مجلة جامعة دمشق للعلوم الهندسية
المجلد40 العدد(3) – 2024: 219–233

Damascus University Journal for engineering sciences
Vo 40 number (3) -2024: 219-233

التأهيل الذاتي للشبكة الكهربائية باستخدام الحماية التفاضلية

عبير زين*[1] رائد الشرع[2] غيث ورقوزق[3]

[1*]. طالبة دكتوراه – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – قسم هندسة الطاقة الكهربائية – جامعة دمشق. (معرف أوركيد https://orcid.org/0000-0003-4330-1113).

[2]. استاذ مساعد - قسم هندسة الطاقة الكهربائية – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – جامعة دمشق. (معرف أوركيد https://orcid.org/0000-0002-4376-1868).

[3]. استاذ مساعد - قسم هندسة الطاقة الكهربائية – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – جامعة دمشق. (معرف أوركيد https://orcid.org/0000-0003-4548-6131).

الملخص:

نتيجة التطور الحاصل أصبح الفرد الواحد بحاجة إلى حصة أكبر من الكهرباء ومع ارتفاع الطلب على الطاقة وانتشار التوليد الموزع كان لابد من تطوير الشبكة الكهربائية لتلبية حاجة المستهلكين بشكل أفضل، وبالتالي نحن بحاجة إلى معالجة الأعطال بالسرعة القصوى لتجنب حالات التعتيم وإلغاءها في المستقبل. فكان التوجه لشبكة أكثر ذكاء وقدرة على معالجة المعطيات والبيانات واتخاذ القرار كما سنرى في بحثنا حول التأهيل الذاتي باستخدام الحماية التفاضلية وسنقوم باستخدام برنامج حاسوبي متقدم (ETAP) وسيتم تحليل النتائج لشبكة IEEE-9bus.

الكلمات المفتاحية: التوليد الموزع، التأهيل الذاتي، الحماية التفاضلية.

تاريخ الايداع: 2022/8/18
تاريخ القبول:20 /2022/11

حقوق النشر: جامعة دمشق – سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب الترخيص CC BY-NC-SA 04

Self-Healing of the electrical network using differential protection

Abeer zein*[1] Raed Alcharea[2] Ghaith Warkozek[3]

*[1.] Postgraduate Student, Department of Electrical Power Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Damascus University, Damascus, Syria.
(Orchid ID https://orcid.org/0000-0003-4330-1113

[2.] Associate Professor, Department of Electrical Power Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Damascus University, Damascus, Syria.
(Orchid ID https://orcid.org/0000-0002-4376-1868)

[3.] Associate Professor, Department of Electrical Power Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Damascus University, Damascus, Syria.
(Orchid ID https://orcid.org/0000-0003-4548-6131)

Received:18 /8/2022
Accepted: 20/11/2022

Copyright: Damascus University- Syria, The authors retain the copyright under a CC BY- NC-SA

Abstract:

As a result of the development that occurred, one person became in need of more electricity, and with the high demand for energy and distributed generation, the electrical network had to develop to better meet the consumer, and therefore we need to heal faults as quickly as possible to avoid blackouts and cancel them in the future. The trend was for a smarter network capable of data processing and decision-making, as we will see in self-healing using the differential protection used in this article and we will use computer program (ETAP) and the results will be analyzed for the IEEE-9bus network.

Keywords: Distributed generation, self-Healing, and differential protection.

المقدمة:

تقدم هذه المقالة التأهيل الذاتي الذي يتمثل بفصل المنطقة التي تحوي العطل مع استمرارية التغذية لباقي الشبكة بموثوقية عالية وبالتالي تساعد في تخفيف الضياعات الكبيرة الناتجة عن خروجها عن الخدمة. من أهم المواصفات الواجب توافرها للحصول على أداء جيد للحاكمة تحسين الموثوقية، ومواجهة العطل ومنع الاضطرابات من الانتشار عبر الشبكة الكهربائية كما سيتم استخدام مجموعة حواكم مختلفة لعزل الجهاز أو جزء من الشبكة خلال العطل[2][1] .

ستتم مناقشة التأهيل الذاتي لنموذج IEEE-9bus من الشبكة الكهربائية باستخدام حماية تفاضلية لحماية المحولات الكهربائية حيث أن الحماية التفاضلية أهم أجهزة الوقاية المستخدمة في حماية المحولات وذلك بفضل دقتها العالية وهي من الحمايات الرئيسية لمعظم مكونات المنظومة الكهربائية[4].

1- هدف البحث: Research objective

يتناول البحث دراسة سلوك الحماية التفاضلية عند استخدامها لحماية محولة ودراسة استجابة هذه الحماية للأعطال بنوعيها أعطال ضمن المنطقة المحمية (أعطال داخلية) وأعطال خارج المنطقة المحمية (أعطال خارجية) وكيفية الحفاظ على استمرارية التغذية للأجزاء المتبقية من الشبكة (غير المتضررة بالعطل) باستخدام التأهيل الذاتي القائم على مبدأ التجزر.

لقد اعتمدنا في البحث طريقة النمذجة والمحاكاة لجزء محدد من الشبكة متمثل بمولد ومحول وحمل كما استخدمنا الحماية التفاضلية لحماية المحول .

