

مجلة جامعة البعث

سلسلة العلوم الهندسية الميكانيكية و
الكهربائية و المعلوماتية



مجلة علمية محكمة دورية

المجلد 44 . العدد 16

1443 هـ - 2022 م

الأستاذ الدكتور عبد الباسط الخطيب
رئيس جامعة البعث
المدير المسؤول عن المجلة

أ. د. ناصر سعد الدين	رئيس هيئة التحرير
أ. د. هايل الطالب	رئيس التحرير

مديرة مكتب مجلة جامعة البعث
بشرى مصطفى

عضو هيئة التحرير	د. محمد هلال
عضو هيئة التحرير	د. فهد شريباتي
عضو هيئة التحرير	د. معن سلامة
عضو هيئة التحرير	د. جمال العلي
عضو هيئة التحرير	د. عباد كاسوحة
عضو هيئة التحرير	د. محمود عامر
عضو هيئة التحرير	د. أحمد الحسن
عضو هيئة التحرير	د. سونيا عطية
عضو هيئة التحرير	د. ريم ديب
عضو هيئة التحرير	د. حسن مشرقي
عضو هيئة التحرير	د. هيثم حسن
عضو هيئة التحرير	د. نزار عبشي

تهدف المجلة إلى نشر البحوث العلمية الأصيلة، ويمكن للراغبين في طلبها

الاتصال بالعنوان التالي:

رئيس تحرير مجلة جامعة البعث

سورية . حمص . جامعة البعث . الإدارة المركزية . ص . ب (77)

. هاتف / فاكس : 2138071 31 963 ++

. موقع الإنترنت : www.albaath-univ.edu.sy

. البريد الإلكتروني : [magazine@ albaath-univ.edu.sy](mailto:magazine@albaath-univ.edu.sy)

ISSN: 1022-467X

شروط النشر في مجلة جامعة البعث

الأوراق المطلوبة:

- 2 نسخة ورقية من البحث بدون اسم الباحث / الكلية / الجامعة) + CD / word من البحث منسق حسب شروط المجلة.
 - طابع بحث علمي + طابع نقابة معلمين.
 - إذا كان الباحث طالب دراسات عليا:
يجب إرفاق قرار تسجيل الدكتوراه / ماجستير + كتاب من الدكتور المشرف بموافقة على النشر في المجلة.
 - إذا كان الباحث عضو هيئة تدريسية:
يجب إرفاق قرار المجلس المختص بإنجاز البحث أو قرار قسم بالموافقة على اعتماده حسب الحال.
 - إذا كان الباحث عضو هيئة تدريسية من خارج جامعة البعث :
يجب إحضار كتاب من عمادة كليته تثبت أنه عضو بالهيئة التدريسية و على رأس عمله حتى تاريخه.
 - إذا كان الباحث عضواً في الهيئة الفنية :
يجب إرفاق كتاب يحدد فيه مكان و زمان إجراء البحث ، وما يثبت صفته وأنه على رأس عمله.
 - يتم ترتيب البحث على النحو الآتي بالنسبة لكليات (العلوم الطبية والهندسية والأساسية والتطبيقية):
عنوان البحث .. ملخص عربي و إنكليزي (كلمات مفتاحية في نهاية الملخصين).
- 1- مقدمة
 - 2- هدف البحث
 - 3- مواد وطرق البحث
 - 4- النتائج ومناقشتها .
 - 5- الاستنتاجات والتوصيات .
 - 6- المراجع.

- يتم ترتيب البحث على النحو الآتي بالنسبة لكليات (الآداب - الاقتصاد - التربية - الحقوق - السياحة - التربية الموسيقية وجميع العلوم الإنسانية):
- عنوان البحث .. ملخص عربي و إنكليزي (كلمات مفتاحية في نهاية الملخصين).
- 1. مقدمة.
- 2. مشكلة البحث وأهميته والجديد فيه.
- 3. أهداف البحث و أسئلته.
- 4. فرضيات البحث و حدوده.
- 5. مصطلحات البحث و تعريفاته الإجرائية.
- 6. الإطار النظري و الدراسات السابقة.
- 7. منهج البحث و إجراءاته.
- 8. عرض البحث و المناقشة والتحليل
- 9. نتائج البحث.
- 10. مقترحات البحث إن وجدت.
- 11. قائمة المصادر والمراجع.
- 7- يجب اعتماد الإعدادات الآتية أثناء طباعة البحث على الكمبيوتر:
 - أ- قياس الورق 25×17.5 B5.
 - ب- هوامش الصفحة: أعلى 2.54- أسفل 2.54 - يمين 2.5- يسار 2.5 سم
 - ت- رأس الصفحة 1.6 / تذييل الصفحة 1.8
 - ث- نوع الخط وقياسه: العنوان . Monotype Koufi قياس 20
- . كتابة النص Simplified Arabic قياس 13 عادي . العناوين الفرعية Simplified Arabic قياس 13 عريض.
- ج . يجب مراعاة أن يكون قياس الصور والجداول المدرجة في البحث لا يتعدى 12سم.
- 8- في حال عدم إجراء البحث وفقاً لما ورد أعلاه من إشارات فإن البحث سيهمل ولا يرد البحث إلى صاحبه.
- 9- تقديم أي بحث للنشر في المجلة يدل ضمناً على عدم نشره في أي مكان آخر، وفي حال قبول البحث للنشر في مجلة جامعة البعث يجب عدم نشره في أي مجلة أخرى.
- 10- الناشر غير مسؤول عن محتوى ما ينشر من مادة الموضوعات التي تنشر في المجلة

11- تكتب المراجع ضمن النص على الشكل التالي: [1] ثم رقم الصفحة ويفضل استخدام التهميش الإلكتروني المعمول به في نظام وورد WORD حيث يشير الرقم إلى رقم المرجع الوارد في قائمة المراجع.

تكتب جميع المراجع باللغة الانكليزية (الأحرف الرومانية) وفق التالي:
آ . إذا كان المرجع أجنبياً:

الكنية بالأحرف الكبيرة . الحرف الأول من الاسم تتبعه فاصلة . سنة النشر . وتتبعها معترضة (-) عنوان الكتاب ويوضع تحته خط وتتبعه نقطة . دار النشر وتتبعها فاصلة . الطبعة (ثانية . ثالثة) . بلد النشر وتتبعها فاصلة . عدد صفحات الكتاب وتتبعها نقطة .
وفيما يلي مثال على ذلك:

-MAVRODEANUS, R1986- Flame Spectroscopy. Willy, New York, 373p.

ب . إذا كان المرجع بحثاً منشوراً في مجلة باللغة الأجنبية:

. بعد الكنية والاسم وسنة النشر يضاف عنوان البحث وتتبعه فاصلة، اسم المجلد ويوضع تحته خط وتتبعه فاصلة . المجلد والعدد (كتابة مختزلة) وبعدها فاصلة . أرقام الصفحات الخاصة بالبحث ضمن المجلة.
مثال على ذلك:

BUSSE,E 1980 Organic Brain Diseases Clinical Psychiatry News ,
Vol. 4. 20 – 60

ج . إذا كان المرجع أو البحث منشوراً باللغة العربية فيجب تحويله إلى اللغة الإنكليزية و
التقيد

بالبنود (أ و ب) ويكتب في نهاية المراجع العربية: (المراجع In Arabic)

رسوم النشر في مجلة جامعة البعث

1. دفع رسم نشر (20000) ل.س عشرون ألف ليرة سورية عن كل بحث لكل باحث يريد نشره في مجلة جامعة البعث.
2. دفع رسم نشر (50000) ل.س خمسون ألف ليرة سورية عن كل بحث للباحثين من الجامعة الخاصة والافتراضية .
3. دفع رسم نشر (200) مئتا دولار أمريكي فقط للباحثين من خارج القطر العربي السوري .
4. دفع مبلغ (3000) ل.س ثلاثة آلاف ليرة سورية رسم موافقة على النشر من كافة الباحثين.

المحتوى

الصفحة	اسم الباحث	اسم البحث
46-11	م. رامي الفارس د. مظهر عز الدين	نمذجة الحماية التفاضلية والتعرف على تيارات الاندفاع والعوامل المؤثرة عليها
72-47	م. رشا قبيطري د. ياسر استانبولي	دراسة مقارنة بين عائلات التحويل الموجي في الكشف الآلي عن الأمراض القلبية باستخدام إشارة ECG
100-73	م. رضوان المحمد د. مسعود الأتاسي	نمذجة و محاكاة شبكة إيثرنت صناعية تستخدم بروتوكول MODBUS TCP/IP
124-101	د. السموع صالحي د. تغريد حداد م.رنا حسن	تصميم مرشح متعدد الحزم في مجال ترددات التيارات باستخدام التوزيع التجزيئي لسرعات الجرافين ضمن دليل الموجة

158-125	د. محمد حجازية م. يوسف نتيقة	دراسة تأثير استخدام الخوارزميات التطورية في تخفيض استهلاك الطاقة في أنظمة الزمن الحقيقي
---------	---------------------------------	---

نموذجة الحماية التفاضلية والتعرف على تيارات الاندفاع والعوامل المؤثرة عليها

طالب الماجستير: م. رامي الفارس

كلية الهمك - جامعة البعث

اشراف الدكتور: مظهر عزالدين

الملخص

يهدف هذا البحث الى دراسة تأثيرات تيار المغنطة على عمل الحماية التفاضلية الخاصة بحماية محولات الطاقة الكهربائية، وذلك من خلال إنشاء نموذج لحماية تفاضلية تحمي

محولة كهربائية باستخدام MATLAB (R2013a)

بالإضافة الى التعرف على مبدأ عمل الحماية التفاضلية وتيارات الاندفاع التي تنشأ في

المحولات وأسباب نشوئها واثارها السلبية على المحول وعلى النظام ودراسة العوامل

المؤثرة عليها وإجراء تحسين لكل عامل من العوامل المؤثرة ومقارنة مطال تيار الاندفاع

قبل التحسين وبعده

الكلمات المفتاحية:

حماية تفاضلية، محول، تيار الاندفاع، ظاهرة الإشباع، التوافقية الثانية، عطل داخلي،

عطل خارجي.

Modeling of differential protection and identifying the inrush currents and factors affecting them

Abstract

This research aims to study the effects of inrush current on the differential protection work for the protection of electric power transformers, by creating a model for differential protection that protects an electric transformer using MATLAB (R2013a) In addition, to identify the principle of differential protection and the inrush currents that arise in transformers, the causes of their emergence and their negative effects on the transformer and the system, study the factors affecting them, make an improvement for each of the influencing factors, and compare the amplitude of the inrush current before and after the improvement

Key word:

Differential protection, transformer, Inrush Current, saturation phenomenon, second harmonic, internal fault, external fault.

1- المقدمة:

يعتمد المجتمع الحديث بشكل كبير على الطاقة الكهربائية حيث تبذل جهود كبيرة للحصول على الطاقة الكهربائية بأكثر قدر ممكن وبأفضل جودة ممكنة، وتعد أنظمة الحماية جزءاً مهماً في الأنظمة الكهربائية، حيث تعمل هذه الأنظمة على حماية المنظومة الكهربائية من الأعطال وعزل التجهيزات المصابة بالأعطال عن بقية عناصر الشبكة الكهربائية وزيادة موثوقية الشبكة.

إن الأنظمة الكهربائية تواجه العديد من المشاكل والتحديات، أحد هذه التحديات هي الاضطرابات الحاصلة في الأنظمة الكهربائية عند تنشيط المحولات.

حيث أنه عند تنشيط المحولات وبسبب عدم خطية منحنى المغنطة لنواة المحول ينشأ تيار بمطال كبير وغني بالتوافقيات قد يتسبب بمشاكل كثيرة منها ضرر المحول والنظام المتصل معه وقد يتسبب بعمل خاطئ لأجهزة الحماية ويقلل من جودة الطاقة الكهربائية يعرف هذا التيار بتيار الاندفاع.

وبالتالي فإن دراسة تيارات الاندفاع وكيفية نشوئها والعوامل المؤثرة عليها يعد أمر بالغ الأهمية للحصول على طاقة كهربائية نظيفة وذات موثوقية عالية.

2- أهمية وأهداف البحث:

تشكل المحولات والمولدات التجهيزات الأساسية في أنظمة القدرة الكهربائية. تتعرض هذه التجهيزات لحدوث أعطال بشكل أقل بكثير مما تتعرض له الخطوط، ولكن الخسائر الناتجة عن تعرض المحولات والمولدات للأعطال تكون أكثر خطورة من حيث التكلفة وزمن الإصلاح، وبالتالي فإن عزل العطل بسرعة يعد أمراً ضرورياً لتجنب انقطاع التغذية الكهربائية ولتخفيف الأضرار الناتجة عن العطل.

تأتي أهمية البحث من أهمية استثمار محولات الطاقة الكهربائية بأقل عدد ممكن من حالات العمل الخاطئ حيث سيتم دراسة تيارات الاندفاع وما هو أثرها على الحماية التفاضلية للمحولات وإجراء تعديلات على العوامل المؤثرة على تيارات الاندفاع ومقارنة النتائج قبل التعديل وبعده وذلك من أجل تقليل حالات العمل الخاطئ للحماية التفاضلية.

الحماية التفاضلية:

إن الهدف من أي نظام حماية هو الحفاظ على استقرار النظام الكهربائي والتخفيف من آثار العطل، وذلك عن طريق عزل التجهيزات المعرضة للعطل بسرعة، مع ترك أكبر قدر ممكن من الشبكة في الخدمة، مما يؤدي إلى حصر الأعطال في منطقة محددة وخلال زمن صغير من خلال التنسيق بين عناصر المنظومة.

تعتبر المحولات من أهم عناصر المنظومة الكهربائية وقد انعكس التطور الحاصل في أنظمة الطاقة الحديثة على التقدم في تصميم المحولات، تعد المحولات الكهربائية من أكثر العناصر انتشاراً وتنوعاً في أشكالها وأحجامها ووظائفها ضمن المنظومة الكهربائية، حيث من الممكن أن نجد في الشبكة الكهربائية عشرات المولدات الكهربائية ولكنها تحتوي عشرات الألوف من المحولات ولا يقارنها في هذا الانتشار الواسع سوى الكابلات والخطوط الهوائية، حيث أن هذا التنوع والانتشار الواسع يجعل دراسة محولات الطاقة وحمايتها أمر مهم وضروري جداً، حيث تستخدم الحماية التفاضلية لحماية العناصر الهامة ضمن المنظومة الكهربائية كالمولدات والمحركات ومحولات القدرة وقضبان التجميع والكابلات وخطوط النقل، وتعتبر الحماية الرئيسية لحماية محولات الطاقة الكهربائية لما تتمتع به من حساسية وانتقائية وسرعة وموثوقية.

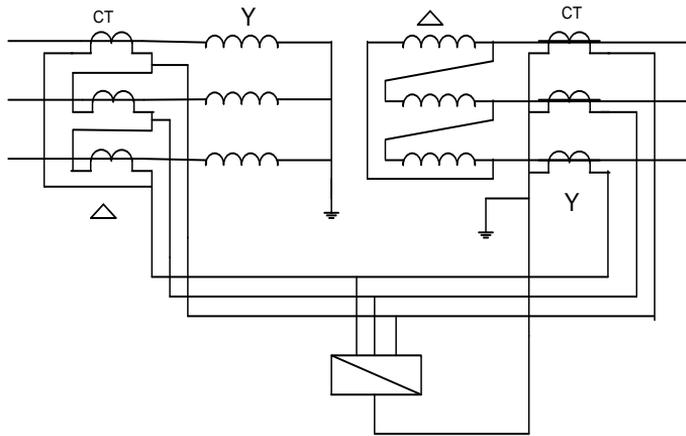
تتميز الحماية التفاضلية بحساسيتها العالية كونها تعمل عند عتبة تيار منخفضة، فهي تستطيع اكتشاف تيار عطل أصغر بعدة مرات من التيار الاسمي للتجهيزة المحمية.

تعمل هذه الحماية بشكل لحظي بمجرد أن يتجاوز التيار المار في دارة القياس التفاضلية قيمة تيار تشغيل الحماية، ولذلك فهي تستخدم دائماً كحماية رئيسية لعناصر المنظومة الكهربائية من أعطال القصر ذات الأثار الضارة جداً على هذه العناصر.

مبدأ عمل الحماية التفاضلية:

يعتمد مبدأ عمل الحماية التفاضلية على قانون كيرشوف الأول والذي ينص على أن مجموع التيارات الداخلة الى عقدة يساوي مجموع التيارات الخارجة منها حيث تعمل الحماية التفاضلية على مقارنة تيارين لنفس الطور (متساويين في الحالة الطبيعية) يتم قياسهما بواسطة محولي تيار يشكلان حدود منطقة عملها، يجب أن تعمل الحماية التفاضلية فقط عند حدوث عطل في المنطقة الواقعة بين محولي التيار وبالمقابل يجب ألا تعمل عند حدوث عطل خارج هذه المنطقة حتى لو كان قريباً جداً من حدودها.

يبين الشكل التالي مخطط توضيحي للحماية التفاضلية:



الشكل (1): مخطط توضيحي للحماية التفاضلية

في حالة العمل الطبيعي فان التيار الداخل الى منطقة عمل الحماية يكون مساوياً للتيار الخارج منها وبالتالي يكون التيار التفاضلي مساوياً للصفر، عند حدوث عطل ضمن منطقة عمل الحماية فان التيار الداخل لهذه المنطقة لا يساوي التيار الخارج منها ويكون الفرق بين هذين التيارين هو التيار التفاضلي الذي يتسبب بعمل الحماية كونه أكبر من تيار المعاييرة $I_d = I_{in} - I_{out}$.

I_d : تيار العطل المقاس أو التيار التفاضلي.

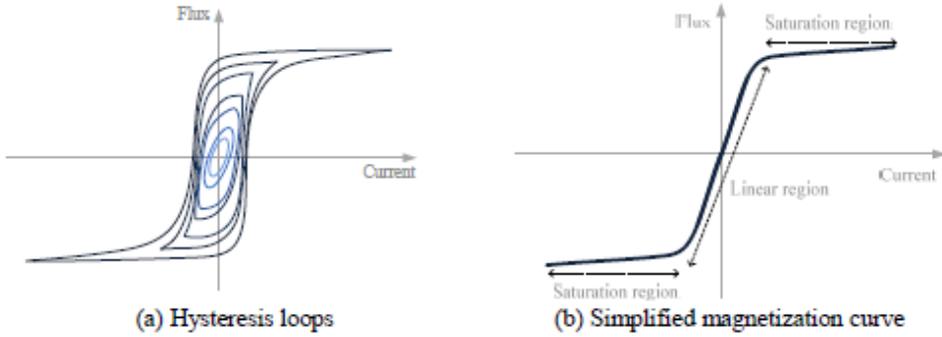
I_{in} : التيار المقاس في بداية منطقة الحماية (التيار الداخل الى منطقة الحماية).

I_{out} : التيار المقاس في نهاية منطقة الحماية (التيار الخارج من منطقة الحماية).

ان مبدأ عمل الحماية التفاضلية يجعلها انتقائية في عزل الأعطال أي أنها لا تحتاج الى تنسيق عملها مع الحماية الأخرى المستخدمة والتي تكون داعمة لها كحمايات زيادة الشدة. تعمل الحماية التفاضلية بشكل لحظي عندما تزيد قيمة التيار التفاضلي عن قيمة حدية تسمى قيمة المعاييرة $I_d = I_{in} - I_{out} \neq 0$ and $I_d \geq I_{set}$

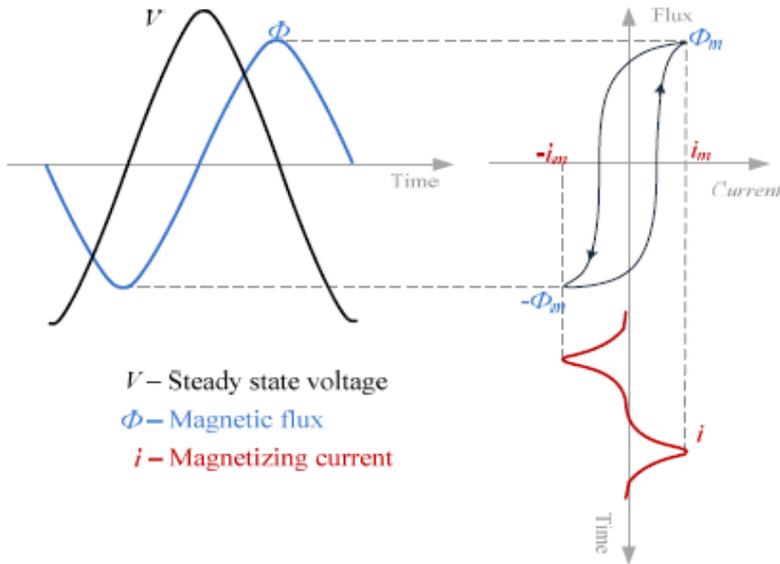
تيار الاندفاع:

تيار الاندفاع هو شكل من أشكال التيار الزائد ويظهر عند تغذية المحولة بالطاقة الكهربائية وهو تيار عابر حوالي (6-10) أضعاف من التيار الاسمي للمحول ويتلاشى بسبب تأثير التخامد لمقاومة النظام ومقاومة ملفات المحولة حتى يصل الى قيمته المستقرة وينشأ بسبب دخول نواة المحول في مرحلة الإشباع خلال جزء من الدور، حيث أن نواة المحولات تصنع من صفائح الحديد الصلب بخصائص مغناطيسية غير خطية وهذا يؤدي الى ظهور البطء المغناطيسي كما في الشكل (2)، حيث تصمم المحولات لكي تعمل عند النقطة الحدية التي تقع قبل نقطة الانعطاف على منحنى المغنطة للمحول والتي تعد الحد الفاصل قبل مرحلة الإشباع.



