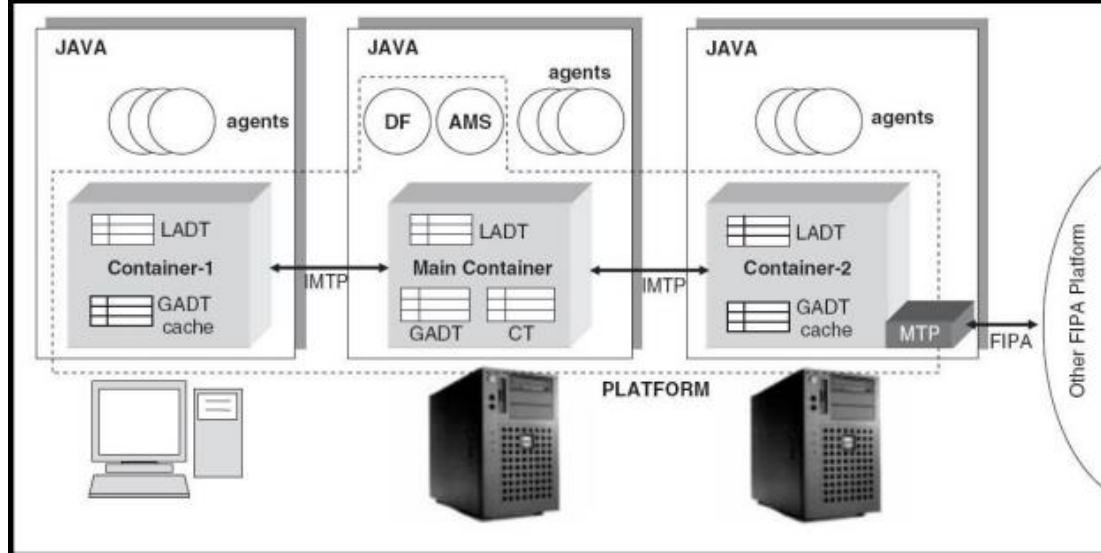
الشكل (4-5) الواجهة الرسومية الأساسية لمنصة جاد

تتألف المنصة من حاويات containers يعيش فيها الوكلاء؛ إذ تؤمن المنصة كل الخدمات التي

نحتاجها؛ لتنفيذ الوكيل وإدارته [33].

في البداية تنشأ الحاوية الرئيسة main container وهي بمنزلة مركز التنسيق وترتبط ببقية الحاويات

إليها، كما هو موضح في الشكل (4-6)



الشكل (4-6) الحاويات الأساسية في نظام الوكلاء المتعددين [31]

يوضح الشكل مخططاً للعلاقات المتبادلة؛ ضمن منصة جاد؛ إذ إن وظائف الحاوية الرئيسة main

container، هي [31]:

- تسجيل أسماء جميع الحاويات وعناوينهم في المنصة.

- تسيير سجل يضم جميع الوكلاء، وحالاتهم، ومواقعهم في المنصة.

- تسيير العميلين الخاصين DF, AMS.

#### 2.5.4. بناء الوكيل في المنصة

لبناء وكيل ما علينا سوى أن ننشئ فئة ترث من الفئة jade.core.Agent، وبرمجة الدالة setup()

الموروثة من هذه الفئة. يقصد بهذه الدالة تهيئة عناصر الوكيل، لتعمل وظائفه بالصورة الصحيحة، فيما يلي الكود

البرمجي لإنشاء وكيل طباعة رسالة ترحيب فقط.

```
package package1;
import jade.core.Agent;
public class MyFirstAgent extends Agent{
```

```
protected void setup() {
 // Printout a welcome message
 System.out.println("Hello World. I'm an agent!");
}
}
```

#### 3.5.4. سلوك الوكيل في المنصة

تشرح سلوكيات الوكيل كيفية التعامل مع المهام، ويمكن تقسيمها إلى [31]:

##### 1. مهمات بسيطة:

(a) مهمة واحدة قصيرة One-Shot Behavior : هنا تنفذ المهمة مرة واحدة، ويمكن تنفيذها؛

باستعمال الكود البرمجي الذي مهمته X الآتي [33] :

```
public class MyOneShotBehaviour extends OneShotBehaviour {
 public void action() {
 // perform operation X
 }
}
```

(b) مهمة متكررة Cyclic Behavior: هنا تنفذ المهمة بصورة متكررة من خلال الكود الذي مهمته

Y [33]:

```
public class MyCyclicBehaviour extends CyclicBehaviour {
 public void action() {
 // perform operation Y
 }
}
```

(c) مهمة عامة Generic Behaviour : في هذا النوع من المهام يحدد المبرمج كيفية انتهاء المهمة على حسب الحاجة؛ باستعمال الكود البرمجي الذي ينفذ المهمة Z [33].

```
public class ThreeStepBehaviour extends Behaviour {

 public void action() {

 // perform operation Z

 }

 public boolean done() {

 return ;

 }

}
```

(d) مهمة الإيقاظ WakerBehaviour: هنا تنفذ الدالة ضمن onWake() بعد مدة زمنية محددة بالملي ثانية - في مثالنا 10 ثانية- يحددها المصمم من خلال الكود التالي الذي ينفذ المهمة X [33].

```
public class MyAgent extends Agent {

 protected void setup() {

 System.out.println("Adding waker behaviour");

 addBehaviour(new WakerBehaviour(this, 10000) {

 protected void onWake() {

 // perform operation X

 }

 });

 }

}
```

```

 }
}
e TickerBehaviour: هنا تنفذ المهمة بصورة متكررة بفواصل زمنية محددة من قبل المصمم -

```

في مثالنا 10 ثانية-؛ أي تتكرر المهمة Y كل 10 ثوانٍ من خلال الكود:

```

public class MyAgent extends Agent {
 protected void setup() {
 addBehaviour(new TickerBehaviour(this, 10000) {
 protected void onTick() {
 // perform operation Y
 }
 });
 }
}

```

## 2. مهام مركبة: يضم هذا القسم ثلاثة أنواع من المهام [31]:

a. **المهام المتتابعة Sequential Behaviour**: هي عبارة عن مهمة واحدة مكونة من عدة

مهام فرعية ينفذ بصورة متتالية من خلال الكود التالي الذي ينفذ المهمة X ثم Y ثم Z [33].

```

protected void setup() {
 SequentialBehaviour sequentialBehaviour = new
 SequentialBehaviour(this);
 sequentialBehaviour.addSubBehaviour(new OneShotBehaviour(this) {
 public void action() {
 // perform operation X
 }
 });
}

```

```

 });
 sequentialBehaviour.addSubBehaviour(new OneShotBehaviour(this) {
 public void action() {
 // perform operation Y
 }
 });
 sequentialBehaviour.addSubBehaviour(new OneShotBehaviour(this) {
 public void action() {
 // perform operation Z
 }
 });
}

```

**b. المهام المتوازية Parallel Behaviour :** ينفذ هذا النوع مهام متعددة في وقت واحد من

خلال الكود التالي الذي يسمح بتنفيذ الأوامر X, Y, Z معاً، وعند انتهاء أحد المهام تنتهي البقية

[33].

```

protected void setup() {
 ParallelBehaviour parellelBehaviour = new ParallelBehaviour
 (this,ParallelBehaviour.WHEN_ANY);
 parellelBehaviour.addSubBehaviour(new OneShotBehaviour(this) {
 public void action() {
 // perform operation X
 }
 });
 parellelBehaviour.addSubBehaviour(new OneShotBehaviour(this) {

```

```

public void action() {
 // perform operation Y
}
});

parallelBehaviour.addSubBehaviour(new OneShotBehaviour(this) {
 public void action() {
 // perform operation Z
 }
});
}

```

c. **مهام معقدة Composite Behaviour** : يسمح لنا هذا النوع بتنقل الوكيل بين المهمات

الموكلة له، ويطلق على كل مهمة State حالة يطلق عليها اسم وينتقل الوكيل بين الحالات

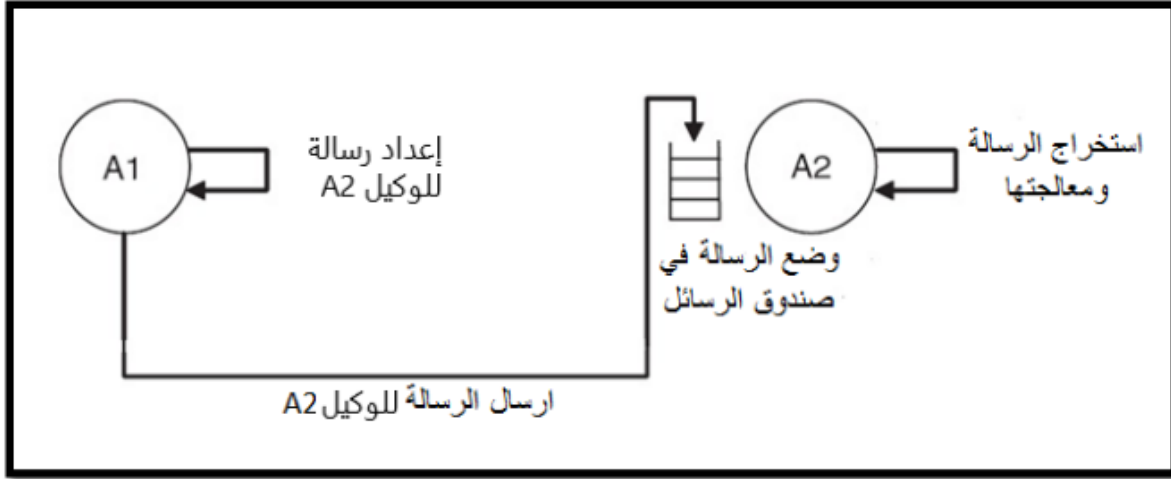
بخاصية العبور [33].

#### 4.5.4. التواصل بين الوكلاء

يتم التواصل بين الوكلاء باستعمال مجموعة من الرسائل Agent Communication

Language – ACLMessage؛ إذ يملك كل عميل صندوق رسائل يعمل على البريد الإلكتروني يخزن

فيه الرسائل؛ بغرض معالجتها من قبل الوكيل، يوضح الشكل (4-7) تبادل الرسائل بين الوكلاء [31]:



الشكل (4-7) تبادل الرسائل بين الوكلاء

يحضر للرسالة في الوكيل A1؛ من خلال الكود التالي الذي يتضمن رسالة "Today it's

"raining"، وإرسالها إلى الوكيل Agent2. [33].

```
public class MyAgent extends Agent {
 protected void setup() {
 ACLMessage message= new ACLMessage(ACLMessage.INFORM);
 message.addReceiver(new AID("Agent2", AID.ISLOCALNAME));
 message.setContent("Today it's raining");
 send(msg);
 }
}
```

ينتظر الوكيل الثاني الرسالة من خلال الكود التالي ، وفي حال ورود الرسالة يتم التعامل معها؛ وفق الكود

المصمم لتحقيق الهدف.

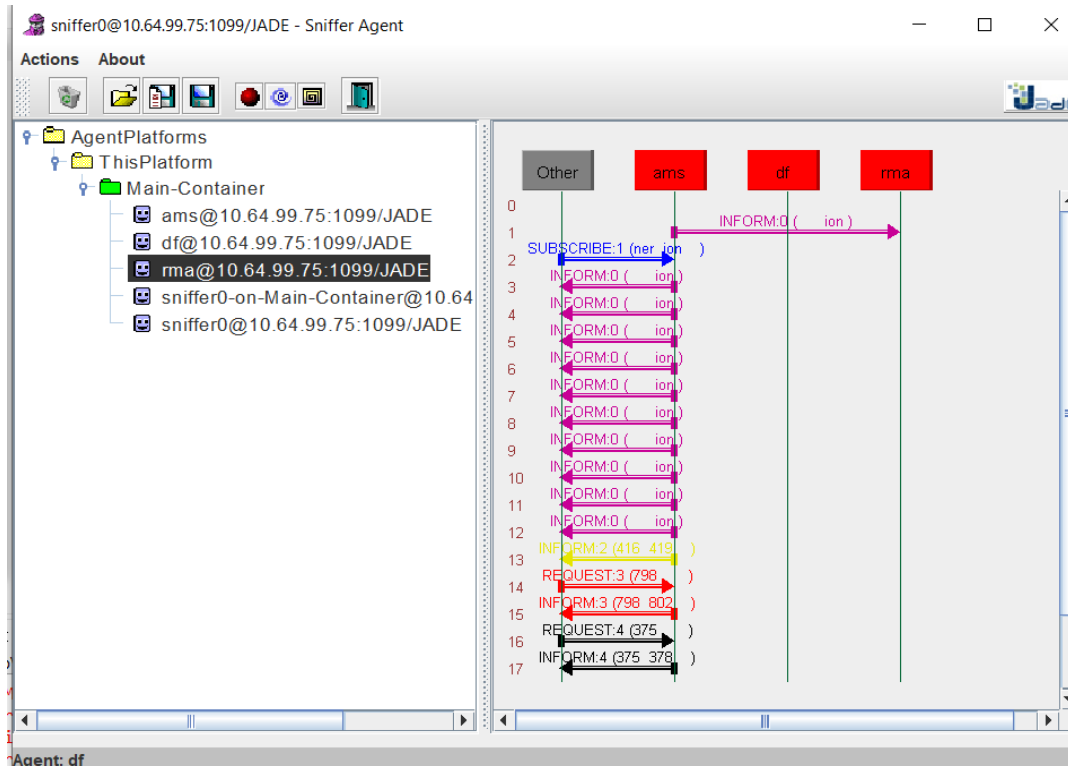
```
public class Agent2 extends Agent{
 protected void setup() {
```

```

addBehaviour(new OneShotBehaviour(this) {
 public void action() {
 ACLMessage message = receive();
 if (message == null) block();{
 // Process the message
 }
 }
});
}
}

```

يوضح الشكل (8-4) الواجهة الرسومية التي تعرض الرسائل المتبادلة بين الوكلاء الأساسيين (ams, df, rma):



الشكل (8-4) الواجهة الرسومية الأساسية لنظام الرسائل بين الوكلاء الأساسيين

#### 5.5.4. هجرة الوكلاء

يستطيع الوكيل التنقل من منصة لأخرى؛ إذ إنه يوقف تنفيذ مهماته عند بدء انتقاله؛ مع الاحتفاظ بجميع خصائصه، ويستأنف التنفيذ بعد انتقاله [33] ويتم ذلك من خلال الكود التالي الذي يمثل انتقال الوكيل إلى المنصة

:PlatformID

```
protected void setup() {
```

```
 //Build the AID of the corresponding remote platform's AMS
```

```
 AID remoteAMS = new AID("ams@remotePlatform:1099/JADE",
AID.ISGUID);
```

```
 //Specify the MTP by setting the transport address of the remote AMS
 remoteAMS.addAddresses("http:// remotePlatformaddr:7778/acc");
```

```
 // create and initialize the destination object
```

```
 PlatformID destination = new PlatformID(remoteAMS);
```

```
 // start the migration
```

```
 doMove(destination);
```

```
}
```

```
//@Override
```

```
protected void beforeMove() {
```

```
 System.out.println("try to move...");
```

```
}
```

```
// @Override

protected void afterMove(){

 System.out.println("move done");

}
```

#### 6.4. الخاتمة

عرف في هذا الفصل نظام الوكلاء المتعددين والوكلاء؛ فضلا عن سمات الفشل لكل منهما وخصائصها، وحالاتها، كما ركزنا على نمذجة سلوك الوكلاء، وطرح الكود البرمجي لكل حالة الذي سيستعمل في الجزء العملي لبناء نظام تأهيل ذاتي للشبكة الكهربائية.

## الفصل الخامس

### تطبيق نظرية الوكلاء المتعددين على التأهيل الذاتي لشبكة مرجعية

#### (القسم العملي)

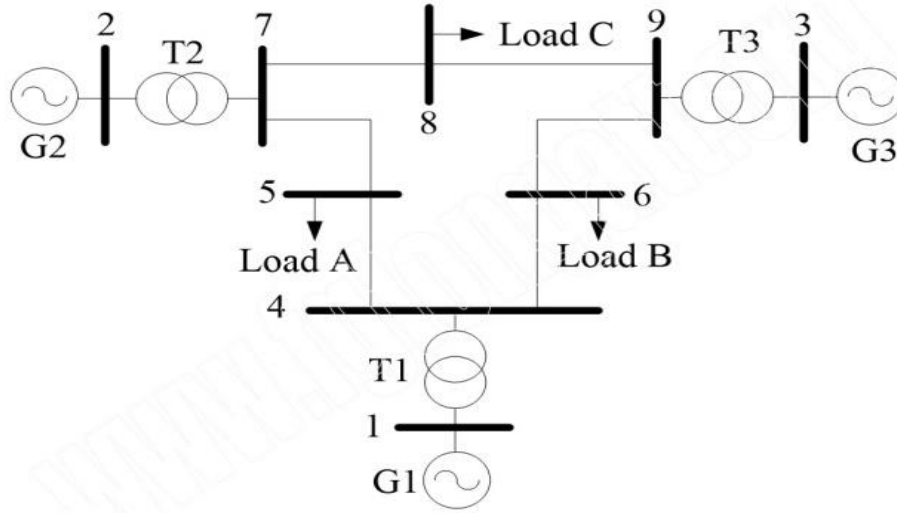
##### 1.5. المقدمة

يقدم هذا الفصل شرحاً مفصلاً عن الشبكة المرجعية المختارة، وبنائها في بيئة ماتلاب Matlab/Simulink؛ فضلاً عن تصميم نظام الوكلاء المتعددين الخاص بهذه الشبكة؛ بهدف اختبار ميزات تطبيق نظرية الوكلاء المتعددين على التأهيل الذاتي لشبكة كهربائية وسليباتها، واختبارها قبل تعميمها على جزء من الشبكة السورية.

تبين نتائج هذا الفصل أن تطبيق هذه النظرية يزيد موثوقية وأمان الشبكة، وقدرتها على تحمل العطل، فهي أصبحت أسرع في الاستجابة، وعزل العطل، وأكثر مرونة مما كانت عليه قبل تطبيق هذه النظرية.

##### 2.5. اختيار الشبكة المرجعية

اختيرت شبكة IEEE-9Bus كشبكة مرجعية، يوضح الشكل (5-1) مخطط الخط الواحد لهذه الشبكة:



الشكل (5-1) مخطط الخط الواحد لشبكة IEEE-9bus

تتألف هذه الشبكة من:

### 1- محطات التوليد:

لدينا في شبكة IEEE-9bus ثلاث محطات توليد ربطت على قضبان التجميع (1-2-3) بتوترات مختلفة

(24kV - 18 - 15.5) على التوالي كما يبين الجدول (5-1).

الجدول (5-1) محددات محطات التوليد [34]

| Qmax<br>Mvar | Qmin<br>Mvar | P<br>MW | V<br>(KV) | Bus Type | Bus ID |
|--------------|--------------|---------|-----------|----------|--------|
| 0            | 0            | ---     | 24        | Slack    | 1      |
| Inf          | Inf          | 270     | 18        | voltage  | 2      |
| inf          | Inf          | 125     | 15.5      | voltage  | 3      |

## 2- محطات التحويل:

تحتوي الشبكة المدروسة ثلاث محولات كهربائية رافعة للتوتر ترفع توتر محطات التوليد إلى 230KV، يبين

الجدول (2-5) محددات هذه المحولات:

الجدول (2-5) محددات محطات التحويل [34]

| S<br>(MVA) | Voltage<br>(KV) | to   | From |
|------------|-----------------|------|------|
| 100        | 24/230          | Bus4 | Bus1 |
| 100        | 18/230          | Bus7 | Bus2 |
| 100        | 15.5/230        | Bus9 | Bus3 |

## 3- خطوط النقل:

تتضمن هذه الشبكة ستة خطوط نقل كهربائية، تربط قضبان التجميع فيما بينها، كما تنتقل الطاقة الكهربائية

للأحمال عند توتر 230KV، يبين الجدول (3-5) محددات خطوط النقل.

الجدول (3-5) محددات خطوط النقل [34]

| C <sub>0</sub><br>nF | C <sub>1</sub><br>nF | L <sub>0</sub><br>mH | L <sub>1</sub><br>mH | R <sub>0</sub><br>mΩ | R<br>mΩ | Length<br>(Km) | Line |
|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|---------|----------------|------|
| 5.89                 | 9.81                 | 3.9                  | 1.3                  | 588                  | 59      | 89.93          | 4-5  |
| 4.88                 | 8.14                 | 3.9                  | 1.3                  | 924                  | 93      | 97.336         | 4-6  |
| 5.41                 | 9.01                 | 3.9                  | 1.3                  | 994                  | 99.4    | 170.34         | 5-7  |
| 5.99                 | 9.98                 | 3.9                  | 1.3                  | 115                  | 115     | 179.86         | 9-6  |
| 5.89                 | 9.81                 | 3.9                  | 1.3                  | 590                  | 59      | 76.176         | 7-8  |
| 5.9                  | 9.83                 | 3.9                  | 1.3                  | 106                  | 59      | 106.65         | 9-8  |

تطبيق نظرية الوكلاء المتعددين على التأهيل الذاتي لنظام الحماية للشبكات الذكية  
عبير أحمد زين

#### 4- الأحمال:

تغذى ثلاثة أحمال من خلال الشبكة المدروسة مربوطة على قضبان التجميع (5-6-8) عند توتر 230KV؛

هذه الأحمال تمثل ثلاثة وكلاء مستهلكين، كما يبين الجدول (5-4) محددات هذه الأحمال:

الجدول (5-4) محددات الأحمال [34]

| P(MW) | Q(MVAR) | Bus ID |
|-------|---------|--------|
| 125   | 50      | 5      |
| 90    | 30      | 6      |
| 100   | 35      | 8      |

#### 3.5. نمذجة شبكة IEEE-9Bus في بيئة الماتلاب

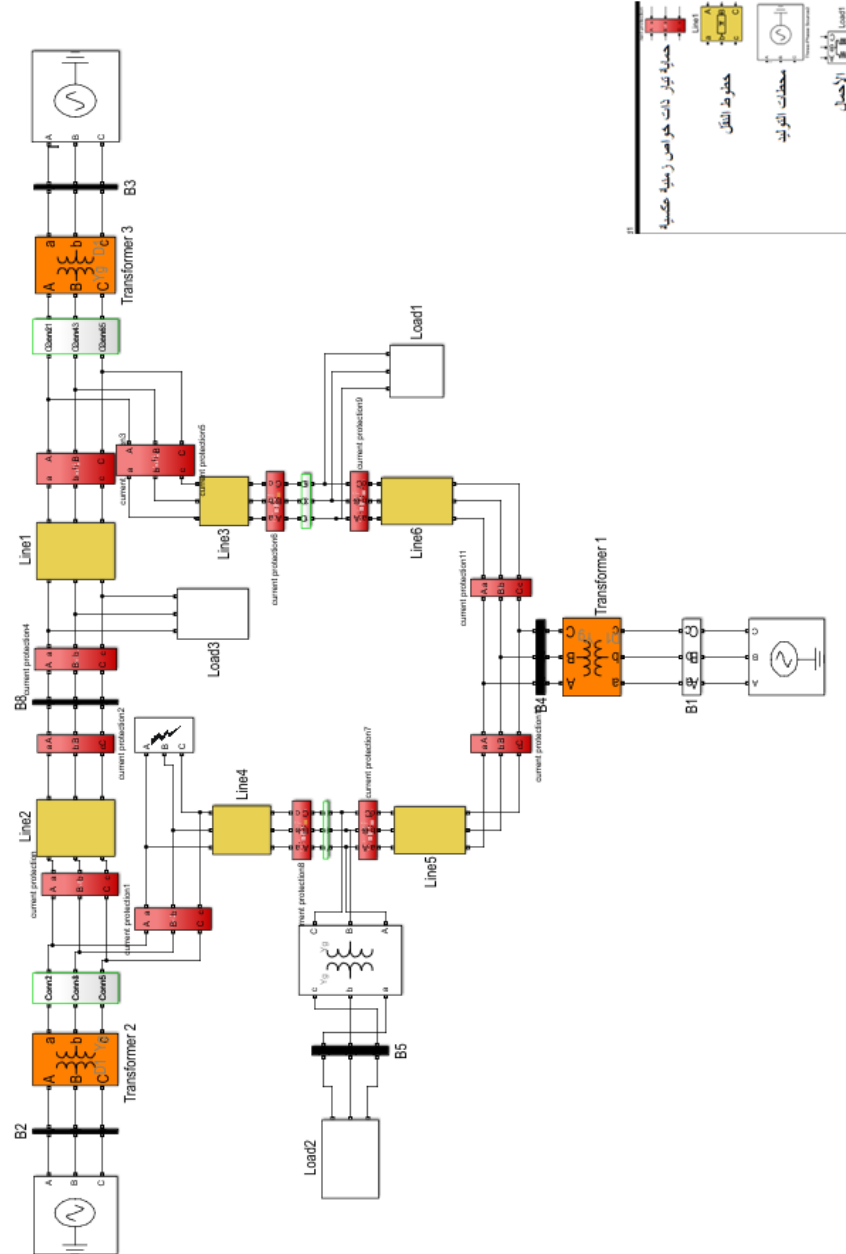
بنيت هذه الشبكة باستعمال برنامج MATLAB لدراسة أداء نظام الحماية، وتوضيح مبدأ عمله القائم على

حماية الشبكة المدروسة عند وجود عطل في خطوط النقل؛ مع استمرارية تغذية أكبر عدد من الوكلاء (الأحمال)،

يوضح الشكل (5-2) الدارة المكافئة لشبكة IEEE-9bus في بيئة MATLAB/Simulink.