ومن أجل التأكد من تحقيق هدف البحث بدقة، تم بناء الدارة باستخدام برنامج محاكاة ETAP الأمر الذي يساعد على توضيح ميزات وسلبيات هذا البرنامج في حالة دراسة التأهيل الذاتي لشبكة مصغرة وتبيان قدرته على معالجة العطل.

3- الدراسة النظرية:Theoretical study

3-1- الحماية التفاضلية:Differential protection

هي حماية نقوم 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 يتم قراءتهما في هاتين النقطتين، كما تعتبر الحماية التفاضلية حماية مركبة لأنها تحتاج إلى قيمتين للتيار على جانبي المنطقة المحمية لكي تعمل[5][3].

تتميز هذه الحماية بما يلي:

- سرعة الاستجابة.
- الوثوقية العالية.
- الانتقائية حيث أنها تميز بين الأعطال داخل المنطقة المحمية والأعطال خارج المنطقة المحمية.
- الحساسية العالية حيث أنه يمكن اختيار تيار اقلاع هذه الحماية عند قيمة أصغر من التيار الاسمي وتيار الفصل يكون بحدود (250 mA) وهو رقم صغير جداً مقارنةً بتيار الحمل أو تيار الخطأ الخارجي[7].

من سلبيات هذه الحماية أنها لا تحمي من زيادة التحميل أو العطل الخارجي (خارج مجال الحماية التفاضلية) وللتغلب على هذه السلبية من الممكن إضافة حماية من زيادة التيار[2].

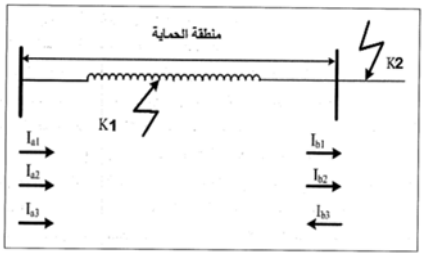
3-2- مبدأ عمل الحماية التفاضلية: Differential protection working principle

تعتمد على مبدأ (Merz price) الذي ينص على أنه إذا كان التيار الداخل إلى الوحدة المحمية يساوي التيار الخارج منها حسب العلاقات:

$$I_{a1} = I_{b1}$$
$$I_{a1} - I_{b1} = 0 \quad \ldots\ldots\ldots (1)$$

فإن هذا يعني أن العطل خارج المنطقة المحمية في النقطة K_2 الموضحة في الشكل(1) حيث هذا العطل لا يقع في المنطقة المحمية والحماية لا تعمل[7][5].

ومن ناحية أخرى فان وجود فرق بين التيار الداخل والتيار الخارج يدل على وجود عطل ضمن المنطقة المحمية مثل النقطة K_1 من الشكل (1) والحماية في هذه الحالة تعمل لفصل تيار العطل بأسرع ما يمكن.



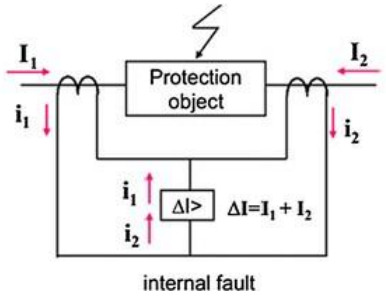
الشكل (1) منطقة الحماية للحماية التفاضلية

في حالة ظهور عطل أو قصر دارة داخل المنطقة المحمية، النقطة (K_1) من الشكل (1) فإن قيمتي التيار لن تكون متساوية ولن يساوي الفرق بينهما صفر، كما أن الاتجاه بالنسبة لتيار I_b سوف يتغير بحيث تتحقق العلاقة التالية:

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

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

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



الشكل (2) المنطقة المحمية للحماية التفاضلي

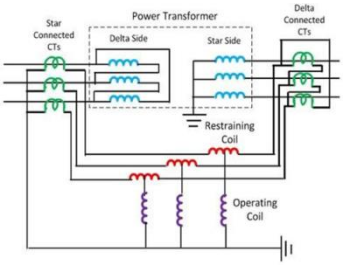
الشكل 2حماية تفاضلية – عطل داخلي

3-3 المحولات: Transformers

إن المحول الكهربائي هو أحد المكونات الرئيسية في نظام الطاقة الكهربائية وهو جهاز ساكن مغلق تماماً واحتمال حدوث العطل فيه نادر نسبياً، ولكن تأثير العطل النادر فيه قد يكون خطيراً للغاية بالنسبة للمحول، لذلك حمايته هو أمر غاية في الأهمية.

يوضح الشكل (3) الدارة المكافئة لحماية المحول باستخدام الحماية التفاضلية.

في حالة العمل الطبيعية يكون التيار المار في الملف الابتدائي هو ذاته في الثانوي مضروباً بنسبة تحويل المحول وفي حالة حدوث أي عطل في منطقة الحماية أو قصر في ملفات المحول فإن التوازن في التيار الداخل والخارج للحماية التفاضلية يتخلخل ويؤدي الى عمل الحماية التفاضلية .



الشكل (3) الدارة المكافئة لحماية المحول باستخدام الحماية التفاضلية

3-4- التأهيل الذاتي:Self-Healing

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[2].