الشكل (2): البطاء المغناطيسي

ويوضح الشكل (3) العلاقة بين التوتر المطبق على المحولة والفيض المغناطيسي والتيار المار في الحالة المستقرة حيث يكون تيار المغنطة غير جيبي ويتأرجح بين القيمتين $\pm im$ وذلك بسبب الخصائص غير الخطية لمنحني المغنطة وتكون قيمة im حوالي 0.5-2% من التيار الاسمي للمحول.



الشكل (3): العلاقة بين التوتر المطبق والفيض المغناطيسي والتيار المار في الحالة المستقرة

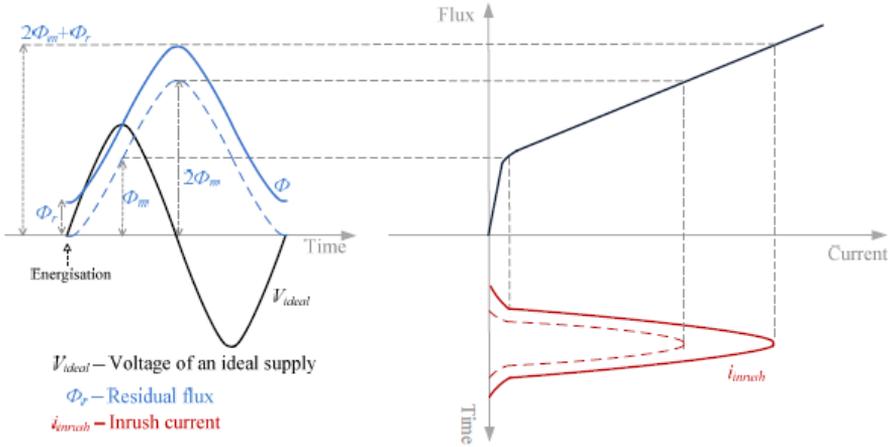
تعطى علاقة التوتر المطبق على المحولة والفيض المغناطيسي بالعلاقة:

$$e = \frac{d\phi}{dt} \quad \dots (1)$$

من خلال إجراء تكامل للطرفين نحصل على الفيض المغناطيسي بالعلاقة:

$$\phi = \int e . dt \quad \dots (2)$$

في حالة العمل الطبيعي للمحولة تكون موجة التوتر المطبق والفيض المغناطيسي منزاحتان عن بعضهما بمقدار 90° وان التشغيل العشوائي للمحولة قد يسبب فيض كبير وغير متناظر وذلك لأنه في الحالة الطبيعية يجب أن تكون قيمة الفيض المغناطيسي في القيمة العظمى السالبة عند مرور موجة التوتر بالصفير ولكن هذا لا يحدث عملياً لأن الفيض قد يبدأ من الصفير أو من قيمة أكبر في حال وجود فيض متبقي في نواة المحول، وان زيادة قيمة الفيض المغناطيسي تستوجب زيادة في قيمة التيار المسحوب ويعرف هذا التيار بتيار الاندفاع.



الشكل (4): نشوء تيار الاندفاع مع وجود فيض متبقي

تعطى علاقة التوتر المطبق على المحولة بالعلاقة:

$$e = E . \sin wt \quad \dots (3)$$

بتعويض (3) في (2) نحصل على:

$$\phi = \int E . \sin wt \quad \dots (4)$$

عندما يكون التوتر المطبق صفر الفيض المتبقي صفر يكون الفيض في نهاية الدورة الأولى:

$$\phi = \frac{E}{w} \int_0^{\pi} w . \sin wt . dt$$

$$= \phi m \int_0^{\pi} \sin wt . d(wt)$$

$$= 2\phi m \quad \dots (5)$$

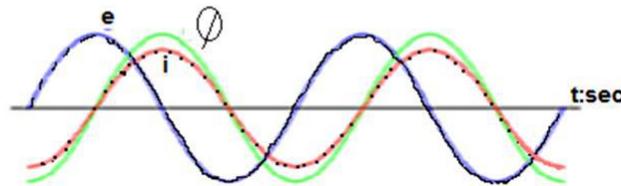
حيث: $\phi m = \frac{E}{w}$ الفيض الأعظمي في الحالة المستقرة

وفي حال وجود فيض متبقي في نواة المحول تزداد قيمة الفيض المغناطيسي ويزداد معها التيار المستجر بشكل كبير.

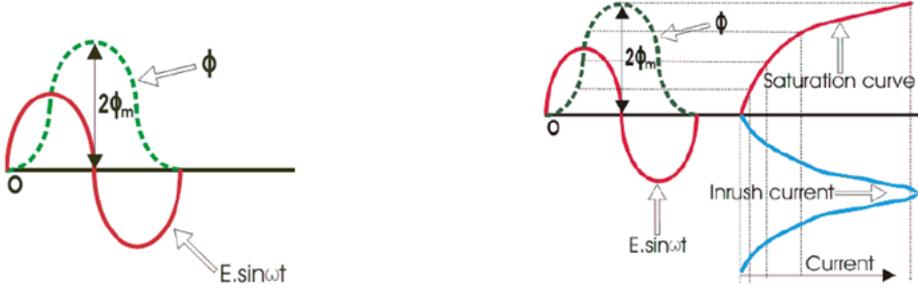
e:voltage

i:current

ϕ :flux



الشكل (5): العلاقة بين الفيض والتيار والتوتر المطبق على المحولة



الشكل (6): نشوء تيار الاندفاع بدون وجود فيض متبقي

حساب تيار الاندفاع:

تعطى معادلة تيار الاندفاع كتابع للزمن بالعلاقة:

$$i(t) = \frac{\sqrt{2}.Vm}{Zt} . Kw . Ks . \left(\sin(\omega t - \emptyset) - e^{-\frac{(t-t_0)}{\tau}} . \sin\alpha \right) \dots (6)$$

حيث: V_m : التوتر الأعظمي المطبق

Z_t : الممانعة الكلية للدائرة أثناء الاندفاع

\emptyset : زاوية التوتر

t : الزمن - t_0 : اللحظة التي يتم فيها اشباع النواة

τ : الثابت الزمني لملفات المحول عند شروط الاندفاع

α : تابع ل t_0

K_w : معامل الملف ثلاثي الطور للملفات

K_s : معامل استطاعة قصر الشبكة

ومن أجل تصميم نظام حماية تعد القيمة العظمى هي عامل مهم وفي هذه الحالات يمكن استخدام معادلة مبسطة لحساب قيمة القمة الأولى لتيار الاندفاع:

$$I_{peak} = \frac{\sqrt{2} \cdot V_m}{\sqrt{(w \cdot L)^2 \cdot R^2}} \cdot \left(\frac{2 \cdot BN + BR - BS}{BN} \right) \dots (7)$$

حيث: V_m : التوتر الأعظمي المطبق

L : تحريضية النواة

R : المقاومة الكلية للمحولة

BN : كثافة الفيض الاسمي للمحولة

BR : كثافة الفيض المغناطيسي المتبقي في نواة المحول

BS : كثافة الإشباع لمادة النواة

نلاحظ من المعادلتين (6) و (7) ان قيمة تيار الاندفاع تعتمد بشكل أساسي على بارامترات المحولة والظروف التشغيلية.

الاثار السلبية لتيارات الاندفاع:

- الضغوط الميكانيكية والكهربائية:

يمكن أن يكون مطال تيار الاندفاع مساوياً لتيار قصر الدارة ويدوم لفترة أطول بدون تخميد كافي في دارة النظام وبالتالي يمكن أن تكون اثاره خطيرة على ملفات المحول بسبب الضغوط الميكانيكية الكبيرة.

وتكون القوى المحورية بسبب تيار الاندفاع أكبر من تلك التي يسببها تيار قصر الدارة، والقوى الشعاعية الناجمة عن تيار الاندفاع أكبر من القوى الشعاعية الناجمة عن تيار القصر بحوالي 3 أضعاف.

• التوافقيات:

ان تيار الاندفاع يحتوي توافقيات من مراتب مختلفة ولكن ما يتم اعتباره منها فقط التوافقية الثانية والثالثة.

أيضاً توجد المركبة المستمرة DC والتي تعد مهمة أثناء الدورات الأولى بالاعتماد على الفيض المغناطيسي:

1- مركبة DC:

يمكن أن تتواجد هذه المركبة دائماً في تيار الاندفاع بقيم مختلفة من أجل كل طور من نظام ثلاثي الطور، تتبع هذه المركبة الفيض المتبقي في النواة بشكل أساسي.

2- التوافقية الثانية:

يحتوي تيار الاندفاع على مركبة التوافقية الثانية، قيمة هذه التوافقية تتبع لدرجة الإشباع في المحولة.

3- التوافقية الثالثة:

هذه المركبة تتعلق أيضاً بالإشباع في النواة المغناطيسية.

4- التوافقيات من مراتب أعلى:

تتواجد هذه التوافقيات بمراتب مختلفة، ولكن قيم هذه التوافقيات تكون صغيرة بشكل كاف لإهمالها.

• سوء تشغيل أجهزة الحماية:

تيار الاندفاع يتسبب بسوء تشغيل لأجهزة الحماية حيث انه عند تنشيط المحول يمر تيار الاندفاع في الملف الأولي للمحول ولا يمر في الملف الثانوي للمحول وهذا قد يتسبب

بعمل خاطئ للحماية التفاضلية وقد يتسبب بفصل خاطئ للقاطع الآلي عند تنشيط المحول بدون حمولة.

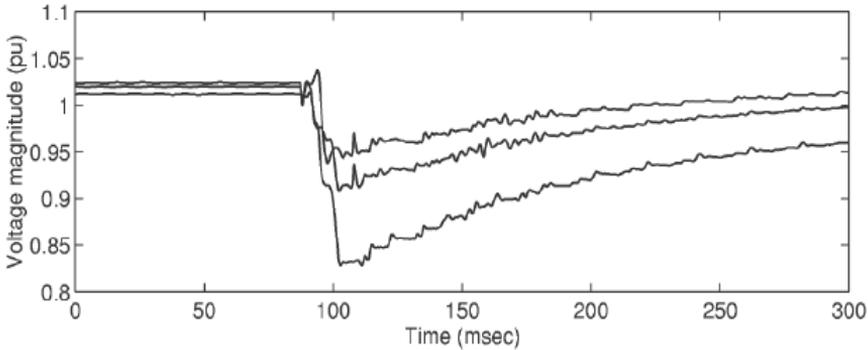
قد يتسبب تيار الاندفاع بإشباع زائد لنواة المحول مما يؤثر سلباً على سلامة المحول.

• هبوط الجهد:

بسبب الممانعة بين منبع التغذية والمحول فإن تيار الاندفاع قد يقود الى هبوط مؤقت في الجهد للنظام الكهربائي.

هذه الانخفاضات يختلف مطالها بين الأطوار الثلاثة وتستغرق وقتاً طويلاً للعودة الى حالة الاستقرار، الشكل (7) يوضح بالقياس قيمة انخفاض الجهد للأطوار الثلاثة لشبكة كهربائية 11 Kv بسبب تنشيط المحولة بدون حمولة، حيث تكون هذه الانخفاضات غير متزامنة في الأطوار الثلاثة (هبوط جهد كل طور يختلف عن الأطوار الأخرى بسبب اختلاف درجات الإشباع)، حيث نلاحظ ان قيمة انخفاض الجهد حوالي 0.17 pu وأنها تحتاج الى فترة زمنية طويلة حوالي 100 ms لتعود الى 50% من قيمتها.

ويعزى هذا البطء في استعادة الجهد الى نسبة L/R في الدارة وتعرف هذه النسبة بثابت التأخير الزمني لتيار الاندفاع.

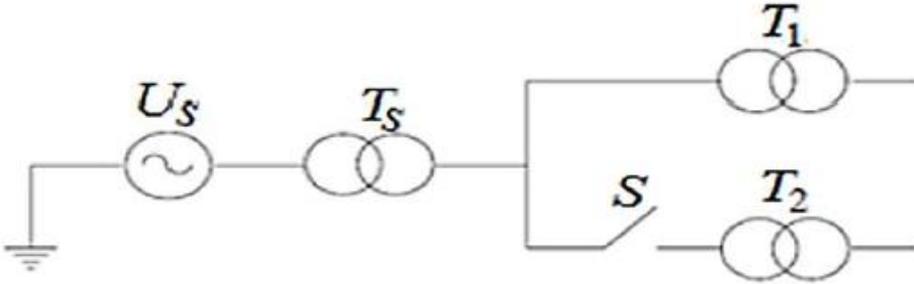


الشكل (7): انخفاض الجهد للأطوار الثلاثة لشبكة كهربائية 11 Kv

• الاندفاع الودي:

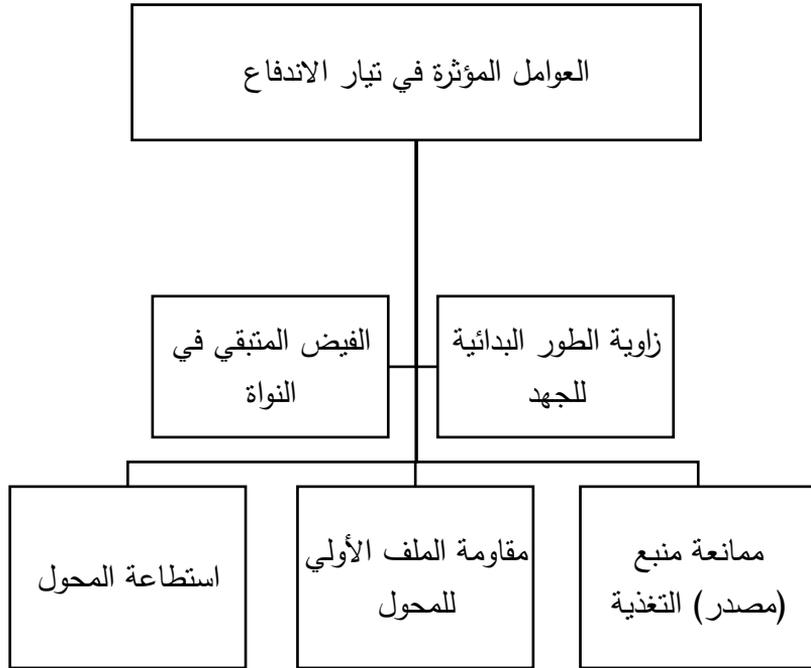
قد يواجه المحول المتصل بنظام طاقة حوادث إشباع غير متوقعة بسبب مرور تيار اندفاع ودي في محول آخر.

يعزى هذا الإشباع المفاجئ الى انخفاض الجهد في النظام الكهربائي بسبب تنشيط محول آخر وتعرف هذه الظاهرة بظاهرة الاندفاع الودي.



الشكل (8): نظام كهربائي يحتوي محولتين على التفرع

العوامل المؤثرة في تيار الاندفاع:



تأثير اختلاف زاوية الطور البدائية للجهد:

يتم وصل المحول الى الشبكة بشكل عشوائي وغالباً ما يتم وصلها في اللحظة التي تمر بها موجة الجهد بالصففر، وهذا سوف يؤدي الى فيض مغناطيسي يساوي ضعف القيمة العظمى للفيض في الحالة المستقرة وبالتالي مرور تيار كبير قد يصل الى عشر أضعاف القيمة الاسمية للتيار، وبالتالي فإن اختيار اللحظة المثلى لوصول المحول مع الشبكة هو أمر بالغ الأهمية، كما ستظهر العلاقات التالية:

تعطى علاقة الفيض المغناطيسي بالشكل:

$$\varphi(t) = \varphi m [\cos\theta - \cos(wt + \theta)] + \varphi r \quad \dots (8)$$

φr : الفيض المتبقي في النواة

يمكن كتابة زاوية الجهد θ بدلالة زاوية الفيض المغناطيسي حسب العلاقة:

$$\theta = \alpha + \frac{\pi}{2} \quad \dots (9)$$

بتعويض قيمة θ بالعلاقة (8):

$$\varphi(t) = \varphi m \cos\left(\alpha + \frac{\pi}{2}\right) - \varphi m \cos\left(wt + \alpha + \frac{\pi}{2}\right) + \varphi r \quad \dots (10)$$

بالاستفادة من قوانين الدائرة المثلية:

$$\varphi(t) = -\varphi m \sin\alpha + \varphi m \sin(wt + \alpha) + \varphi r \quad \dots (11)$$

في حال كانت زاوية الجهد $\theta = 0$ تكون قيمة الفيض:

$$\varphi(t) = \varphi m + \varphi m \sin\left(wt - \frac{\pi}{2}\right) + \varphi r$$

$$\varphi = 2\varphi m + \varphi r \quad \dots (12)$$

في حال كانت زاوية الجهد $\theta = \frac{\pi}{2}$ تكون قيمة الفيض:

$$\varphi(t) = \varphi m \sin(wt) + \varphi r$$

$$\varphi = \varphi m + \varphi r \quad \dots (13)$$

نلاحظ أنه في حال وصل المحول عند زاوية جهد تساوي الصفر تكون قيمة الفيض مساوية لضعف قيمة الفيض في الحالة المستقرة بينما في حال كانت زاوية الجهد تساوي 90 درجة تكون قيمة الفيض مساوية لقيمة الفيض في الحالة المستقرة.

تأثير الفيض المتبقي في النواة:

كلما زادت قيمة الفيض المتبقي في النواة كلما زادت قيمة تيار الاندفاع.

تأثير ممانعة منبع (مصدر) التغذية:

كلما زادت قيمة ممانعة منبع التغذية تقل قيمة تيار الاندفاع ولكن هناك حدود لزيادة قيمة ممانعة المصدر لأنه كلما زادت ممانعة المنبع تزداد الضياعات النحاسية.

تأثير مقاومة الملف الأولي للمحولة:

كلما زادت قيمة مقاومة الملف الأولي للمحولة تقل قيمة تيار الاندفاع ولكن هناك حدود لزيادة هذه القيمة لأنه كلما زادت مقاومة الملفات تزداد الضياعات النحاسية في المحولة.

تأثير استطاعة المحول:

استطاعة المحول تعكس القيمة الداخلية لممانعة المحول، حيث أنه كلما زادت استطاعة المحول كلما زادت قيمة الممانعة الداخلية للمحول، وكلما قلت قيمة مطال تيار الاندفاع.