تطبيق نظرية الوكلاء المتعددين على التأهيل الذاتي لنظام الحماية للشبكات الذكية

عبير أحمد زين



الشكل (5- 2) الدارة المكافئة لشبكة IEEE-9bus في بيئة Matlab

### 1.3.5. اختبار دارة الحماية

ستختبر هذه الدارة عند وجود عطل ثلاثي الطور عند قضيب التجميع 7؛ بهدف التأكد من عمل الحماية،

وتحقيقها لمبدأي الانتقائية والموثوقية في تحديد العطل، وعزله؛ مع استمرارية تغذية الحمل بالاستطاعة المطلوبة.

## 1- آلية عمل الحماية:

يوجد في دارتنا السابقة ستة خطوط نقل، و 12 حماية تيار زائد ذات خواص زمنية عكسية IODT، وزعت هذه الحماية بداية كل خط نقل ونهايته، وعند تشغيل الدارة تبين أن بعض الحماية تحس للعتل وبأزمنة مختلفة مدرجة ضمن الجدول (5-5).

الجدول (5-5) أزمنة عمل حماية التيار

| رقم الحماية | اتجاه عمل الحماية |         | تحسس | زمن الاستجابة OT | زمن الاستجابة OT |
|-------------|-------------------|---------|------|------------------|------------------|
|             | من bus            | إلى bus |      | Simulation       | Calculation      |
| 1           | 7                 | 5       | ✓    | 0.25             | 0.24             |
| 2           | 5                 | 4       | ✓    | 0.5              | 0.61             |
| 3           | 4                 | 6       |      | Inf              | Inf              |
| 4           | 6                 | 9       |      | Inf              | Inf              |
| 5           | 9                 | 8       | ✓    | 0.5              | 0.48             |
| 6           | 8                 | 7       | ✓    | 0.5              | 0.49             |
| 7           | 5                 | 7       | ✓    | 0.4              | 0.6              |
| 8           | 7                 | 8       | ✓    | 0.5              | 0.48             |
| 9           | 8                 | 9       | ✓    | 0.5              | 49               |
| 10          | 9                 | 6       |      | Inf              | Inf              |
| 11          | 6                 | 4       |      | Inf              | Inf              |
| 12          | 4                 | 5       | ✓    | 0.5              | 0.61             |

وفقاً للجدول السابق، فإن الحماية ستستجيب في أزمنة مختلفة، تبعاً لقيم التيارات المارة بها؛ إذ الحماية

ذات الزمن الأقل هي الحماية الأقرب للعتل، ومن ثم فإن الحماية الأقرب هي الحماية رقم 1 من قضيب التجميع

7 إلى 5 وهو مكان العطل المختار، حسب قيم هذه الأزمنة يدوياً؛ للتأكد من قيم النمذجة وأدرجت في العمود

السادس من الجدول (5-5)؛ إذ وجدنا أن القيم كانت متقاربة في قضبان التجميع القريبة من العطل، وكانت نسبة خطأ القراءة تتراوح بين (0.18, -0.042) مما يؤكد دقة البرنامج المبني، وقدرته على تحديد زمن العطل.

طبق تنسيق بين الحماية على أساس الأزمنة (الحماية ذات الزمن الأقل هي التي تقوم بالفصل أولاً، وتكون الحماية التي تليها بقيمة الزمن بمنزلة حماية احتياطية تعمل في حال فشل الأولى)، هذا التنسيق سيطبق؛ باستعمال نظرية الوكلاء المتعددين بعد إرسال هذه الأزمنة إلى برنامج Eclipse الذي يعمل في بيئة جافا؛ وفق الخطوات الآتية:

1- بناء نموذج للشبكة الكهربائية في بيئة ماتلاب MATLAB/Simulink.

2- تشغيل البرنامج.

3- توليد عطل على أحد خطوط النقل.

4- تحديد أزمنة الفصل من قبل الحماية المستعملة.

5- إرسال أزمنة الفصل لنظام الوكلاء المتعددين.

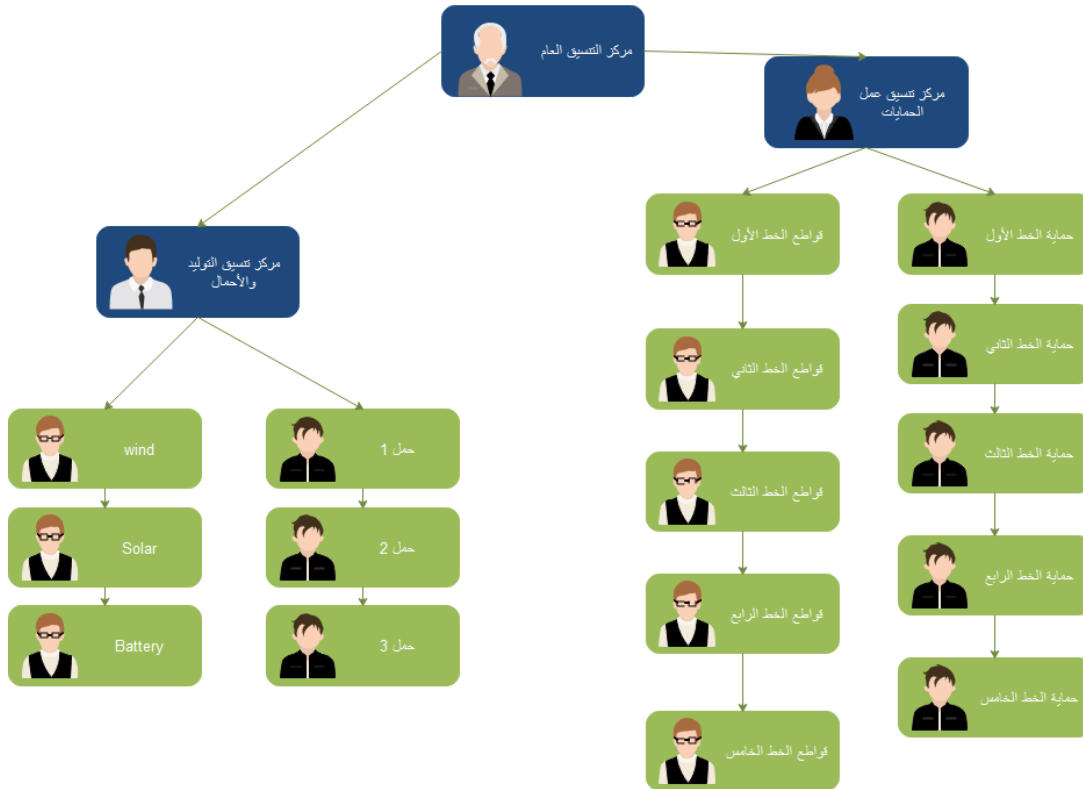
6- تحديد مكان العطل، وزمن الفصل المناسب من قبل نظام الوكلاء المتعددين.

7- طباعة أوامر الفصل، وإرسالها إلى القواطع في نموذج الشبكة الكهربائية.

8- تشغيل الدارة؛ للتحقق من عزل العطل، واستمرارية تغذية الأحمال.

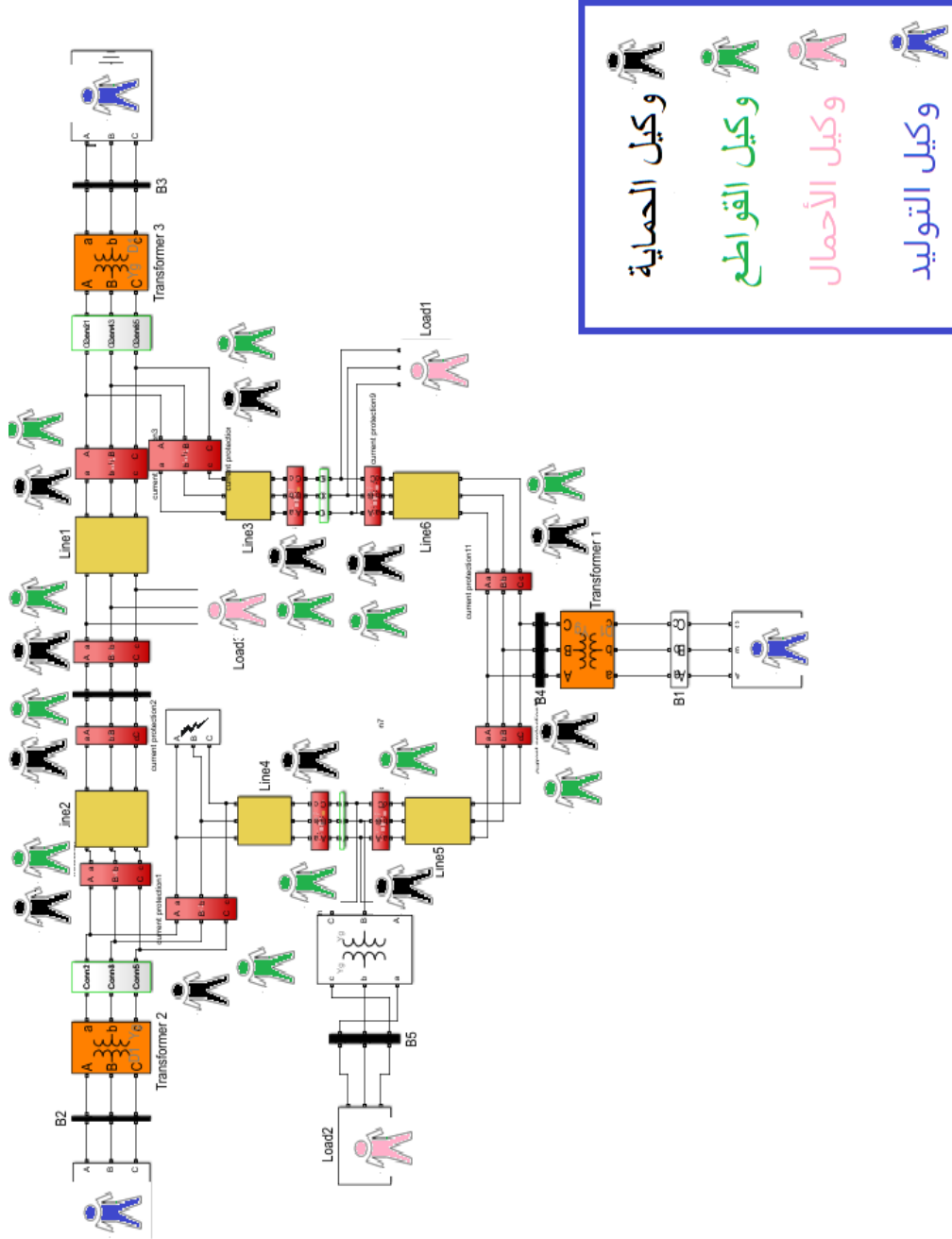
#### 4.5. تصميم نظام وكلاء متعددين لشبكة IEEE-9Bus

بني نظام وكلاء متعددين يتضمن مركز تنسيق عام مرتبط مع مركزي تنسيق (مركز تنسيق الحماية - مركز تنسيق الأحمال والتوليد)، كما هو موضح في الشكل (3-5).



الشكل (3-5) مخطط صندوق نظام الوكلاء المتعددين

يعبر عن كل حماية بوكيل حماية؛ بالتالي لدينا 12 وكيل حماية، وهؤلاء الوكلاء يرتبطون مع مركز تنسيق عمل الحماية الذي يحدد مكان العطل، وإرسال أوامر الفصل لوكيل القواطع الذي بدوره يرسلها إلى نموذج الشبكة، كما يعلم مركز التنسيق مركز التنسيق العام بالأمر المتخذ من قبله، يوضح الشكل (4-5) الوكلاء على نموذج الشبكة الكهربائية.



الشكل (4-5) تطبيق الوكلاء على الشبكة المرجعية

بعد هذا التعديل يقوم مركز تنسيق الأحمال والتوليد بموازنتهم، وفي حال نقصان التوليد يدخل أحد وكلاء

التوليد المدرجة في الشكل (4-5) (رياح - شمس - مدخرات).

#### 1.4.5. الوكلاء

- (1) وكيل مركز التنسيق العام **Dispatching Center**.
  - (2) وكيل مركز تنسيق عمل الحماية والقواطع **Protections**.
  - (3) وكيل مركز تنسيق التوليد والأحمال **Load Dispatching**.
  - (4) وكلاء الحماية من **P1** إلى **P12**.
  - (5) وكلاء القواطع **CBs**.
  - (6) وكلاء التوليد **GEN**.
  - (7) وكلاء الأحمال **LOAD**.
- تم تصميم الوكلاء في برنامج Eclipse ضمن منصة جاد، كما هو موضح في الشكل (1) من الملحق A.

#### 2.4.5. آلية عمل نظام الوكلاء المتعددين

عند تشغيل المنصة بدايةً يعرض وكلاء التشغيل الأساسيين (ams-df-rma)، بعد وصول البيانات من نموذج الشبكة الكهربائية في بيئة الماتلاب توزع هذه الرسائل على وكلاء الحماية؛ إذ يعلم كل وكيل وكلاء الحماية الآخرين عن قدرته على تحسس العطل، وزمن الفصل إن تحسس، أو عدم تحسسه للعطل. تبين النتائج أن الحماية التي تحسست للعطل، هي (1-2-4-9-10-11-12) وصاحبة أقل زمن هي الحماية رقم 1 التي يعبر عنها ب 0؛ بوصفه أول حد في مصفوفة الترميز قمنا بها بلغة جافا رتبته 0 بزمن عمل قدره 0.24.

Protection P1 sees the fault and the Operation Time is: 0.24

Protection P2 sees the fault and the Operation Time is: 0.61

Protection P3 doesn't see the fault

Protection P4 sees the fault and the Operation Time is: 0.62

Protection P5 doesn't see the fault

Protection P6 doesn't see the fault

Protection P7 doesn't see the fault

Protection P8 doesn't see the fault

Protection P9 sees the fault and the Operation Time is: 0.48

Protection P10 sees the fault and the Operation Time is: 0.49

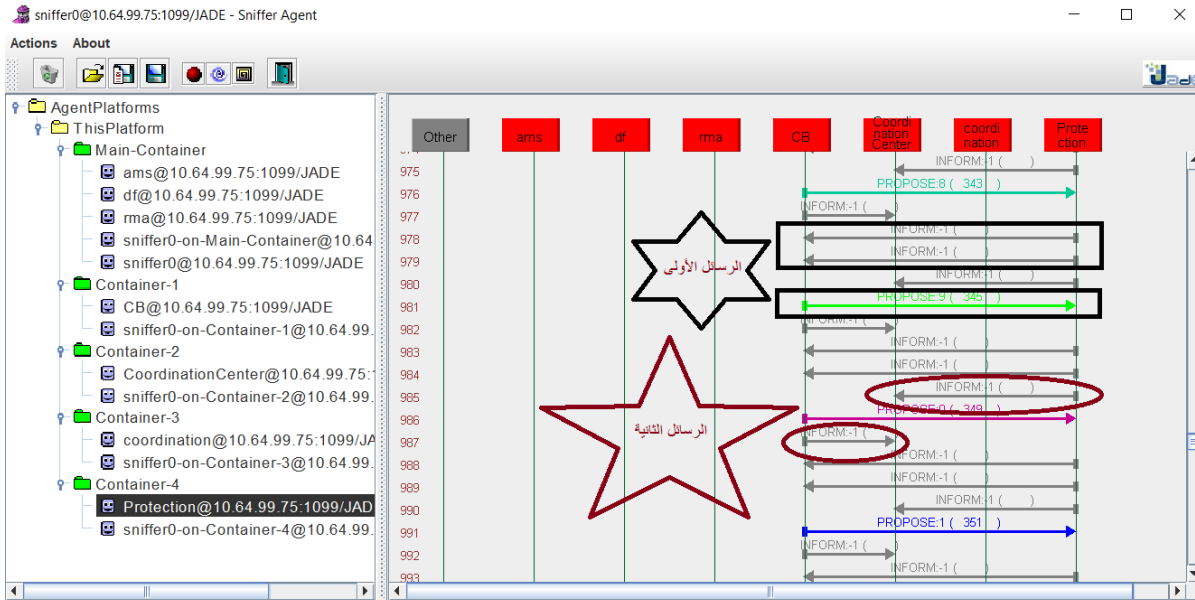
Protection P11 sees the fault and the Operation Time is: 0.49

Protection P12 sees the fault and the Operation Time is: 0.49

the Fault in 0

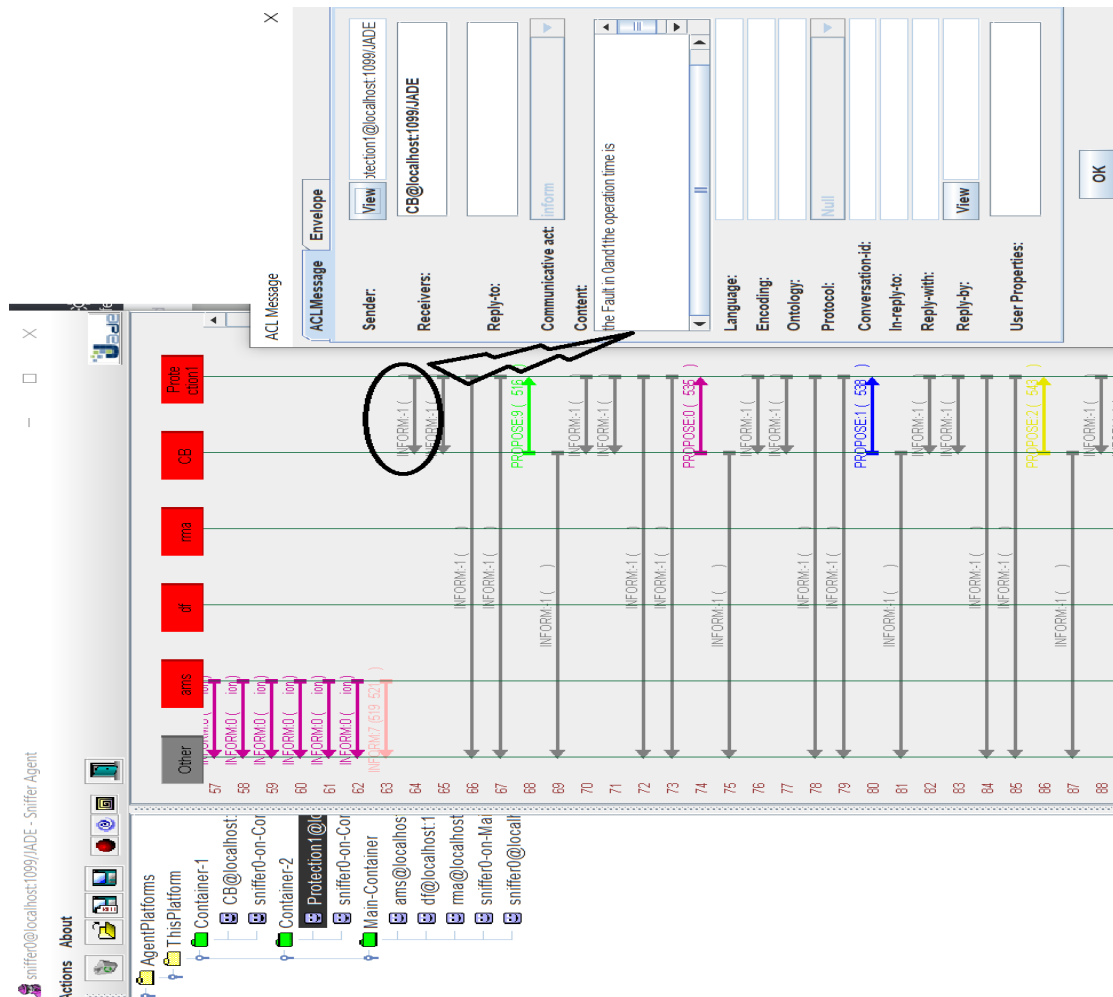
the operation time is 0.24

بعد ذلك تبدأ المراسلات بين الوكلاء، كما هو موضح في الشكل (5-5).



الشكل (5-5) نظام الرسائل المتبادل بين الوكلاء في منصة جاد

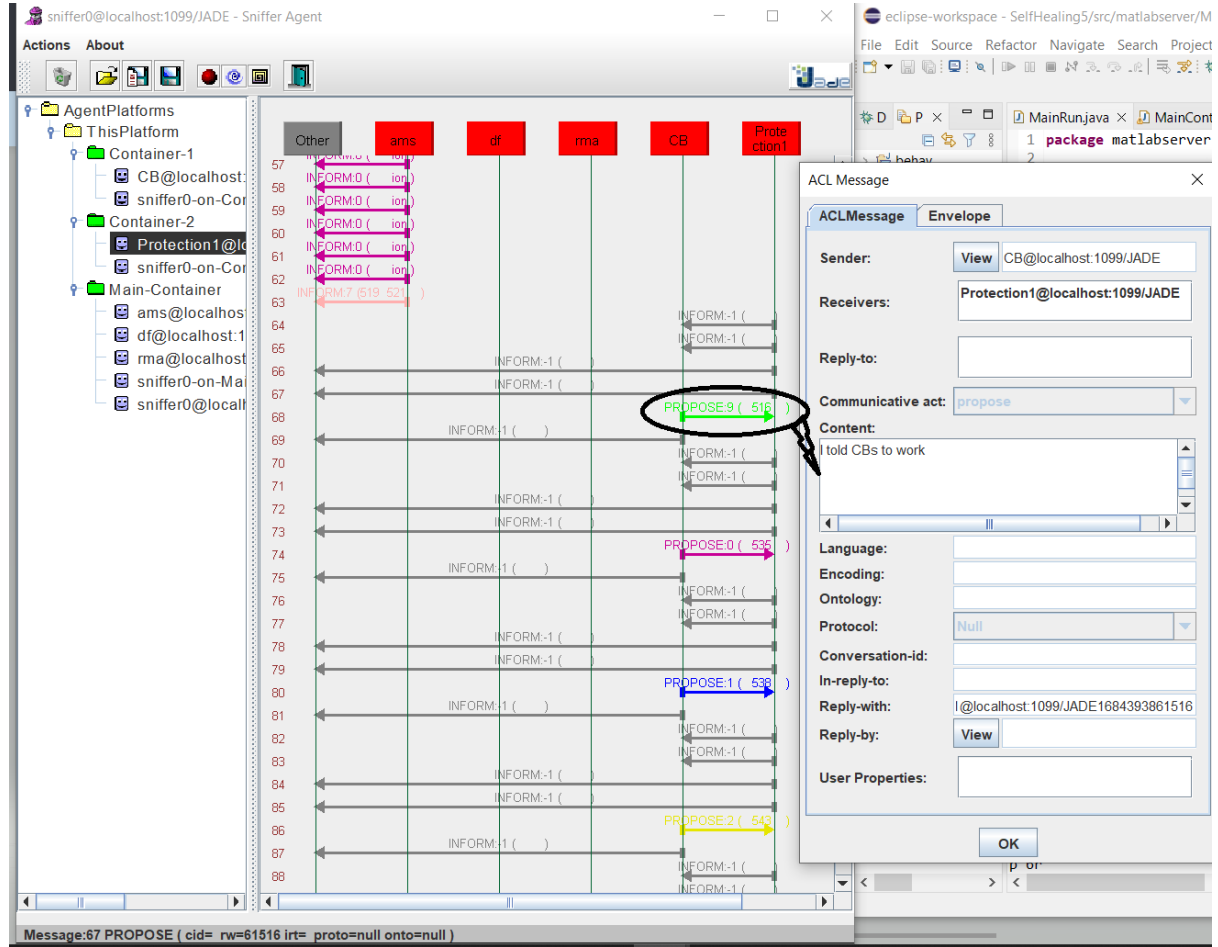
الرسائل الأولى: هي للتحديد الأمثل والأقرب على العطل (مبدأ الانتقائية)، وضمن عمل القواطع المسؤولة عن العطل فقط (مبدأ الموثوقية)، يرسل وكيل الحماية مكان العطل لوكيل القواطع؛ ليتخذ الإجراء المناسب؛ وفق الرسالة الموضحة في الشكل (5-6).