لتحقيق التأهيل الذاتي يجب أن يحتوي النظام على حساسات – تحكم آلي و بيئة برمجية متطورة تستخدم الزمن الحقيقي في نقل البيانات لتحديد وعزل العطل وإعادة هيكلية الشبكة الموزعة لتقليل انقطاع التيار الكهربائي[6][2].

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 لأكبر عدد ممكن من العملاء من مصادر ومغذيات بديلة ، تحتاج هذه العملية من الوقت من دقيقة إلى 5 دقائق لإعادة هيكلة الشبكة[8][2].

وهناك عدة طرق للتأهيل الذاتي:

1. التجزر Islanding.
2. تقنين الأحمال Load shedding.
3. وحدات قياس الطور measurement phaser (PMU) unit: تستخدم هذه الطريقة في الشبكات المتحكم بها في الزمن الحقيقي وهذه الطريقة تكون أكثر سرعة وأمان.
4. حماية الشبكة من الهجوم السيبراني.
5. الغوريتمات تحكم باستخدام المنطق العائم[6].

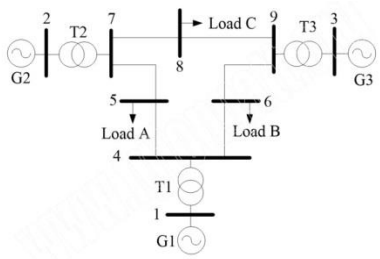
من أهم الطرق المستخدمة في التأهيل الذاتي خاصية التجزر التي تعتمد على فصل المنطقة المعطلة وتحويل الشبكة الكهربائية إلى مجموعة من الجزر هذه الجزر إما أن تكون قادرة على تلبية الطلب من الطاقة الكهربائية أو موصولة مع جزر أخرى تحتوي التوليد اللازم من أجل ضمان استمرارية الشبكة ريثما تم إصلاح العطل الموجود[6].

4- الجزء العملي: The practical part

فيما يلي شرح لنموذج عن جزء من الشبكة الكهربائية متمثل بحماية المحول والتأهيل الذاتي للشبكة بعد حدوث العطل باستخدام برنامج (ETAP)

يتمتع برنامج ETAP ببنية ذات واجهة تخاطبيه سهلة حيث يمكننا من محاكاة أي دارة كهربائية باستخدامه، كما ان الرموز الواردة في البرنامج تتطابق مع الدارات الكهربائية الموجودة ضمن المراجع لذلك من الممكن بسهولة تشكيل أي دارة.

يوضح لنا الشكل (4) مخطط الخط الواحد لدارة IEEE9.



الشكل (4) منحني الخط الواحد لشبكة IEEE-9 bus

تتكون الشبكة السابقة من 9 قضبان تجميع و3 محطات توليد وأربع أحمال و6 خطوط نقل محدداتها موضحة ضمن الجداول (1) و(2) و3):

الجدول (1) توترات قضبان التجميع واستطاعة الأحمال

bus		load		
ID	kV	MW	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 (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 (3) خطوط النقل

Line ID	Length Adj.(ft)	T (◦C)	R Ω/1000ft	X Ω/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

تبين الدارة المبينة في الشكل (5) الدارة المكافئة لحماية محول باستخدام الحماية التفاضلية ضمن شبكة IEEE9 عند نمذجته في برنامج ETAP.

يتكون نظام الحماية من محولتي تيار قبل وبعد المحول وقواطع والحماية التفاضلية.

تقوم محولات التيار (قبل- بعد المحولة) بقراءة التيارات وإرسال القيم للحماية التفاضلية التي تقارن بين القيمتين وترسل أمر الفصل للقاطعين عند تحسسها للعطل. سنقوم بتمثيل حدوث عطل خارج منطقة عمل الحماية التفاضلية واختبار آخر لعطل داخل هذه المنطقة.

4-1: حالة عمل طبيعية:

عند إجراء جريان الحمولة بدون وجود عطل، كانت قيم الاستطاعة على النحو التالي الموضح ضمن الجدول (4).

الجدول (4) جريان الاستطاعة في حالة العمل الطبيعي

From	To	U(kV)	MW	Mvar	Pf %	I(A)
G1	Bus1	16.5	71.337	26.963	93.5	2565.9
Bus1	Bus4	16.5/230	71.337	26.963	94.8	184.1
Bus4	Bus5	230	40.716	22.829	87.2	114.2
Bus4	Bus6	230	60.842	18.099	95.8	154.4
G2	Bus2	18	162.984	6.562	99.8	5105
Bus2	Bus7	18/230	163	9.269	99.9	399.5
Bus7	Bus5	230	86.6	8.45	99.5	212.9
G3	Bus3	13.8	84.996	14.981	98.5	3497.7
Bus3	Bus9	13.8/230	85	10.885	99.2	209.9
Bus9	Bus8	230	24.154	3.117	99.2	59.2
Bus9	Bus6	230	60.842	18.099	95.8	154.4

المحددات السابقة موضحة في الشكل (6) الذي يحاكي حالة العمل الطبيعي لدارة IEEE9.