3- مواد وطرائق البحث:

تم إجراء عملية نمذجة باستخدام Matlab Simulink لمنظومة كهربائية مؤلفة من العناصر التالية:

بارامترات التوليد: 5.55 Ω – 11kv – 50 Hz – Source –Source resistance:

3∅ – Yg– inductance: 0.221 H

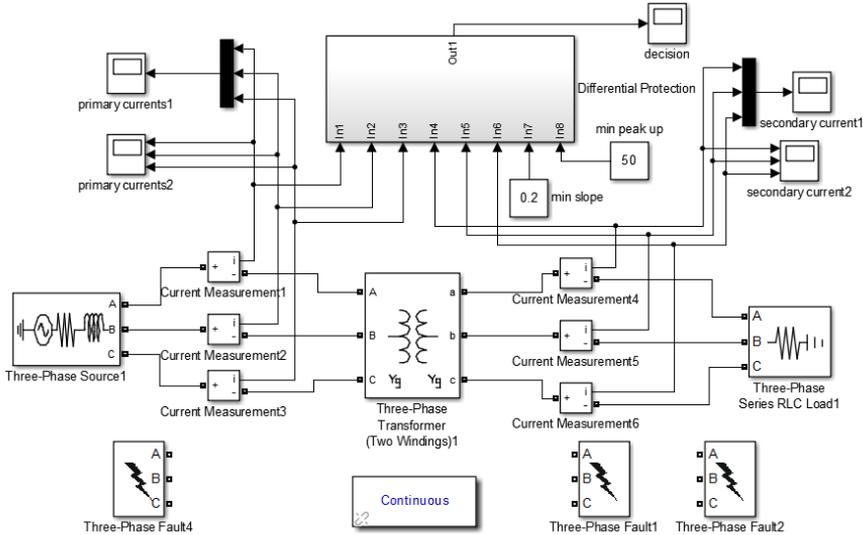
بارامترات المحول: 200 MVA – 50 HZ – Yg/Yg – 3∅ (Two Windings)

11/33

بارامترات الحمولة: 33 kv – 150 Mw – 50 HZ

تم استخدام بلوكة للعطل تعمل بزمن 0.1-0.2 s

ويكون الموديل المستخدم كالتالي:



الشكل (9): موديل المنظومة الكهربائية

تم تصميم الحماية التفاضلية بحيث يكون لها ثمان مداخل وهي (ثلاث مداخل لتيارات الأطوار الثلاثة قبل المحول وثلاث مداخل لتيارات الأطوار الثلاثة بعد المحول لإجراء المقارنة بينها ومدخل لميل مميزة عمل الحماية (min slope) ومدخل لأقل قيمة لعتبة التشغيل (تيار المعايرة) (min pick up) وذلك حسب منحنى مميزة عمل الحماية) ومخرج وحيد وهو أمر الحماية التفاضلية بالفصل أو عدم الفصل (وجود عطل داخلي أو عدم وجود عطل داخلي).

حتى تعمل الحماية التفاضلية بشكل صحيح يجب أن يتحقق الشرطان:

- أن يكون التيار التفاضلي المقاس ($I_{def}=I_1-I_2$) أكبر من حاصل جداء مقدار ميل منحنى مميزة عمل الحماية (min slope) والتيار الكبح ($I_{res}=I_1+I_2$).

$$I_{def} > I_{res} * \text{min slope}$$

- أن يكون التيار التفاضلي المقاس ($I_{def}=I_1-I_2$) أكبر من تيار اقلاع الحماية التفاضلية (تيار المعايرة) (min pick up).

$$I_{def} > \text{min pick up}$$

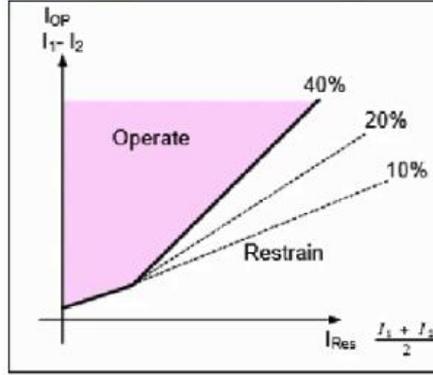
حيث أن I_2 هي I_2 مضروبة بنسبة التحويل (3).

يمكن تحقيق الشرط الأول من خلال ضرب قيمة التيار I_{res} بالقيمة 0.2 التي تمثل قيمة الميل 20%

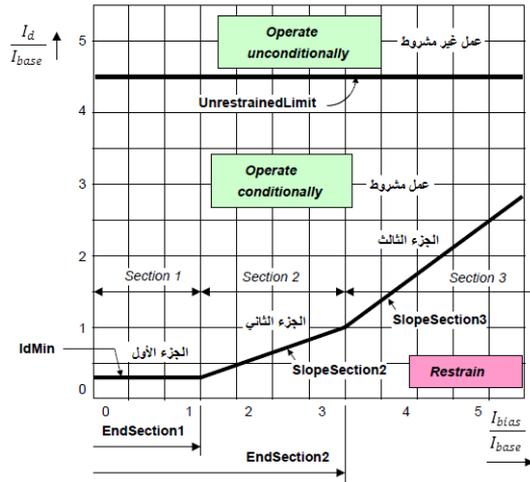
حسب العلاقة: $m = \frac{dy}{dx}$: حيث يمثل المحور "yy" التيار التفاضلي المقاس I_{def} ، والمحور "xx" تيار الكبح I_{res} .

ويمكن تحقيق الشرط الثاني من خلال اختيار قيمة min pick up التي تمثل القيمة الأصغرية لتيار الإقلاع حيث تم اختيار قيمة 50 من خلال التجريب بحيث تحقق هذه القيمة الغرض المطلوب من الحماية التفاضلية.

حيث تم إجراء العديد من حالات العمل الطبيعي وحالات الأعطال المختلفة وتم اعتماد هذه القيمة بسبب تحقيقها العمل الصحيح للحماية التفاضلية.



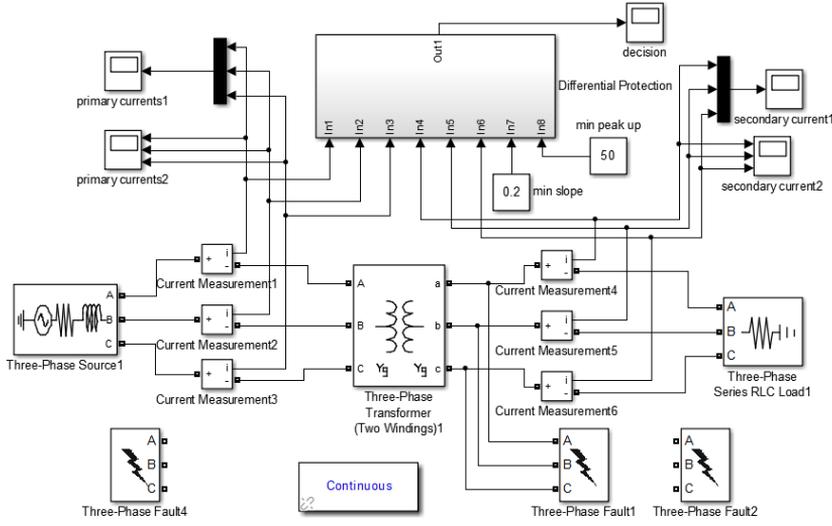
يمكن أن تكون مميزة عمل المحولة مكونة من ميل أو ميلين أو أكثر.



الشكل (10): منحنى خصائص المحول بوجود ميلين

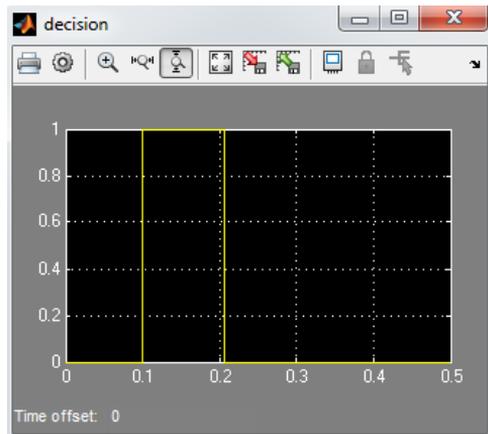
ويقصد بالمنطقة الأولى Section1 هي المنطقة التي يجب أن يكون فيها التيار التفاضلي المقاس أكبر من تيار المعايرة ونهاية المنطقة الأولى هي بداية المنطقة الثانية Section2 التي يجب أن يكون فيها التيار التفاضلي المقاس أكبر من حاصل جداء ميل مميزة عمل الحماية بتيار الكبح وكذلك الأمر في حال وجود أكثر من ميل للمميزة.

ويمكن تحقيق حالة العمل غير المشروط من خلال جعل الحماية التفاضلية تعمل إذا زادت قيمة التيار التفاضلي المقاس عن قيمة محددة (10 أضعاف قيمة min pick up) عند حدوث عطل داخل منطقة عمل الحماية (المحددة بمحولات التيار) كما في الشكل:



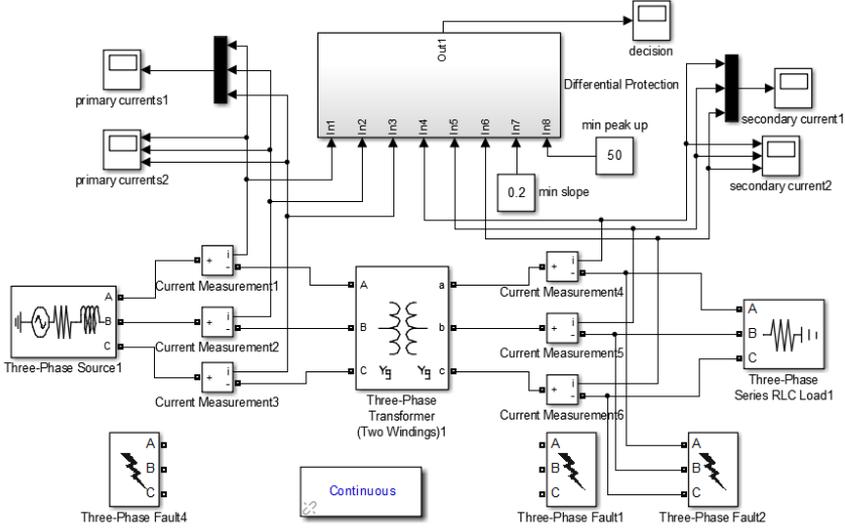
الشكل(11): الموديل المستخدم مع حدوث عطل داخل منطقة عمل الحماية

تعمل الحماية التفاضلية وتشير الى وجود عطل داخلي كما في الشكل التالي:



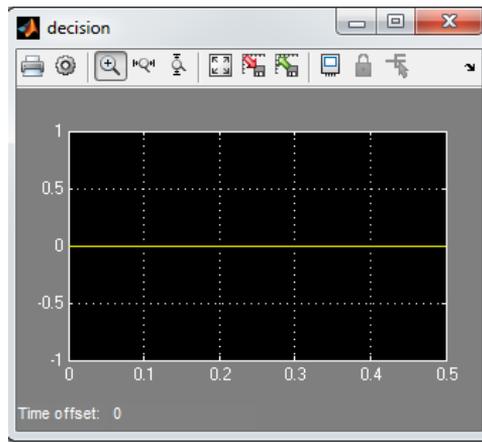
الشكل (12): خرج الحماية التفاضلية عند حدوث عطل داخل منطقة عمل الحماية

وعند حدوث عطل خارج منطقة عمل الحماية (المحددة بمحولات التيار) كما في الشكل التالي:



الشكل(13): الموديل المستخدم مع حدوث عطل خارج منطقة عمل الحماية

لا تعمل الحماية التفاضلية كما في الشكل التالي:

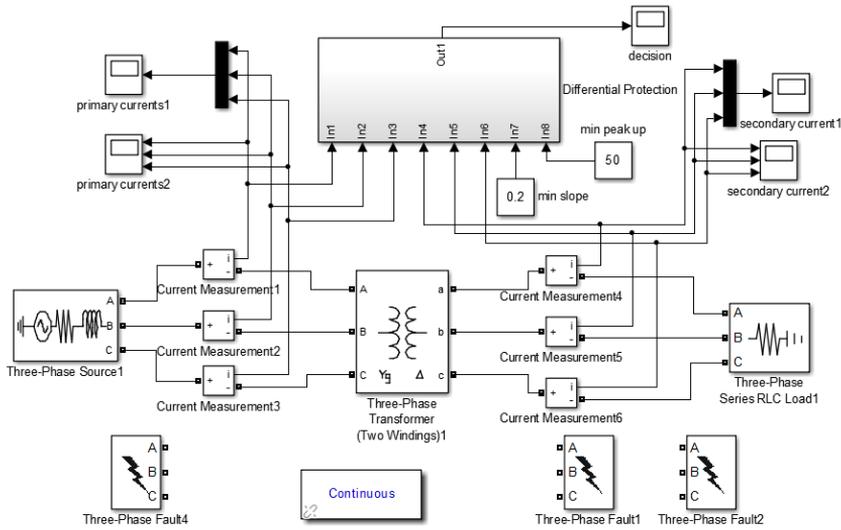


الشكل (14): خرج الحماية التفاضلية عند حدوث عطل خارج منطقة عمل الحماية

إن اختلاف طريقة توصيل المحول (نجمي - مثلثي) يؤدي الى نشوء فرق في الصفحة بين التيارات الأولية والثانوية مقداره 30° ، هذا الاختلاف يؤدي الى خلق تيار تفاضلي يتسبب بعمل خاطئ للحماية التفاضلية.

ويمكن في الحماية الرقمية استخدام معوضات لتصحيح فرق الصفحة بين التيارات.

يوضح الشكلان الآتيان كيفية اختلاف طريقة توصيل المحول وخرج الحماية التفاضلية في هذه الحالة.

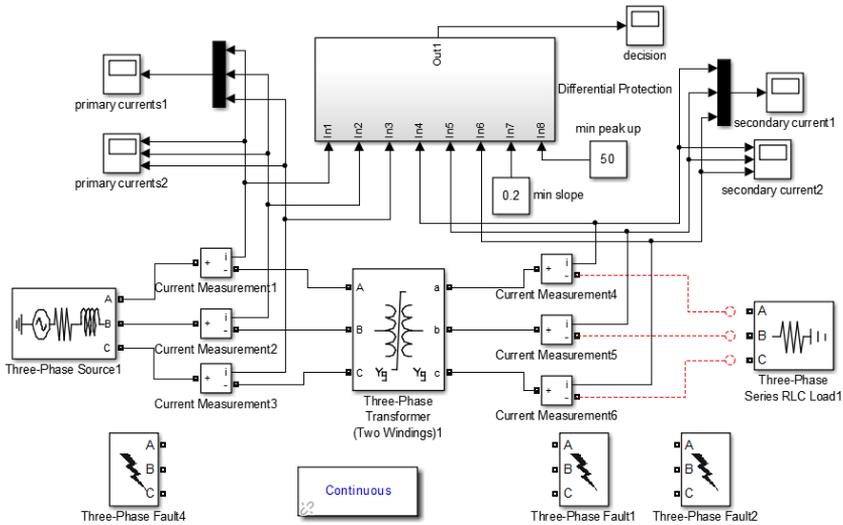


الشكل(15): الموديل المستخدم مع اختلاف طريقة توصيل المحول



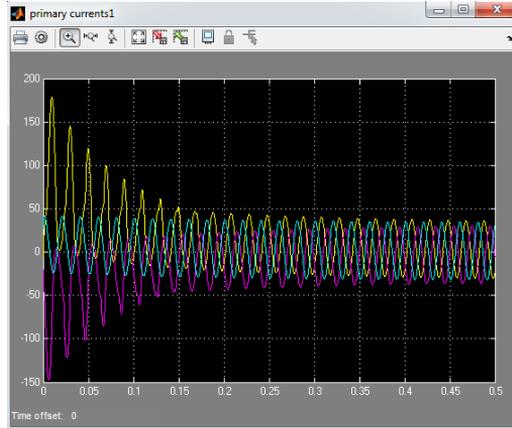
الشكل (16): خرج الحماية التفاضلية عند اختلاف طريقة توصيل المحول

يمكننا نمذجة تيار الاندفاع حسب الموديل المستخدم، حيث نقوم بإزالة الحمل لأنه يؤدي الى تخادم تيار الاندفاع وتفعيل إشباع نواة المحول كالتالي:



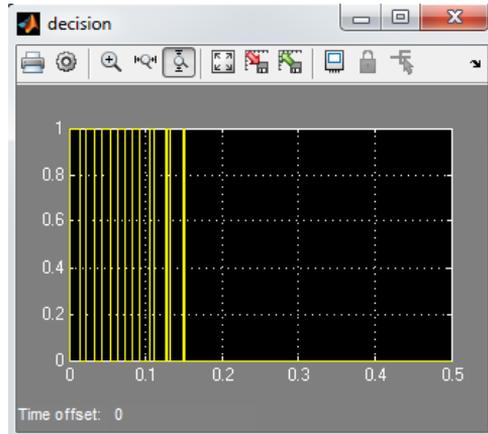
الشكل (17): الموديل المستخدم مع فصل الحمل وتفعيل إشباع نواة المحول

ويكون تيار الإندفاع بالشكل:



الشكل (18): تيار الإندفاع

ويؤثر تيار الإندفاع على الحماية التفاضلية بأنه يتسبب بعمل خاطئ لها كما في الشكل:



الشكل (19): خرج الحماية التفاضلية عند مرور تيار الإندفاع

نمذجة الحماية التفاضلية والتعرف على تيارات الاندفاع والعوامل المؤثرة عليها

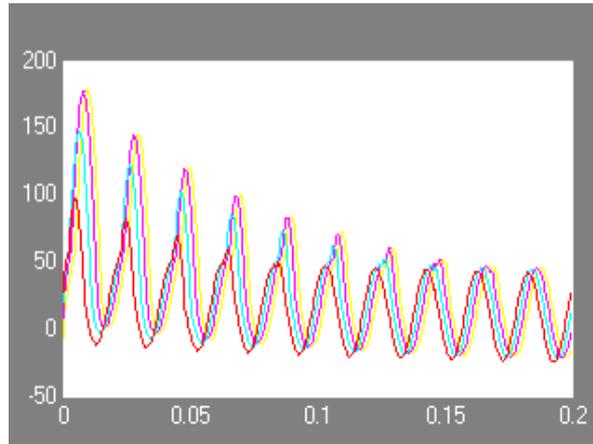
ان تيار الاندفاع غني بالتوافقيات والجدول التالي يبين نسبة مركبة DC والتوافقية الثانية والثالثة من التوافقية الأساسية ونسبة التشوه التوافقي الكلي THD في تيار الاندفاع حسب النموذج المستخدم:

85.92%	مركبة DC
37.75%	THD
29.9%	التوافقية الثانية
9.85%	التوافقية الثالثة

تطبيق العوامل المؤثرة في تيار الإندفاع:

تأثير اختلاف زاوية الطور البدائية للجهد:

90	60	30	0	الزاوية (°)
96.8	147,6	177.4	178.8	تيار المغنطة (A)



الشكل (20): قيم تيارات الاندفاع عند زوايا مختلفة للجهد

وبالتالي يمكن تقليل قيمة تيار الاندفاع عند وصل المحول عند زاوية جهد 90 درجة. وتكون قيمة مركبة DC والتوافقية الثانية والثالثة ونسبة التشوه التوافقي الكلي THD في تيار الاندفاع عند وصل المحول عند زاوية 90 درجة:

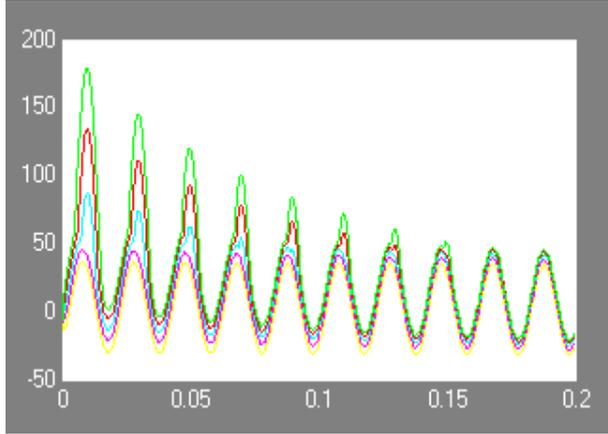
65.65%	مركبة DC
34.6%	THD
27.6%	التوافقية الثانية
15.9%	التوافقية الثالثة

تأثير الفيض المتبقي في النواة:

كلما زادت قيمة الفيض المتبقي في النواة كلما زادت قيمة تيار الاندفاع.

والجدول التالي يبين قيمة تيار الاندفاع مع تغير قيمة الفيض المتبقي في النواة:

0.0	- 0.2	- 0.4	- 0.6	- 0.8	نسبة الفيض المتبقي (W)
87	63.4	45.5	41	36.5	تيار الاندفاع (A)
1	0.8	0.6	0.4	0.2	نسبة الفيض المتبقي (W)
201	178.6	156.5	133.5	110.5	تيار الاندفاع (A)



الشكل (21): قيم تيارات الاندفاع عند قيم مختلفة للمغناطيسية المتبقية

وتكون قيمة مركبة DC والتوافقية الثانية والثالثة ونسبة التشوه التوافقي الكلي THD في تيار الاندفاع عند قيمة فيض متبقي معدومة:

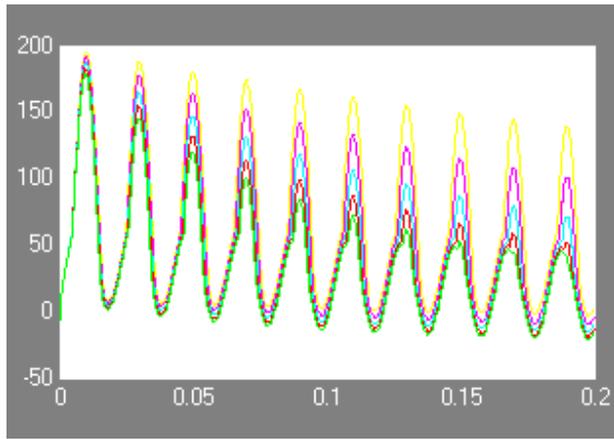
78.7%	مركبة DC
37.7%	THD
32.2%	التوافقية الثانية
11.9%	التوافقية الثالثة

تأثير ممانعة منبع (مصدر) التغذية:

كلما زادت قيمة ممانعة منبع التغذية تقل قيمة تيار الاندفاع ولكن هناك حدود لزيادة قيمة ممانعة المصدر لأنه كلما زادت ممانعة المنبع تزداد الضياعات النحاسية.