الشكل (5-6) الرسائل المرسلة من وكيل الحماية لوكيل القواطع

تطبيق نظرية الوكلاء المتعددين على التأهيل الذاتي لنظام الحماية للشبكات الذكية  
عبير أحمد زين

ليقوم وكيل القواطع بدوره بأخذ القرار وإعلام وكيل الحماية بأن القرار اتخذ وفق الرسالة الموضحة في الشكل (5-7). وهنا يكون البرنامج قادراً على إرسال أوامر إعادة هيكلية الشبكة إلى نموذج الشبكة لحذف العطل.



الشكل (5-7) الرسائل المرسل من وكيل القواطع لوكيل الحماية

الرسائل الثانية: تستعمل لإعلام مركز التنسيق العام بالأوامر المتخذة والخطوط المحذوفة والمضافة، وهو

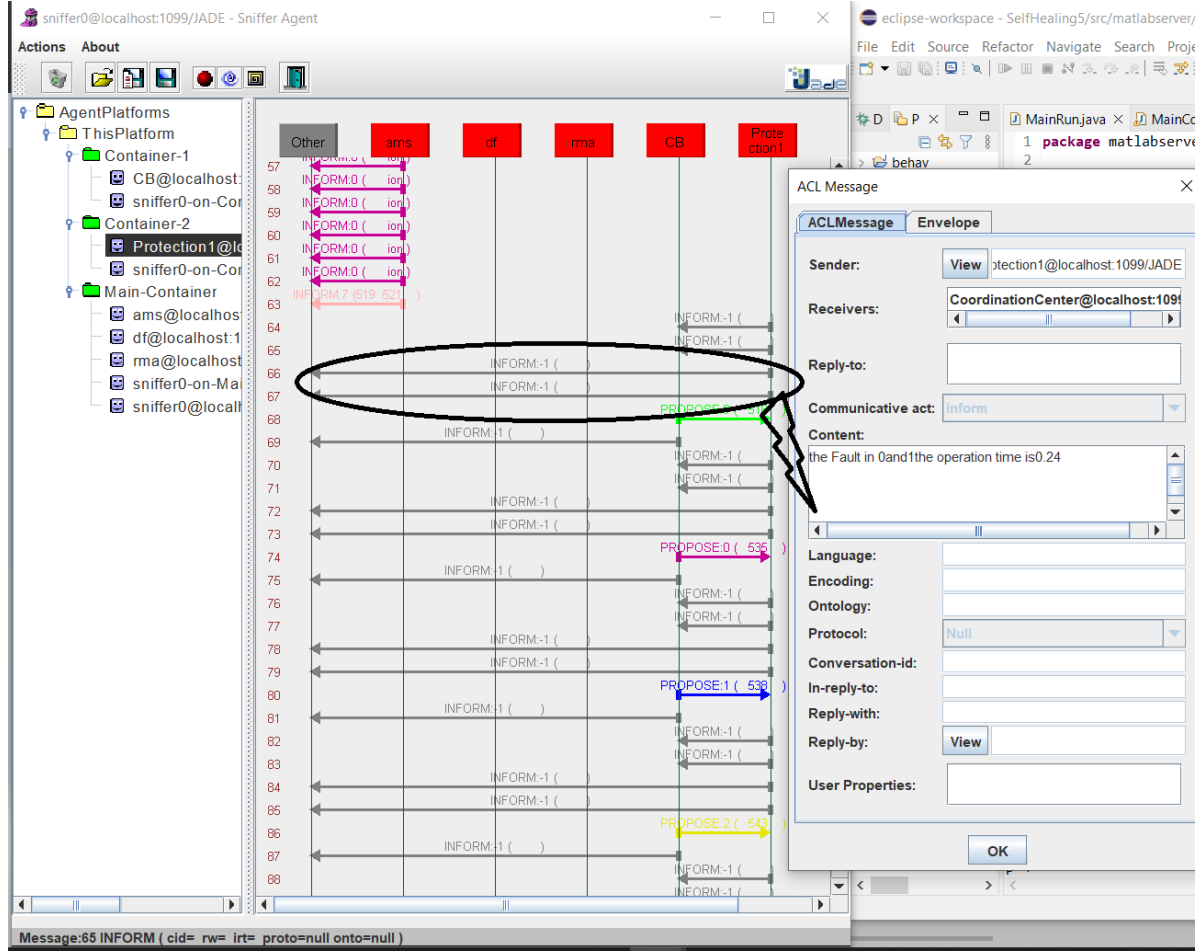
بدوره يتأكد من تغذية الأحمال فيما بعد من خلال منسق التوليد والتوزيع.

بداية يرسل وكيل الحماية رسالة بإعلامه بـمكان حدوث العطل، وزمن العمل اللازم؛ لتفادي أي حالة فشل

في وكيل القواطع؛ ومن ثم مركز التنسيق العام يقوم بالمهام المطلوبة من وكيل القواطع في حال فشله (هنا يكون

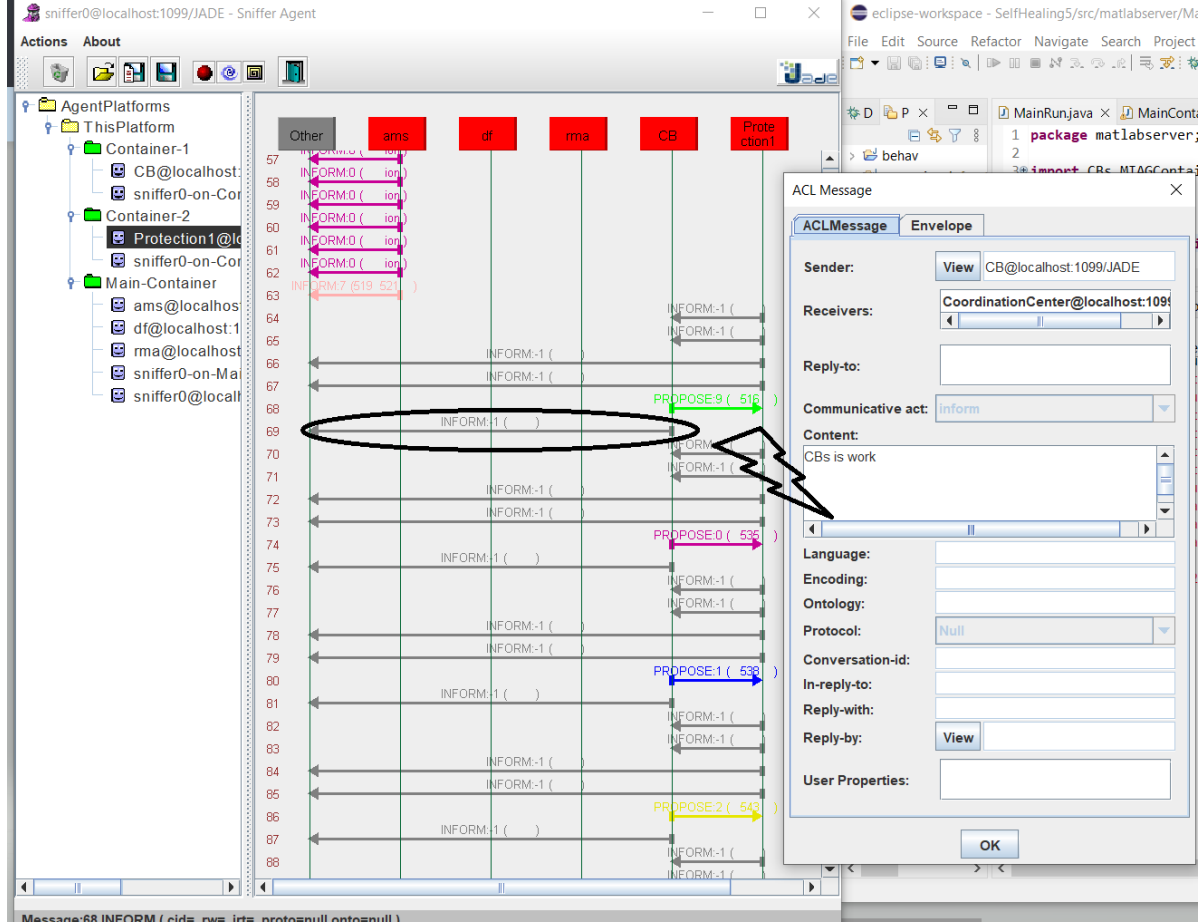
تطبيق نظرية الوكلاء المتعددين على التأهيل الذاتي لنظام الحماية للشبكات الذكية  
عبير أحمد زين

بمنزلة وكيل احتياطي له) أو ينشئ وكيل قواطع جديد يقوم مكان الوكيل الحالي، يوضح الشكل (5-8) الرسالة المرسله من وكيل الحماية إلى مركز التنسيق العام:



الشكل (5-8) الرسائل المتبادلة بين وكيل الحماية ومركز التنسيق العام

يقوم وكيل القواطع بإعلام مركز التنسيق بقيامه بالمهام المطلوبة من خلال رسالة موضحة في الشكل (5-9) ويعد غياب هذه الرسالة أو تأخرها بمنزلة فشل لهذا الوكيل؛ لذلك تعد من الرسائل المهمة في نموذجنا هذا.



الشكل (5-9) الرسائل المتبادلة بين وكيل القواطع و مركز التنسيق العام

## 5.5. التأهيل الذاتي لشبكة IEEE-9Bus

يعتمد التأهيل الذاتي على اكتشاف العطل، وعزله دون أي تدخل بشري مع الأخذ بالحسبان استمرار تغذية الأحمال، وإعطاء الأولوية في التغذية للأحمال الحرجة في حال الاضطراب لحذف بعض الأحمال، بناء على ذلك وزعت المهام على الوكلاء.

### 1.5.5. بدون استعمال نظرية الوكلاء المتعددين

تحتوي الطريقة التقليدية على حماية تيار زائد ذات خواص عكسية عند بداية كل خط نقل ونهايته، يتم

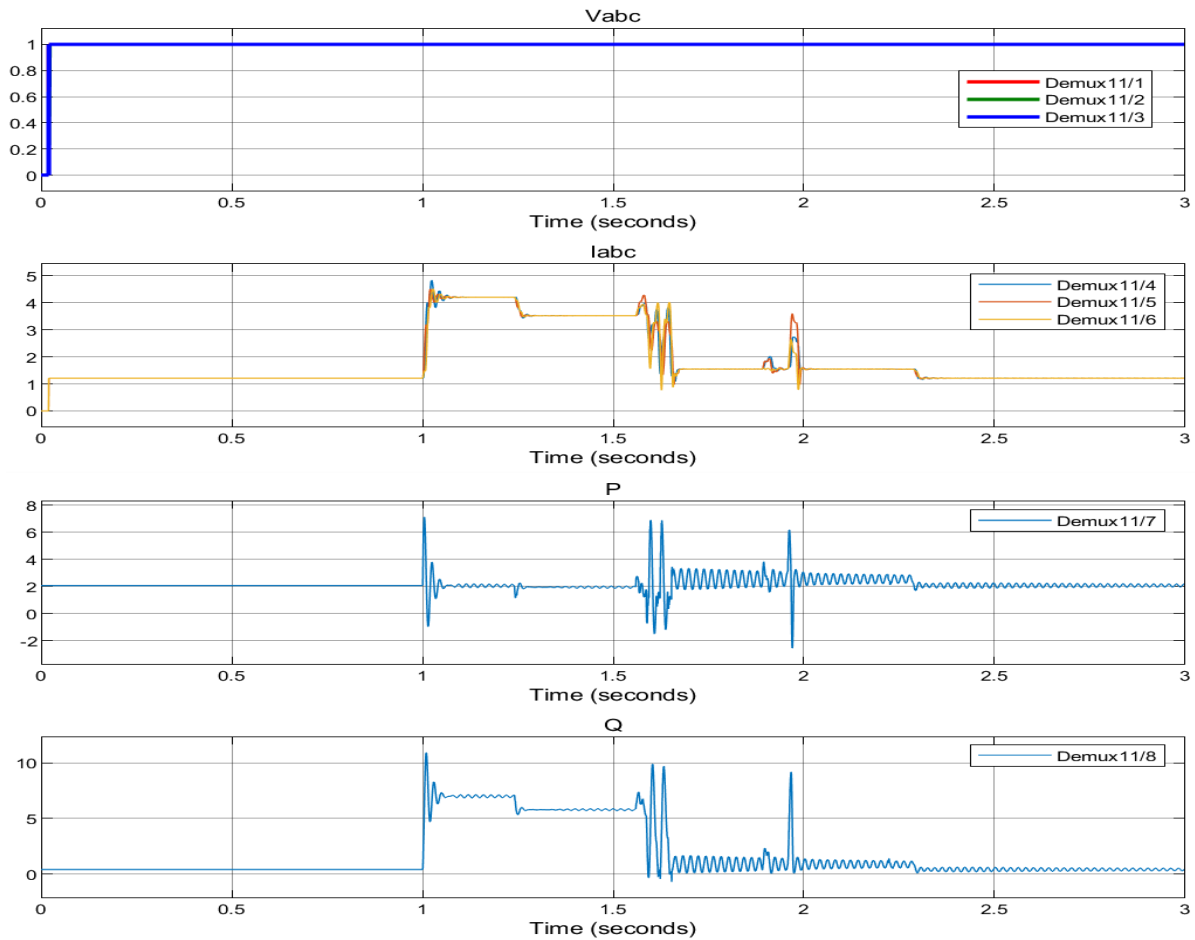
الفصل وفق الزمن المحدد من قبل هذه الحماية.

1- أثر هذه الطريقة في التوليد:

يوضح الشكل (5-10) أن الحماية تحسنت للعطل الذي كانت بدايته عند الزمن 1Sec، واستمر حتى

2Sec، أرسلت الحماية عند قضيبي التجميع 7 أمر الفصل عند الزمن 1.24Sec، بينما الحماية عند قضيبي

التجميع 5 ترسل أمر الفصل عند الزمن 1.7Sec .

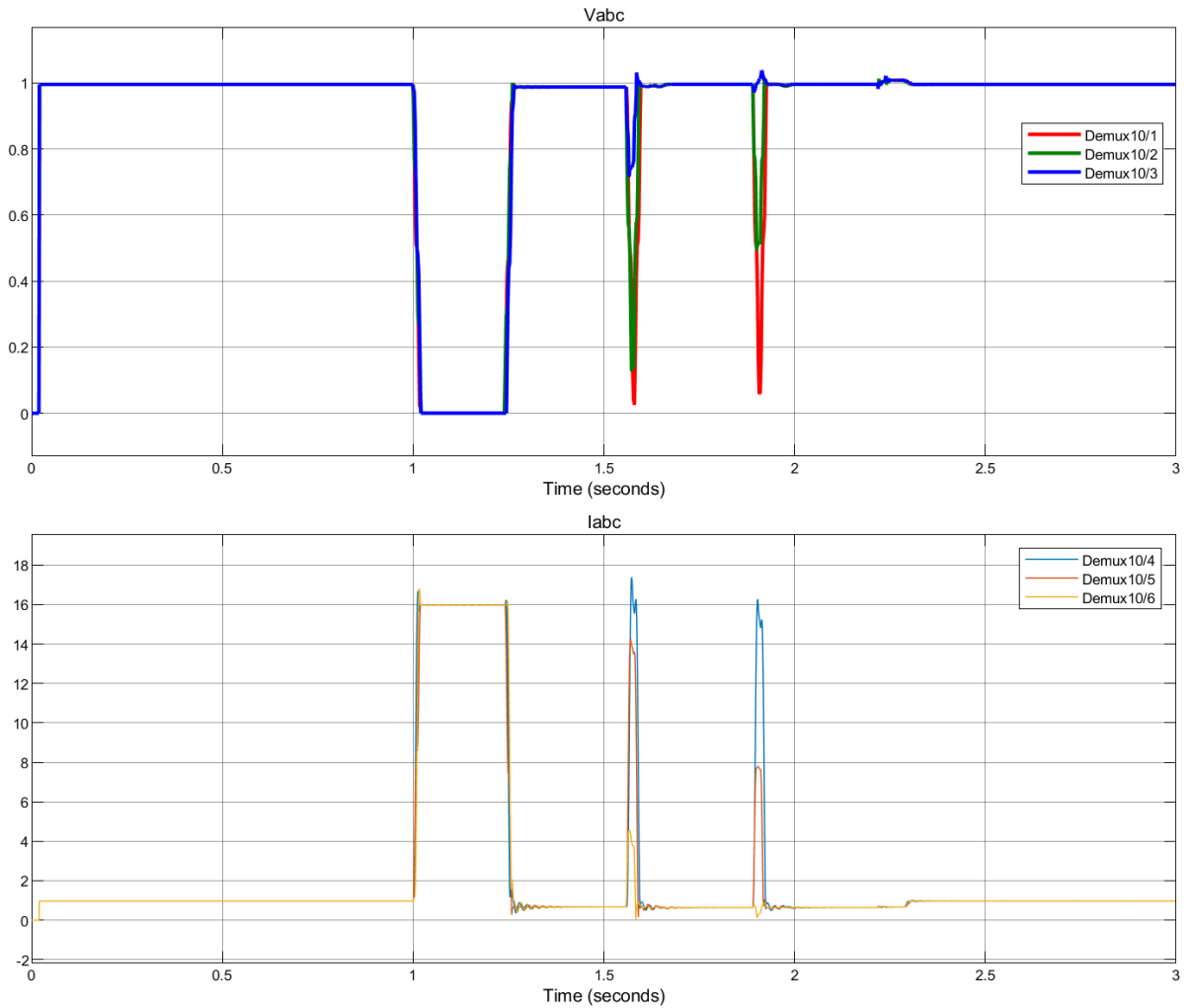


الشكل (5-10) أثر العطل في قضيبي التجميع 1

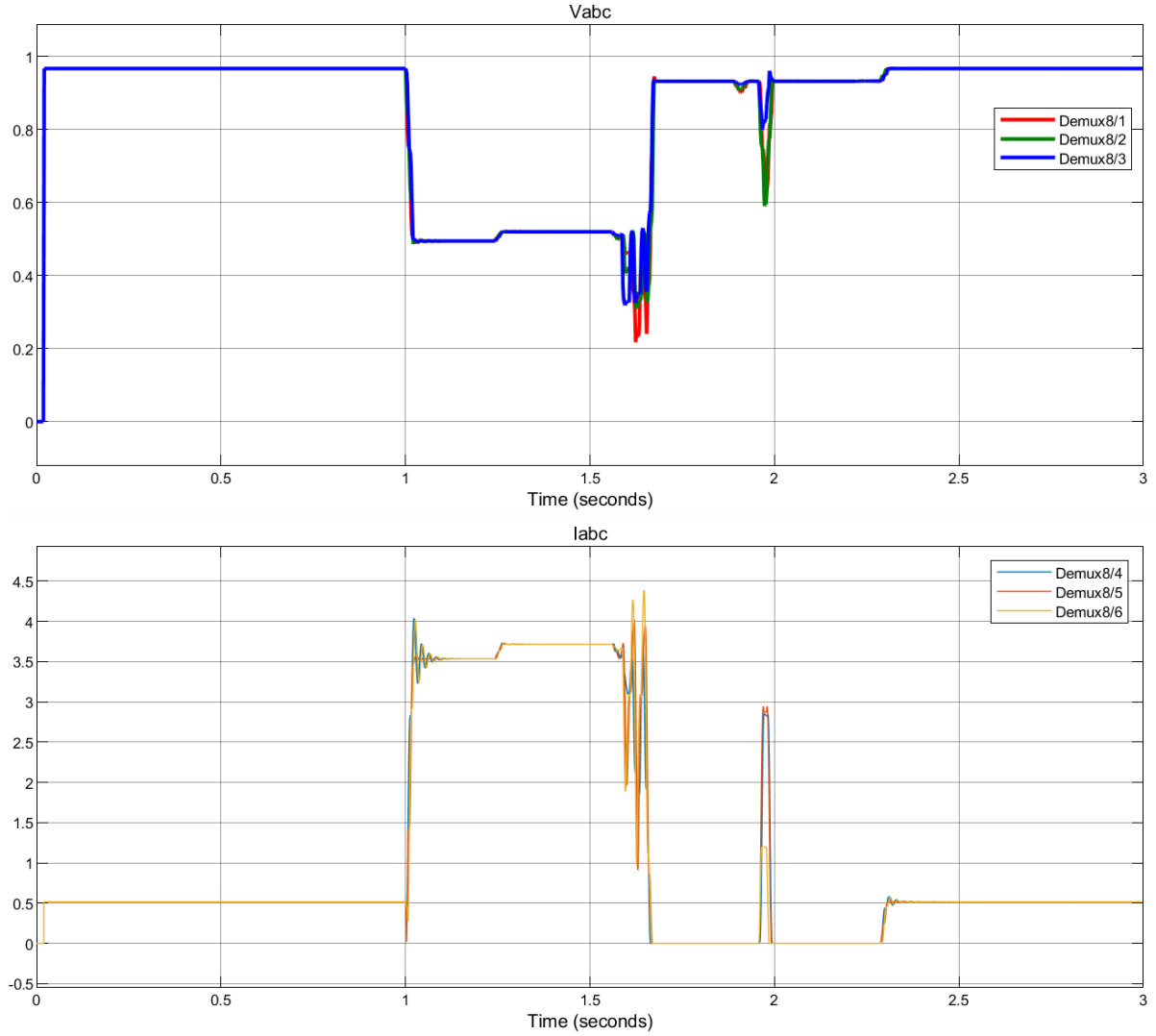
## 2- أثر العطل على قضبان التجميع:

يتشابه سلوك قضبان التجميع في الشبكة المدروسة مع اختلاف العقدة الأقرب للعطل؛ لأن زمن الفصل عندها هو الأقصر؛ لذلك ستدرج حالة قضيب التجميع رقم 7 بوصفه الأقرب للعطل في الشكل (5-11)؛ إذ تبين النتائج أن الفصل تم عند الزمن 1.24Sec، واستمر حتى نهاية العطل، بينما بالنسبة لقضيب التجميع 5 تم الفصل عند الزمن 1.7Sec وبفصله حُذف خط النقل المعطل حتى نهاية العطل، كما هو موضح في الشكل

(5-12).