ب – حالة وجود عطل خارج منطقة الحماية:

يوضح الشكل(7) عمل الدارة في حال وجود عطل في المنطقة غير المحمية حيث تمثل القيم الموجودة بجانب كل قضيب تجميع قيمة توتر هذا الباسبار طويلة وزاوية على سبيل المثال bus1توتره 12.67kVكطويلة وزاويته 31.38. حيث تم تطبيق عطل على قضيب التجميع 7

وتغير اتجاه التيار بعد المحول ليصبح مغذيا للعطل ولكن لن تختلف قراءة التيار بالنسبة للحماية التفاضلية بالتالي الفرق بينهما يساوي الصفر أي أن الحماية لاترى العطل ،عندها حالة عمل طبيعي وهو غير صحيح بالنسبة للشبكة.

بعد تشغيل الدارة انخفض التوتر وازداد التيار لتصبح النتائج كما هي موضحة في الجدول 5 الذي يبين لنا نتائج عطل ثلاثي الطور.

يبين لنا الجدول 6 نتائج عطل طور A مع الأرض

أ. هبوط التوتر على العقد

الجدول(5): نتائج عطل ثلاثي الطور عند bus7

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

الجدول (6) نتائج عطل طور A مع الأرض أ. هبوط التوتر في العقد

Contribution		3-Phase Fault
From Bus ID	To Bus ID	kA Symm.
Bus 7	Total	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

ب.التيارات في الخطوط

Bus ID	هبوطات 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

Contribution		Line-To-Ground Fault	
From Bus ID	To Bus ID	kA Symm. rms Ia	3I0
Bus 7	Total	2.029	2.029
Bus 5	Bus 7	0.714	1.297
Bus 8	Bus 7	0.579	0.733
Bus 2	Bus 7	0.737	0.000
Bus 4	Bus 5	0.714	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

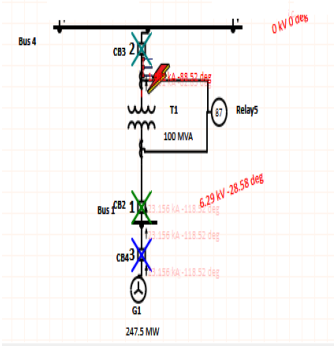
ج – حالة وجود عطل داخل منطقة الحماية للمحول T1:

توضح الأشكال (8 و 9 و10) عمل الدارة في حال كان العطل ضمن المنطقة المحمية الخاصة بالمحول T1، حيث تتحسس الحماية للعطل وتقوم بإعطاء أمر للقاطع CB2 بالفصل ثم للقاطع CB3 اللذان يقومان بفصل المحولة T1 وأيضا يوجد أمر ثالث لفصل التوليد عن المحول من خلال القاطع CB4 وهذا ما تم تحديده من قبل المبرمج كإعدادات التشغيل للحماية التفاضلية . حيث اعتمدنا فصل القاطعين في حال حدوث عطل ضمن المنطقة المحمية بالترتيب يفصل القاطع CB2 كما في الشكل(8) ثم القاطع CB3 كما في الشكل (9) ثم القاطع CB4 الشكل (10) بفارق زمني 0.2sec.

تبين لنا الأشكال (8 و 9 و10) أن قيمة تيار العطل هي نفسها في حالة العطل الخارجي ولكن بما أن العطل ضمن المنطقة المحمية فهو يسبب فرق بين تياري الأولي والثانوي للمحول وعليه تم إعطاء أمر الفصل للقواطع.

بعد أن يتم هذا الفصل تكون الحماية قد حققت فصل الجزء المعطل بأسرع وقت ممكن عن الشبكة، كما سيتم فصل المولد G1 عن طريق القاطع CB4 ويكون هذا القاطع بمثابة قاطع احتياطي لهذه الحماية كما في الشكل (10).

يمثل الشكل (11) تكبير للجزء المخصص لحماية المحول T1.



الشكل (11) دارة حماية محول في بيئة Etap– عطل داخلي

تيارات العطل عند bus 1 موضحة من خلال الجدول 7 للأعطال (عطل ثلاثي الطور–عطل طور مع الأرض – عطل طورين – عطل طورين مع الأرض).

الجدول (7) تيار العطل عند bus1

Bus		3-Phase Fault		
ID	kV	Real	Imag.	Mag.
Bus 1	16.500	2.770	-49.523	49.600
Bus		**Line-to-Ground Fault**		
ID	kV	Real	Imag.	Mag.
Bus 1	16.500	6.250	-68.475	68.759
Bus		**Line-to-Line Fault**		
ID	kV	Real	Imag.	Mag.
Bus 1	16.500	48.137	3.859	48.291
Bus		***Line-to-Line-to-Ground**		
ID	kV	Real	Imag.	Mag.
Bus 1	16.500	-48.594	36.446	60.743

تقوم الشبكة بتغذية الأحمال التي تتغذى من العطل سابقاً من محطات التوليد G2-G3 عبر خطوط النقل 3-4 حتى يتم اصلاح العطل و اعادة الجاهزية للشبكة .

يوضح الشكل (12) بناء الدارة بعد فصل المحول T1والمنبع G1 لدراسة جريان الاستطاعة في هذه الحالة.