والجدول التالي يبين تغير قيمة تيار الاندفاع مع تغير قيمة ممانعة منبع التغذية:

5.55	4.4	3.2	2	1	ممانعة المنبع (Ω)
178.8	182.8	187.1	191.8	195.5	تيار الاندفاع (A)



الشكل (22): قيم تيارات الاندفاع عند قيم مختلفة لممانعة منبع التغذية

وتكون قيمة مركبة DC والتوافقية الثانية والثالثة ونسبة التشوه التوافقي الكلي THD في

تيار الاندفاع عند ممانعة مصدر تساوي 2:

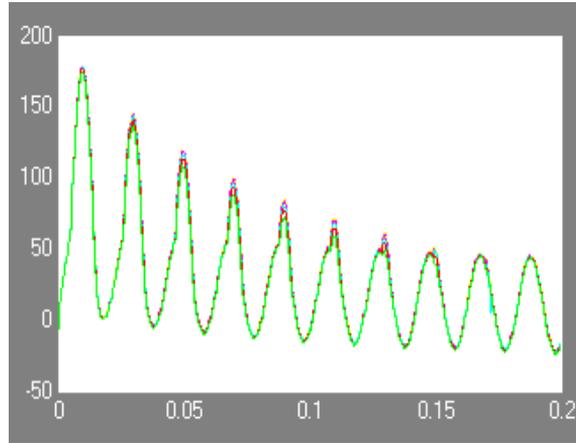
90.9%	مركبة DC
34.5%	THD
24.8%	التوافقية الثانية
7.96%	التوافقية الثالثة

تأثير مقاومة الملف الأولي للمحولة:

كلما زادت قيمة مقاومة الملف الأولي للمحولة تقل قيمة تيار الاندفاع ولكن هناك حدود لزيادة هذه القيمة لأنه كلما زادت مقاومة الملفات تزداد الضياعات النحاسية في المحولة.

والجدول التالي يبين تغير قيمة تيار الاندفاع مع تغير قيمة مقاومة الملف الأولي للمحولة:

0.4	0.2	0.02	0.002	0	مقاومة الملف الأولي للمحولة (Ω)
177.9	178.4	178.6	178.7	178.8	تيار الاندفاع (A)



الشكل (23): قيم تيارات الاندفاع عند قيم مختلفة لمقاومة الملف الأولي للمحولة

وتكون قيمة مركبة DC والتوافقية الثانية والثالثة ونسبة التشوه التوافقي الكلي THD في تيار الاندفاع عند قيمة مقاومة ملفات الأولي للمحولة تساوي 0.2:

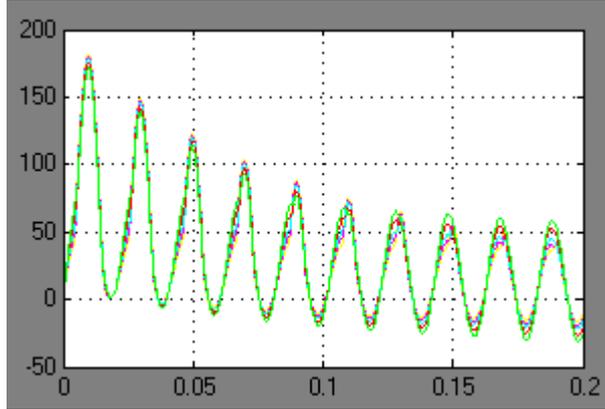
85.6%	مركبة DC
37.95%	THD
30%	التوافقية الثانية
10.1%	التوافقية الثالثة

تأثير استطاعة المحول:

استطاعة المحول تعكس القيمة الداخلية لممانعة المحول، حيث أنه كلما زادت استطاعة المحول كلما زادت قيمة الممانعة الداخلية للمحول، وكلما قلت قيمة مطال تيار الاندفاع.

والجدول التالي يبين تغير قيمة تيار الاندفاع مع تغير استطاعة المحول:

300	250	200	175	150	استطاعة المحول (MVA)
172.2	175.8	176.9	180.3	181.5	تيار الاندفاع (A)



الشكل (24): قيم تيارات الاندفاع عند قيم مختلفة لاستطاعة المحولة

وتكون قيمة مركبة DC والتوافقية الثانية والثالثة ونسبة التشوه التوافقي الكلي THD في تيار الاندفاع عند استطاعة محول تساوي 300 MVA:

90.07%	مركبة DC
32.4%	THD
27.03%	التوافقية الثانية
10.22%	التوافقية الثالثة

4- النتائج:

- a- ان اختلاف طريقة توصيل طرفي المحول يؤدي الى نشوء فرق في الصفحة مقداره 30 درجة يتسبب بعمل خاطئ للحماية التفاضلية.
 - b- تيار الاندفاع يتسبب بعمل خاطئ للحماية التفاضلية ما لم تكن الحماية قادرة على تمييزه عن تيار العطل.
 - c- العوامل المؤثرة على تيارات الاندفاع:
 - 1- تكون قيمة تيار الاندفاع أقل ما يمكن عند زاوية طور بدائية للجهد تساوي 90 درجة وأكبر ما يمكن عند زاوية 0 درجة.
 - 2- تزداد قيمة تيار الاندفاع بزيادة الفيض المتبقي في النواة.
 - 3- تقل قيمة تيار الاندفاع بزيادة ممانعة منبع (مصدر) التغذية.
 - 4- تقل قيمة تيار الاندفاع بزيادة مقاومة الملف الأولي للمحولة.
 - 5- تقل قيمة تيار الاندفاع بزيادة استطاعة المحول.
- #### 5- التوصيات:

إجراء مقارنة للطرق التي تمكّن الحماية التفاضلية من التمييز بين تيار الاندفاع وتيار العطل ودراسة إمكانية الحصول على طرق جديدة.

6- المراجع العلمية:

- [1] AGASTI.S, NARESH.R, GHOSH.N, 2016. **Investigation of various affecting factors and reduction technique of transformer magnetizing inrush current.** International Conference on Computation of Power, Energy Information and Communication (ICCPEIC), IEEE, India, PP 307-310.
- [2] GOPIKA.R, DEEPA.S, 2017. **Study on Power Transformer Inrush Current.** IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering (IOSR-JEEE), India, PP 59-63.
- [3] ABDULL HALIM.H, 2018. **Sympathetic inrush currents in transformer energisation.** School of Electrical Engineering and Telecommunications Faculty of Engineering, the University of New South Wales, Wales, 197.
- [4] WANG.H, YAN.K, GAO.H, CHEN.X, 2012. **Simulation and Analysis of Transformer Inrush Current and Its Impact On Current Differential Protection.** Advanced Materials Research Vols, China, PP 712-716.
- [5] CIMADEVILLA.R, 2013. **Inrush currents and their effect on protective relays.** ZIV GRID AUTOMATION S.L., IEEE, Spain, PP 46 -504.
- [6] JAMALI.M, MIRZAIE.M, ASGHAR GHOLAMIAN.S, 2011. **Calculation and Analysis of Transformer Inrush Current Based on Parameters of Transformer and Operating Conditions.** Babol University of Technology, Iran, PP 17-20.
- [7] MANANA.M, EGUIUZ.L.I, ORTIZ.A, RENEDO.C, PEREZ.S. **Effects of Magnetizing Inrush Current on Power Quality and Distributed Generation.** Department of Electrical Engineering E.T.S.I.I.T. University of Cantabria Avda. Los Castros, Spain.

- [8] MOON.R, DHATRAK.R, 2014. **A Study of Effect of Magnetizing Inrush Current on Different Ratings of Transformers.** International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering, vol.3, PP 9021-9027.
- [9] AKPOYIBO.M, 2015. **Magnetizing inrush current.** Engineering Science and Technology: An International Journal, Vol.5, PP 273 -278.
- [10] CHIESA.N, 2010. **Power Transformer Modeling for Inrush Current Calculation.** Degree of Philosophies Doctor, Department of Electric Power Engineering, Norwegian University of Science and Technology.
- [11] PENG.J, 2013. **Assessment of Transformer Energisation Transients and Their Impacts on Power Systems.** Degree of Philosophies Doctor, Faculty of Engineering and Physical Sciences, Manchester University.
- [12] GIRGIS.R, 2007. **Characteristics of Inrush Current of Present Designs of Power Transformers.** IEEE.
- [13] RACHMAN.A, ARIF.Y, RAHARJA.L, 2020. **Using AC Voltage Controller Simulation Using SIMULINK.** International Conference on Technology and Policy in Electric power and Energy (ICT-PEP), Surabaya, Indonesia.
- [14] MEKIC.F, GIRGIS.R, GAJIC.Z, TENYENHUIS.E, 2006. **Power Transformer Characteristics and Their Effect on Protective Relays.** 33rd Western Protective Relay Conference.
- [15] BLUME.L.F, CAMILLI.G, FARNHAM.S.B, PETERSON.H.A, 1944. **Transformer Magnetizing Inrush Currents and Influence on System Operation.** AIEE Committees on electrical machinery and power transmission and distribution, NEW YORK. Vol.63, PP. 366-375.

دراسة مقارنة بين عائلات التحويل المويجي في الكشف الآلي عن الأمراض القلبية باستخدام إشارة ECG

طالبة الدراسات العليا: رشا قبيطري كلية الهندسة الكهربائية والالكترونية-جامعة حلب
إشراف الأستاذ الدكتور: ياسر استانبولي

المخلص:

إن أهم ما يميز هذه الإشارة عن باقي الإشارات الحيوية هي وجود المعقد QRS أو ما يعرف بالقمة R. تم في هذا البحث إيجاد القمة R باستخدام التحويل المويجي المتقطع ذو التداخل الأعظمي MODWT ودراسة تأثير نوع تابع التحويل المويجي في استخلاص الميزات من إشارة ECG وذلك ضمن المجال (الزمني_الترددية) حيث استخدمت كمداخل لشبكة عصبونية عميقة من النوع LSTM للتمييز بين 13 حالة قلبية. لقد تم تقييم أداء الشبكة من خلال الدقة والحساسية والنوعية، كانت قيمة هذه النسب على التوالي 95.55%، 94.73%، 100% عند استخدام الموجات (sym2, sym4,db2 ,coif5) في حين انخفضت هذه النسب عند استخدام كل من التابعين المويجيين (Fk4- haar) ، ويعود السبب في ذلك إلى أن شكل الموجة الأم للتابعين (Fk4- haar) مختلف عن شكل إشارة ECG.

الكلمات المفتاحية: إشارة التخطيط الكهربائي ECG(ElectroCardioGram) ،
التحويل المويجي المتقطع ذو التداخل الأعظمي Maximal Overlap Discrete
Wavelet Transform(MODWT)، شبكة الذاكرة (طويلة-قصيرة) المدى LSTM .

A Comparative study between wavelet families in automatic detection of heart diseases using ECG signal

Abstract

The most important characteristic of the ElectroCardioGram signal from the rest of biomedical signals is the presence of the complex QRS or R peak .In this research, this peak was found using Maximal Overlap Discrete Wavelet Transform MODWT and a study of the effect of the type transformation in extract features from ECG signal in the(time-frequency) domain was done. These features were used as inputs of deep neural network of type LSTM to classify 13 heart cases. The performance of this network was evaluated by accuracy, sensitivity, and specificity, and the value of these ratios were respectively 95,55%,94.73%,100%, when using (db2, sym2,sym4,haar) while these percentages were decreased when using both of the wavelet functions(coif5,fk4). The reason for this decreasing is wavelet function(coif5,fk4) differ in their shape from the ECG signal shape.

Key words: ElectroCardioGram(ECG), Maximal Overlap Discrete wavelet transform(MODWT), Long-Short Term Memory LSTM.

المقدمة

تعد الإشارات الحيوية أداة فعالة ومهمة تستخدم في العديد من الأغراض منها التشخيص وعمليات التحكم وأنظمة الترابط الدماغي الحاسوبي Brain-Computer Interface والتي تعرف باختصار BCI، إحدى هذه الإشارات هي إشارة التخطيط الكهربائي للقلب ECG [1].

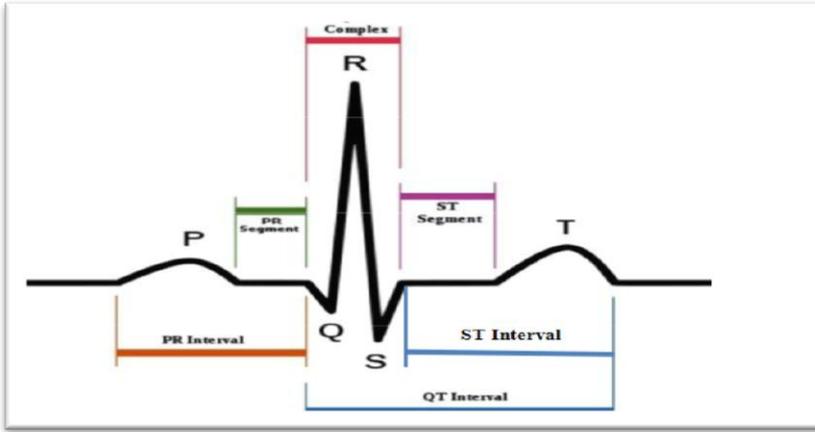
إن إشارة التخطيط الكهربائي للقلب ElectroCardioGraph والتي تعرف باختصار ECG هي إحدى أهم الطرق المستخدمة في تشخيص أمراض القلب كونها تعبر عن النشاط الكهربائي لعضلة القلب الذي ينتج عن الانقباض والانقباض المتواتر لحجراته الأربع. فهي إشارات متغيرة مع الزمن تعكس الحالة الفيزيولوجية للقلب. يتم الحصول على هذه الإشارة بواسطة الكترودات تتوضع على سطح الجلد في أماكن محددة من الجسم فهي وسيلة آمنة لتشخيص أمراض القلب [1]. إن أهم ما يميز هذه الإشارة عن باقي الإشارات الحيوية هي وجود المعقد QRS أو ما يعرف بالقمة R. تمت العديد من الأبحاث في مجال الكشف عن القمة R كونها أهم قمة موجودة في إشارة ECG، حيث اقترح الباحث E.Pietka وزملاؤه خوارزمية لكشف المعقد QRS باستخدام مرشحات رقمية من النوع IIR والشبكات العصبونية الأمامية ذات التغذية العكسية وكانت دقة النتائج 90.45% [2]. قام الباحث P.Eillia بدراسة تأثير نوع عائلة التحويل المويجي في استحصال الميزات من إشارة ECG حيث قام بتطبيق التتابع الموجية (sym4,sym6,db4,db6) ولاحظ أن التتابع (sym4,db4) أعطت نتائج أفضل بلغت 93.95% في حين بلغت دقة النتائج عند استخدام التتابع (db6,sym6) 90.45% [3]. كشف الباحث Rekha Rani وزملاؤه المعقد QRS باستخدام التحويل المويجي المتقطع من النوع db4 من المستوى الرابع وكانت دقة النتائج 91.28% [4]. قام

الباحث Jose Anton Gutierrez-Gnecch وزملاؤه باستخدام التحويل المويجي المتقطع (Discret Wavelet Transform) DWT وكشف قمم إشارة ECG والفواصل الزمنية لها واعتبرها كميزات استخدمت كمدخل لشبكة عصبونية احتمالية لتصنيف 8 حالات قلبية وكانت دقة النتائج 92.74% [5]. استعرض الباحث Saumendra Kumar Mohapatra وزملاؤه مقارنة بين DWT وتحويل فورييه القصير زمنياً (Short –Time Fourier Transform) STFT في استخلاص الميزات من إشارة ECG للتمييز بين حالة طبيعية وحالة مرضية عامة، لقد تم التصنيف باستخدام المفسر متعدد الطبقات (Multi-Layer Perceptron) MLP وكانت دقة النتائج أعلى عند استخدام DWT حيث بلغت 76.7% في حين انخفضت الدقة إلى 50.7% عند استخدام STFT وهذا يدل على أن DWT أفضل [6]. اقترحت الباحثة Amani Hardan نموذجاً تكيفاً لمساعدة الأطباء على تصنيف الأمراض القلبية اعتماداً على شكل إشارة التخطيط الكهربائي ECG بالإضافة إلى ترشيحها وتخليصها من الضجيج. لقد قدمت نظام تكيفي جديد يعتمد على الأنظمة العصبية الضبابية التكيفية (ANFIS(Adaptive Neuro Fuzzy Interface System) الذي يدمج بين الشبكات العصبونية وطريقة الاستدلال الغامض، حيث استخدمت هذا النظام للاستفادة من إمكانيات الشبكات العصبونية التي تحكمها قواعد غامضة للحصول على نموذج تكيفي يقوم بتصنيف إشارات ECG إلى ثلاثة عشر مجموعة وفق قواعد منطقية محددة مسبقاً، ومن ثم ترشيح هذه الإشارات بشكل تكيفي تنبؤي بالاعتماد على قواعد منطقية للحصول على الإشارة الأصلية، وذلك عن طريق واجهة برمجية تم تصميمها باستخدام برنامج MATLAB وقد تم تنفيذ هذا النظام على شريحة FPGA. لقد كانت النتائج على النحو الآتي: الدقة 95.33%، الحساسية 94,82%، ومعدل خطأ 4.9% [7]. قام الباحث RUNNAN He وزملاؤه بالكشف الآلي عن تسعة أمراض من أمراض عدم الاتساق

القلبي باستخدام الشبكات العصبونية العميقة، حيث قام بالدمج بين شبكات الرواسب Residual Network والشبكات التكرارية من النوع شبكات الذاكرة الطويلة-قصيرة المدى ثنائية الاتجاه Bidirectional LSTM وكان F1 score للأمراض بشكل مجمل 0.806 [8].

هدف البحث

- تحليل إشارة التخطيط الكهريائي ECG باستخدام MODWT، وإيجاد القمم المميزة لإشارة ECG وهي (P-Q-R-S-T)، يبين الشكل (1) شكل إشارة ECG.



الشكل (1) شكل إشارة ECG.

- دراسة أثر عائلة MODWT في استخلاص الميزات من إشارة ECG وذلك ضمن المجال (الزمني_الترددي).

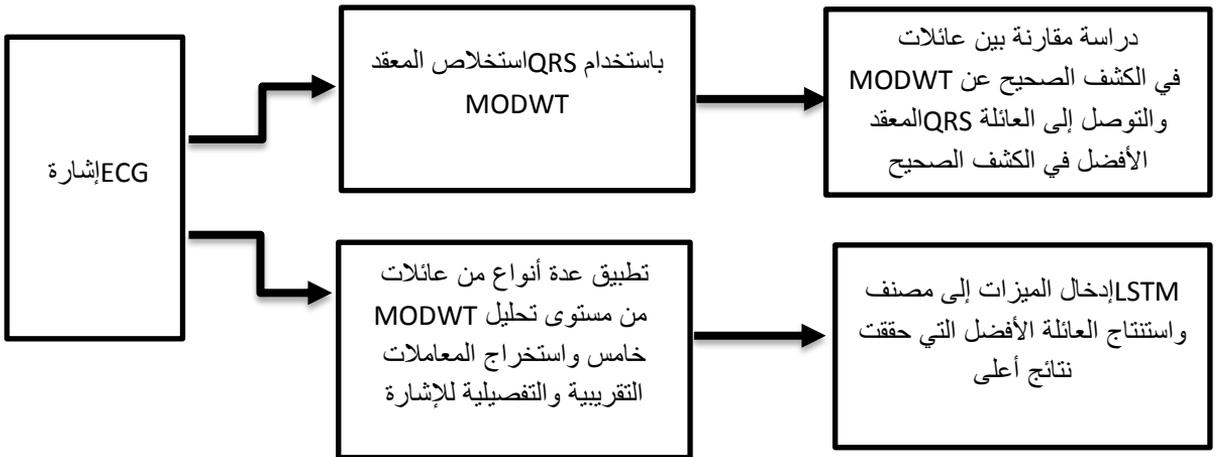
المواد وطرق البحث

1- مواد البحث

تم استخدام قاعدة بيانات MIT-BIH التي جمعت من تسجيلات حقيقية لإشارة ECG ،
تم أخذ العينات من الإشارة بمعدل 360 عينة في الثانية ، كما تم استخدام برنامج
MATLAB إصدار 2018 لبناء الخوارزميات في تنفيذ المعالجات وتحليل الإشارات،
وإستخدام حاسب بنظام تشغيل (Windows 7) ذو معالج Intel® core™ i7-
(2670QM) ، سرعته (CPU 2.20 GHz)، وبذاكرة إظهار (819 MB) وذاكرة مؤقتة
(RAM 8.00 GB).