الشكل (5-11) أثر العطل على قضيب التجميع 7



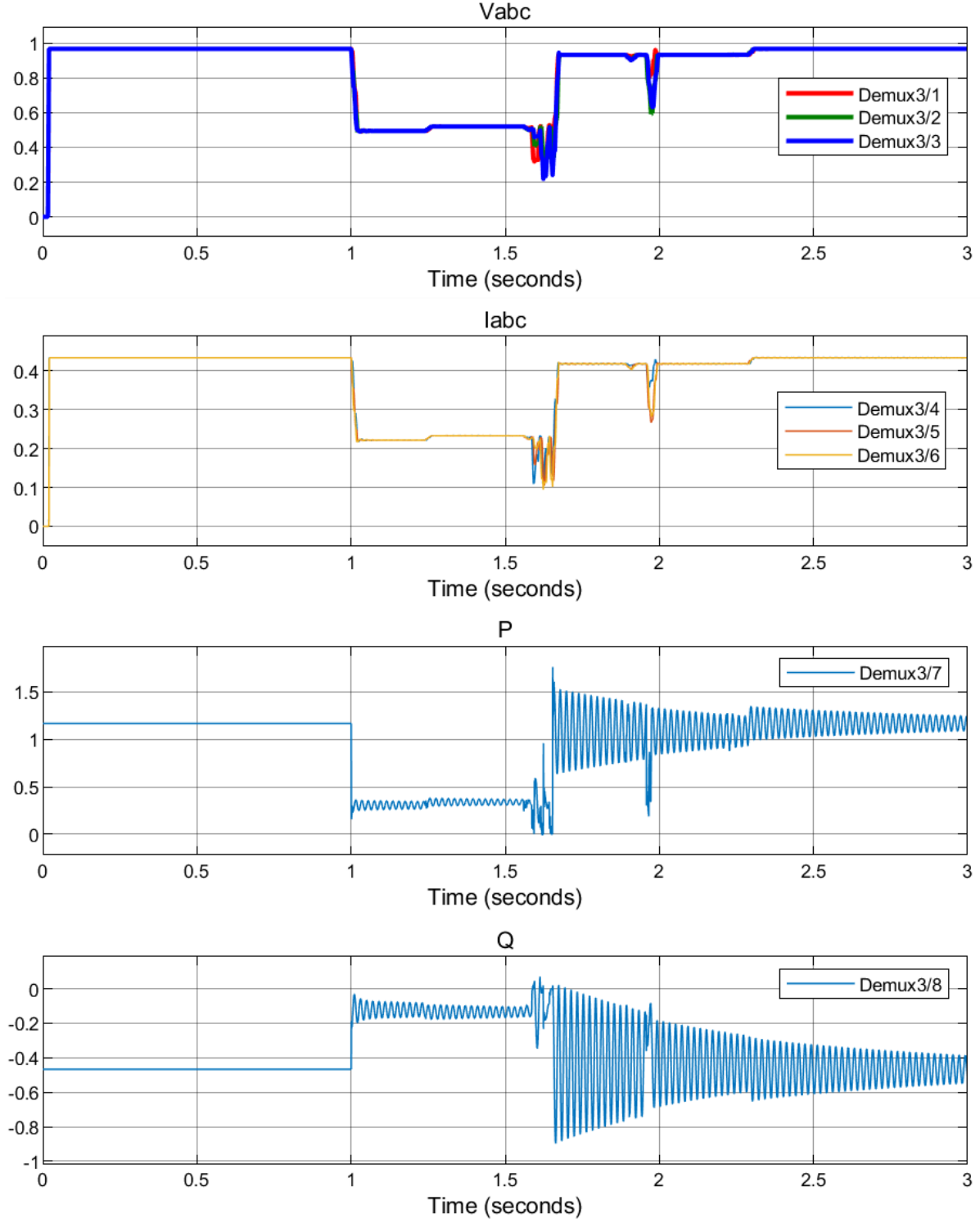
الشكل (5-12) أثر العطل على قضيب التجميع 5

## 3- أثر العطل في الأحمال:

لدراسة هذه الحالة اختير أقرب حمل للعطل، بوصفه الأكثر تأثراً، وأدرج ضمن الشكل (5-13)؛ إذ تبين

النتائج انخفاض التيار المستقر، والتوتر والاستطاعة في فترة استجابة الحماية بداية الخط المعطل ونهايته (1-

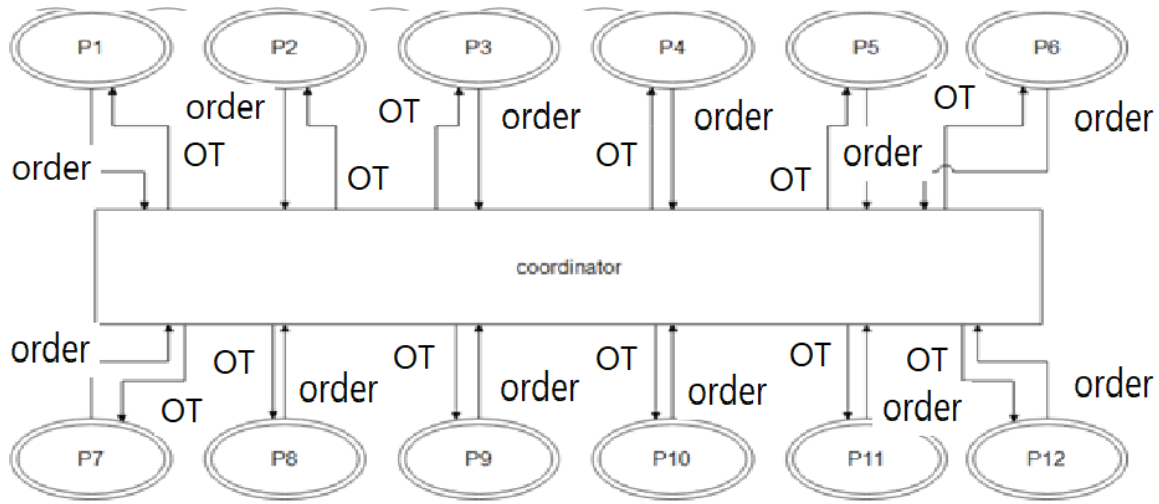
1.7Sec).



الشكل (5-13) أثر العطل في الحمل

### 2.5.5. خوارزمية التأهيل الذاتي

يوضح الشكل (5-14) مخططاً توضيحياً للتأهيل الذاتي؛ إذ تتشابك مخرجات الحماية ضمن المنسق coordinator الذي يخرج مصفوفة من 12 حرفاً تحوي مجموعة أصفار ووحدات (1: القاطع مغلق، 0: القاطع مفتوح) الذي سيطبق لاحقاً في نظام الوكلاء المتعددين.



الشكل (5-14) مخطط توضيحي لمبدأ التأهيل الذاتي

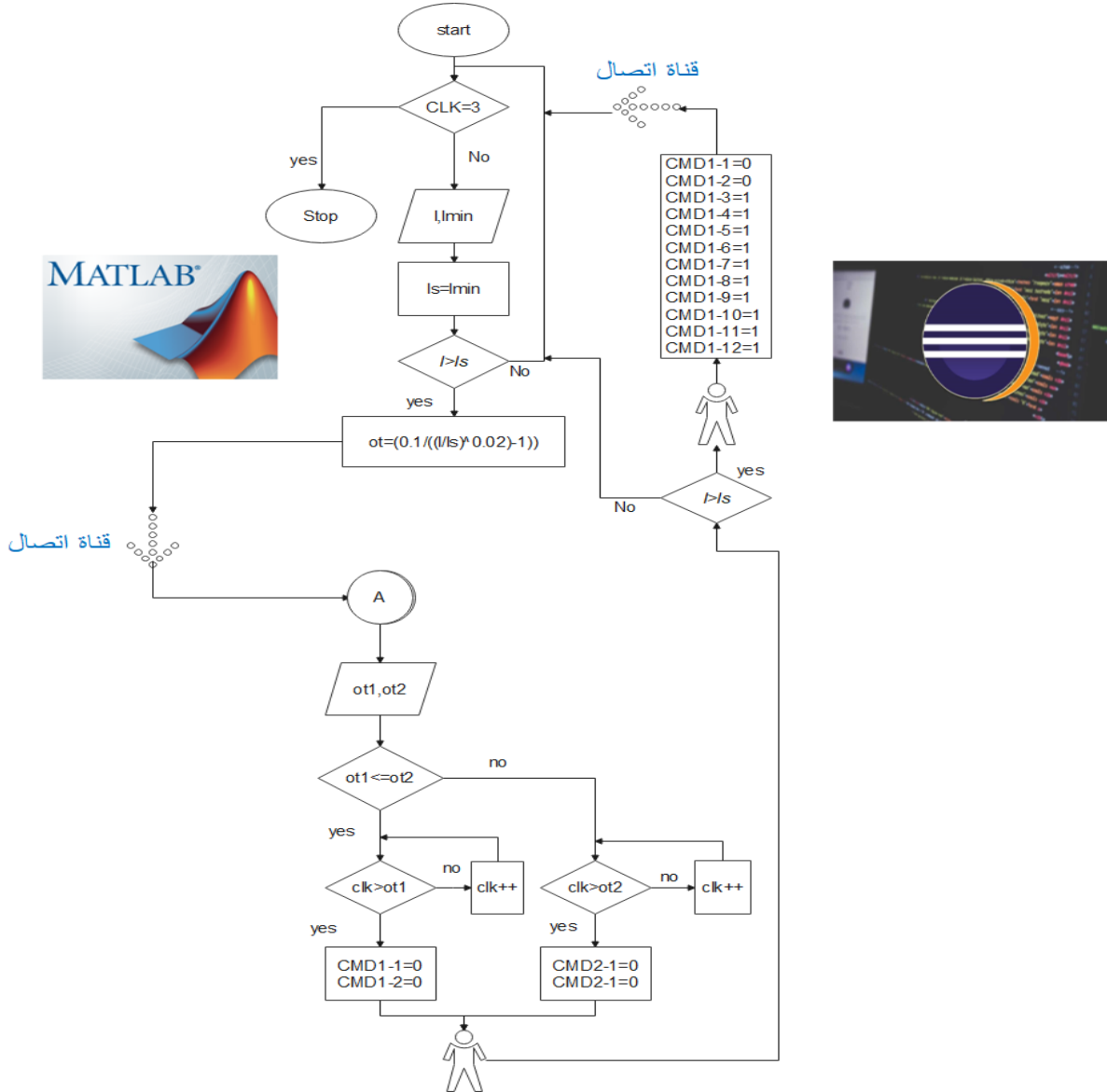
يحدد مكان العطل تبعاً لقيمة التيار (التيار الأعلى هو الأقرب للعطل)؛ ومن ثم زمن الفصل لهذا الجزء يجب أن يكون هو الأصغر؛ وفقاً للخوارزمية الموضحة من خلال المخطط الصندوقي في الشكل (5-15).

يبين المخطط أنه مع بدء عملية النمذجة التي مدتها 3sec في مثالنا يقوم بإدخال قيم التيار، ومقارنتها بقيمة مرجعية تساوي 1.2In، وإذا كانت أكبر منها يحسب نموذج الشبكة زمن العمل OT؛ وفقاً لحماية التيار الزائد ذات الخواص الزمنية العكسية المستعملة، ويرسل هذه القيم إلى نظام وكلاء متعددين ضمن منصة جاد عن طريق قناة اتصال أنشئت بين برنامجي Matlab-Eclipse، يحدد نظام الوكلاء المتعددين مكان العطل، وزمن الفصل الأنسب ممثلاً بتأخير زمني يساوي قيمة أصغر تيار زمن فصل وارد له، وبعد انقضاء المهلة يرسل أوامر الفصل والوصل للقواطع في بيئة الماتلاب عبر قناة اتصال أخرى، ومن ثم تعاد هيكلية الشبكة وفقاً للأوامر الواردة.

تطبيق نظرية الوكلاء المتعددين على التأهيل الذاتي لنظام الحماية للشبكات الذكية  
عبير أحمد زين

الرمز **CMD1-2**: المقصود به رسالة من الحماية رقم 1 إلى القاطع رقم 2، وهي في مثالنا أمر بفصل هذا

القاطع.

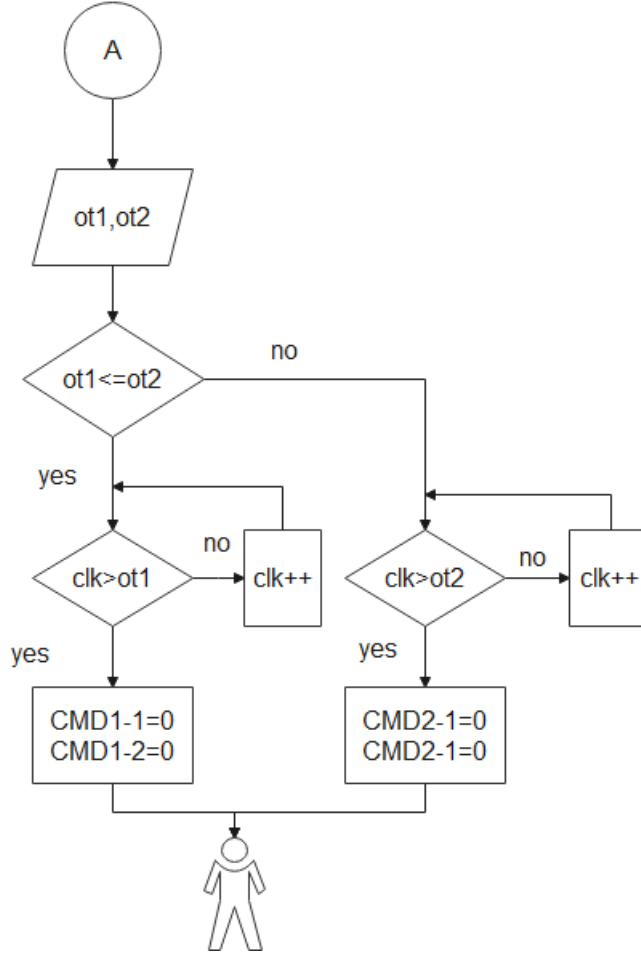


الشكل (5-15) المخطط الصندوقي لآلية عمل الحماية والتنسيق مع بقية الحماية

كما نسق بين الحماية على طول خطوط النقل؛ إذ ترسل الحماية 1 و 2 أوامر الفصل ليفصل الخط

كاملاً في التوقيت نفسه، في مثالنا الحماية 1 و 2 تمثلان خط النقل المعطل بالتالي الحماية 1 ترسل أمراً ل 2

لتفصل عند الزمن 0.24؛ بوصفه الزمن الأقل، الشكل (5-16) يمثل الجزء الخاص بالتنسيق، بين هاتين الحمايةتين.



الشكل (5-16) المخطط الصندوقي لآلية التنسيق بين حمايتي بداية ونهاية خط النقل 5-7

بهذه الطريقة عُرِل العطل في الفترة **0.24Sec**؛ علماً أن العطل استمر من **1-2sec**، وزمن النمذجة **3sec**.

تختار القواطع التي تفصل؛ وفقاً لمصفوفة مؤلفة من سطر واحد و12 عموداً (نمبر ب 0 عن القاطع الذي

يفصل و1 للقاطع الذي يوصل) كما يأتي:

[0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1]

### 3.5.5. نتائج تطبيق نظرية الوكلاء المتعددين على التأهيل الذاتي لشبكة IEEE-9Bus

#### 1- أثر التأهيل الذاتي في التوليد:

لدينا ثلاثة منابع كان لها السلوك نفسه؛ لذلك ستعرض نتائج النمذجة لواحد فقط هو المولد الأول عند قضييب

التجميع 1.

يوضح لنا الشكل (5-17) هذه النتائج بالقيم الواحدية؛ إذ نلاحظ أن التوتر حافظ على قيمته؛ مع ازدياد

كل من التيار والاستطاعة عن قيمه الواحدية في فترة استجابة الحماية (1.24-1sec) وهي المهلة التي اختارها

نظام الوكلاء المتعددين 0.24Sec، وبعد مرور هذا الزمن فصل خط النقل المعطل؛ لذلك نلاحظ عودة القيم إلى

حالتها الطبيعية في الزمن (2-1.24sec) رغم استمرار العطل على الخط.

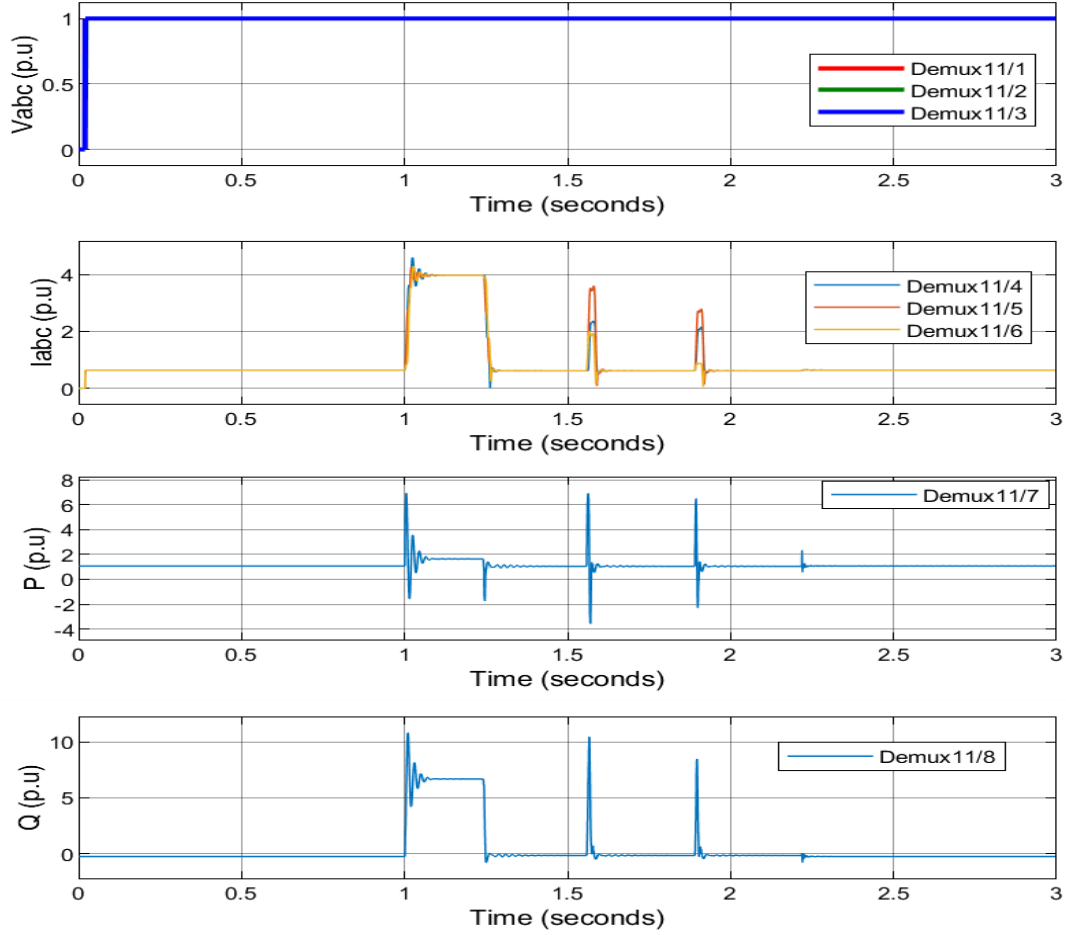
تتميز هذه الحماية بمعيد إغلاق آلي تم تعيينه على الزمن 0.3sec؛ لذلك عند مرور هذا الزمن سيعاد إرسال

البيانات من نموذج الشبكة إلى نظام الوكلاء المتعددين؛ للتأكد من زوال العطل، ويعود للفصل في حالة استمرار

العطل، كما هو موضح على الشكل في الأزمنة (1.6-1.9 sec).

إذ زال العطل في الزمن 2sec، لكن معيد الإغلاق يعمل في الزمن 2.2sec؛ لذلك تم أعيد إرسال أوامر

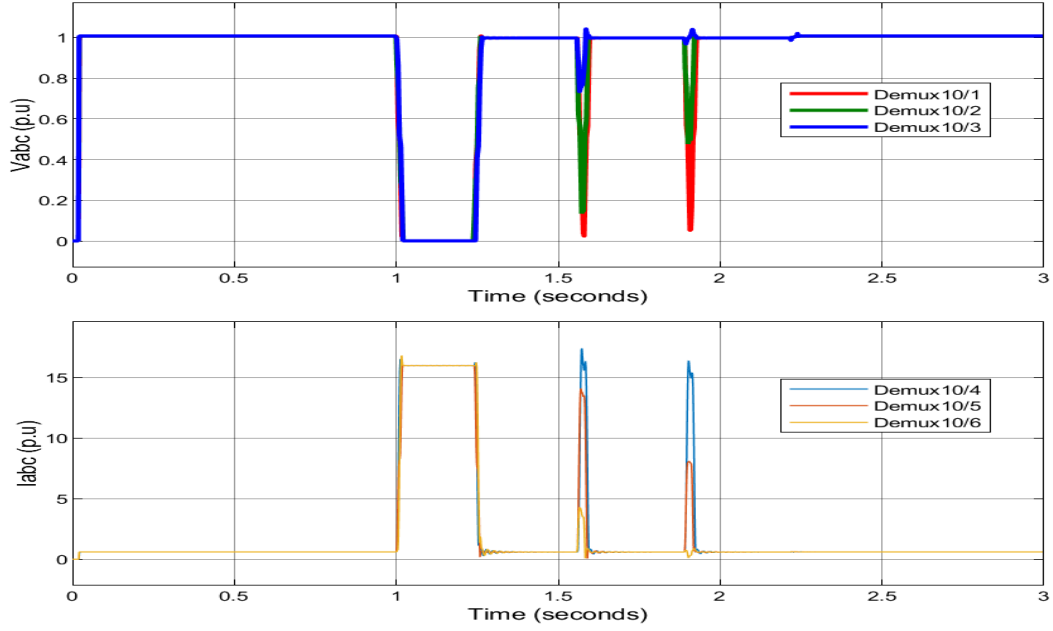
تقتضي بإعادة وصل الشبكة كما كانت قبل تطبيق العطل.



الشكل (5-17) أثر العزل في المولد G1

## 2- أثر التأهيل الذاتي في قضيب التجميع 7 (مكان العطل):

يوضح الشكل (5-18) أن توتر قضيب التجميع 7 انخفض إلى الصفر في فترة استجابة الحماية في الزمن (1-1.24sec)، أما التيار فازداد إلى 16p.u، وعاد إلى قيمه الأساسية (2-1.24sec)؛ مع العلم أن بقية القضبان لم يهبط التوتر إلى الصفر؛ بل إلى النصف، ولكن اختير أسوأ حالة لعرضها ضمن هذه الأطروحة، وهو نقطة العطل لبيان نجاعة الطريقة المقترحة.