تبين نتائج النمذجة للتأهيل الذاتي للشبكة السابقة أنه عند غياب المولد G1 والمحول T1 أن قضيب التجميع bus5 عليه هبوط توتر بنسبة 6.5% والمولد G2 طبق عليه حمولة زائدة حيث قيمة استطاعته الحدية 163.2[MW] وطبق عليه 214.581[MW] بالتالي نحن بحاجة لمجموعة توليد إضافية على هذه الدارة تغطي هذا النقص.

يبين الجدول 8 نتائج جريان الاستطاعة في هذه الحالة.

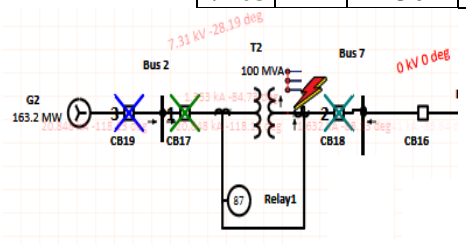
الجدول (8) نتائج جريان الاستطاعة بدون G1-T1

From	To	U(kV)	MW	Mvar	Pf %	I(A)
5Bus	4Bus	230	2.458	26.965	9.1	71.9
Bus4	Bus6	230	2.416	11.31	20.9	30.2
G2	Bus2	18	214.553	9.565	99.9	6818
Bus2	Bus7	18/230	214.581	37.807	98.5	533.6
Bus7	Bus5	230	119.621	12.528	99.5	298.8
G3	Bus3	13.8	84.996	7.421	99.6	3501.2
Bus3	Bus9	13.8/230	85.3	11.524	99.1	210.1
Bus9	Bus8	230	2.988	7.227	38.3	19.3
Bus9	Bus6	230	82.008	0.194	100	201.9
7Bus	Bus8	230	94.931	2.963	100	236

د – حالة وجود عطل داخل منطقة الحماية للمحول T2:

تم توصيل الحماية التفاضلية للمحولة T2 بالقواطع CB17-CB18-CB19 حيث تقوم بفصل القاطعين 17-18 لعزل المحول (الجزء المعطل) كما في الشكل (13).

يمثل القاطع 19 حماية احتياطية لفصل التوليد عن المحول كما في الشكل (14) الذي يمثل جزء من الدارة السابقة الخاص بالمحول T2 وحمايته.



الشكل(14) دارة حماية محول في بيئة Etap– عطل عند T2

يبين لنا الجدول 9 تيارات العطل عند bus 7 للأعطال (عطل ثلاثي الطور–عطل طور مع الأرض – عطل طورين – عطل طورين مع الأرض).

الجدول (9) تيار العطل عند bus7

Bus		3-Phase Fault		
ID	kV	Real	Imag.	Mag.
Bus 7	230.000	0.177	-2.978	2.983
Bus		**Line-to-Ground Fault**		
ID	kV	Real	Imag.	Mag.
Bus 7	230.000	0.210	-2.019	2.029
Bus		**Line-to-Line Fault**		
ID	kV	Real	Imag.	Mag.
Bus 7	230.000	2.628	0.193	2.635
Bus		***Line-to-Line-to-Ground**		
ID	kV	Real	Imag.	Mag.
Bus 7	230.000	-2.698	0.556	2.754

تقوم الشبكة بتغذية الأحمال التي تتغذى من العطل سابقاً من محطات التوليد G1-G3 عبر خط النقل3 حتى يتم اصلاح العطل و اعادة الجاهزية للشبكة .

يوضح الشكل (15) بناء الدارة بعد فصل المحول T2والمنبع G2 لدراسة جريان الاستطاعة في هذه الحالة.

تبين نتائج النمذجة للتأهيل الذاتي للشبكة السابقة أنه عند غياب المولد G2 والمحول T2 غياب مشاكل زيادة التحميل وهبوط التوتر حيث يبين الجدول 10 نتائج جريان الاستطاعة في هذه الحالة.

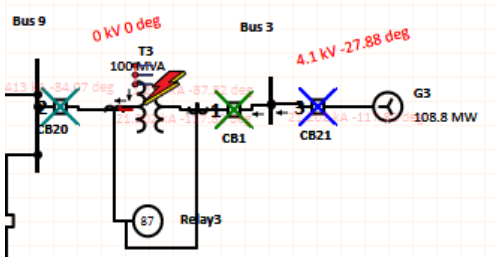
الجدول (10) نتائج جريان الاستطاعة بدون G2-T2

From	To	U(kV)	MW	Mvar	Pf %	I(A)
G1	Bus1	16.5	231.384	42.009	98.4	7912.2
Bus1	Bus4	16.5/230	231.354	12.558	99.9	567.6
5Bus	4Bus	230	142.494	19.19	99.1	352.2
Bus4	Bus6	230	88.861	6.633	99.7	218.3
5Bus	7Bus	230	16.176	29.685	47.8	85.4
G3	Bus3	13.8	84.996	5.816	99.8	3470
Bus3	Bus9	13.8/230	85	1.785	100	208.2
Bus9	Bus8	230	82.805	4.154	99.8	202.6
Bus9	Bus6	230	2.191	9.972	21.5	25
Bus7	Bus8	230	16.022	0.352	100	39.7

هـ – حالة وجود عطل داخل منطقة الحماية للمحول T3:

تم توصيل الحماية التفاضلية للمحولة T3 بالقواطع CB1-CB20-CB21 حيث تقوم بفصل القاطعين1-20 لعزل المحولT3 (الجزء المعطل) كما في الشكل (15).