2- الطرق المستخدمة في البحث

يبين الشكل (2) المخطط الصندوقي للبحث المنجز الذي تم وفق عدة مراحل سنقوم
بشرحها لاحقاً.

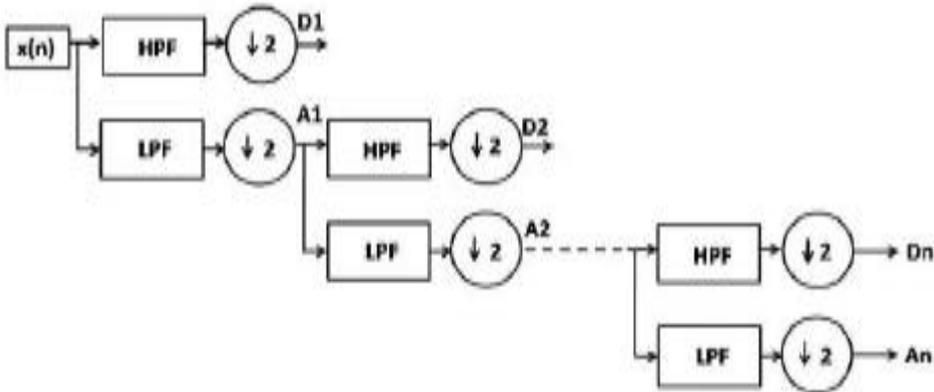


الشكل (2) المخطط الصندوقي للبحث

2-1- التحويل المويجي

إن تطبيق التحويل المويجي على إشارات ECG يكشف الخصائص التي تتعلق بطبيعة الإشارة في كل من المجال الزمني والتردد. يوجد نوعان من التحويل المويجي: الأول هو التحويل المويجي المستمر (CWT) والثاني التحويل المويجي المتقطع (DWT).

2-1-1- التحويل المويجي المتقطع (DWT) يقوم بتحليل الإشارة عند نطاقات تردد متعددة عن طريق استخدام banks filters الذي يقسم الإشارة إلى نطاقات فرعية. حيث تنقسم الإشارات إلى خصائص طيفية ذات تمرير عالي (Hi_D) وتمرير منخفض (Lo_D) [9] كما في الشكل (3).



الشكل (3) شجرة التحويل المويجي مبنية المعاملات التفصيلية والتقريبية [9]

2-1-2- التحويل المويجي المتقطع ذو التداخل الأعظمي: والمعروف اختصاراً بـ MODWT إن النظرية الأساسية MODWT قائمة على تطبيق الالتفاف الدائري مباشرة في المجال الزمني. يتم حساب معاملات مرشح الموجة (المعاملات التقريبية) ومعاملات

دراسة مقارنة بين عائلات التحويل المويجي في الكشف الآلي عن الأمراض القلبية باستخدام إشارة ECG

مرشح التقييس (المعاملات التفصيلية) عند مستوى معين Z بأخذ تحويل فورييه المتقطع العكسي DFT الناتج عن مجموعة من DFTs جزئية [10].

سنبين فيما يلي ماهي نقاط التشابه والاختلاف بين التحويل DWT والتحويل MODWT وذلك ضمن الجدول (1).

الجدول (1) نقاط التشابه والاختلاف بين التحويل DWT والتحويل MODWT [10]

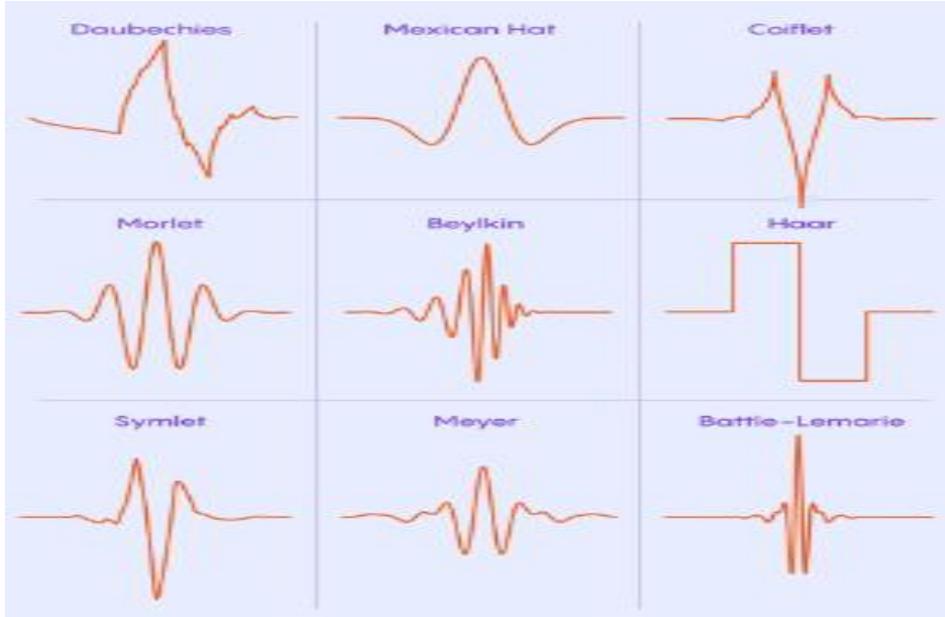
نقاط الاختلاف	نقاط التشابه
يستخدم MODWT قيم محذوفة حيث يحتفظ MODWT بـ down sampled لكل مستوى من مستويات التحليل في حين أن ذلك غير موجود في DWT	كلاهما مرشحات خطية تعطي معاملات موجة ومعاملات تقييس.
MODWT مناسب لكل حجم العينات N في حين أن التحليل الكامل لـ DWT عند مستوى معين Z يحتاج لأن يكون حجم العينات N مضروباً بـ 2^Z (أي لا ضرب بقوة ولا قيود).	كلاهما يوفر تحليل متعدد الدقة MRA (Multi-Resolution Analysis) أساسه التدرج (التقييس)
إن القيم المشتقة من MODWT لا تتأثر بالانزياح الدائري لسلاسل الدخل الزمنية في حين أنها في DWT تكون معتمدة على نقطة البداية للسلاسل	كلاهما يوفر تحليل تباين العينة أساسه التقييس
إن التكرار أو الإسهاب (Highly Redundant) في MODWT يسهل اصطفاف معاملات الموجة والتقييس لكل مستوى مع سلاسل زمنية طبيعية كما أنه يزيد من الدرجات الفعلية للحرية EDOP لكل تقييس (تدرج) وينقص الاختلاف بين موجات محددة وهذا غير موجود في DWT	كلاهما طريقة هرمية لحساب التحويل بكفاءة

2-1-3- عائلات التحويل المويجي

تختلف عائلات التحويل المويجي عن بعضها البعض بشكل الموجة الأم، سنورد فيما يلي الجدول (2) الذي يوضح الاختصار لكل عائلة [10]، يبين الشكل (4) مجموعة من عائلات التحويل المويجي .

الجدول (2) عدة عائلات من الموجات مع اختصارها

Names of the wavelet families	Abbreviation
Haar wavelet	haar
Daubechies wavelets	Db
Symlets	Sym
Coiflets	Coif
Fejer-Korovkin	FK



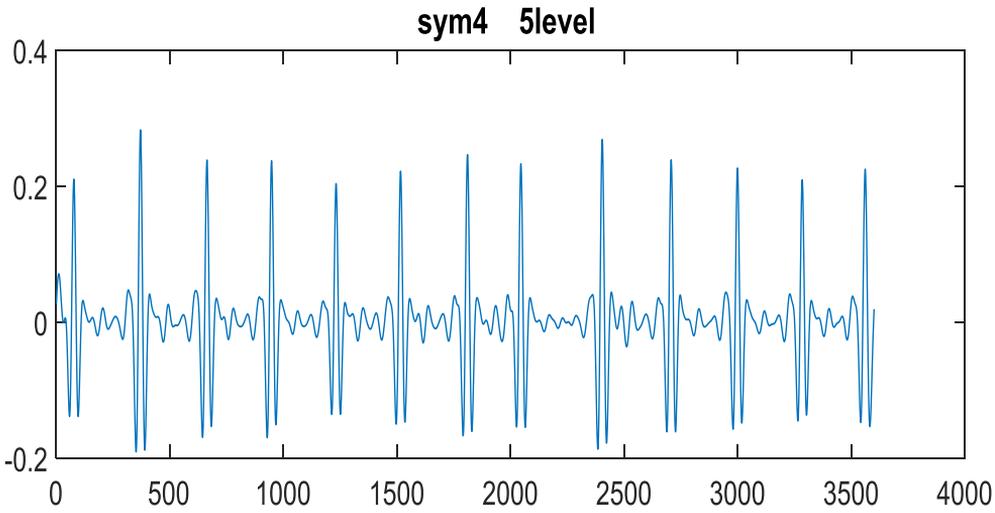
الشكل (4) مجموعة من عائلات MODWT [10]

2-2- إيجاد القمم في إشارة ECG باستخدام التحويل MODWT:

2-2-1- إيجاد القمة R:

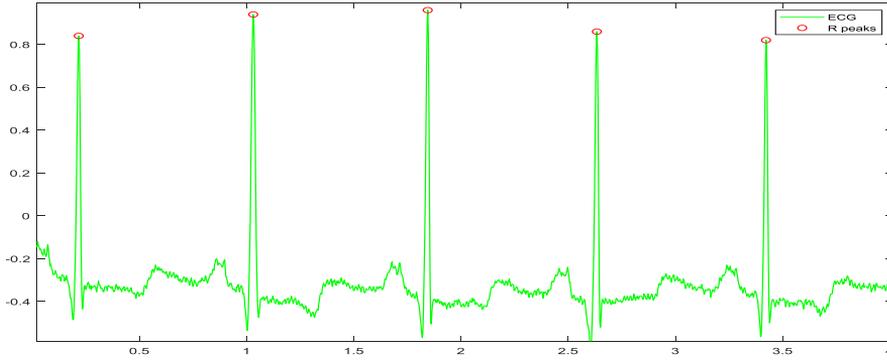
- نقوم بتطبيق التحويل MODWT من الدرجة الخامسة باستخدام التابع sym4.

- نقوم بإعادة تشكيل الإشارة من المستوى الخامس باستخدام التحويل المويجي المتقطع ذو التداخل الأعظمي العكسي IMODWT باستخدام التابع sym4، مما يجعل القمم أكثر وضوحاً بعدها بسبب تخامد القمم الأصغر كما هو موضح في الشكل (5) الذي يظهر إشارة ECG معاد تشكيلها من المستوى الخامس باستخدام التحويل IMODWT من النوع sym4.



الشكل (5) إشارة ECG معاد تشكيلها من المستوى الخامس باستخدام التحويل IMODWT من النوع sym4

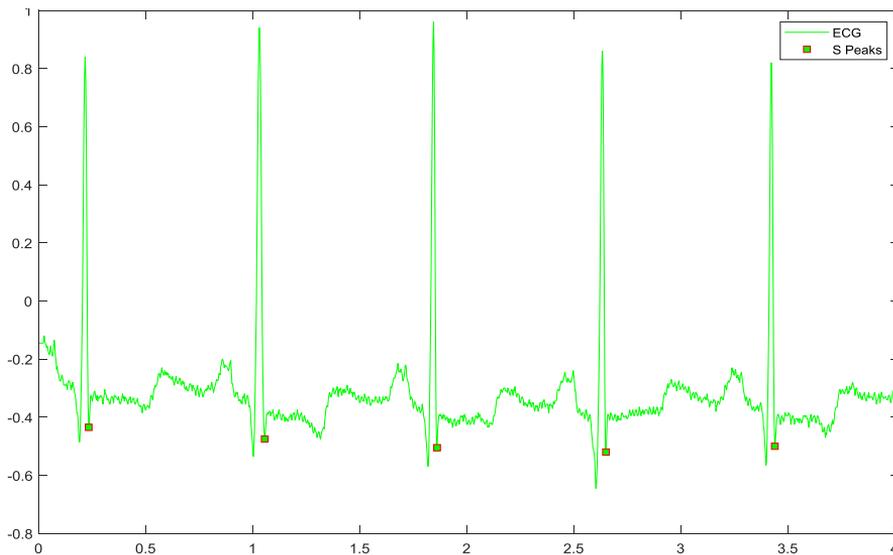
- نقسم الإشارة الناتجة بعد تطبيق التحويل المويجي إلى مجالات ونكشف القمة الأعلى الموجودة في كل مجال على حدة كما هو موضح في الشكل (6) الذي يظهر إشارة ECG والقمم R المكتشفة.



الشكل (6) إشارة ECG والقمم R المكتشفة

2-2-2- إيجاد القمة S:

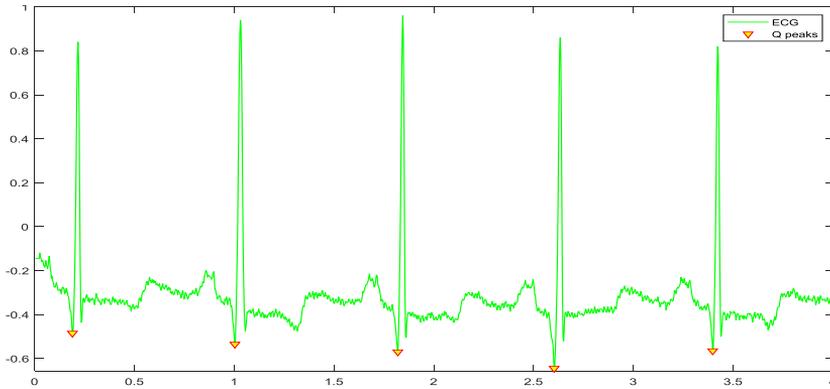
القمة S هي الذروة السفلى التي تقع مباشرة بعد القمة R، لإيجادها يتم تحديد المجال الصغير الذي يبدأ بالقمة R وينتهي بالقمة T ونوجد القمة S على اعتبارها تمثل أدنى قمة ضمن هذا المجال كما هو موضح في الشكل (7) الذي يظهر إشارة ECG والقمم S المكتشفة.



الشكل (7) إشارة ECG والقمم S المكتشفة

3-2-2- إيجاد القمة Q:

القمة Q هي الذروة السفلى التي تقع مباشرة قبل القمة R، لإيجادها يتم تحديد المجال الصغير الذي يبدأ بالقمة P وينتهي بالقمة R ونوجد القمة Q على اعتبارها تمثل أدنى قمة ضمن هذا المجال كما هو موضح في الشكل (8) الذي يظهر إشارة ECG والقمة Q المكتشفة.



الشكل (8) إشارة ECG والقمة Q المكتشفة

4-2-2- إيجاد زمن ظهور القمتين P و T:

تم إيجاد زمن ظهور القمتين P و T بطريقتين مختلفتين إلا أن الطريقة الثانية كانت فعالة أكثر بشكل عام وتم استخدامها في هذا البحث.

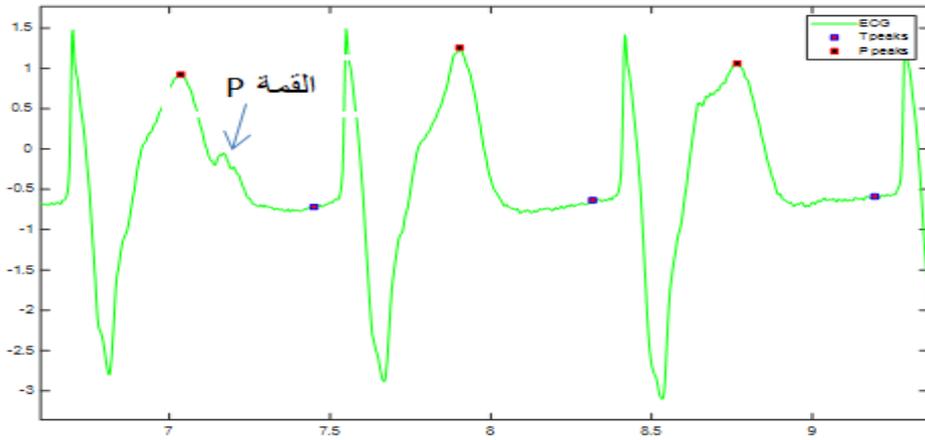
الطريقة الأولى:

- ❖ يتم تحديد المجال الواقع بين كل من القمة S في أول الدور من الإشارة والقمة Q في الدور التالي للدور السابق لهذه الإشارة.
- ❖ نحدد موقع القمة الأعلى ضمن المجال السابق.
- ❖ نحدد نوع القمة السابقة فيما إذا كانت P أو T. يوجد قمتين في المجال بين R و Q هما P و T، في الحالة الطبيعية القمة P أعلى ولكن في بعض الأمراض يكون T أعلى مما

يؤدي إلى أخطاء برمجية. لتفادي هذا الخطأ يجب التمييز بين القمتين من خلال تحديد القمة التي تأتي أولاً والتي تكون أقرب للقمة Q في الدور التالي.

❖ نحدد القمة الأخرى.

تحدث الأخطاء عندما تتوضع كل من القمتين T و P في موضعين متقاربتين في المجال الواقع بين القمة S في أول الدور من الإشارة والقمة Q في الدور التالي للدور السابق لهذه الإشارة كما هو موضح في الشكل (9) الذي يظهر إشارة ECG والقمتين T و P حيث حدث خطأ نتيجة تموضع كل من القمتين T و P في موضعين متقاربتين .



الشكل (9) إشارة ECG والقمتين T و P حيث حدث خطأ نتيجة تموضع كل من القمتين T و P في موضعين متقاربتين

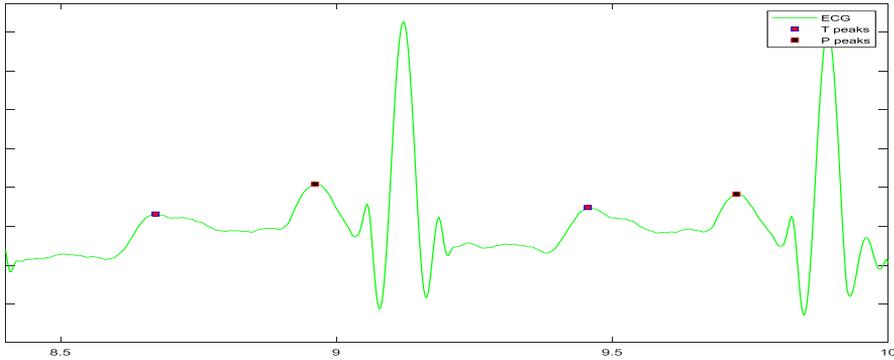
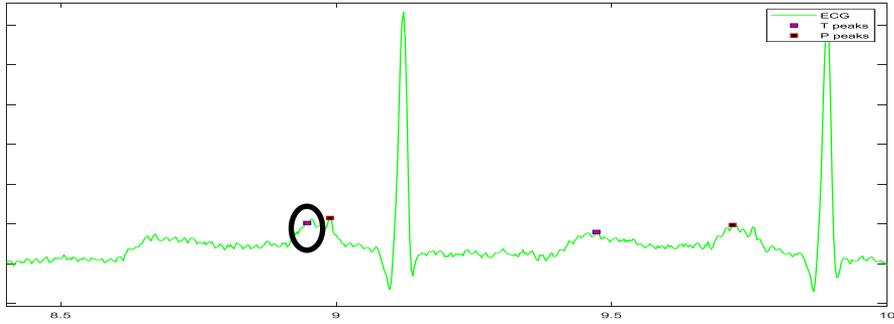
الطريقة الثانية:

- ✓ يتم تحديد المجال الواقع بين كل من القمة S في أول الدور من الإشارة والقمة Q في الدور التالي للدور السابق لهذه الإشارة.
- ✓ نقوم بتطبيق التحويل MODWT من الدرجة الخامسة ونقوم بإعادة تشكيل الإشارة للمستوى الخامس باستخدام التحويل العكسي IMODWT مما يجعل القمم أكثر وضوحاً بسبب تخامد القمم الأصغر.