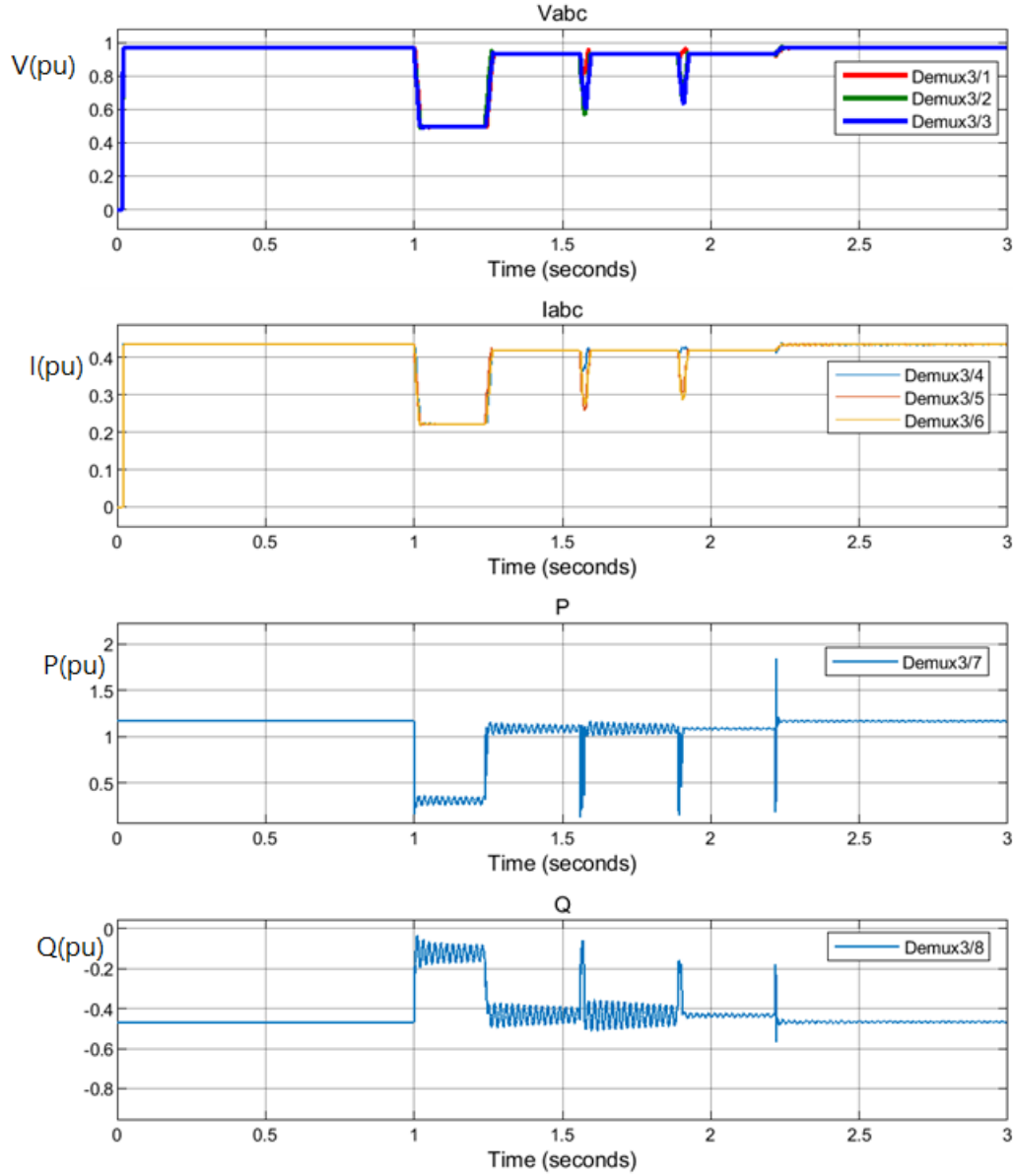
الشكل (5-18) أثر التأهيل الذاتي في قضييب التجميع 7

### 3- أثر التأهيل الذاتي في الأحمال:

يوضح الشكل (5-19) أن الحمل استمر في استرجار التغذية بعد عزل الخط المعطل، وهو الهدف الأساسي

من هذه الطريقة؛ إذ انخفض التوتر والتيار والاستطاعة في أثناء العطل، وقبل فصل الخط (1-1.24Sec) ثم عاد

رغم استمرار العطل.



الشكل (5-19) أثر التأهيل في الأحمال

## مناقشة النتائج:

نلاحظ من الأشكال (17-18-19) أن تطبيق نظرية الوكلاء المتعددين على التأهيل الذاتي استطاعت المحافظة

على استرجار الحمل للطاقة رغم غياب خط نقل، كما قلل ضياع الاستطاعة المستجرة من المنبع؛ من ثم قلل

الضياعات في الشبكة عن الحالة بدون استعمال نظرية الوكلاء المتعددين في الأشكال (10-11-12-13)، يعرض الجدول تلخيصاً لبعض هذه القيم التي تحققت عند تطبيق نظرية الوكلاء المتعددين، وقورنت بالطريقة التقليدية التي تحذف العطل فقط.

الجدول (5-6) مقارنة بين حالتين بدون تطبيق نظرية الوكلاء المتعددين ومعها

| الأثر في | من حيث             | بدون تطبيق الوكلاء المتعددين                                                             | عند تطبيق الوكلاء المتعددين                                                    | الأثر                                                                            |
|----------|--------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| التوليد  | التوتر             | لا تأثر                                                                                  | لا تأثر                                                                        |                                                                                  |
|          | التيار             | يزداد التيار المستجر إلى 4p.u في فترة استجابة الحماية<br>T1=0.7Sec                       | يزداد التيار المستجر إلى 4p.u في فترة التأهيل الذاتي<br>T2=0.24Sec             | منع تغذية العطل بالتيار لمدة زمنية قدرها 0.46Sec بنسبة 27%                       |
|          | الاستطاعة الحقيقية | تزداد الاستطاعة الحقيقية المستجرة ضعفي ما كانت عليه في فترة استجابة الحماية<br>T1=0.7Sec | تزداد الاستطاعة الحقيقية المستجرة ضعفي ما كانت عليه في فترة التأهيل الذاتي فقط | منع تغذية العطل بالاستطاعة لمدة زمنية قدرها 0.46Sec الاستطاعة الموفرة P=12.78kwh |
|          | الاستطاعة الردية   | تزداد الاستطاعة الردية المستجرة ستة أضعاف ما كانت عليه في فترة                           | تزداد الاستطاعة الردية المستجرة ستة أضعاف ما كانت عليه في فترة التأهيل الذاتي  | منع تغذية العطل بالاستطاعة لمدة زمنية قدرها 0.46Sec بنسبة 27%                    |

|                       |        |                                                                                                                                                                              |                                                                                                               |                                                                                                                 |
|-----------------------|--------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                       |        | استجابة الحماية<br>$T1=0.7\text{Sec}$                                                                                                                                        |                                                                                                               |                                                                                                                 |
| قضبان التجميع<br>Bus5 | التوتر | انخفاض التوتر إلى<br>دون قيمه الواحدة<br>في فترة العطل<br>$T1=0.7\text{Sec}$                                                                                                 | انخفاض التوتر إلى<br>دون قيمه الواحدة<br>في فترة التأهيل<br>الذاتي<br>$T2=0.24\text{Sec}$                     | انخفاض زمن<br>انخفاض التوتر على<br>قضبان التجميع لمدة<br>زمنية قدرها<br>$0.46\text{Sec}$ بنسبة<br>27%           |
|                       | التيار | يزداد التيار<br>المستجر إلى<br>$3.5\text{p.u}$ في فترة<br>استجابة الحاكمة<br>عند<br>$\text{bus7}=0.24\text{Sec}$<br>وإلى $3.7\text{p.u}$ عند<br>$\text{bus5}=0.46\text{Sec}$ | يزداد التيار<br>المستجر ستة عشر<br>ضعفاً عن التيار<br>الاسمي في فترة<br>التأهيل الذاتي<br>$T2=0.24\text{Sec}$ | منع تغذية العطل<br>بالتيار لمدة زمنية<br>قدرها $0.46\text{Sec}$<br>بنسبة<br>27%                                 |
| الأحمال               | التوتر | انخفاض التوتر إلى<br>$0.5\text{p.u}$ في فترة<br>العطل<br>$T1=0.7\text{Sec}$                                                                                                  | انخفاض التوتر إلى<br>$0.5\text{p.u}$ في فترة<br>التأهيل الذاتي<br>$T2=0.24\text{Sec}$                         | انخفاض زمن<br>انخفاض التوتر إلى<br>النصف على قضبان<br>التجميع لمدة زمنية<br>قدرها $0.46\text{Sec}$<br>بنسبة 27% |
|                       | التيار | ينخفض التيار<br>المستجر إلى<br>$0.22\text{p.u}$ في فترة<br>العطل<br>$T1=0.7\text{Sec}$                                                                                       | ينخفض التيار<br>المستجر إلى<br>$0.22\text{p.u}$ في فترة<br>التأهيل الذاتي<br>$T2=0.24\text{Sec}$              | تأمين التيار اللازم<br>للحمل لمدة زمنية<br>أكبر حتى في أثناء<br>العطل قدرها                                     |

|                                                                                                                            |                                                                                               |                                                                                     |                       |  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|--|
| 0.46Sec<br>بنسبة<br>%27                                                                                                    |                                                                                               |                                                                                     |                       |  |
| تأمين الاستطاعة<br>اللازمة للحمل لمدة<br>زمنية أكبر حتى في<br>أثناء العطل قدرها<br>0.46Sec<br>الاستطاعة الموفرة<br>11.5kwh | تتخفض الاستطاعة<br>الحقيقية المستجرة<br>بمقدار 0.9P.u في<br>فترة التأهيل الذاتي<br>T2=0.24Sec | تتخفض الاستطاعة<br>الحقيقية المستجرة<br>بمقدار 0.9P.u في<br>فترة العطل<br>T1=0.7Sec | الاستطاعة<br>الحقيقية |  |

كما ستدرج أشكال لتشغيل الدارة المدروسة لنموذج الشبكة ونظام الوكلاء المتعددين معا في الملحق A.

## 6.5. الخاتمة

نوقش في هذا الفصل حالة عطل على أحد خطوط النقل في شبكة IEEE-9Bus مع تطبيق نظرية الوكلاء المتعددين ومن دونها. تبين النتائج أن تطبيق النظرية يساعد على تقليل أثر العطل في مكونات الشبكة بفضل استعمال الوكلاء لمبدأ تغيير هيكلية الشبكة الذي أسهم في عزل العطل بسرعة، والمحافظة على تغذية الأحمال في فترة العطل، بينما بدون استعمال الوكلاء المتعددين اكتفى نظام الحماية بعزل العطل، وكان التحسن على جميع مكونات الشبكة في الحالة المدروسة بنسبة 27%.

سيطبق في الفصل السادس هذه النظرية على جزء من الشبكة السورية؛ للتأكد من إمكانية تطبيقها، وتبيان

مزاياها، وسلبياتها.

## الفصل السادس

### تطبيق نظرية الوكلاء المتعددين على التأهيل الذاتي لجزء من الشبكة

#### السورية

##### 1.6. المقدمة

يقدم هذا الفصل شرحاً مفصلاً عن جزء من الشبكة السورية بتوتر 66kV وبنائها في بيئة ماتلاب MATLAB/Simulink؛ فضلاً عن تصميم نظام الوكلاء المتعددين الخاص بها؛ بهدف تحديد ميزات تطبيق نظرية الوكلاء المتعددين وسليباتها على التأهيل الذاتي لشبكة كهربائية، وتبيان أهمية استعمالها.

تبين نتائج هذا الفصل أن تطبيق هذه النظرية يزيد موثوقية الشبكة السورية وأمانها، وقدرتها على تحمل العطل، فهي أصبحت أسرع في الاستجابة، وأكثر مرونة مما كانت عليه قبل تطبيق هذه النظرية؛ إذ تم التعامل مع عطل على خط (إرسال - جامعة) وحذفه آلياً دون الإضرار بالأحمال.

##### 2.6. اختيار جزء من الشبكة السورية

اختير جزء من الشبكة السورية 66kV لمحافظة دمشق، يوضح الشكل (6-1) مخطط الخط الواحد لهذه الشبكة، تتألف هذه الشبكة من:

##### 1- محطات التوليد:

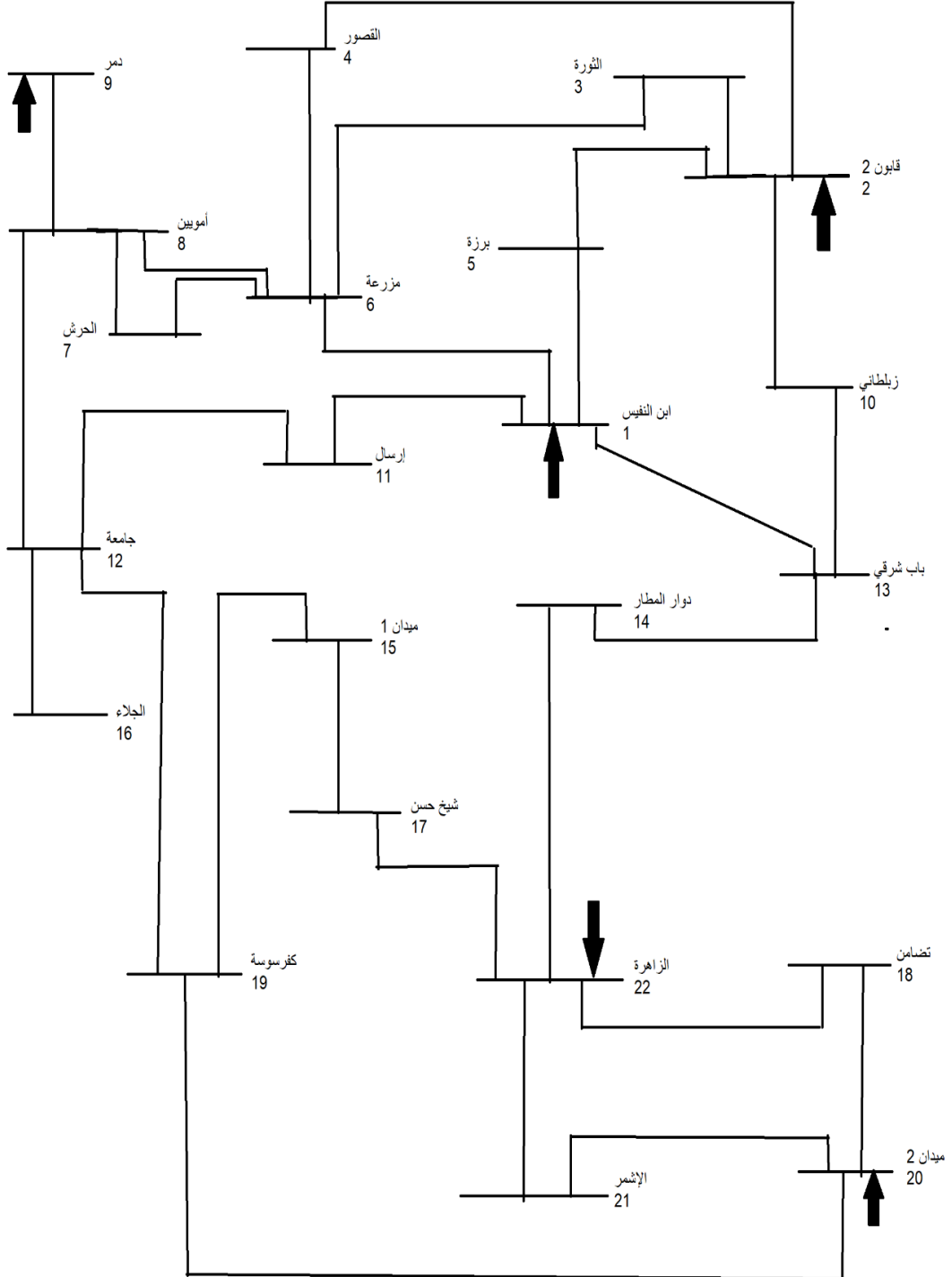
تطبيق نظرية الوكلاء المتعددين على التأهيل الذاتي لنظام الحماية للشبكات الذكية  
عبير أحمد زين

تُغذى الشبكة من قضبان التجميع (1-2-9-20-22) عن طريق محطات 230/66kV، كما يبين

الجدول (1-6).

الجدول (1-6) الاستطاعة المقدمة من طرف التوليد [35]

| Number<br>Unite | Q<br>Mvar | P<br>MW | V<br>(KV) | Location<br>name | Bus ID |
|-----------------|-----------|---------|-----------|------------------|--------|
| 3               | 59.14     | 78.85   | 230       | ابن النفيس       | 1      |
| 4               | 84.82     | 113.088 | 230       | قابون 2          | 2      |
| 3               | 68.112    | 80.82   | 230       | دمر              | 9      |
| 3               | 81.57     | 108.77  | 230       | ميدان 2          | 20     |
| 3               | 74.45     | 99.26   | 230       | الزاهرة          | 22     |



الشكل (1-6) مخطط الخط الواحد لجزء من الشبكة السورية

تطبيق نظرية الوكلاء المتعددين على التأهيل الذاتي لنظام الحماية للشبكات الذكية  
عبير أحمد زين

## 2- خطوط النقل:

تتضمن هذه الشبكة 29 خط نقل تربط قضبان التجميع فيما بينها، كما تنقل الطاقة الكهربائية للأحمال عند

توتر 66KV، يبين الجدول (2-6) محددات خطوط النقل.

الجدول (2-6) محددات خطوط النقل [35]

| رقم الخط | عقدة البداية | عقدة النهاية | الطول km | R [ $\Omega$ ] | X [ $\Omega$ ] |
|----------|--------------|--------------|----------|----------------|----------------|
| 1        | قايون 2      | برزة         | 4        | 3.2            | 6.32           |
| 2        | قايون 2      | زبلطاني      | 5        | 3.3            | 8.21           |
| 3        | قايون 2      | الثورة       | 6        | 4.2            | 9.4            |
| 4        | قايون 2      | القصور       | 4.5      | 3.4            | 7.33           |
| 5        | ابن النفيس   | برزة         | 2        | 1.5            | 3.1            |
| 6        | ابن النفيس   | باب شرقي     | 6        | 4.5            | 9.72           |
| 7        | ابن النفيس   | المزرعة      | 2        | 1.5            | 3.4            |
| 8        | ابن النفيس   | إرسال        | 4.5      | 3.4            | 3.21           |
| 9        | المزرعة      | الثورة       | 2.5      | 1.8            | 4.42           |
| 10       | المزرعة      | الحرش        | 3.5      | 2.6            | 5.6            |
| 11       | المزرعة      | الأمويين     | 3.9      | 2.9            | 6.22           |
| 12       | المزرعة      | القصور       | 2        | 1.5            | 3              |
| 13       | الجامعة      | كفرسوسة      | 3        | 2              | 4.8            |
| 14       | الجامعة      | إرسال        | 4.5      | 3.2            | 7.2            |
| 15       | الجامعة      | الأمويين     | 2.5      | 0.9            | 2.2            |
| 16       | الجامعة      | الجلاء       | 2.5      | 1.8            | 4.4            |
| 17       | الأمويين     | الحرش        | 2.5      | 1.5            | 3.2            |
| 18       | الأمويين     | دمر          | 2        | 0.9            | 2.2            |
| 19       | الزاهرة      | دوار المطار  | 3        | 1.22           | 2.22           |
| 20       | الزاهرة      | التضامن      | 1.23     | 0.9            | 1.9            |
| 21       | الزاهرة      | شيخ حسن      | 1        | 0.7            | 1.6            |
| 22       | الزاهرة      | الأشمر       | 3        | 2              | 4.8            |
| 23       | ميدان 2      | كفرسوسة      | 1.3      | 0.9            | 2              |

|     |     |     |             |          |    |
|-----|-----|-----|-------------|----------|----|
| 4   | 3   | 2.3 | التضامن     | ميدان 2  | 24 |
| 8   | 1.8 | 5   | الأشمر      | ميدان 2  | 25 |
| 1.6 | 0.7 | 2   | دوار المطار | باب شرقي | 26 |
| 3.3 | 1.5 | 2   | زبلطاني     | باب شرقي | 27 |
| 3   | 1.6 | 2.2 | شيخ حسن     | ميدان 1  | 28 |
| 2   | 1   | 1.5 | كفرسوسة     | ميدان 1  | 29 |

## 4- الأحمال:

تغذى الأحمال من خلال الشبكة المدروسة عند توتر 66KV، هذه الأحمال تمثل وكلاء مستهلكين، كما يبين

الجدول (3-6) محددات هذه الأحمال.

الجدول (3-6) محددات الأحمال[35]

| P(MW) | Q(MVAR) | Bus ID      |
|-------|---------|-------------|
| 42.52 | 20.543  | قابون 2     |
| 40.65 | 10.238  | الثورة      |
| 20.86 | 3.6     | القصور      |
| 36.63 | 5.121   | برزة        |
| 46.53 | 6.627   | المزرعة     |
| 39.78 | 21.031  | الحرش       |
| 26.53 | 16.183  | الأمويين    |
| 36.72 | 20.38   | دمر         |
| 22.65 | 3.94    | زبلطاني     |
| 34.2  | 9.87    | إرسال       |
| 21.12 | 11.4    | الجامعة     |
| 51.3  | 8.378   | باب شرقي    |
| 29.46 | 16.96   | دوار المطار |
| 34.56 | 5.458   | ميدان 1     |
| 32.44 | 10.17   | الجلاء      |

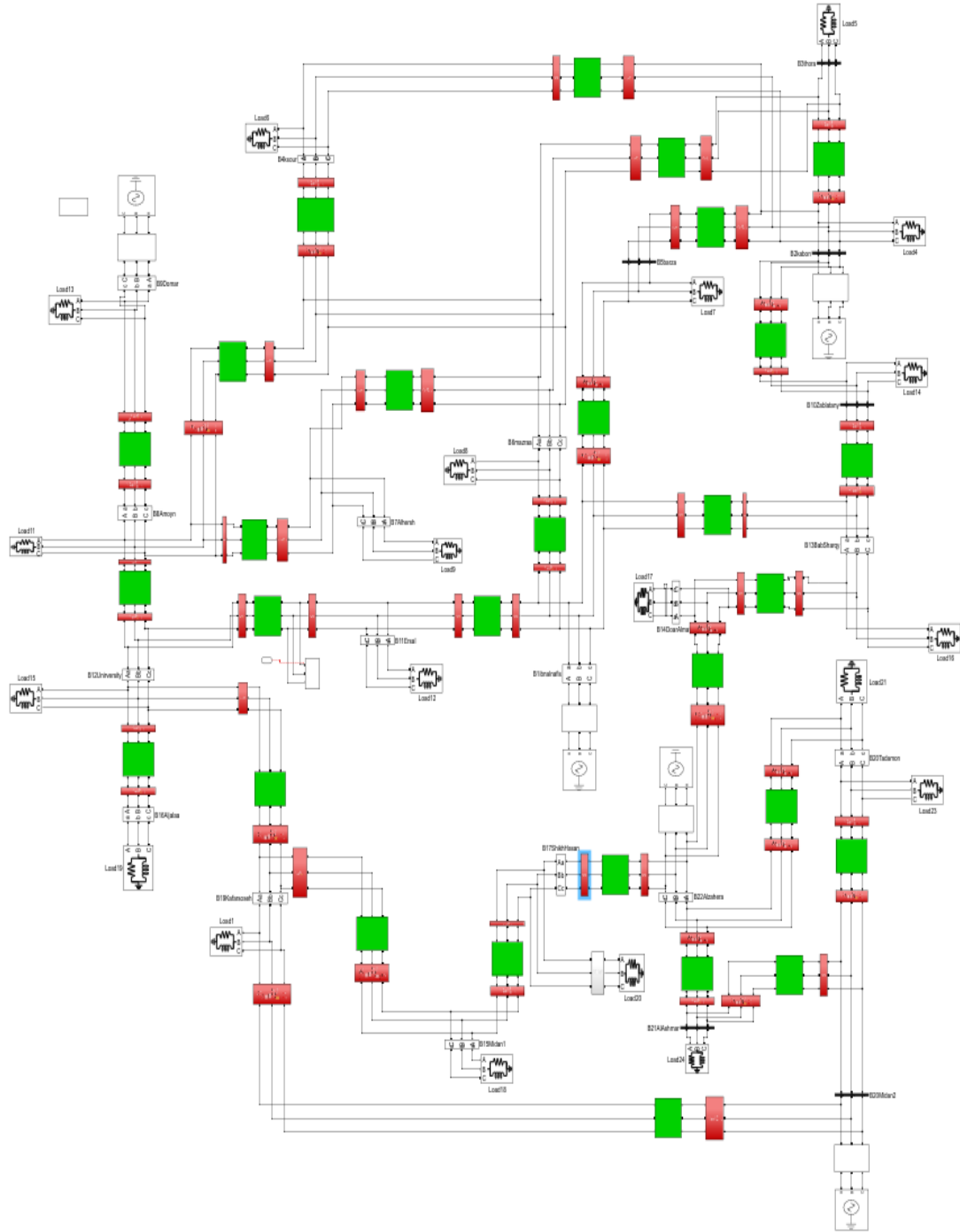
|       |        |           |
|-------|--------|-----------|
| 23.76 | 3.38   | الشيخ حسن |
| 52.36 | 13.014 | التضامن   |
| 24.36 | 13.79  | كفرسوسة   |
| 75.1  | 24.75  | ميدان 2   |
| 39.14 | 12.021 | الأشمر    |

### 3.6. نمذجة جزء من الشبكة السورية توتر 66kV في محافظة دمشق في بيئة ماتلاب

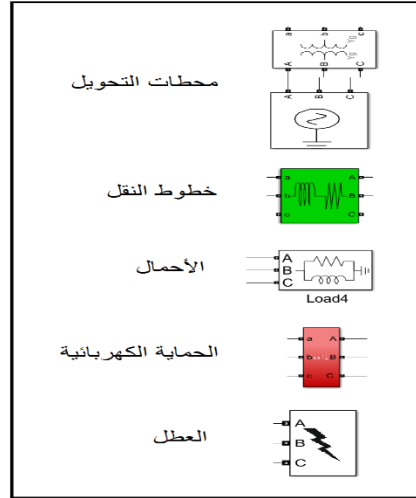
بنيت هذه الشبكة باستعمال برنامج MATLAB لدراسة أداء نظام الحماية، وتوضيح مبدأ عمله القائم على

حماية الشبكة المدروسة عند وجود عطل في خطوط النقل؛ مع استمرارية تغذية أكبر عدد من الوكلاء (الأحمال)

غير المتضررين بالعطل، يوضح الشكل (6-2) الدارة المكافئة لهذه الشبكة في بيئة MATLAB/Simulink.