يمثل القاطع 21 حماية احتياطية لفصل التوليد عن المحول كما في الشكل (16) الذي يمثل جزء من الدارة السابقة الخاص بحماية المحول T3



الشكل (16) دارة حماية محول في بيئة Etap– عطل عند T3

تبين النتائج أن توتر bus 9 أصبح مساويا للصفر نتيجة فصل القواطع كما يبين لنا الجدول11 تيارات العطل عند bus 9 للأعطال (عطل ثلاثي الطور–عطل طور مع الأرض – عطل طورين – عطل طورين مع الأرض

الجدول (11) تيار العطل عند bus 9

Bus		3-Phase Fault		
ID	kV	Real	Imag.	Mag.
Bus 3	13.800	2.969	-47.394	47.487
Bus		**Line-to-Ground Fault**		
ID	kV	Real	Imag.	Mag.
Bus 3	13.800	5.156	-62.665	62.877
Bus		**Line-to-Line Fault**		
ID	kV	Real	Imag.	Mag.
Bus 3	13.800	41.870	3.473	42.014
Bus		***Line-to-Line-to-Ground**		
ID	kV	Real	Imag.	Mag.
Bus 3	13.800	38.726	46.555	60.557

عند وجود العطل تقوم الشبكة بتغذية الأحمال التي تتغذى من العطل سابقاً من محطات التوليد G1-G2 عبر خط النقل 4 حتى يتم اصلاح العطل واعادة الجاهزية للشبكة .

يوضح الشكل (17) بناء الدارة بعد فصل المحولT3 والمنبع G3 لدراسة جريان الاستطاعة في هذه الحالة.

يبين الجدول 12 نتائج النمذجة للتأهيل الذاتي للشبكة السابقة.

الجدول (12) نتائج جريان الاستطاعة بدونG3-T3

From	To	U(kV)	MW	Mvar	Pf %	I(A)
G1	Bus1	16.5	158.419	24.273	98.8	5392
Bus1	Bus4	16.5/230	158.406	10.594	99.8	386.5
Bus4	Bus5	230	74.556	18.585	97	187.2
Bus4	Bus6	230	83.849	7.991	99.5	205.2
G2	Bus2	18	162.984	11.838	99.7	5102
Bus2	Bus7	18/230	163	3.977	100	399.3
Bus7	Bus5	230	53.177	8.274	98.8	131.5
Bus7	Bus8	230	108.834	3.784	99.9	268.5
Bus9	Bus8	230	8.42	31.347	25.9	80
Bus9	Bus6	230	8.364	9.746	55.1	31.1

يتميز برنامج Etap بواجهة تخاطبية سهلة مما ساعد في بناء الدارة بسهولة ولكنه يقوم بإعطاء قيم لحظية فقط للدارة كما يمكننا من طباعة تقرير كامل للحظة من لحظات العمل (أثناء العطل – قبل العطل – بعد العطل). لهذا السبب تم بناء النموذج الحاسوبي على ثلاث مراحل تحاكي لحظات العمل السابقة لمعرفة جريان الاستطاعة والتيارات والمتطلبات الواجب تعديلها على النموذج.

تم التأكد من إمكانية استخدام الحماية التفاضلية في التأهيل الذاتي بعد اختبارها عند اعطال مختلفة وبأماكن مختلفة حيث كانت قيم تيار العطل واحدة سواء كان العطل خارجي أم داخلي ولكن الحماية لم تتحسس إلا للعطل الموجود داخل المنطقة المحمية وهذا الشرط تحقق وتمكنا من فصل العطل بسرعة ووثوقية مع استمرارية التغذية للأحمال خلال فترة العطل، يوضح الجدول(13) نتائج تيارات الخطوط في الحالات السابقة كاملة

الجدول (13) نتائج تيارات الخطوط

From	To	U(kV)	I(A)			
			بدونG3-T3	بدون G2-T2	بدونG1-T1	الحالة الطبيعية
G1	Bus1	16.5	5392	7912.2	-	2565.9
Bus1	Bus4	16.5/230	386.5	567.6	-	184.1
Bus4	Bus5	230	187.2	352.2	71.9	114.2
Bus4	Bus6	230	205.2	218.3	30.2	154.4
G2	Bus2	18	5102	-	6818	5105
Bus2	Bus7	18/230	399.3	-	533.6	399.5
Bus7	Bus5	230	131.5	85.4	298.8	212.9
G3	Bus3	13.8	-	3470	3501.2	3497.7
Bus3	Bus9	13.8/230	-	208.2	210.1	209.9
Bus9	Bus8	230	80	202.6	19.3	59.2
Bus9	Bus6	230	31.1	25	201.9	154.4

Damascus University Journal for engineering sciences
Vo 40 number (3) -2024: 219-233

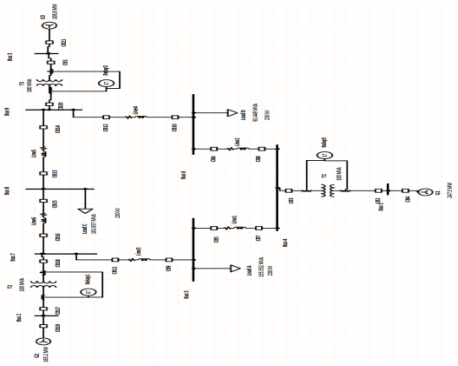
5- خاتمة Conclusion :