- ✓ نزح الإشارة إلى المستوى الصفري.
- ✓ نقسم الإشارة الناتجة بعد تطبيق التحويل المويجي إلى مجالين ونكشف القمة الأعلى الموجودة في كل مجال.

2-3- الفترة:

لا يمكن استخراج القمم P و T بالطرق التقليدية نتيجة وجود ضجيج أدى إلى وجود قمتين متتاليتين. لذلك قمنا بالترشيح باستخدام المرشح **Savitzky-Golay** من أجل إزالة الضجيج كما نلاحظ في الشكل (10) الذي يظهر إشارة ECG بوجود الضجيج وإشارة ECG مرشحة.



الشكل (10) (A): إشارة ECG بوجود الضجيج، (B): إشارة ECG مرشحة

2-4- تأثير نوع تابع المويجي في استخلاص الميزات:

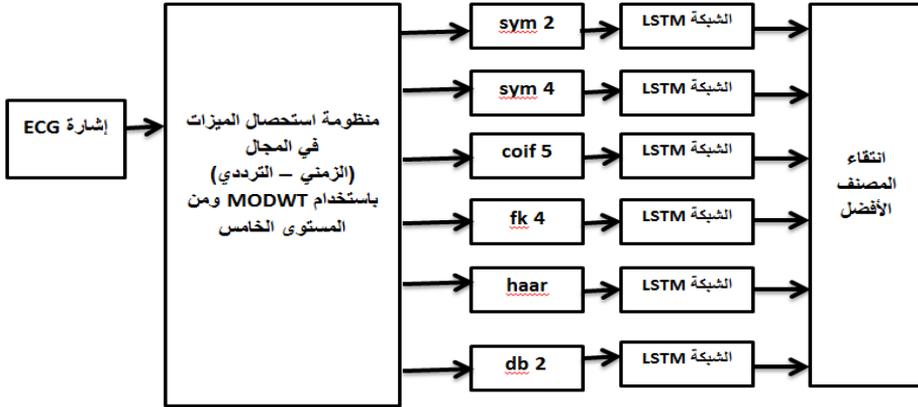
سنقوم بدراسة نوع تابع التحويل المويجي في استخلاص الميزات من إشارة ECG وذلك ضمن المجال (الزمني_الترددى)، حيث قمنا بداية بتطبيق التحويل MODWT ومن المستوى الخامس باستخدام مجموعة متنوعة من توابع التحويل المويجي ومن ثم تم استخراج المعاملات التقريبية (A1,A2,A3,A4,A5) والمعاملات التفصيلية (D1,D2,D3,D4,D5)، بعدها تم تطبيق التحليل الإحصائي على مجموعة من هذه المعاملات وبذلك حصلنا على مجموعة ميزات استخدمت مداخل لشبكة عصبونية عميقة للتصنيف بين 13 حالة قلبية. لقد تم استخدام المعاملات (D3-D4-A5) فقط كون المجال الترددي لبقية المعاملات هوي ولا تظهر فيه القمة R بشكل واضح. يبين الجدول (3) مميزات إشارة ECG المستخرجة من المعاملات السابقة.

الجدول (3) مميزات إشارة ECG المستخرجة من المعاملات (D3-D4-A5)

التباين لمعامل التفاصيل (Var D4)D3	الانحراف المعياري لمعامل التقريب (STD A5)A5
الانحراف المعياري لمعامل التفاصيل (STD D4)D4	القيمة متوسطة لمعامل التقريب (Mean A5)A5
القيمة المتوسطة لمعامل التفاصيل (Mean D4)D4	الانحراف المعياري لمعامل التفاصيل (STD D3)D3
التباين لمعامل التفاصيل (Var D4)D4	القيمة متوسطة لمعامل التفاصيل (Mean D3)D3

2-5- مقارنة بين عدة أنواع من عائلات MODWT في تصنيف الأمراض القلبية:

لقد تم استخدام المميزات السابقة لعدة أنواع من عائلات من عائلات التحويل المويجي كمدخل لشبكة عصبونية عميقة من النوع LSTM كما هو موضح في الشكل (11).



الشكل (11) تطبيق عدة أنواع من عائلات التحويل المويجي لاستحصال الميزات واختبارها عبر المصنف LSTM

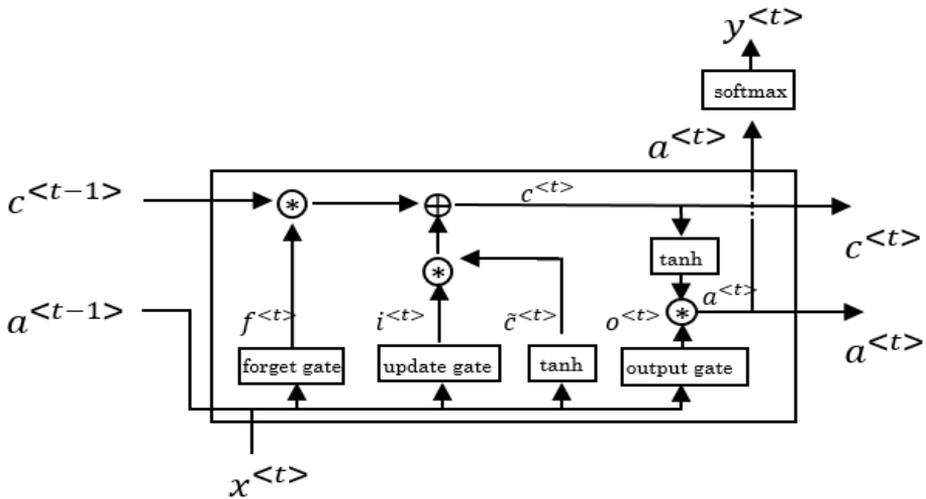
2-6- التصنيف باستخدام الشبكات العصبونية العميقة ذات الذاكرة (طويلة-قصيرة) المدى LSTM:

قدمت الشبكات ذات الذاكرة طويلة-قصيرة المدى حلاً لمشكلة اختفاء التدرج، وسنقوم بشرح مبسط للبنية الداخلية لهذا التصميم من الشبكات العصبونية وتحديد كيفية حل مشكلة اختفاء التدرج. تستخدم الذاكرة طويلة المدى (LSTM) أربعة بوابات تؤدي كل منها وظيفة محددة [11] وهذه البوابات هي:

- ✓ بوابة الإدخال / التحديث (Γ_u) تتحكم فيما يجب كتابته إلى خلية LSTM.
- ✓ بوابة النسيان (Γ_f): تتحكم فيما إذا كان يجب محو الخلية.
- ✓ بوابة الإخراج (Γ_o): تتحكم بمقدار ما يجب كشفه أو إخرجه من الخلية.
- ✓ تتحكم البوابة الرابعة (g) في مقدار الكتابة إلى الخلية.

يمكن أن يتم استذكار أو نسيان الحالة السابقة لحالة الخلية الداخلية، ويمكن إما زيادة أو تقليل كل عنصر من عناصر حالة الخلية هذه بمقدار واحد في كل خطوة زمنية. يمكن تمثيل حالات الخلايا هذه على أنها عدادات قيمتها تأخذ القيم من -1 إلى 1 في كل

خطوة زمنية. تتمثل الخطوة الأولى ل LSTM في تحديد المعلومات التي سيتم إزالتها من حالة الخلية الداخلية. يتم اتخاذ هذا القرار من قبل طبقة Sigmoid تسمى (طبقة بوابة نسيان). تنظر إلى a_{t-1} و x_t ، وتخرج رقم بين 0 و 1 لكل رقم في وحدة الذاكرة السابقة c_{t-1} . يمثل الرقم في وحدة الذاكرة السابقة، 1 يعني الاحتفاظ بهذا الرقم بالكامل بينما يمثل 0 التخلص من هذا الرقم بالكامل. يبين الشكل (12) البنية الداخلية للشبكات العصبونية ذات الذاكرة (طويلة-قصيرة) المدى LSTM



الشكل (12) البنية الداخلية للشبكات العصبونية ذات الذاكرة (طويلة-قصيرة) المدى LSTM [11]

لقد تم تدريب الشبكة المصممة في هذا البحث بـ 83 عينة واختبارها بـ 35 عينة. يقوم المصنف بتمييز 13 صنف (12 حالة مرضية والحالة الطبيعية).

يبين الشكل (13) تحليل الشبكة LSTM باستخدام MATLAB حيث تتكون من الطبقات

الآتية:

☒ طبقة دخل تسلسلية واحدة Sequence Input Layer.

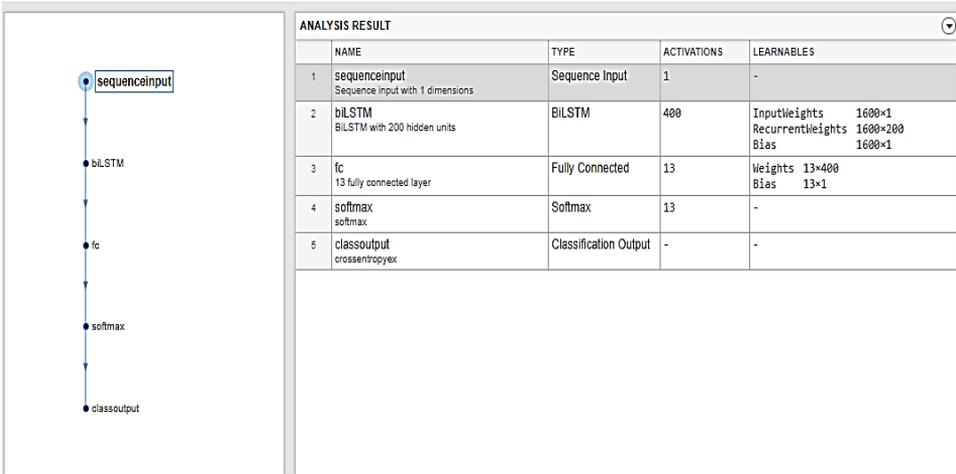
دراسة مقارنة بين عائلات التحويل المويجي في الكشف الآلي عن الأمراض القلبية باستخدام إشارة ECG

طبعة ذاكرة قصيرة وطويلة الامد Bilstm Layer مزودة 400 وحدة مخفية Hidden Units.

طبعة اتصال كامل Fully Connected Layer وتقوم بضرب الدخل بمصفوفة الأوزان ومن ثم تضيف الناتج لشعاع الانزياح.

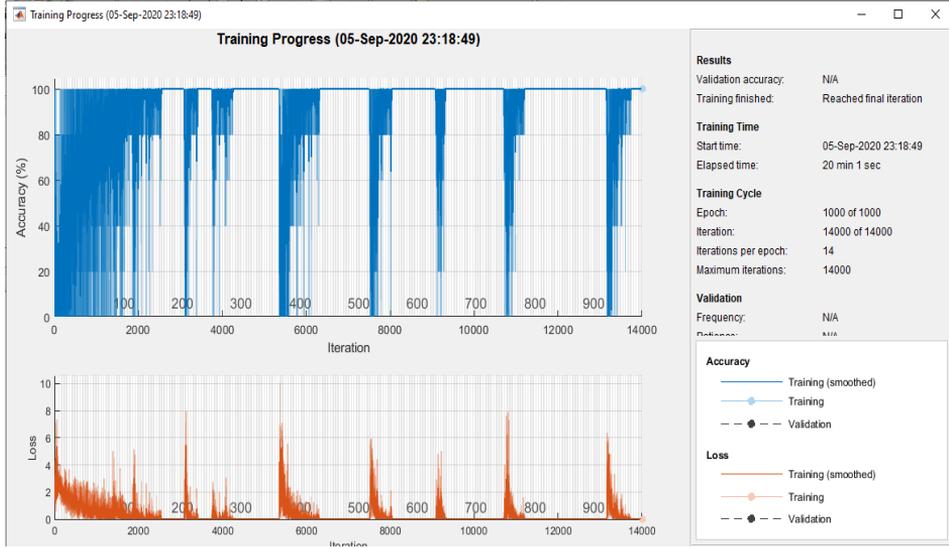
طبعة التنعيم SoftMax Layer: تقوم بتطبيق تابع التنعيم الأعظمي SoftMax على الدخل.

طبعة خرج مصنفة Classification Layer.



الشكل (13) تحليل الشبكة المستخدمة LSTM باستخدام برنامج MATLAB

يبين الشكل (14) عملية تدريب الشبكة LSTM باستخدام برنامج MATLAB، حيث بلغ عدد دورات التدريب epoch (1000) مرة.



الشكل (14) عملية تدريب الشبكة LSTM باستخدام MATLAB

7-2- تقييم أداء الشبكة:

تمّ تقييم أداء الشبكة العصبونية من خلال الدقة (Accuracy) والحساسية (Sensitivity) والنوعية (Specificity) تعطى هذه المعايير بالعلاقات التالية:

$$\text{ACCURACY} = \frac{T_p + T_n}{T_p + T_n + F_p + F_n} \times 100\% \quad (1)$$

$$\text{SENEITIVITY} = \frac{T_p}{T_p + F_n} \times 100\% \quad (2)$$

$$\text{SPECIFICITY} = \frac{T_n}{T_n + F_p} \times 100\% \quad (3)$$

حيث أن:

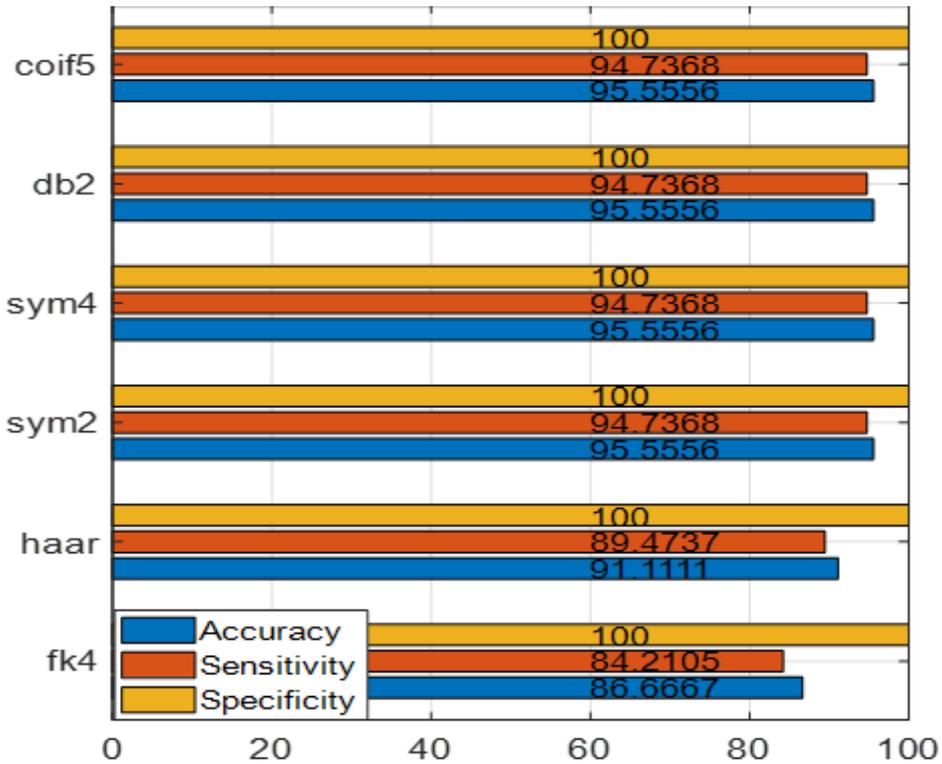
T_p : حالة مرضية وتمّ تشخيصها بشكل صحيح.

T_n : حالة سليمة وتمّ تشخيصها بشكل صحيح.

F_p : حالة سليمة وتمّ تشخيصها على أنها مرضية.

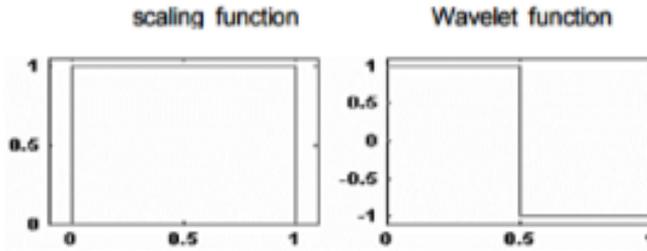
F_n : حالة مرضية وتمّ تشخيصها على أنها سليمة.

يظهر الشكل (15) تقييم لأداء المصنف من خلال الدقة والحساسية والنوعية من أجل توابع موجية مختلفة أستخدمت لاستنتاج مميزات إشارة ECG في المجال الزمني_الترددي عند المستوى الخامس.

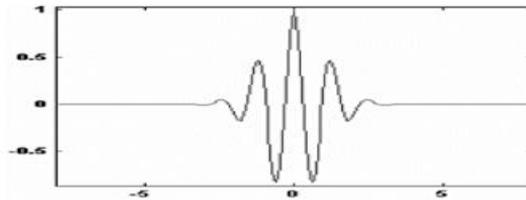


الشكل (15) الدقة والحساسية والنوعية للمصنف من أجل توابع موجية مختلفة

نلاحظ من الشكل (15) أنه عند استخدام التتابع (sym2- sym4 -db2 -coif5) كانت دقة المصنف وحساسيته ونوعيته الأعلى حيث كانت النسب على التوالي 95.55%, 94.73%, 100% في حين انخفضت دقة المصنف وحساسيته عند استخدام كل من التابعين الموجبيين (Fk4- haar)، ويعود السبب في ذلك إلى أن التتابع الموجبية (sym2- sym4 -db2 -coif5) ذات أشكال قريبة من شكل إشارة ECG مما يجعلها قادرة على تحديد مميزات دقيقة في هذه الإشارة بالمقارنة مع التابعين الموجبيين (Fk4- haar) الذين يختلفان في شكلهما عن إشارة ECG، يبين الشكل (16) شكل التابع الموجبي haar كما يبين الشكل (17) شكل التابع الموجبي Fk4



الشكل (16) شكل التابع الموجبي haar



الشكل (17) شكل التابع الموجبي Fk4

النتائج ومناقشتها

- إمكانية تحليل إشارة ECG باستخدام التحويل MODWT وإيجاد القمة R بشكل آلي.
- تم دراسة تأثير نوع تابع التحويل MODWT في كشف القمة R بشكل صحيح من خلال استخدام عدة أنواع من عائلات MODWT وهي (sym2- sym4 haar -Fk4 -coif5 -db2) وقد تم التوصل إلى أن النوع sym4 هو أفضل الأنواع في كشف القمة R.
- تم دراسة تأثير نوع تابع MODWT في استخلاص الميزات من إشارة ECG وذلك ضمن المجال الزمني-الترددي حيث استخدمت هذه الميزات كمدخل لشبكة عصبونية عميقة من النوع LSTM للتمييز بين 13 حالة قلبية وقد تبين من خلال الدراسة أن التتابع (sym2- sym4 -db2 -coif5) كانت دقة المصنف وحساسيته ونوعيته الأعلى عند استخدامها في حين انخفضت الدقة والحساسية عند استخدام كلا من التابعين (Fk4- haar) ويعود السبب في ذلك إلى أن التتابع (sym2- sym4 -db2 -coif5) ذات أشكال قريبة من شكل إشارة ECG مما يجعلها قادرة على تحديد ميزات دقيقة بالمقارنة مع التابعين (Fk4- haar) اللذان يختلفان في شكلهما عن شكل إشارة ECG.

الاستنتاجات والتوصيات

تم إجراء العديد من الأبحاث للكشف الآلي عن قمم إشارة ECG ولا سيما القمة R أو ما يعرف بالمعقد QRS الذي يعتبر من أهم ما يميز شكل إشارة ECG عن باقي الإشارات الحيوية. تم في هذا البحث تقديم طريقة فعالة للكشف عن القمة R وباقي القمم بالاعتماد على التحويل MODWT تم الاستفادة منها في التمييز بين 13 حالة قلبية باستخدام

الشبكات العصبونية العميقة LSTM وقد تم مقارنة بحثنا مع الأبحاث السابقة وفق الجدول (4).