الشكل (2-6) الدارة المكافئة لجزء من الشبكة السورية 66kV في بيئة Matlab



الشكل (6-3) الأدوات المستعملة في الماتلاب

### 1.3.6. اختبار نظام الحماية

سيُختبر هذا النظام عند وجود عطل ثلاثي الطور عند قضيب التجميع إرسال على الخط الواصل بين (إرسال - الجامعة)؛ بهدف التأكد من عمل الحماية، وتحقيقها لمبدأي الانتقائية والموثوقية في تحديد العطل، وعزله؛ مع استمرارية تغذية الحمل بالاستطاعة المطلوبة.

#### آلية عمل الحماية:

في دارتنا السابقة يوجد 29 خط نقل و 58 حماية تيار زائد IODT، تُوزع هذه الحماية بداية كل خط نقل ونهايته، وعند إعطاء أمر بتشغيل الدارة تبين أن الحماية تحسب بعضها للعطل وبأزمنة مختلفة مدرجة ضمن الجدول (4-6).

الجدول (4-6) أزمنة عمل حمايات التيار

| رقم الحماية | من العقدة   | إلى العقدة  | التيار [A] | تيار التعيير [A] | تيار العطل [A] | زمن الفصل [sec] | زمن الفصل نمذجة | الخطأ النسبي % |
|-------------|-------------|-------------|------------|------------------|----------------|-----------------|-----------------|----------------|
| 0           | أمويين      | الحرش       | 245        | 294              | 294            | inf             | Inf             | -----          |
| 1           | الحرش       | أمويين      | 245        | 294              | 294            | inf             | Inf             | -----          |
| 2           | أمويين      | مزرعة       | 73         | 87.6             | 150            | 1.2945          | 1.158           | 10.5432        |
| 3           | مزرعة       | أمويين      | 73         | 87.6             | 150            | 1.2945          | 1.158           | 10.5432        |
| 4           | أمويين      | جامعة       | 185        | 222              | 1600           | 0.3475          | 0.3049          | 12.2494        |
| 5           | جامعة       | أمويين      | 185        | 222              | 1600           | 0.3475          | 0.3049          | 12.2494        |
| 6           | الحرش       | مزرعة       | 194        | 232.8            | 232.8          | inf             | Inf             | -----          |
| 7           | مزرعة       | الحرش       | 194        | 232.8            | 232.8          | inf             | Inf             | -----          |
| 8           | جامعة       | الجلاء      | 288        | 345.6            | 345.6          | inf             | Inf             | -----          |
| 9           | الجلاء      | جامعة       | 288        | 345.6            | 345.6          | inf             | Inf             | -----          |
| 10          | باب شرقي    | ابن النفيس  | 282.3      | 338.76           | 950            | 0.6719          | 0.6356          | 5.3976         |
| 11          | ابن النفيس  | باب شرقي    | 282.3      | 338.76           | 950            | 0.6719          | 0.6356          | 5.3976         |
| 12          | دمر         | أمويين      | 600        | 720              | 1800           | 0.757           | 0.7606          | -0.4794        |
| 13          | أمويين      | دمر         | 600        | 720              | 1800           | 0.757           | 0.7606          | -0.4794        |
| 14          | دوار المطار | الزاهرة     | 332.2      | 398.64           | 1000           | 0.7541          | 0.7581          | -0.5248        |
| 15          | الزاهرة     | دوار المطار | 332.2      | 398.64           | 1000           | 0.7541          | 0.7581          | -0.5248        |
| 16          | إرسال       | جامعة       | 65         | 78               | 6200           | 0.1531          | 0.1515          | 1.0323         |
| 17          | جامعة       | إرسال       | 65         | 78               | 6000           | 0.1543          | 0.1563          | -1.3044        |
| 18          | ابن النفيس  | إرسال       | 360        | 432              | 5000           | 0.2789          | 0.2518          | 9.7217         |
| 19          | إرسال       | ابن النفيس  | 360        | 432              | 5000           | 0.2789          | 0.2518          | 9.7217         |
| 20          | ابن النفيس  | برزة        | 205.2      | 246.24           | 1000           | 0.4925          | 0.4627          | 6.0538         |
| 21          | برزة        | ابن النفيس  | 205.2      | 246.24           | 1000           | 0.4925          | 0.4627          | 6.0538         |
| 22          | قابون       | قصور        | 254        | 304.8            | 700            | 0.8349          | 0.8248          | 1.2154         |
| 23          | قصور        | قابون       | 254        | 304.8            | 700            | 0.8349          | 0.8248          | 1.2154         |
| 24          | كفرسوسة     | ميدان 1     | 162        | 194.4            | 1000           | 0.4204          | 0.4307          | -2.4425        |
| 25          | ميدان 1     | كفرسوسة     | 162        | 194.4            | 1000           | 0.4204          | 0.4307          | -2.4425        |

|         |        |        |       |        |       |             |             |    |
|---------|--------|--------|-------|--------|-------|-------------|-------------|----|
| 2.5825  | 1.275  | 1.3088 | 525   | 308.4  | 257   | الثورة      | قابون       | 26 |
| 2.5825  | 1.275  | 1.3088 | 525   | 308.4  | 257   | قابون       | الثورة      | 27 |
| -----   | Inf    | inf    | 360   | 360    | 300   | زبلطاني     | قابون       | 28 |
| -----   | Inf    | inf    | 360   | 360    | 300   | قابون       | زبلطاني     | 29 |
| -----   | Inf    | inf    | 201.6 | 201.6  | 168   | ميدان 2     | الأشمر      | 30 |
| -----   | Inf    | inf    | 201.6 | 201.6  | 168   | الأشمر      | ميدان 2     | 31 |
| 0.0036  | 3.801  | 3.8011 | 910   | 757.2  | 631   | ابن النفيس  | مزرعة       | 32 |
| 0.0036  | 3.801  | 3.8011 | 910   | 757.2  | 631   | مزرعة       | ابن النفيس  | 33 |
| 1.959   | 0.5647 | 0.576  | 2500  | 752.4  | 627   | ميدان 2     | كفرسوسة     | 34 |
| 1.959   | 0.5647 | 0.576  | 2500  | 752.4  | 627   | كفرسوسة     | ميدان 2     | 35 |
| -0.5054 | 0.4124 | 0.4103 | 1000  | 186.84 | 155.7 | الشيخ حسن   | ميدان 1     | 36 |
| -0.5054 | 0.4124 | 0.4103 | 1000  | 186.84 | 155.7 | ميدان 1     | الشيخ حسن   | 37 |
| -----   | Inf    | inf    | 576.6 | 576.6  | 480.5 | تضامن       | ميدان 2     | 38 |
| -----   | Inf    | inf    | 576.6 | 576.6  | 480.5 | ميدان 2     | تضامن       | 39 |
| 5.0878  | 0.4622 | 0.487  | 500   | 121.2  | 101   | الثورة      | مزرعة       | 40 |
| 5.0878  | 0.4622 | 0.487  | 500   | 121.2  | 101   | مزرعة       | الثورة      | 41 |
| -----   | Inf    | inf    | 780   | 780    | 650   | تضامن       | الزاهرة     | 42 |
| -----   | Inf    | inf    | 780   | 780    | 650   | الزاهرة     | تضامن       | 43 |
| 2.2876  | 0.3364 | 0.3443 | 700   | 95.4   | 79.5  | مزرعة       | قصور        | 44 |
| 2.2876  | 0.3364 | 0.3443 | 700   | 95.4   | 79.5  | قصور        | مزرعة       | 45 |
| -4.4647 | 0.2781 | 0.2662 | 4000  | 308.4  | 257   | كفرسوسة     | جامعة       | 46 |
| -4.4647 | 0.2781 | 0.2662 | 4000  | 308.4  | 257   | جامعة       | كفرسوسة     | 47 |
| 0.9849  | 0.2702 | 0.2729 | 1000  | 81.96  | 68.3  | دوار المطار | باب شرقي    | 48 |
| 0.9849  | 0.2702 | 0.2729 | 1000  | 81.96  | 68.3  | باب شرقي    | دوار المطار | 49 |
| -----   | Inf    | inf    | 126   | 126    | 105   | زبلطاني     | باب شرقي    | 50 |
| -----   | Inf    | inf    | 126   | 126    | 105   | باب شرقي    | زبلطاني     | 51 |
| -----   | Inf    | inf    | 216   | 216    | 180   | الزاهرة     | الأشمر      | 52 |
| -----   | Inf    | inf    | 216   | 216    | 180   | الأشمر      | الزاهرة     | 53 |
| 6.2714  | 0.3172 | 0.3384 | 1000  | 131.76 | 109.8 | برزة        | قابون       | 54 |
| 6.2714  | 0.3172 | 0.3384 | 1000  | 131.76 | 109.8 | قابون       | برزة        | 55 |

|    |           |           |     |       |     |        |        |        |
|----|-----------|-----------|-----|-------|-----|--------|--------|--------|
| 56 | الشيخ حسن | الزاهرة   | 351 | 421.2 | 950 | 0.8537 | 0.8405 | 1.5407 |
| 57 | الزاهرة   | الشيخ حسن | 351 | 421.2 | 950 | 0.8537 | 0.8405 | 1.5407 |

وفقاً للجدول السابق، فإن الحماية ستستجيب في أزمدة مختلفة، تبعاً لقيم التيارات المارة بها؛ إذ الحماية ذات الزمن الأقل هي الحماية الأقرب للعطل؛ ومن ثم فإن الحماية الأقرب هي الحماية رقم 16 عند قضيبي التجميع إرسال، وهو مكان العطل المختار بزمن 0.1515Sec، حُسبت قيم هذه الأزمدة باستعمال العلاقة (2-7)؛ للتأكد من قيم النمذجة المدرجة في العامود الثامن، وتُدرج في العمود السابع من الجدول (6-4)؛ إذ وجدنا أن القيم كانت متقاربة في قضبان التجميع القريبة من العطل وكانت نسبة خطأ القراءة تتراوح بين (4.4647 - 12.2494) وهذا يدل على دقة النموذج في تحديد زمن الفصل.

طُبّق تنسيق بين الحماية على أساس الأزمدة (الحماية ذات الزمن الأقل هي التي تفصل أولاً، وتكون الحماية التي تليها بقيمة بالزمن بمنزلة حماية احتياطية تعمل في حال فشل الأولى)، هذا التنسيق سيطبق باستعمال نظرية الوكلاء المتعددين بعد إرسال هذه الأزمدة إلى نظام الوكلاء المتعددين.

#### 4.6. تصميم نظام وكلاء متعددين لجزء من الشبكة السورية توتر 66kV

بني نظام وكلاء متعددين يتضمن مركز تنسيق عام للشبكة السورية مرتبط مع مركزي تنسيق (مركز تنسيق الحماية - مركز تنسيق الأحمال والتوليد).

يعبر عن كل حماية بوكيل حماية، من ثم لدينا 59 وكيل حماية، وهؤلاء الوكلاء يرتبطون مع مركز تنسيق عمل الحماية الذي يحدد مكان العطل، وإرسال أوامر الفصل لوكيل القواطع الذي يرسلها إلى نموذج الشبكة كما يُعلم مركز التنسيق مركز التنسيق العام بالأمر الذي اتخذه.

تطبيق نظرية الوكلاء المتعددين على التأهيل الذاتي لنظام الحماية للشبكات الذكية  
عبير أحمد زين

#### 1.4.6. الوكلاء

- (1) وكيل مركز التنسيق العام **Dispatching Center**.
  - (2) وكيل مركز تنسيق عمل الحماية والقواطع **Protections**.
  - (3) وكيل مركز تنسيق التوليد والأحمال **Load Dispatching**.
  - (4) وكلاء الحماية من **P1** إلى **P59**.
  - (5) وكلاء القواطع **CBs**.
  - (6) وكلاء التوليد **GEN**.
  - (7) وكلاء الأحمال **LOAD**.
- صمم الوكلاء في برنامج Eclipse ضمن منصة جاد، كما هو موضح في الشكل (1) من الملحق B.

#### 2.4.6. آلية عمل نظام الوكلاء المتعددين

وفق ذات الطريقة التي ذكرناها في الفصل السابق، وعند تشغيل المنصة بدايةً يُعرض وكلاء التشغيل الأساسيين (**ams-df-rma**)، بعد وصول البيانات من برنامج ماتلاب تُوزع على وكلاء الحماية؛ إذ يُعلم كل وكيل وكلاء الحماية الآخرين عن قدرته على تحسس العطل، وزمن الفصل إن تحسس، أو عدم تحسسه للعطل؛ إذ تبين النتائج الحماية التي تحسست للعطل والتي لم تتحسس، وصاحبة أقل زمن هي الحماية رقم 16 التي يعبر عنها بزمن عمل قدره 0.1515Sec، كما يوضح ناتج الكود المدرج التتابع بين مكان العطل هو قضيب التجميع إرسال ونتيجة المحاكاة في نظام الوكلاء المتعددين العقدة 16 التي تمثل قضيب تجميع إرسال.

Protection P1 doesn't see the fault

Protection P2 doesn't see the fault

Protection P3 sees the fault and the Operation Time is: 1.158

Protection P4 sees the fault and the Operation Time is: 1.158

Protection P5 sees the fault and the Operation Time is: 0.3049

Protection P6 sees the fault and the Operation Time is: 0.3049

Protection P7 doesn't see the fault

Protection P8 doesn't see the fault

Protection P9 doesn't see the fault

Protection P10 doesn't see the fault

Protection P11 sees the fault and the Operation Time is: 0.6356

Protection P12 sees the fault and the Operation Time is: 0.6356

Protection P13 sees the fault and the Operation Time is: 0.7606

Protection P14 sees the fault and the Operation Time is: 0.7606

Protection P15 sees the fault and the Operation Time is: 0.7581

Protection P16 sees the fault and the Operation Time is: 0.7581

Protection P17 sees the fault and the Operation Time is: 0.1515

Protection P18 sees the fault and the Operation Time is: 0.1563

Protection P19 sees the fault and the Operation Time is: 0.2518

Protection P20 sees the fault and the Operation Time is: 0.2518

Protection P21 sees the fault and the Operation Time is: 0.4627

Protection P22 sees the fault and the Operation Time is: 0.4627

Protection P23 sees the fault and the Operation Time is: 0.8248

Protection P24 sees the fault and the Operation Time is: 0.8248

Protection P25 sees the fault and the Operation Time is: 0.4307

Protection P26 sees the fault and the Operation Time is: 0.4307

Protection P27 sees the fault and the Operation Time is: 1.275

Protection P28 sees the fault and the Operation Time is: 1.275

Protection P29 doesn't see the fault

Protection P30 doesn't see the fault

Protection P31 doesn't see the fault

Protection P32 doesn't see the fault

Protection P33 sees the fault and the Operation Time is: 3.801

Protection P34 sees the fault and the Operation Time is: 3.801

Protection P35 sees the fault and the Operation Time is: 0.5647

Protection P36 sees the fault and the Operation Time is: 0.5647

Protection P37 sees the fault and the Operation Time is: 0.4124

Protection P38 sees the fault and the Operation Time is: 0.4124

Protection P39 doesn't see the fault

Protection P40 doesn't see the fault

Protection P41 sees the fault and the Operation Time is: 0.4622

Protection P42 sees the fault and the Operation Time is: 0.4622

Protection P43 doesn't see the fault

Protection P44 doesn't see the fault

Protection P45 sees the fault and the Operation Time is: 0.3364

Protection P46 sees the fault and the Operation Time is: 0.3364

Protection P47 sees the fault and the Operation Time is: 0.2781

Protection P48 sees the fault and the Operation Time is: 0.2781

Protection P49 sees the fault and the Operation Time is: 0.2702

Protection P50 sees the fault and the Operation Time is: 0.2702

Protection P51 doesn't see the fault

Protection P52 doesn't see the fault

Protection P53 doesn't see the fault

Protection P54 doesn't see the fault

Protection P55 sees the fault and the Operation Time is: 0.3172

Protection P56 sees the fault and the Operation Time is: 0.3172

Protection P57 sees the fault and the Operation Time is: 0.8405

Protection P58 sees the fault and the Operation Time is: 0.8405

the Fault in 16

the operation time is 0.1515

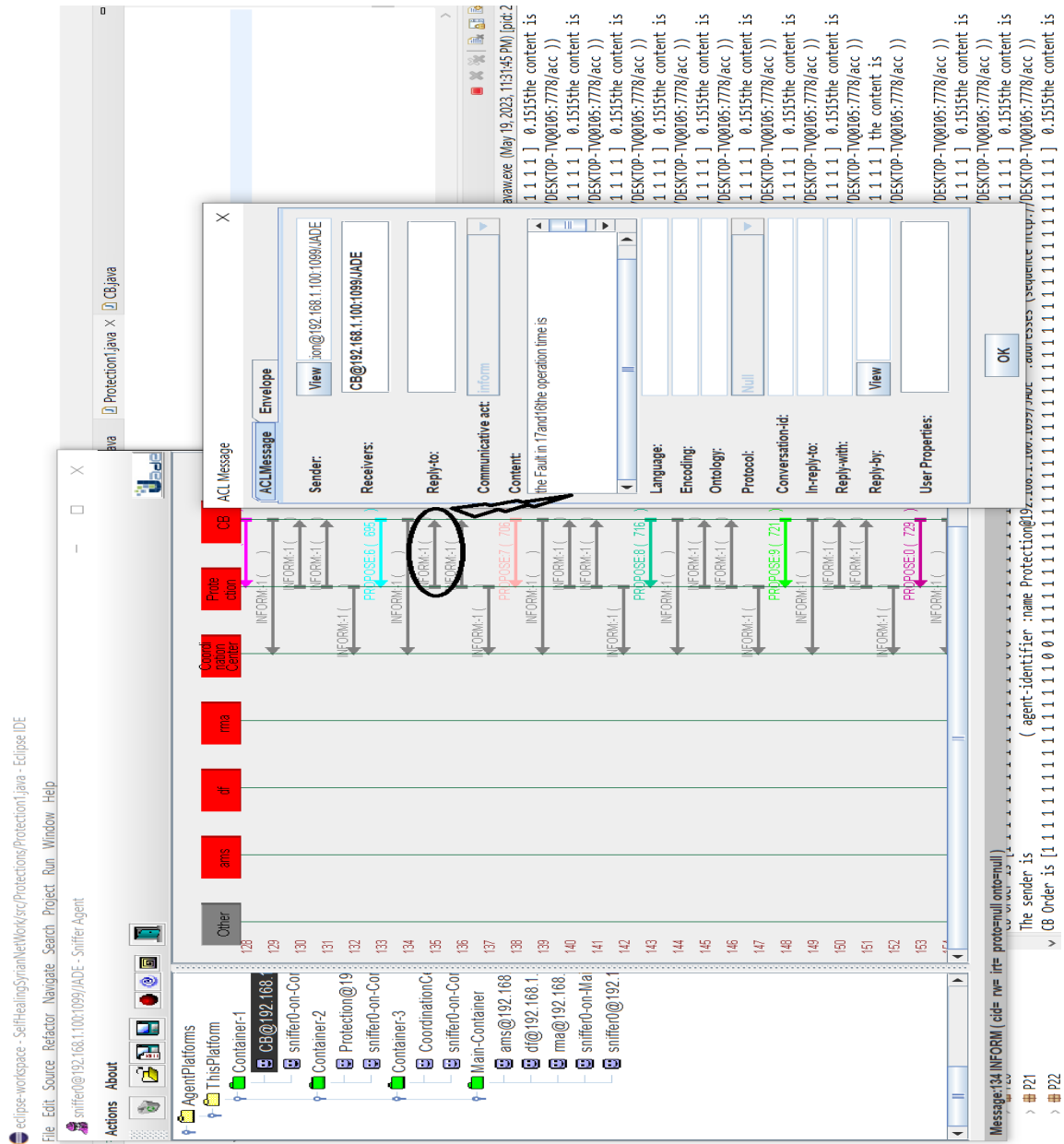
بعد ذلك تبدأ المراسلات بين الوكلاء، يبين الشكل (4-6) تبادل الرسائل بين وكيل الحماية Protection

(مركز تنسيق الحماية) والقواطع CBs للتحديد الأمثل والأقرب إلى العطل (مبدأ الانتقائية)، وضمان عمل القواطع

تطبيق نظرية الوكلاء المتعددين على التأهيل الذاتي لنظام الحماية للشبكات الذكية

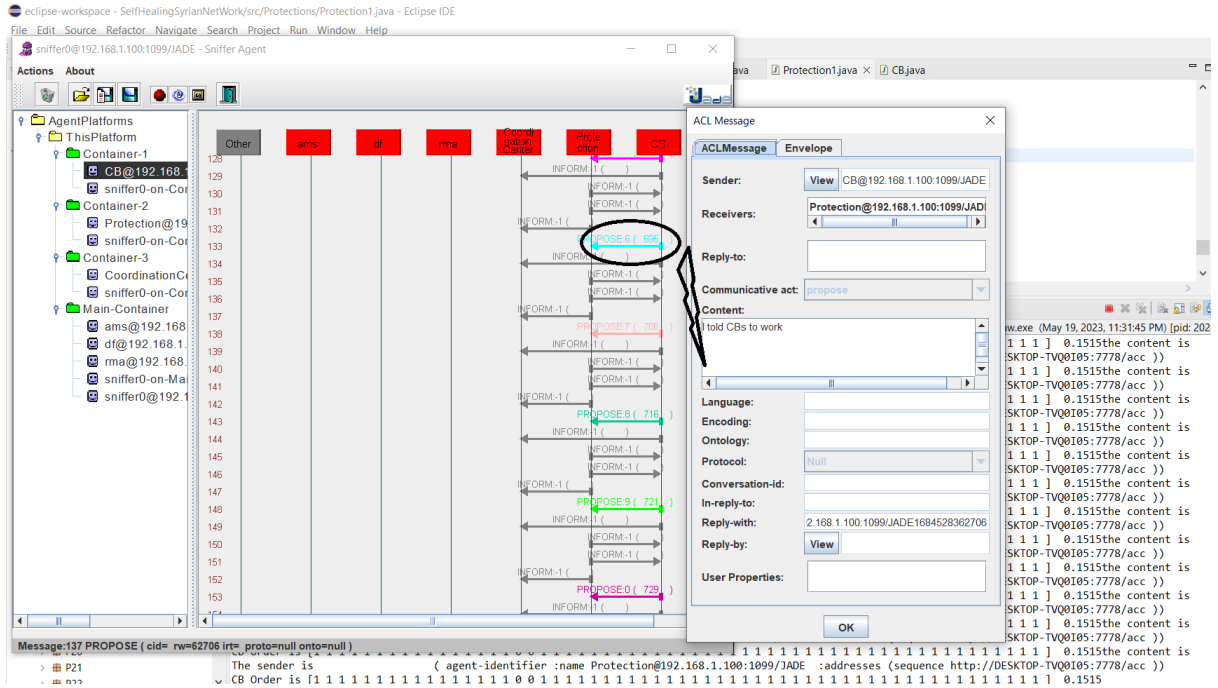
عبير أحمد زين

المسؤولة عن العطل فقط (مبدأ الموثوقية)، يرسل وكيل الحماية مكان العطل لوكيل القواطع؛ ليتخذ الإجراء المناسب؛ وفق الرسالة الموضحة في الشكل الآتي.