تمت في هذه المقالة نمذجة الحماية التفاضلية لمحولة ودراسة التأهيل الذاتي باستخدام برنامج (Etap) حيث تمكنا من خلال المثال العملي الذي تم بناؤه باستخدام برنامج Etap الذي تميز بالسهولة من حيث بناء النموذج بفضل استخدامه لواجهة تخاطبية سهلة تطابق رسم الدارات في المراجع العلمية الكهربائية، ويمكننا هذا البرنامج من التأهيل الذاتي من خلال فصل المنطقة المعطلة مع استمرارية عمل باقي الدارة (حالة التجزر) كما تمكنا من وضع فواصل زمنية لترتيب عمل القواطع بهدف تحقيق الوثوقية والانتقائية اللتان تعتبران من أهم ميزات التأهيل الذاتي.

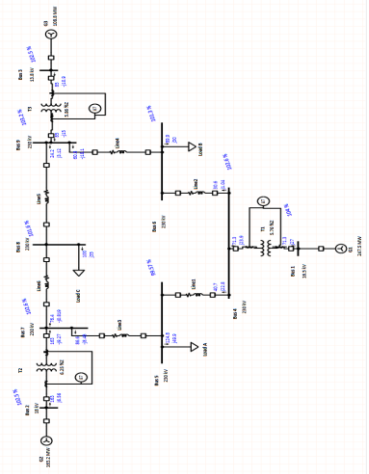
كما تمكنا من دراسة حالات تشغيل مختلفة للدارة (قبل العطل – أثناء العطل – بعد العطل) ودراسة جريان الاستطاعة في كل حالة على حدا نظرا لكون البرنامج يقوم بدراسة حالة محددة من الزمن.

تم بفضل خاصية الفصل الآني للحماية التفاضلية حصر العطل الموجود في الشبكة السابقة ضمن نطاق ضيق وعزله واستمر المستهلك باستجرار التيار الكهربائي الذي لم ينقطع لكنه زاد التحميل نتيجة ارتفاع التيار وهبوط التوتر في نقطة ربط الأحمال مع الشبكة وهذا الأمر غير مرغوب به إذا استمر لفترة طويلة علما أنه حالة مؤقتة على سبيل المثال عند غياب مجموعة التوليد الأولى المتمثلة ب G1-T1 فإن التيار المستجر من محطات التوليد G2 و G3 ازداد من 3497.7A–5105A إلى 3501.2A–6818 على التوالي بينما في الأحمال انخفض التيار المستجر من قبلها بسبب غياب أكبر مجموعة توليد حيث انخفضت من 114.2Aإلى 71.9A للحمولة عند العقدة الخامسة.

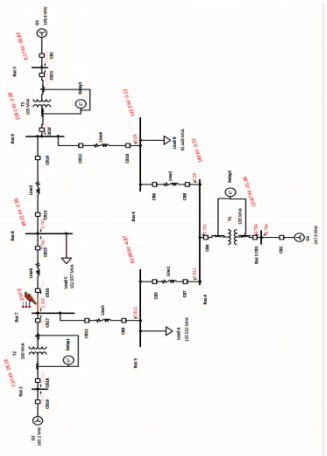
ملحق الأشكال



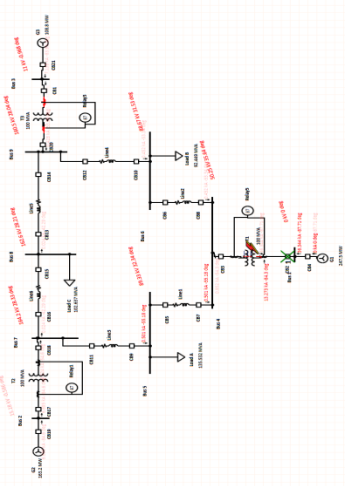
الشكل (5) دارة حماية المحولات ضمن شبكة IEEE-9



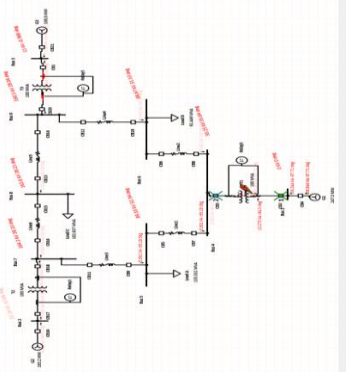
الشكل (6) دارة حماية محول في بيئة ETAP



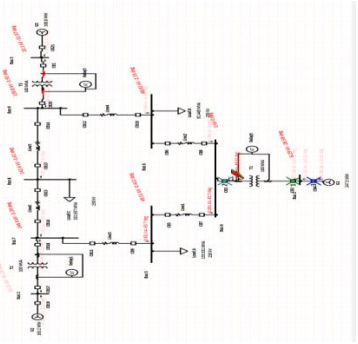
الشكل (7) دارة حماية محول في بيئة ETAP – عطل خارجي