الجدول (4) مقارنة بين بحثنا والأبحاث السابقة في مجال تصنيف الأمراض القلبية

البحث	الدقة	الحساسية	النوعية
[5],2016	92.74%	-	-
[6],2018	76.7%	-	-
[7],2021	95.33%	-	-
بحثنا	95.55%	94.73%	100%

المراجع

- [1] George J Taylor, "**150 Practice ECGs Interpretation and Review**", third edition, Blackwell Publishing, USA, 2006.
- [2] Kiani F., Maghsoudi K., "**Classification of from ECG using Neural Net**", Iran, 2016.
- [3] Wenbo Z., "**Detection Features from ECG signal using Discret Wavelet Transformation** ", China, 2012.
- [4] Siva A., Siddhard S., "**Classification of Heart Disease using Wavelet Transformation and Neural Network Model**", 2018, India.
- [5] Gutierrez J., 2016–**DSP–based arrhythmia classification using using wavelet transform and probabilistic neural network**, Biomedical Signal Processing Signal Processing and Control, 34(2016), 44–56.
- [6] Saumendra K., 2018–**Detection of Arrhythmia using Neural Network**, Proceedings of the first International Conference on Information Technology and Knowledge Management, 1(14), 97–100.

- [7] Hardan A.–**Designing and Constructing an Intelligent Adaptive Filter for Medical Signal Processing Using FPGA technology**,2021, Project prepared to obtain PHD degree in Programmable Elecotronic systems, Aleepo University.
- [8] Runnan H., Yangl L.,"**Automatic Cardiac Arrythmia Classification using Combination of Deep Residual Network and Bidirection LSTM**",China,2019.
- [9] Rubi B., "**Wavelet Transformation Theory**", India,2005.
- [10] Charles R–Maximal Overlap Wavelet Statistical Analysis with Application to Atmospheric Turbulence, Applied Physical Laboratory, USA,2005.
- [11] Kuan F.," **Long –Short Term Memory Neural Network and its Application**", China,2018.

نمذجة و محاكاة شبكة إيثرنت صناعية تستخدم

برتوكول MODBUS TCP/IP

طالب الدكتوراه: رضوان صبحي المحمد كلية الهمك - جامعة البعث

اشراف الدكتور: مسعود الأتاسي

الملخص:

تعتمد العديد من المعامل في وقتنا الحاضر على شبكات إيثرنت الصناعية و التي تتكون من عدة عقد تتبادل البيانات فيما بينها بشكل موثوق. يُعتبر بروتوكول MODBUS TCP/IP هو أحد أشهر أنواع هذه الشبكات الصناعية حيث لاقى هذا البرتوكول انتشاراً واسعاً نظراً لأدائه العالي في أتمتة العمليات الصناعية. إنّ دراسة أداء الشبكات الصناعية و تحسين جودة الخدمة يعد هدفاً أساسياً، لذا تمّ من خلال هذا البحث نمذجة شبكة صناعية تستخدم بروتوكول MODBUS TCP/IP باستخدام محاكي الشبكات OPNET و تمت دراسة العديد من بارامترات الأداء مثل (زمن التأخير للشبكة، عدد الأطر المستقبلية بالزمن، و الانتاجية للوصلات). قدّم هذا البحث تحليل لأداء الشبكة الصناعية عبر تغيير أحجام الأطر و كذلك زيادة عدد الوصلات بين العقد، و تمّ تحسين جودة الخدمة للشبكة الصناعية المدروسة عبر تغيير طوبولوجيا الشبكة و تطبيق بروتوكول HSRP و تحقيق موازنة الحمولة في الشبكة.

الكلمات المفتاحية: بروتوكول MODBUS TCP/IP ، تحليل أداء الشبكات الصناعية، العوامل المؤثرة في أداء الشبكات، تحليل الأداء باستخدام OPNET.

Modeling and Simulation of Industrial Ethernet Network Using MODBUS TCP/IP Protocol

Abstract:

Many factories today rely on industrial Ethernet networks, which consist of several nodes that exchange data with each other reliably. MODBUS TCP/IP protocol is one of the most popular types of these industrial networks, and this protocol has gained wide popularity due to its high performance in automating industrial processes.

Studying the performance of industrial networks and improving quality of service is a main goal, so in this paper an industrial network was modeled using MODBUS TCP/IP protocol using the OPNET network simulator and many performance parameters were studied such as (network delay time, number of frames received in time, and throughput of connections).

Through this paper, we were able to analyze the performance of the industrial network by changing the frame sizes as well as increasing the number of connections between nodes, and the quality of service for the studied industrial network was improved by changing the network topology, implementing the HSRP protocol and achieving load balancing in the network.

Key words: MODBUS TCP/IP protocol, industrial network performance, performance analysis using OPNET.

1- المقدمة:

يُعتبر بروتوكول MODBUS TCP/IP بروتوكول اتصال صناعي يعمل على طبقة التطبيق حيث يتم وضعه في المستوى السابع من نموذج (OSI)، يوفر اتصال ذو النمط (Client/Server) بين الأجهزة المتصلة بالشبكة الصناعية، و بدأ العمل به منذ عام 1979 حيث مكّن ملايين أجهزة الأتمتة الصناعية بتبادل البيانات فيما بينها، و يمكن

الوصول إلى MODBUS عبر الانترنت من خلال منفذ محجوز برقم (502). [1] يندرج بروتوكول MODBUS TCP/IP تحت ما يعرف بشبكات إيثرنت الصناعية حيث يستخدم المعيار Ethernet/IEEE 802.3 و الذي ينتمي إلى عائلة الشبكات المحلية (LAN) و التي تدعم سرعات نقل بيانات تصل إلى (1 Gbps) بمختلف أنواع وسائط النقل المعروفة سواء المحورية أو المجدولة أو الضوئية و التي تؤمن عملية الاتصال الفيزيائي بين مختلف أنواع العقد المكوّنة للشبكات الصناعية مثل (PLCs, Hubs, Switches and Routers)، و يدعم المعيار تقنية الوصول المتعدد مع كشف التصادم (CSMA/CD) أثناء تبادل رزم البيانات. [2]

تدعم بيئة OPNET نمذجة و محاكاة مختلف أنواع الشبكات و لا سيما شبكات إيثرنت حيث توجد فيها مختلف أنواع الأجهزة و الوصلات المستخدمة في بناء شبكات إيثرنت و كذلك يدعم OPNET عملية بناء العقد الغير موجودة أو تعديل عقد موجودة مما يتيح إضافة التفاصيل و المكونات المرغوبة في نمذجة أي نوع من أنواع الشبكات بما فيها الصناعية. [3]

تم اختيار شبكة صناعية تعمل على بروتوكول MODBUS TCP/IP و تمت محاكاتها باستخدام برنامج OPNET مما أتاح دراسة و تحليل العديد من بارامترات الأداء بشكل مكّن من فهم سلوك الشبكة و إجراء عمليات التحسين لرفع أداءها.

2- مشكلة البحث:

- ❖ صعوبة إجراء عمليات التنبؤ و الاختبار على شبكة صناعية واقعية.
- ❖ الصعوبة في توسعة و تطوير الشبكة دون التأثير على الأداء العام لها.

❖ عدم القدرة على تحديد أهم العوامل المؤثرة في أداء الشبكات الصناعية أثناء عملها.

❖ مشكلة مادية كبيرة عند عدم تلبية الشبكة لمتطلبات العمل في الأداء المطلوب.

3- هدف البحث:

إنّ الهدف الرئيسي هو بناء نموذج يحاكي سلوك شبكة إيثرنت صناعية تعمل على بروتوكول MODBUS TCP/IP آخذين بعين الاعتبار جميع الخصائص التي يدعمها و من ثم إجراء عمليات التحليل و الاختبار بهدف:

- ✓ تحديد أهم العوامل المؤثرة في بارامترات الأداء.
- ✓ المقارنة بين بارامترات الأداء عند كل سيناريو اختبائي لتحديد القيم الأفضل.
- ✓ إجراء عمليات التطوير على النموذج قبل تنفيذها على الشبكة الواقعية.
- ✓ دراسة التكلفة المادية و متطلبات التوسعة للشبكة من خلال النموذج المُصمّم.
- ✓ القدرة على التنبؤ بسلوك الشبكة المستقبلي عند إضافة معدات جديدة على الشبكة.

✓ القدرة على تحسين جودة الخدمة في الشبكة الصناعية المدروسة.

4- الدراسات المرجعية:

اهتمّ العديد من الباحثين حول العالم بمجال نمذجة شبكات إيثرنت الصناعية و تحليل أدائها و بالأخص التي تستخدم بروتوكول MODBUS TCP/IP نظراً لانتشاره الواسع و سنذكر بعض الأبحاث التي تمّ الوقوف عندها و النظر في نتائجها:

- اقترح الباحثان Yao Yuanyuan, Chen Meng خوارزمية محسنة لطول إطار الاتصال التكيفي استناداً على بروتوكول Modbus TCP لتعديل طول الإطار بهدف تحديد حجم الإطار الأفضل للإرسال وفقاً لمتوسط معدل خطأ الإطار في الفترة الزمنية، و تمّ استخدام طريقة "تقليل سريع ، زيادة بطيئة" لضبط طول إطار البيانات عند مستويات مختلفة من FER (Frame Error Rate) معدل خطأ الإطار، لا تعمل هذه

الخوارزمية على تحسين معدل الإرسال فحسب بل أيضاً على تحسين استقرار الاتصال وبتالي الأداء. [4]

- الورقة البحثية [5] درست العديد من المعايير لتقييم أداء أجهزة الشبكات من نوع Modbus TCP، وتتضمن: (1) وقت الاستجابة لطلبات Modbus، (2) الحد الأقصى لعدد الطلبات التي يمكن التعامل معها بنجاح بواسطة أجهزة Modbus في فترة زمنية محددة، و(3) مراقبة أجهزة Modbus عند تعرضها لهجوم رفض مُوزع للخدمة (Distributed Denial of Service)، و تم استخدام دارتين الكترونيتين ذات تكلفة منخفضة و هي (ESP8266 و Raspberry Pi / OpenPLC) لتقييم أداء بروتوكول Modbus.

- الهدف من المقال [6] هو تقييم أداء شبكة صناعية وآليات تنفيذ دورة الرسائل حيث قَدّم نموذجاً يستند على شبكة بتري الملونة لإجرائيات الإرسال و تنفيذ دورة الرسائل (MAC)(Medium Access Control) لطبقة ربط المعطيات للبروتوكولات Fieldbus، وأكدت النتائج على الحاجة لتحديد بارامتر زمن التشغيل وهو معكوس معدل الإرسال (transmission rate) بشكل مناسب من أجل ضمان الأداء الأمثل لشبكة Fieldbus.

- قام الباحثان Beata Krupanek and Ryszard Bogacz بإجراء بحث [7] باستخدام المحاكى OPNET لدراسة أداء الأنظمة اللاسلكية متعددة العقد، وتم من خلال هذا البحث نمذجة شبكة صناعية مؤلفة من عدة عقد لاسلكية باستخدام برنامج OPNET و دراسة جودة الخدمة و الأداء للشبكة من حيث تلبيتها لمُحدّدات الزمن الحقيقي و دراسة التأخيرات في عملية نقل البيانات.

- في الدراسة المرجعية [8] قَدّم الباحثون تحليلاً لأداء بروتوكول الاتصال ModbusTCP باستخدام محاكي الشبكات (NS-3)، و يركّز البحث على تقييم الأداء من خلال زمن الاستجابة مرتبطاً بعدد العقد والطوبولوجيا، و أظهرت النتائج أن طول الحزمة ليس له تأثيراً كبيراً على وقت الاستجابة في كلا النوعي للطوبولوجيا (الناقل و النجمي) و بتالي ليس له أثراً كبيراً على الأداء.

- في البحث [9] ناقش الباحثون أداة لتحليل وقت الاستجابة والجدولة لاتصالات بروتوكول Modbus عبر ناقل RS-485، حيث يتم جمع أزمنة استجابة الرسائل بواسطة جهاز Modbus مُتخصّص ثم إرسالها إلى البرنامج حيث يتم التحليل، ثم يتم ارسال تطبيق Modbus عبر شبكة RS-485 بشكل يتناسب مع الأداء.

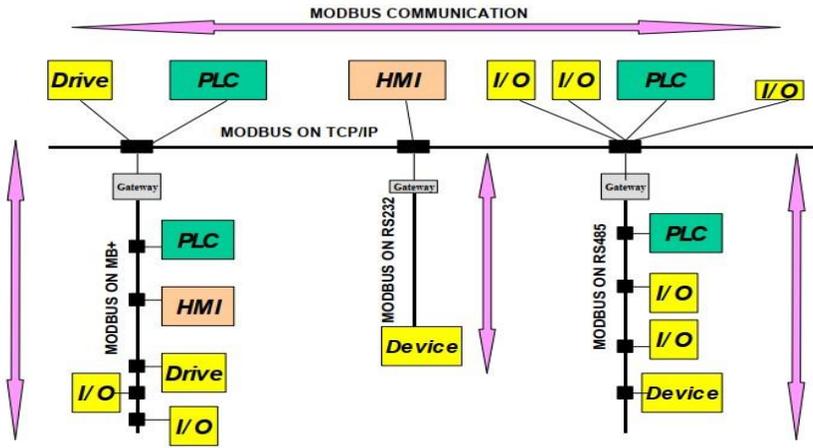
- قدم الباحثون Jia Hao, Jiechang Wu, Chaoyou Guo بحثاً [10] تمّ من خلاله نمذجة و تحليل أداء بروتوكول CAN الصناعي باستخدام OPNET ، حيث تمّ بالبداية نمذجة الناقل بشكل هرمي انطلاقاً من نموذج الشبكة و من ثم نموذج العقدة و من ثم نموذج العمليّة مع الأخذ بعين الاعتبار كلاً من وظائف معالجة الأخطاء و تحسس حالة القناة و أولويّة العقد لتفادي التصادم، و بعد الانتهاء من بناء النموذج تمّ دراسة بعض العوامل المؤثرة في الأداء مثل أولوية العقدة و حجم الإطار و الأزمنة الفاصلة بين عمليات الإرسال.

- تمّ في البحث [11] دراسة بعض العوامل المؤثرة في تصميم الشبكات الصناعية Fieldbus من خلال المحاكاة باستخدام برنامج Opnet و أثر هذه العوامل عل أداء الشبكات، و تم اختيار ثلاث عوامل وهي معدل الإرسال (إما 2.5Mbps أو 1.5Mbps) و طبولوجيا الشبكة (إما حلقي أو نجمي) و نوع مجمّع الشبكة المركزي (إما hub أو switch) مما يقود إلى اختبار ثمانية سيناريوهات (2^3) في المحاكي OPNET، و تم في كل سيناريو تشغيلي حساب مجموع عدد الرزم المرسلّة بالمقارنة مع عدد الرزم المستقبلّة و تقسيم المجموعين للحصول على نسب تعكس أداء كل حالة اختبار.

- قام الباحث قتيبة علي بنشر مقال [12] لدراسة و تحليل أداء شبكات إيثرنت الصناعية باستخدام برنامج المحاكاة أوبنيت ، ففي البداية تمّ التأكد من قابلية برنامج OPNET في نمذجة الشبكات الصناعية من خلال مقارنة نتائج تجارب شبكة عمليّة مع نتائج المحاكاة و من ثمّ تم دراسة تأثير عدد من العوامل على الأداء مثل طول الحزمة و عدد العقد و معدل إنتاجية العقد و حمل FTP مُوجه لعقدة محددة، وأظهرت النتائج أنه يمكن استخدام برنامج OPNET بكفاءة لمحاكاة الشبكات الصناعية.

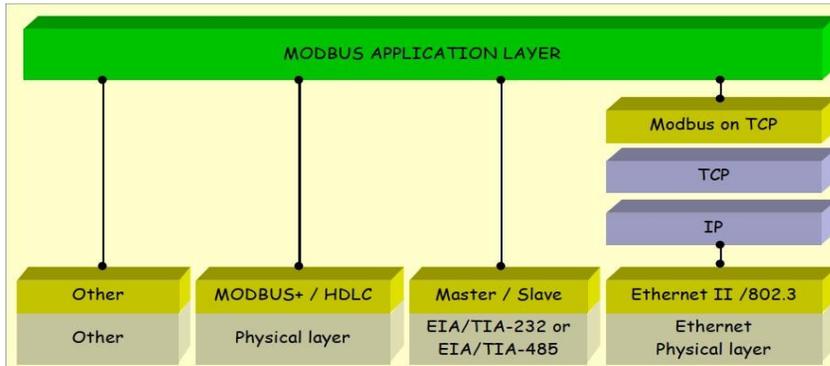
5- بروتوكول MODBUS TCP/IP:

يعتمد بروتوكول MODBUS TCP/IP على نموذج (CLIENT / SERVER) لتبادل رسائل المعلومات في الزمن الحقيقي بين مختلف أنواع الأجهزة الموجودة في الشبكة الصناعية سواء كانت أجهزة (CLIENT) و (SERVER) الطرفية أو أجهزة الاتصال البيني مثل (Bridge, Router, Gateway) والتي تؤمن اتصال الشبكة مع الشبكات و النواقل الفرعية الأخرى، و يُظهر الشكل (1) هيكلية شبكة صناعية تستخدم بروتوكول [1].MODBUS TCP/IP



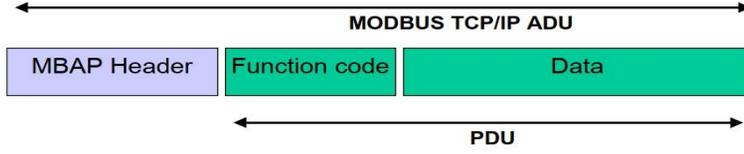
الشكل (1) : هيكلية شبكة صناعية لبروتوكول MODBUS TCP/IP .

يتكون بروتوكول MODBUS TCP/IP من أربعة طبقات رئيسية و يوضح الشكل (2) هذه الطبقات بالمقارنة مع أنواع بروتوكول MODBUS الأخرى ذات الناقل التسلسلي. [1].



الشكل (2) : طبقات MODBUS حسب وسط الارسال.

إن الإطار العام لبروتوكول MODBUS TCP/IP يتكون من ثلاثة أقسام رئيسية كما هو موضح بالشكل (3). [13].



الشكل (3) : الإطار العام لبروتوكول MODBUS TCP/IP.

يبلغ طول الإطار الكلي (260 Byte) حيث يتم تقسيمها كالتالي:

- ❖ **حقل البيانات (Data):** أقصى حجم هو (252 Byte) يمكن أن تكون هذه البيانات رسالة الطلب من الجهاز العميل للجهاز الخادم حسب نوع الوظيفة المحدد في حقل "Function" أو قد تكون الاستجابة من الجهاز الخادم إلى الجهاز العميل.
- ❖ **حقل الوظيفة (Function Code):** بطول (1 Byte) و يشير إلى رمز الوظيفة للجهاز الخادم أي نوع الإجراء الذي يجب القيام به حيث يتم ترميزها برقمين ستة عشريين يُحجز لكل رقم أربع بتات.
- ❖ **الترويسة (MBAP):** بطول (7 Byte) و تتكون بدورها من أربعة حقول و هي:
 - (a) **معرف الإجرائية (Transaction Identifier):** بطول (2 Byte) يتم استخدامه لعملية الاقتران بين العميل و الخادم ، حيث يقوم خادم MODBUS بنسخ معرف الإجرائية في الاستجابة.
 - (b) **معرف البروتوكول (Protocol Identifier):** بطول (2 Byte) يتم استخدامه لتعدد الإرسال داخل النظام، أي نظام يحتوي العديد من بروتوكولات الاتصال، حيث يتم تحديد بروتوكول MODBUS بالقيمة (0).
 - (c) **حقل الطول (Length):** بطول (2 Byte) و هو عدد البايتات للحقول التالية، بما في ذلك مُعرّف الوحدة وحقول البيانات.

(d) معرف الوحدة (Unit Identifier): بطول (1 Byte) و يُستخدم هذا الحقل لغرض التوجيه داخل النظام، و يتم استخدامه عادةً للاتصال بين شبكة Ethernet TCP-IP و ناقل MODBUS التسلسلي، و يتم تعيين هذا الحقل بواسطة MODBUS Client في الطلب و يجب إعادته بنفس القيمة في استجابة الخادم.

6- محاكي الشبكات OPNET:

إنّ OPNET عبارة عن أداة من شركة MIL3 طوّرها الطالب Alain Cohen في عام 1986 وهو اختصار لـ Optimized Network Engineering Tools أي أدوات هندسة الشبكات المحسّنة، وهو أحد أشهر المحاكيات الشبكية وأكثرها شعبية بسبب استخدامه الكبير والواسع في مجالي الصناعة والأبحاث الشبكية، وهو نظام هندسي قادر على محاكاة شبكات الاتصال الضخمة مع نمذجة تفصيليّة للبروتوكولات والتطبيقات والأجهزة وتحليل الأداء، و تمّ استخدام نسخة OPNET الأكاديمية ذات الاصدار (14.5) في بحثنا. [3]

أهم خصائص برنامج OPNET:

(a) دورة النمذجة والمحاكاة: إنّ OPNET يُوفر أداة فعالة لمساعدة المستخدم في تحقيق المراحل الثلاث الأولى من طور التصميم وهي: بناء نموذج، تنفيذ المحاكاة، تحليل الخرج.