الشكل (6-4) الرسائل المرسلّة من وكيل الحماية لوكيل القواطع

ليقوم وكيل القواطع بدوره بأخذ القرار وإعلام وكيل الحماية بأنه تم اتخاذ القرار وفق الرسالة الموضحة في الشكل (5-6) وهنا يكون البرنامج قادر على إرسال أوامر إعادة هيكلية الشبكة إلى نموذج الشبكة لحذف العطل.



الشكل (5-6) الرسائل المرسلة من وكيل القواطع لوكيل الحماية

فضلاً عن رسائل تستعمل لإعلام مركز التنسيق العام بالأوامر المتخذة، والخطوط المحذوفة والمضافة،

وهو بدوره يتأكد من تغذية الأحمال فيما بعد من خلال منسق التوليد والتوزيع.

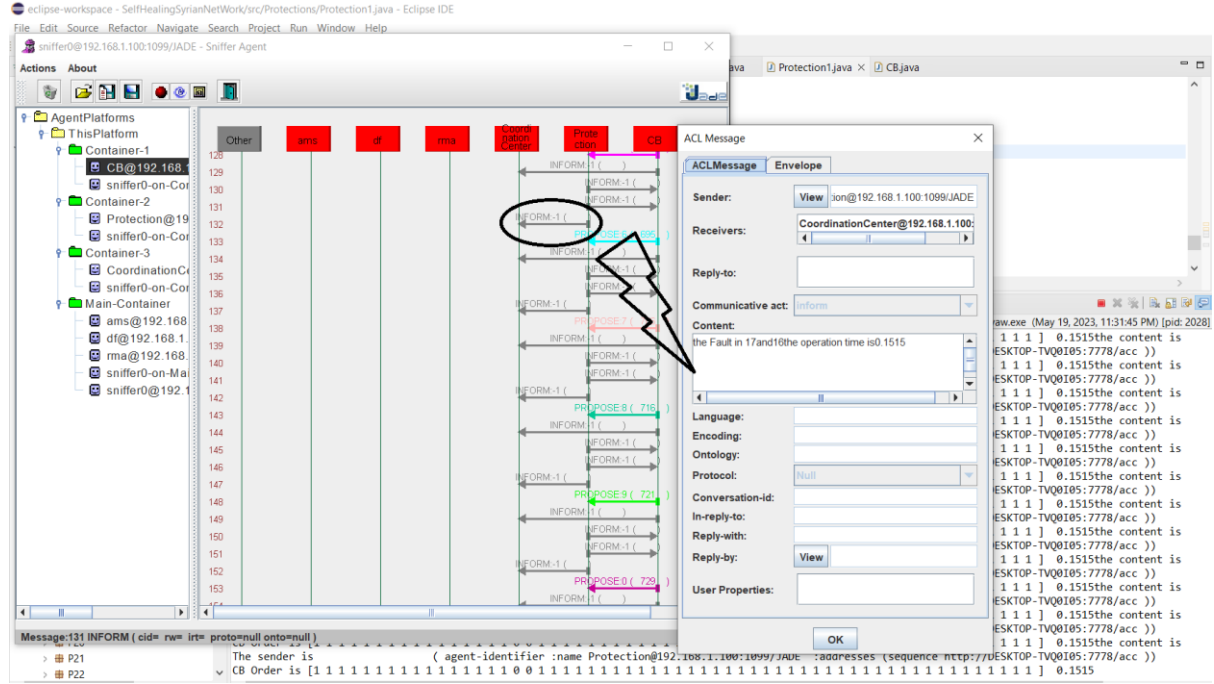
بداية يرسل وكيل الحماية رسالة بإعلامه بمكان حدوث العطل، وزمن العمل اللازم؛ لتفادي أي حالة فشل

في وكيل القواطع؛ ومن ثم مركز التنسيق العام يقوم بالمهام المطلوبة من وكيل القواطع في حال فشله (هنا يكون

تطبيق نظرية الوكلاء المتعددين على التأهيل الذاتي لنظام الحماية للشبكات الذكية

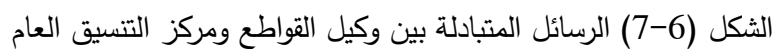
عبير أحمد زين

بمنزلة وكيل احتياطي له) أو ينشئ وكيل قواطع جديد يقوم مكان الوكيل الحالي، يوضح الشكل (6-6) الرسالة المرسله من وكيل الحماية إلى مركز التنسيق العام.



الشكل (6-6) الرسائل المتبادلة بين وكيل الحماية ومركز التنسيق العام

يعلم وكيل القواطع مركز التنسيق بقيامه بالمهام المطلوبة من خلال رسالة موضحة في الشكل (6-7)، ويعد غياب هذه الرسالة أو تأخرها بمنزلة فشل لهذا الوكيل؛ لذلك تعد من الرسائل المهمة في نموذجنا هذا.



يعتمد التأهيل الذاتي على اكتشاف العطل، وعزله دون أي تدخل بشري مع الأخذ بالحسبان استمرار تغذية الأحمال، وإعطاء الأولوية في التغذية للأحمال الحرجة في حال الاضطراب لحذف بعض الأحمال، بناء على ذلك وُزعت المهام على الوكلاء.

[illegible]

### 1.5.6. نتائج تطبيق نظرية الوكلاء المتعددين على التأهيل الذاتي لجزء من الشبكة السورية

#### 1- أثر التأهيل الذاتي في محطات التحويل:

لدينا خمس محطات تحويل كان لها السلوك نفسه؛ لذلك ستعرض نتائج النمذجة لواحد فقط في منطقة دمر

عند قضيب التجميع 9؛ مع وجود عطل على خط إرسال - جامعة ممتد من 0.1-0.3Sec.

يوضح لنا الشكل (6-8) هذه النتائج بالقيم الواحدية؛ إذ نلاحظ أن التوتر انخفض إلى 0.4p.u مع ازدياد

كل من التيار إلى 8p.u والاستطاعة إلى 2p.u (كانت القيمة سالبة؛ لأن الاستطاعة من المحطة باتجاه خط دمر

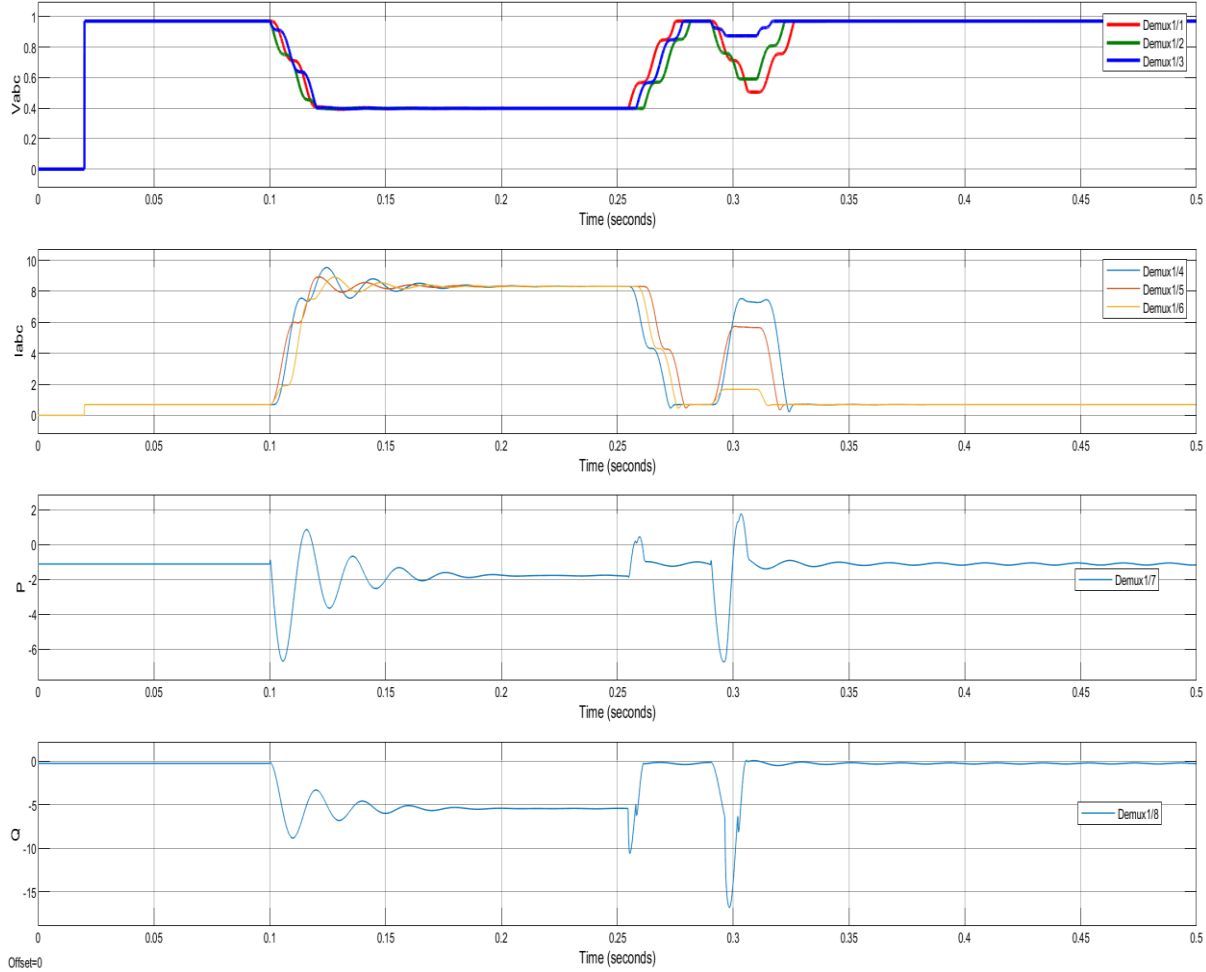
أمويين) في فترة استجابة الحماية (0.1-0.25sec) وهي المهلة التي اختارها نظام الوكلاء المتعددين 0.1515Sec،

وبعد مرور هذا الزمن فُصل خط النقل المعطل؛ لذلك نلاحظ عودة القيم إلى حالتها الطبيعية في الزمن -0.25)

(0.3sec) رغم استمرار العطل على الخط.

زال العطل في الزمن 0.3sec؛ لذلك أُعيد إرسال أوامر تقتضي بإعادة وصل الشبكة، كما كانت قبل تطبيق

العطل، يوضح الشكل (6-8) حالة عابرة عند 0.3Sec ناتجة من إعادة هيكليّة الشبكة.



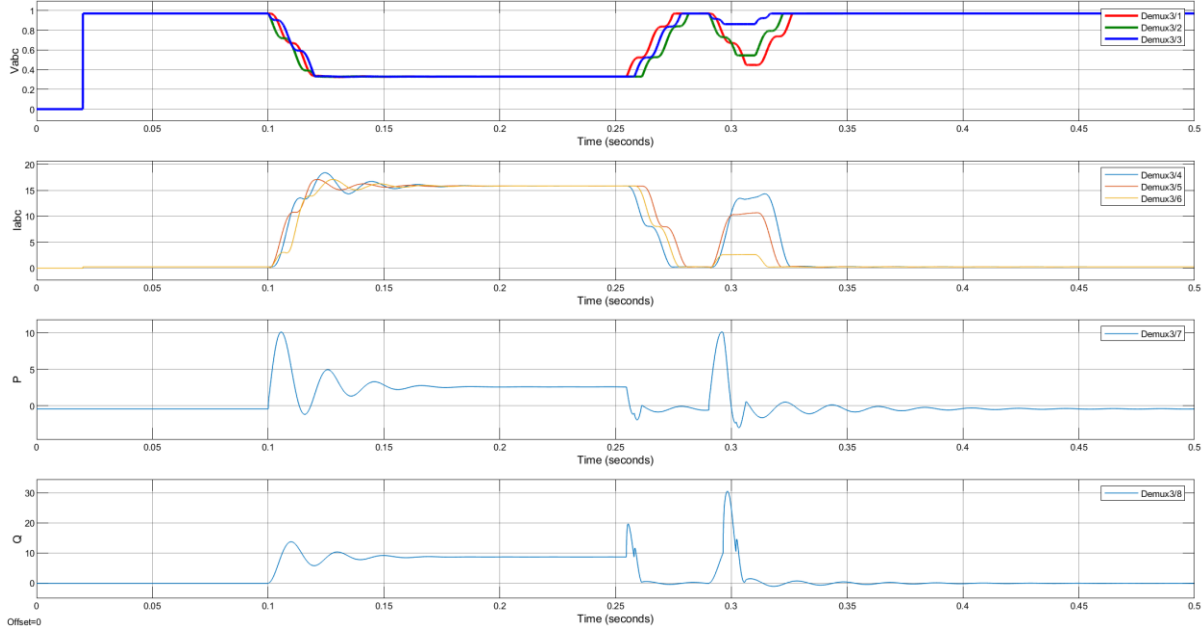
الشكل (6-8) أثر التأهيل الذاتي في محطات التحويل

#### 4- أثر التأهيل الذاتي في قضيب التجميع منطقة الجامعة:

يوضح الشكل (6-9) أن توتر قضيب التجميع انخفض إلى 0.35p.u في فترة استجابة الحماية في الزمن

(0.1-0.25Sec)، أما التيار فازداد إلى 16p.u، وعاد إلى قيمه الأساسية (0.25-0.3Sec)، ازدادت الاستطاعة

المستجرة إلى 3p.u كاستطاعة حقيقية و 9p.u كاستطاعة تخيلية.



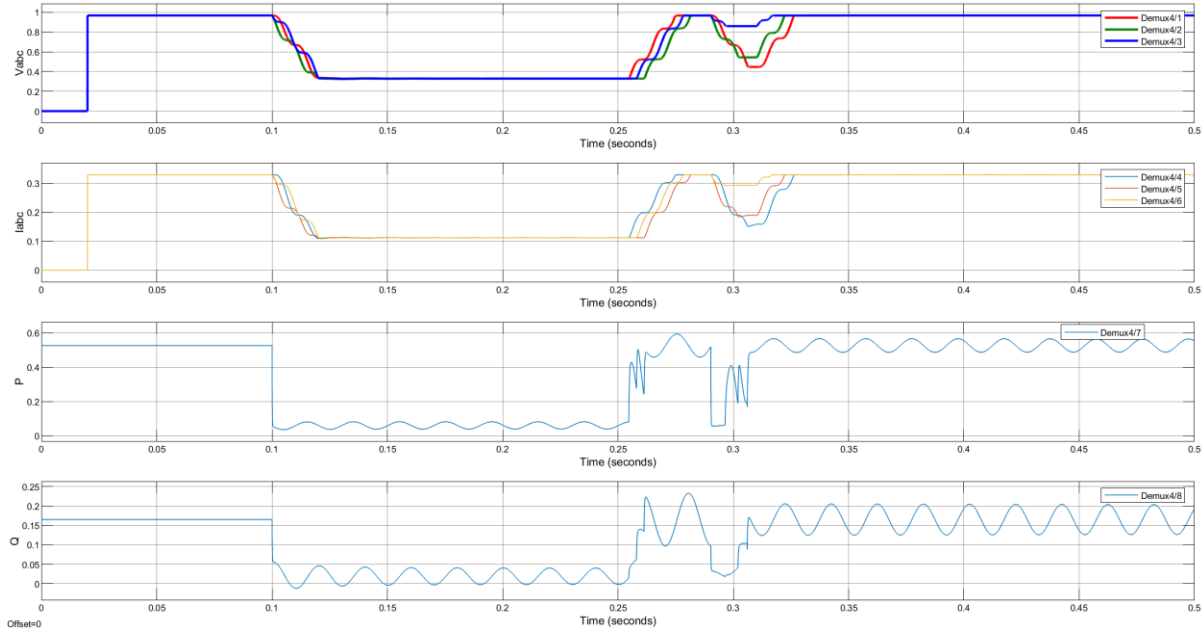
الشكل (6-9) أثر التأهيل الذاتي في قضيب التجميع في منطقة الجامعة

#### 5- أثر التأهيل الذاتي في الأحمال:

يوضح الشكل (6-10) أن حمل منطقة الجلاء استمر في استرجار التغذية بعد عزل الخط المعطل، وهو

الهدف الأساسي من هذه الطريقة؛ إذ انخفض التوتر والتيار والاستطاعة في أثناء العطل وقبل فصل الخط (0.1-0.25Sec)

ثم عاد إلى قيمه الاسمية بعد فصل الخط المعطل رغم استمرار العطل.



الشكل (6-10) أثر التأهيل في حمل منطقة الجلاء

## مناقشة النتائج:

نلاحظ من الأشكال (8-9-10) أن تطبيق نظرية الوكلاء المتعددين على التأهيل الذاتي استطاعت المحافظة على استرجار الحمل للطاقة رغم غياب خط نقل، كما قلل ضياع الاستطاعة المستجرة من المنبع؛ ومن ثم قلل الضياعات في الشبكة.

## 1- أثر العطل في محطات التحويل:

تبين النتائج انخفاض التوتر عند محطات التحويل، على سبيل المثال انخفض عند قضيب التجميع دمر إلى 0.4p.u في الفترة 0.1515Sec عند استعمال نظرية الوكلاء المتعددين، وهو أقل زمن حددته حمايات التيار الزائد، بينما انخفض التوتر لفترة 0.1563Sec عند استعمال الطريقة التقليدية؛ ومن ثم خُفضت فترة انخفاض

تطبيق نظرية الوكلاء المتعددين على التأهيل الذاتي لنظام الحماية للشبكات الذكية  
عبير أحمد زين

التوتر بمقدار 0.0048Sec للحالة المدروسة، ونسبة التحسن 3%، كما قلل استرجار تيار العطل الذي بلغ 10 أضعاف التيار السليم، واسترجار ضعف الاستطاعة للمدة نفسها أيضاً.

## 2- أثر العطل في قضبان التجميع:

ينخفض التوتر عند قضبان التجميع دون قيمه الواحدية؛ نتيجة العطل لفترة 0.1515Sec عند استعمال نظرية الوكلاء المتعددين ولفترة 0.1563Sec عند استعمال الطريقة التقليدية، كما يزداد التيار خمسة عشر ضعفاً عند قضيب التجميع المختار في الحالة المدروسة للفترات نفسها؛ ومن ثم قللت فترة استرجار التيار بنسبة 2%.

## 3- أثر العطل في الأحمال:

ينخفض التوتر في الأحمال أيضاً بالأزمنة نفسها، ولكن انخفاض التوتر إلى 0.35p.u عند حمل الجلاء، انخفض التيار الواصل للحمل بمقدار 0.2p.u وعند استعمال نظرية الوكلاء المتعددين قللت فترة هذا الانخفاض بنسبة 3%، وخُفضت الاستطاعة الواصلة للحمل بمقدار 0.5p.u؛ بسبب العطل، وفترة انخفاض الاستطاعة عند استعمال الطريقة التقليدية 0.1563Sec، بينما عند استعمال النظرية الانخفاض كان لفترة 0.1515Sec، وكان التحسن في الشبكة بنسبة 2% أمنت استطاعة للحمل بمقدار 66.67W.

## 6.6. الخاتمة

إن استعمال نظرية الوكلاء المتعددين ساعد على تحسين سرعة اكتشاف العطل، وعزله؛ فضلاً عن قدرتها على إعادة هيكليّة الشبكة، وتأمين الاستطاعة للأحمال رغم استمرار العطل دون تدخل بشري لمنسق الشبكة. نلاحظ تباين النسب بين الشبكة المرجعية؛ إذ كانت نسبة التحسن 27% أما في الشبكة السورية كانت 2% فقط؛ بسبب أن طول خطوط النقل المستعملة في الشبكة المرجعية كانت 100Km تقريباً، بينما في مثال الشبكة السورية أطول

تطبيق نظرية الوكلاء المتعددين على التأهيل الذاتي لنظام الحماية للشبكات الذكية  
عبير أحمد زين

خط مستخدم 6Km، وهذا بدوره أثر في قراءة حمايات؛ إذ كان العطل في الحالة الأولى بجانب الحماية، فكان زمن العطل 0.24Sec بينما ثاني أقرب حماية للعطل شاهدهته على بعد 100km تقريباً؛ لذلك كان فارق الزمن كبيراً، أما في الشبكة السورية فكانت الأزمنة متقاربة نظراً لقصر خطوط النقل.

كما ستُدرج أشكال لتشغيل الدارة المدروسة بوساطة برنامجي Matlab – Eclipse معاً في الملحق B

## الفصل السابع

### النتائج والتوصيات

#### 1.7. الخاتمة

دُرس التأهيل الذاتي لشبكة مرجعية، وحُددت خوارزمية العمل؛ بهدف تقليل التأثير بالعطل على محددات الشبكة كاملة، وتقليل حالات التعطيم التي يتم الوصول إليها؛ بسبب الأعطال، وعدم قدرة الشبكة على تغذية الأحمال. كما طُبقت هذه الخوارزمية على الشبكة مرجعية وتحديد نسبة التحسن فيها وكانت في المثال المدروس تساوي 27%، ومن ثم تم تطبيقها على جزء من الشبكة السورية لمحافظة دمشق، وكانت نسبة التحسن 2%، والسبب في هذا الاختلاف هو اختلاف أطوال خطوط النقل التي كانت 100km في الشبكة المرجعية، وفي جزء الشبكة السورية المختار، كانت تتراوح بين (1-6km)، والخط المعطل في مثالنا كان طوله 2.5km.

سنعرض أهم النتائج، والتوصيات في بحثنا:

#### 2.7. النتائج

- يختلف عمل حمايات وتحسسها للعطل تبعاً لأنواعها، و مواقعها بالنسبة للعطل؛ إذ تتحسس الكثير من حمايات التيار الزائد ذوات الخواص الزمنية العكسية لعطل واحد لكن بأزمنة فصل مختلفة، باختلاف تيارات العطل ( الحماية الأقرب للعطل تعطي زمن فصل أقل)، لكن الحماية التي تفصل أولاً هي الأقرب، وتكون بقية الحماية بمنزلة حمايات احتياطية لها تعمل في حال فشلها.

- استُعملت نظرية الوكلاء المتعددين في كثير من المجالات، لاسيما الشبكات الكهربائية؛ إذ استعملها الباحث في [2] لدراسة قدرة هذه النظرية على التفاعل، والتعامل مع دمج مصادر الطاقة المتجددة في الشبكات الكهربائية.
- يسهم تطبيق التأهيل الذاتي في التعامل مع العطل آلياً دون أي تدخل بشري؛ إذ حذف العطل في الطريقتين المستعملتين في هذه الأطروحة ( بدون تطبيق نظرية الوكلاء المتعددين - مع تطبيق النظرية)، والاختلاف كان بزمان الاستجابة؛ إذ كانت النظرية أسرع في تحديد العطل، وعزله من الطريقة التقليدية بهامش زمني 0.46Sec في الشبكة المرجعية و0.0048Sec في جزء من الشبكة السورية.
- تبين النتائج أن أهمية استعمال هذه النظرية تزداد بازدياد طول خطوط النقل؛ إذ كانت نسبة التحسن لشبكة أطوال خطوط النقل فيها بحدود 100km تساوي 27%، بينما في شبكة أطوال خطوط النقل فيها تتراوح بين 1-6km تساوي 2%.
- أُنمت الاستطاعة للأحمال رغم وجود العطل بكلتا الطريقتين، عند استعمال النظرية كانت الاستجابة أسرع بالتالي أُنمت استطاعة أكبر للأحمال وفُر استهلاك طاقة بمقدار 11.5kw في الشبكة المرجعية بالنسبة للحمل المدروس.
- قلل استعمال نظرية الوكلاء المتعددين زمن انخفاض التوتر على قضبان التجميع.
- قلل استعمال نظرية الوكلاء المتعددين زمن استرجار التيار عند كل من محطات التوليد، ومحطات التحويل، وقضبان التجميع.
- قلل استعمال نظرية الوكلاء المتعددين استرجار الاستطاعة لكل من محطات التحويل والأحمال.