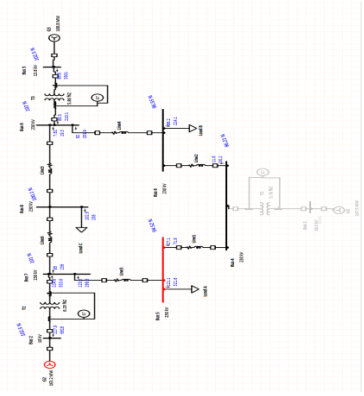
الشكل (8) دارة حماية محول في بيئة Etap– عطل داخلي



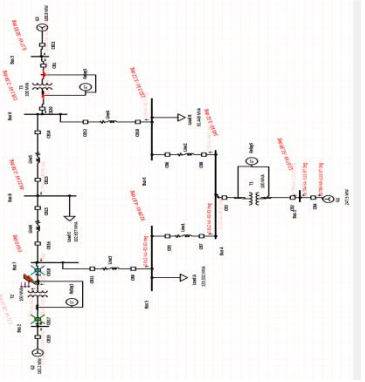
الشكل (9) دارة حماية محول في بيئة Etap– عطل داخلي



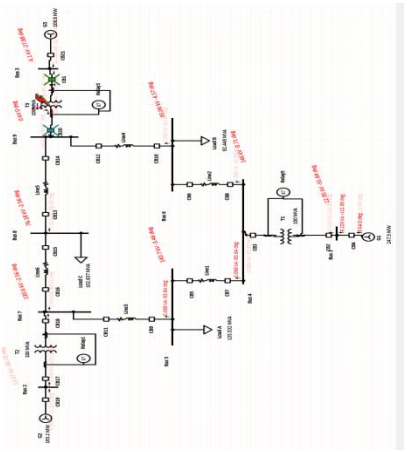
الشكل (10) دارة حماية محول في بيئة Etap– عطل داخلي



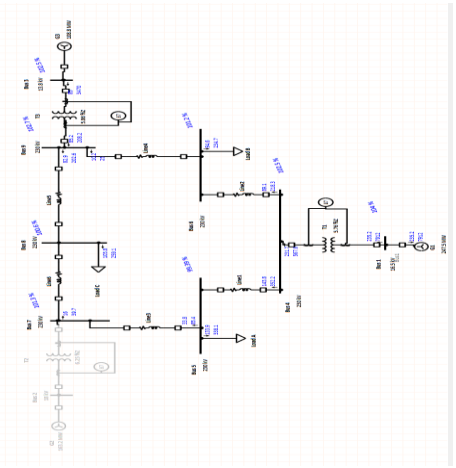
الشكل (12) دارة التأهيل الذاتي عند وجود عطل على المحول T1



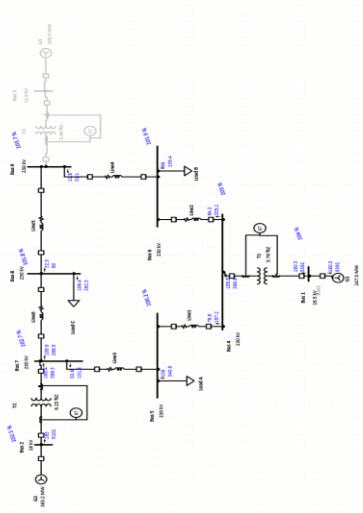
الشكل (13) دارة حماية محول في بيئة Etap– عطل عند T2



الشكل (14) دارة حماية محول في بيئة Etap– عطل عند T3



الشكل (15) دارة التأهيل الذاتي عند وجود عطل على المحول T2



الشكل (17) دارة التأهيل الذاتي عند وجود عطل على المحول T3

التمويل: هذا البحث ممول من جامعة دمشق
وفق رقم التمويل (501100020595).

References:

1. Bashar M salih, Mohammed Ahmed Ibrahim and Ali Nathim(2021). Differential Relay Protection for Prototype Transformer. Przegland Electrotechniczny, ISSN 0033-2097, R.97 NR 6/2021.
2. Chathurika Chandraratne, R.T. Naayagi, Thillainathan Logenthiran, (2017) "Smart Grid Protection through Self-Healing", IEEE.
3. E.S.jin, Y.C.Kang, P.A.crossley,(2004) "Design And Evalution Of a Current Differential Relay For Transformer Protection ,IEEE.
4. Javad AZARAKHSH, (2017)" The Power Transformer Differential Protection Using Decision Tree", Bulletin de la Société Royale des Sciences de Liège, Vol. 86, special edition , p. 726 – 738.
5. ; Ilia Voloh; Jorge Cardenas, (6/10/2011)" Differential protection for power transformers with Zhiying Zhang non-standard phase shifts", paper, IEEE.
6. Mehmet Cinar and Asim Kaygusuz, (2018)" Self-Healing In smart Grid: A Review, BEU Journal of Science.
7. Ouahdi Dris, Farag. M. Elmareim and Rekina Fouad, " TRANSFORMER DIFFERENTIAL PROTECTION SCHEME WITH INTERNAL FAULTS DETECTION ALGORITHM USING SECOND HARMONICS RESTRAIN AND FIFTH HARMONICS BLOCKING LOGIC",
8. U Sheng, K.K.Li, W.L. Chan, and Duan Xianzhong, "Agent-based Self-healing Protection System ".