تطبيق نظرية الوكلاء المتعددين على التأهيل الذاتي لنظام الحماية للشبكات الذكية  
عبير أحمد زين

### 3.7. التوصيات

- تطبيق نظرية الوكلاء المتعددين على جوانب أخرى في الشبكات الكهربائية مثل:
  - إدارة التوليد.
  - إدارة التوزيع.
  - النقل الأمثل للطاقة الكهربائية.
- استعمال أجهزة حماية أخرى (حمايات توتر - استطاعة وغيرها...)؛ للتأكد من أهمية استعمال هذه النظرية على اختلاف نوع الحماية.
- دراسة أهمية تطبيق نظرية الوكلاء المتعددين للتعامل مع دمج مصادر التوليد الموزع في الشبكة السورية.

## المراجع

- [1] M. Barakat, Development of models for inegrating renewables and, France: Normandie Université, 15 Jan 2019.
- [2] J. S. P. V. Y. C. V. C. Wei Konga, "A Practical Group Blind Signature Scheme for Privacy," *Journal of Parallel and Distributed Computing*, October 13, 2019.
- [3] F. Y. Melhem, Optimization methods and energy management in, france: Université Bourgogne Franche-Comté, 18 Sep 2018.
- [4] A. K. Mehmet ÇINAR, "Self-Healing In Smart Grid: A Review," *BEU Journal of Science*, 2018.
- [5] L. E. B. d. S. C. P. S. a. C. H. V. d. M. Bruno Silva Torres, "Integrating Smart Grid Devices into the Traditional Protection of Distribution Networks," *Energies*, 2022.
- [6] R. L. M. J. a. A. A. K. Hafiz Abdul Muqet, "A State-of-the-Art Review of Smart Energy Systems and Their Management in a Smart Grid Environment," *Energies*, 2023.
- [7] A. A. C. S. K. M. S. a. T. K. Ch. Sathish, "AN IMPROVED MICROGRID MODEL INTEGRATING DG DISTRIBUTED," *Dogo Rangsang Research Journal* , 06, December 2022.
- [8] P. T. a. R. J. Staron, "Multi-Agent Technology for Fault Tolerant and Flexible Control," Berin Heidelberg, 2010, p. chapter 8.

- [9] R. N. T. L. Chathurika Chandraratne, "Smart Grid Protection through Self-Healing," *IEEE*, 2017.
- [10] L. B. a. A. Chaghi, "Effect of renewable energy sources integration on the optimal coordination of directional over-current relays in distribution system," *International Journal of Applied Power Engineering (IJAPE)*, 3, December 2020.
- [11] S. M. S. N. E.-N. A. L. A. E. T. H. Feras Alasali, "Application of Time-Voltage Characteristics in Overcurrent Scheme to Reduce Arc-Flash Incident Energy for Safety and Reliability of Microgrid Protection," *Energies*, 2 December 2021.
- [12] S. B. V. K. K. ., a. K. P. ., S. B. Saianiruth M, "Smart Grid Technology and Its Impact on Renewable Energy Integration," *IEEE*, Vols. XX, 2017, 2017.
- [13] X. H. a. M. Liu, "Privacy-Preserving Distributed Energy Resource Control with Decentralized Cloud Computing," *IEEE*, 5 jan 2023.
- [14] S. H. B. a. P. Venkatesh, "Control of Solar Photovoltaic (Pv) Power Generation in Grid-Connected and Islanded Microgrids, *Int. J. Eng. Reseaerch Gen. Sci.*, vol. 3, no. 3,, 2015.
- [15] A. A. A. a. S. Z. U. Dewi Immaniar, "Challenges Smart Grid in Blockchain Applications," *Blockchain Frontier Technology (B-Front)* , January 2023.
- [16] م. الجيلاني, نظم الحماية الكهربائية, القاهرة: كلية الهندسة- جامعة القاهرة, 2019

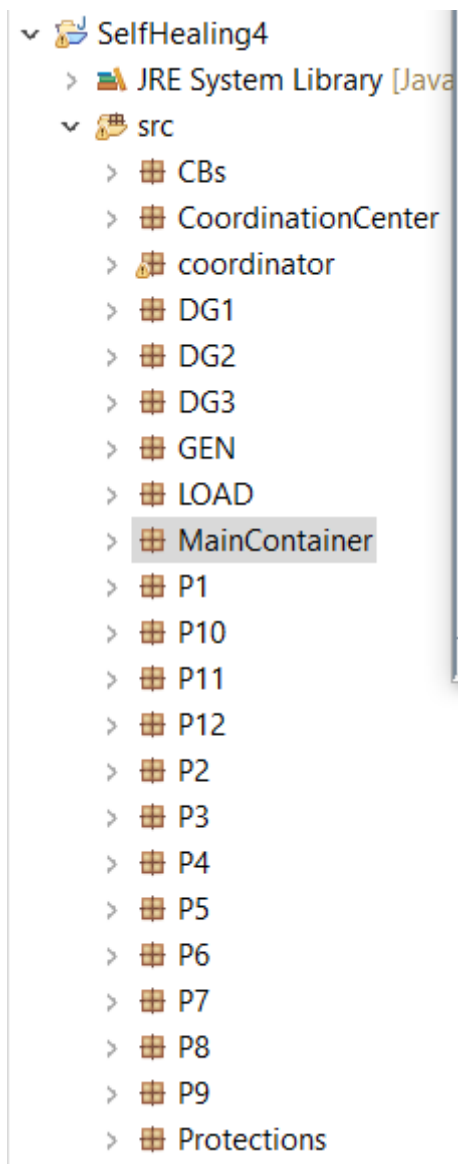
- [17] أ. ا. س. و. أ. ز. خالد, حماية نظم القدرة الكهربائية, دمشق: منشورات جامعة دمشق, 2015.
- [18] L. R. a. V. L. Almas Muhammad, "Over-Current Relay Model Implementation for Real Time Simulation & Hardware-In-the-Loop (HIL) Validation," *IEEE*, Vols. Teknikringen 33, SE-IOO 44, no. 978-1-4673-2421-2/12/\$31.00 , 2012.
- [19] Y. P. E.S.jin, "Design And Evalution Of a Current Differential Relay For Transformer Protection," *IEEE*, 2004.
- [20] Z. Zhang, I. Voloh and J. Cardenas, " Differential protection for power transformers with non-standard phase shifts," *IEEE*, 6/10/2011.
- [21] M. Jdeed, in *Comparison of the Smart Grid Simulation Tools RAPSim and GridLAB-D*, 2016.
- [22] D. A. a. R. D. Tinton Dwi Atmaja, Smart Grid communication applications: measurement, Journal of Mechatronics, Electrical Power, , 25 november 2019.
- [23] I. Atteya, N. Fahmi, D. Strickland and H. Ashour, Utilization of Batteriy Energy Systems (BESS) in Smart Grid: A Review., *Renew Energy Power Qual.*, 2016.
- [24] A. Moslehi, " A Reliability Perspective of the Smart Grid," *IEEE*, 2012.
- [25] R. N. T. L. Chathurika Chandraratne, "Smart Grid Protection through Self-Healing," *IEEE*, 2017.

- [26] K. W. C. a. D. X. U Sheng, Agent-based Self-healing Protection System.
- [27] M. K. S. K. H. a. W. W. HVV Priyadarshana, " A review on Multi-Agent system based energy management systems for micro grids," *AIMS Energy*, 16 dec 2019.
- [28] S. D. J. McArthur, "Multi-Agent Systems for Power Engineering Applications—Part I: Concepts, Approaches, and Technical Challenges," *IEEE TRANSACTIONS ON POWER SYSTEMS*, 4, NOVEMBER 2007.
- [29] J. K. a. R. M. Princy Khamesra, "MULTI-AGENT SYSTEMS BASED INTELLIGENT CONTROL OF microgrid," *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 10 October 2017.
- [30] A. M. a. A. K. Fabrice Lauri, "Multi-Agent Technology for Power System Control," *Green Energy and Technology*, 2014.
- [31] jade, 2014. ز. اللبي, الوجيز في البرمجة متعددة العملاء على المنصة
- [32] F. L. B. B. A. M. A. K. Robin Roche, "Multi-Agent Technology for Power System Control," in *Green Energy and Technology*, June 2013.
- [33] G. C. a. D. G. Fabio Bellifemine, Developing Multi-Agent Systems with JADE, UK: Liverpool University, 2007.
- [34] B. Jp, "IEEE 9 Bus System Example," OPAL-RT Technologies., 2017.

تطبيق نظرية الوكلاء المتعددين على التأهيل الذاتي لنظام الحماية للشبكات الذكية  
عبير أحمد زين

- [35] في محافظة دمشق, kV س. ا. و. ط. الجبان, تحليل جزء من الشبكة الكهربائية 66  
دمشق: جامعة دمشق, 2006

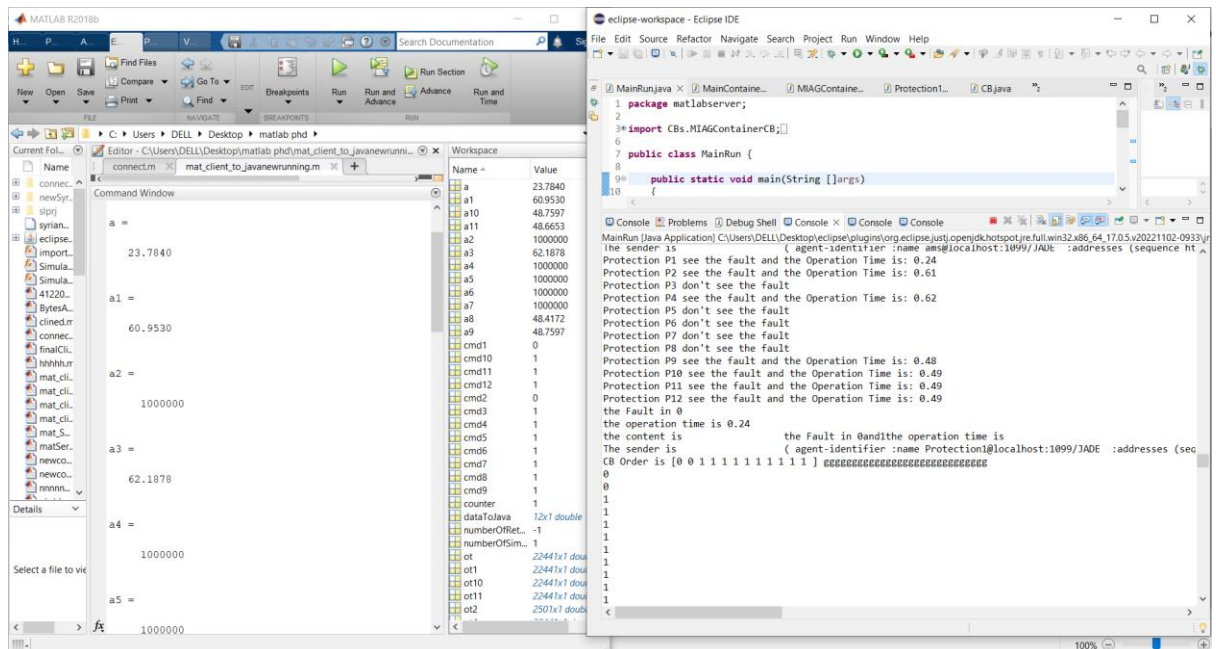
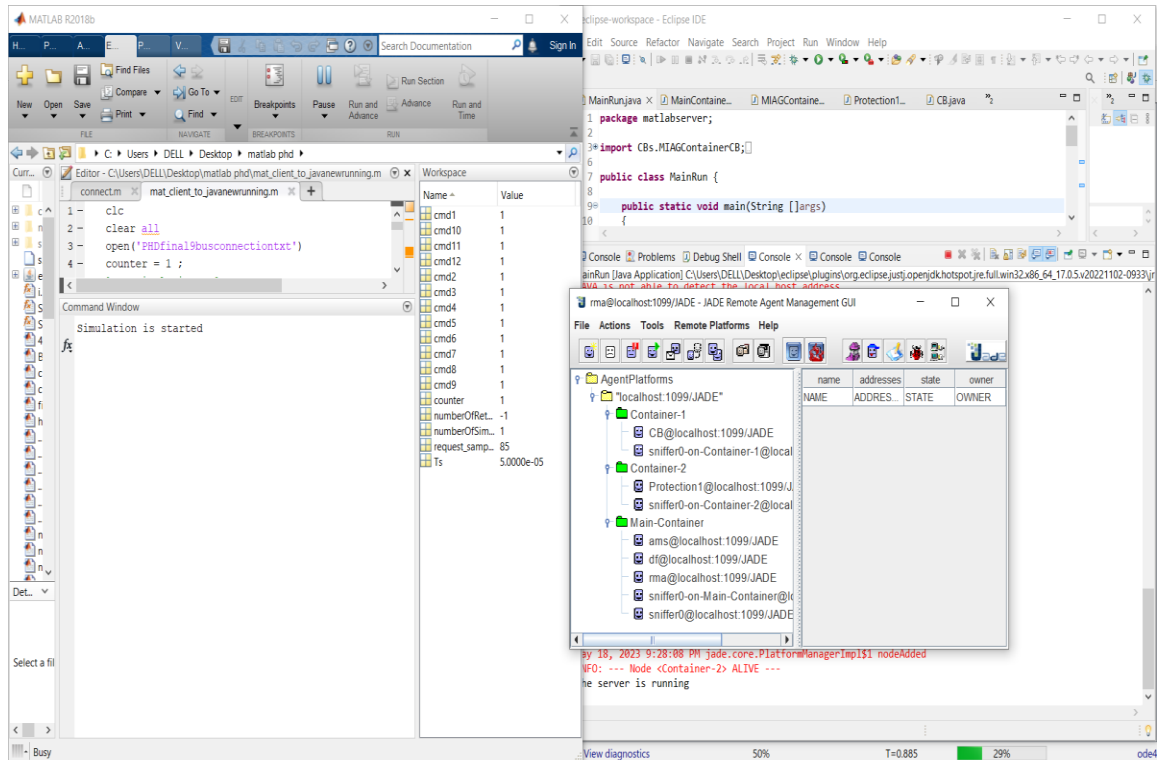
## الملحق A



الشكل (A1) الوكلاء في برنامج Eclipse

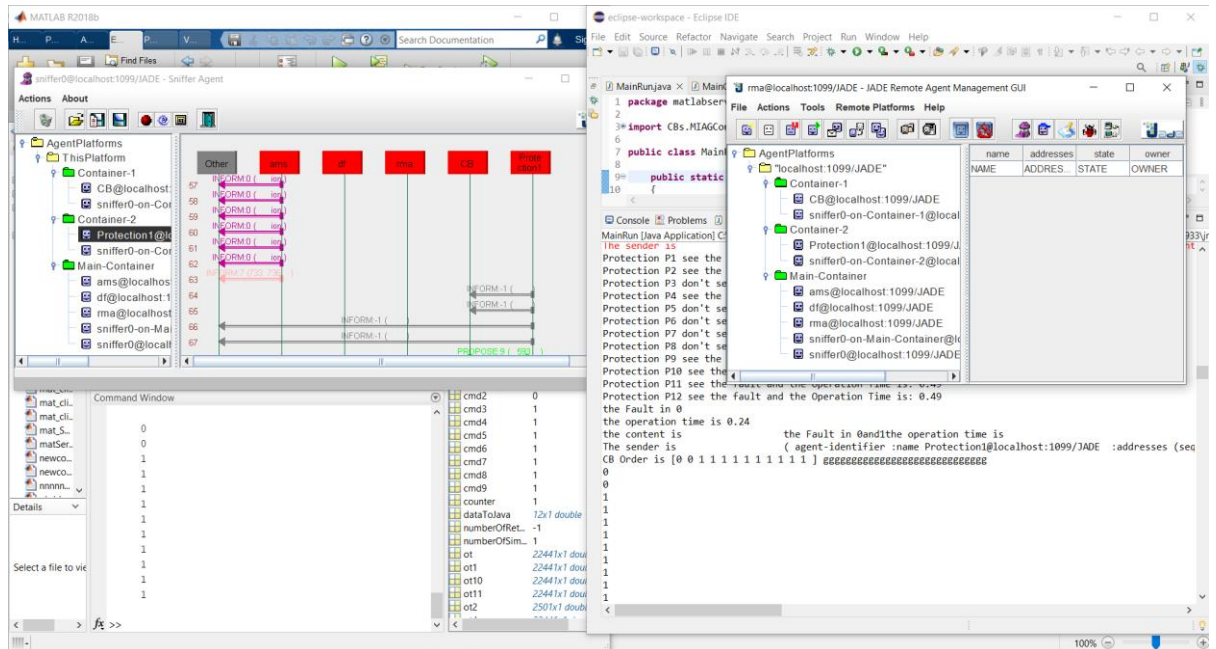
## تطبيق نظرية الوكلاء المتعددين على التأهيل الذاتي لنظام الحماية للشبكات الذكية

عبير أحمد زين



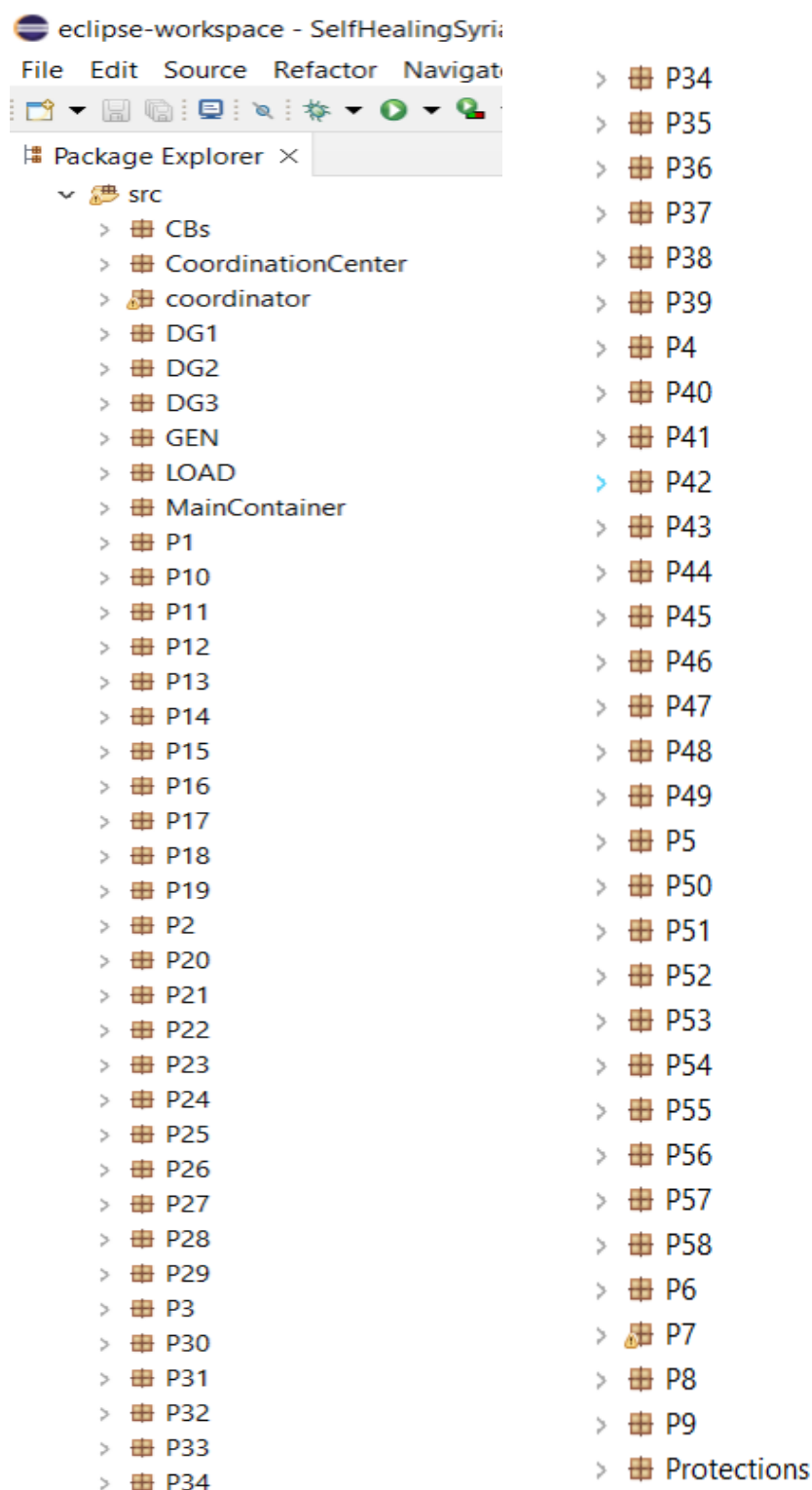
## تطبيق نظرية الوكلاء المتعددين على التأهيل الذاتي لنظام الحماية للشبكات الذكية

عبير أحمد زين



تطبيق نظرية الوكلاء المتعددين على التأهيل الذاتي لنظام الحماية للشبكات الذكية  
عبير أحمد زين

## الملحق B



الشكل (B1) الوكلاء في برنامج Eclipse

## Abstract

The addition of distributed generation to the electrical networks greatly affected the current network protections, which were one-way (from the generation source to the load) and centralized the decision and then became bi-directional. Therefore, we need to strengthen decentralized control and a protection system capable of dealing with a bi-directional network in addition to advanced coordination. And wide-ranging between parts of the entire network, so it is necessary to design an electric power system divided into reliable and independent sectors that can be restructured to secure against faults, each sector of which has sufficient capacity to generate the energy needed at the critical time of the load with the possibility of internal communication between generation, transmission, distribution and control devices, And the exchange of information with all coordination centers distributed along the electrical network.

Smart electrical grids provide uninterrupted power supply to higher priority critical loads based on sophisticated coordination software. The principle of self-healing, which will be presented in this thesis, is one of these modern methods. Self- healing depends on a system of multiple agents that was programmed using the Java language to build a communication system between agents using a serious platform to contribute to raising the level of coordination between the parts of the network with the continuity of feeding the load despite There are faults within the studied network.

In this thesis, an IEEE-9Bus reference electrical network was studied, in addition to a part of the 66kV Syrian network, in the Matlab/Simulink environment, and the variables were sent to the agents system in the Java environment, which simulates a decentralized self- healing system that includes a group of agents capable of making decisions.

The results showed the ability of the protection agent to detect the fault and send disconnect messages to the agent responsible for isolating the fault and restructuring the network so as to maintain the continuity of feeding the loads. The holidays, but the deletion of the holidays is the reason for cutting off the nutrition.

This thesis also presents the use of a serious platform for self-qualification that includes protection agents who sense the fault and the time of disconnection, the protection agent who represents a coordination center for protections that accurately locates the fault according to the time of disconnection, and agents representing the breakers at the beginning and end of each line that separates or connects the transmission lines, Distributor generation agents are added in case of power shortage according to orders from the Coordination Center for Loads and Generation.

**Key words:** Multi Agents System – Self-healing - Matlab Program - Java

**Syrian Arab Republic**

**Damascus University**

**Faculty of Mechanical and Electrical Engineering**

**Electrical Power Engineering Department**



# **Application of the multi Agent System on the Self healing of the smart grid protection system**

**A dissertation submitted in partial fulfillment of the requirements for the  
degree of Ph.D. in electrical power engineering**

**by**

**Eng. Abeer Ahmad Zein**

**Supervisors**

**Ass.Prof. Raed Alshar'ea**

**Ass.Prof. Ghaith Warkozek**

**2022–2023**