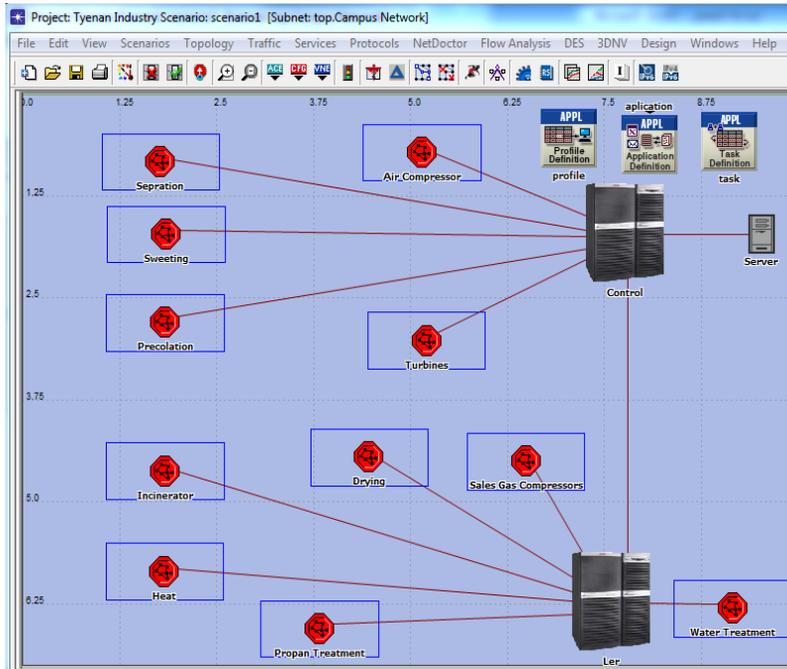
(b) النمذجة الهرمية: إنّ OPNET يوظف بنية هرميّة مكونة من ثلاث مستويات من أجل النمذجة وكل مستوى من الهرميّة يصف مفاهيم مختلفة من النموذج الكامل الذي يتم محاكاته، و هي (مستوى الشبكة و مستوى العقدة و مستوى العمليّة).

(c) تُخصّص لشبكات الاتصال: OPNET يملك مكتبات مُفصّلة تقدم دعم كبير لبروتوكولات الاتصال و يتيح للباحثين تعديل النماذج الموجودة أو تطوير نماذج جديدة خاصة بهم.

(d) توليد المحاكاة بشكل أوتوماتيكي: إنّ نموذج OPNET يترجم إلى شيفرة مصدريّة قابلة للتنفيذ وهذه الشيفرة الخاصة بمحاكاة الأحداث المنقطّعة، يتم تنفيذها ببساطة والحصول على نتائج الخرج.

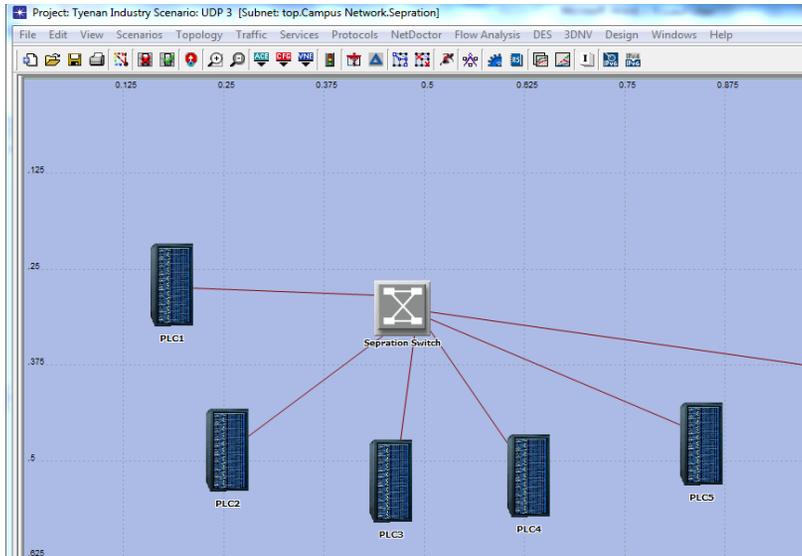
7- نموذج الشبكة الصناعية المدروسة باستخدام OPNET:

تتألف من 11 وحدة متوزعة كما في الشكل (4) تتصل هذه الوحدات مع المخدم الرئيسي "Server" إما مباشرة عن طريق غرفة التحكم "Control" أو بشكل غير مباشر عن طريق غرفة المعدات المحلية "LER" حيث تحتوي كل وحدة عدد معين من العقد "PLCs"، ويدير عملية تبادل البيانات بين عقد الشبكة بروتوكول MODBUS TCP/IP. إنّ هذه الشبكة الصناعية ترجع للشبكة الصناعية المطبقة في معمل غاز شمال المنطقة الوسطى (توبنان)، علماً أنّ الدراسة المقدّمة تصلح لأي نوع من أنواع الشبكات الصناعية.



الشكل (4): نموذج الشبكة الصناعية المدروسة باستخدام المحاكى OPNET.

يُظهر الشكل (5) مكونات إحدى الوحدات الفرعية للشبكة و هي وحدة الفصل "separation" و التي تتألف من 5 عقد (PLCs) حيث يدير كلاً منها العديد من عمليات الانتاج و تمّ تجميعها عن طريق Switch مركزي خاص بالوحدة يمكن من خلاله الوصول لغرفة التحكم و التي بدورها تتصل بالمخدم الرئيسي للشبكة الصناعية المدروسة.

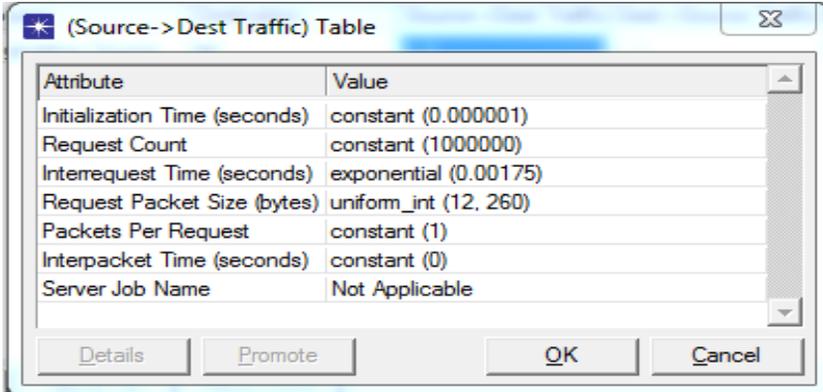


الشكل (5): نموذج وحدة الفصل "Sepration" باستخدام المحاكى OPNET.

8- خصائص مكونات الشبكة الصناعية المدروسة:

- خصائص الأيقونة Task:

يتيح برنامج OPNET بناء التطبيقات الخاصة "Custom" عبر هذه أيقونة و من خلال الولوج إلى خصائصها "Attributes" يمكن وضع توصيف كامل للتطبيق المرغوب و بشكل يدوي من خلال "Manual Configuration"، حيث تم ضبط خصائص الأطر المتبادلة بين العقد بشكل يتوافق مع خصائص بروتوكول MODBUS TCP/IP كما يظهر في الشكل (6) حيث نلاحظ أن حجم الأطر المرسله محصور بين القيمتين (12) و (260) بايت و الزمن الفاصل بين الأطر يُقدر (1.75 ms) ، و غيرها من القيم التي حددتها "The Modbus Organization" [1][13].

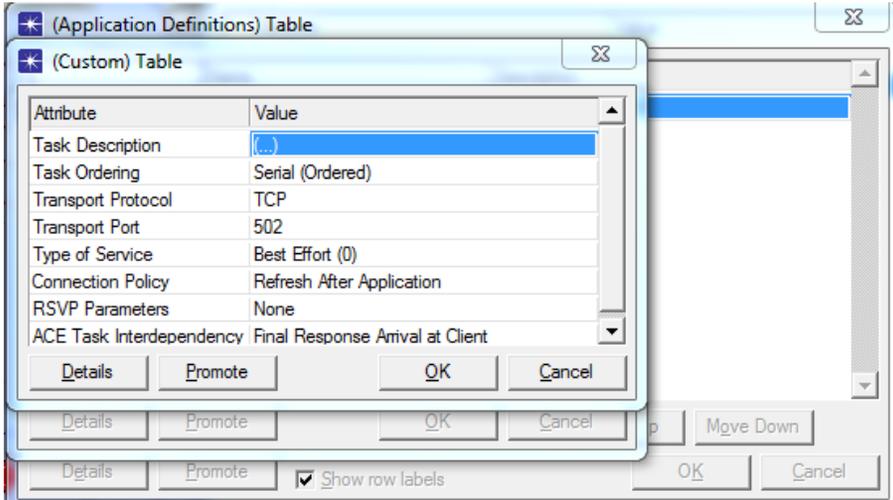


الشكل (6): خصائص الأطر المتبادلة بين العقد.

خصائص الأيقونة Application :

يتم من خلال هذه الأيقونة "Application" ضبط خصائص التطبيق المستخدم في الشبكة الصناعية المدروسة و الذي تم تحديد نوعه "Industrial Ethernet" كما جاء في الأيقونة "Task".

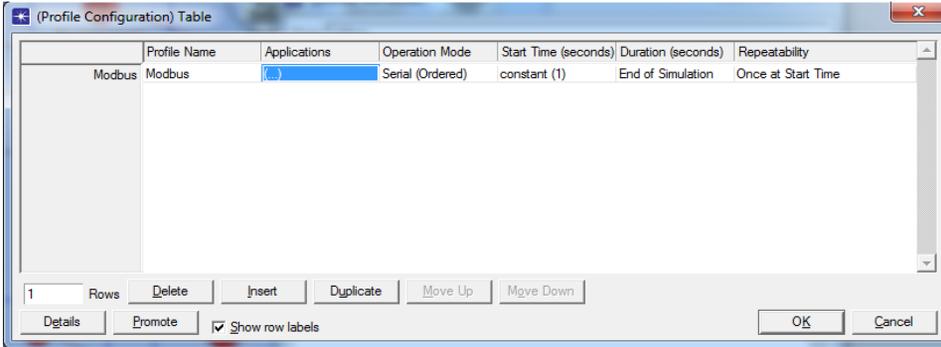
يُظهر الشكل (7) بعض الخصائص المختارة حيث تم تحديد آلية الارسال التسلسلية "Serial" و نوع بروتوكول طبقة النقل "TCP" و كذلك رقم المنفذ "502" و غيرها من الخصائص.



الشكل (7): تحديد خصائص التطبيق Modbus TCP/IP في الشبكة المدروسة.

خصائص الأيقونة Profile :

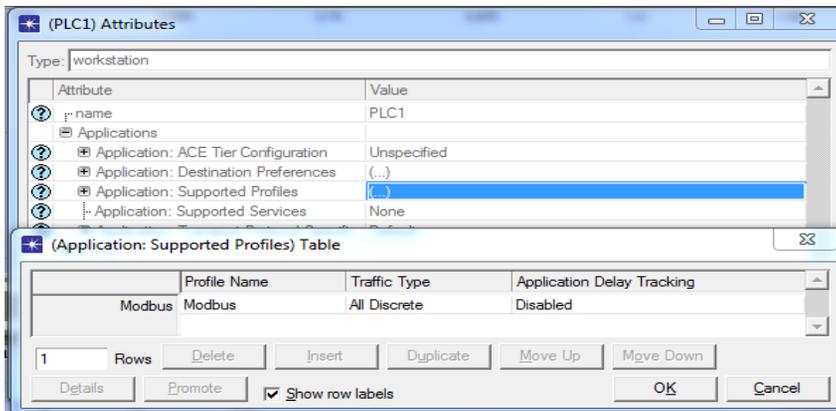
يمكن من خلال هذه الأيقونة ضبط ملف التعريف للتطبيق كما يظهر في الشكل(8) حيث تم تسمية ملف التعريف "Modbus" و اختيار التطبيق الموصوف في الأيقونة "Application" وتحديد زمن لبدأ عمل التطبيق "Start Time (seconds): constant(1)".



الشكل (8): ضبط ملف التعريف للتطبيق المستخدم في الشبكة الصناعية.

خصائص العقد (PLCs) في الوحدات:

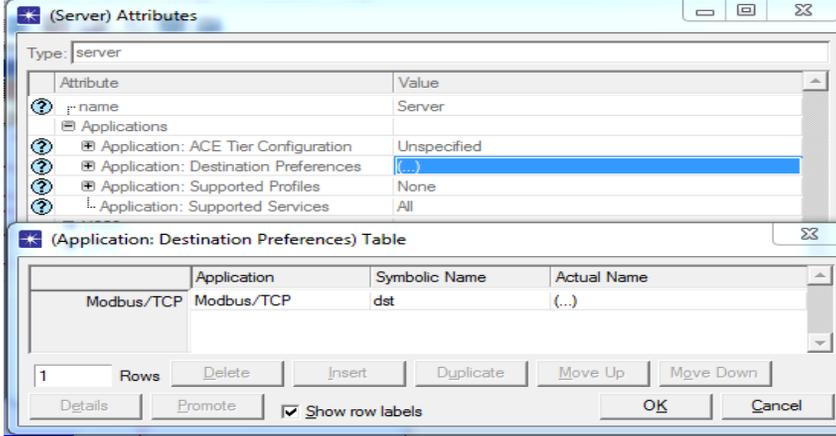
تم اختيار جميع العقد في الشبكة من النوع "workstation" و هذا النوع يتيح للعقدة تحديد ملف التعريف المرغوب و من خلال خصائصها "Attributes" تم تحديد ملف التعريف "Modbus" المحدد في الأيقونة "Profile"، و يُظهر الشكل (9) أحد خصائص العقد المختارة.



الشكل (9): خصائص العقدة PLC في الشبكة المدروسة.

خصائص العقدة Server:

يوفر هذا المخدم خدمة التطبيق MODBUS TCP/IP للشبكة الصناعية المدروسة وتم ضبط خصائصه كما في الشكل (10)، و يعتبر الوجه "dst" الأساسية لكافة عقد الشبكة و يمكن الوصول إليه عن طريق عقدة "Control".



الشكل (10): خصائص العقدة Server في الشبكة الصناعية المدروسة.

- تم اختيار كلاً من العقدتين "Control" و "Ler" من النوع "router switch" و هذا النوع يتيح لها العمل كمبدل و موجه في آن واحد و كذلك يدعم وجود العديد من المنافذ التي تتيح وصل جميع أنواع خطوط النقل سواء المحورية منها أو الضوئية.
- تم اختيار الوصلات التي تربط بين العقد و المبدلة المركزية في الوحدة من النوع "100BaseT" في حين تم اختيار الوصلات التي تربط بين الوحدات من جهة و العقدتين (Ler و Control) من جهة أخرى من النوع "1000Basex" و تم اختيار الوصلة التي تربط بين العقدتين Ler و control من النوع الضوئي "FDDI" بسرعة تصل إلى (1 Gbps).

9- بارامترات أداء شبكة صناعية:

يرتبط مفهوم أداء الشبكات الصناعية بعدد كبير من البارامترات نذكر منها (الاستخدامية للشبكة "Utilization"، و مقدار الخطأ في البت "BER"، و نسبة عدد البتات المرسل

إلى المستلمة، و زمن تأخير الأطر في الشبكة "End To End Delay"، وعدد التصادمات للأطر "Collisions"، و زمن الاستجابة "Time Response"، و الانتاجية "Throughput" و غيرها.

يتيح برنامج OPNET دراسة الكثير من الإحصائيات المرتبطة بالأداء حيث تُقسم إلى ثلاثة أنواع رئيسية:

- (1) (Global Statistics): تتيح دراسة بارامترات تؤثر على كامل الشبكة.
- (2) (Node Statistics): يمكن من خلالها دراسة بارامترات تؤثر في العقدة المرتبطة بالشبكة.
- (3) (Link Statistics): يمكن من خلالها دراسة بارامترات تؤثر في خطوط النقل التي تربط بين عقد الشبكة.

البارامترات المختارة في الشبكة المدروسة:

- i. (Packet Network Delay): و هو من النوع (Global Statistics) و يُمثل زمن التأخير اللازم لإرسال الأطر من المصدر و استلام الاستجابة من الوجهة و يقاس بالثانية و يتناسب عكساً مع الأداء العام للشبكة أي بانخفاضه يزداد أداء الشبكة.
- ii. (Traffic Received): و هو من النوع (Global Statistics) و يُعبر عن عدد الأطر المستقبلية من قبل جميع عقد الشبكة بالزمن و يقاس ب (Packet/Sec)، و بازياده يزداد الأداء.

10- العوامل المؤثرة في بارامترات الأداء للشبكات الصناعية:

يوجد العديد من العوامل المؤثرة في بارامترات أداء الشبكات الصناعية مثل (طوبولوجيا الشبكة، عدد العقد في الشبكة و أنواعها ، طول و نوعية وسائط النقل) و غيرها من العوامل الأخرى، في درستنا اختيار العوامل الآتية:

(a) العامل (MTU): و الذي هو اختصار للعبارة (Maximum Transmission Unit)

(Unit) و يُعرّف بوحدة الارسال العظمى أي حجم أكبر بيانات مرسله في حقل الـ (Data) للإطار MODBUS TCP/IP ، حيث تمّ تغييره بالترتيب (12، 50، 150 ، 200 ، 260) و تم رصد أثره على بارامترات الأداء.

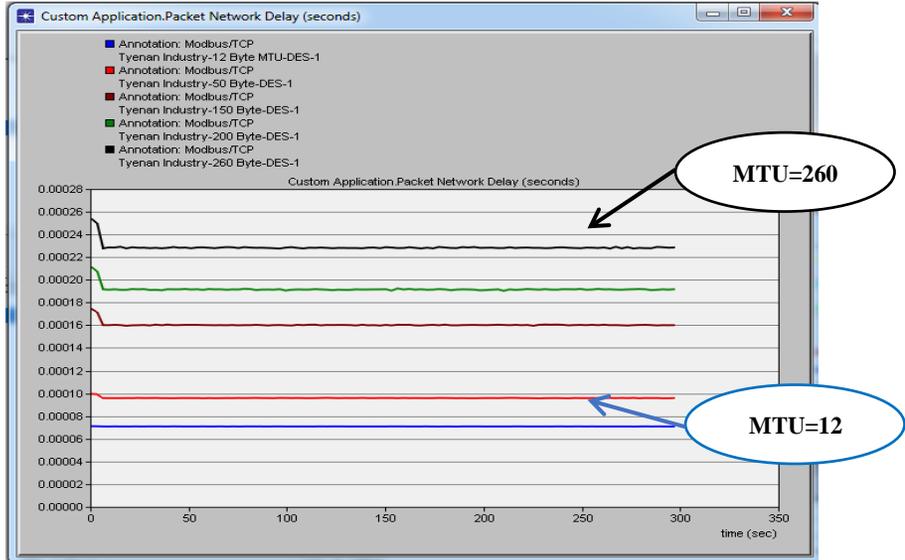
(b) زيادة عدد الوصلات: تم ربط بعض الوحدات القريبة من كلا العقدتين "control" و "Ler" بخطي نقل بحيث تستطيع الوحدة الوصول إلى المخدم إما طريق العقدة "Control" أو عن طريق العقدة "Ler" و درسنا أثر هذه الزيادة على بارامترات الأداء.

(c) تغيير طوبولوجيا الشبكة: حيث تمّ إضافة عقدة "Core" من النوع "router switch" أتاحت لنا هذه الزيادة تطبيق أحد خدمات (QoS) جودة الخدمة للشبكة و هو بروتوكول HSRP و يشير إلى " Hot Standby Router Protocol " و هو أحد أنواع بروتوكولات القفزة الأولى " First Hop Redundancy Protocols " و تم رصد تأثير هذا البروتوكول على أداء الشبكة الصناعية المدروسة.

11- دراسة و تحليل النتائج المرتبطة ببارامترات الأداء:

الحالة الأولى: تم تشغيل المحاكاة على خمسة سيناريوهات و في كل سيناريو تم تغيير حجم البيانات لأطر الشبكة و تمّ تحديد زمن المحاكاة بمقدار (5) دقائق.

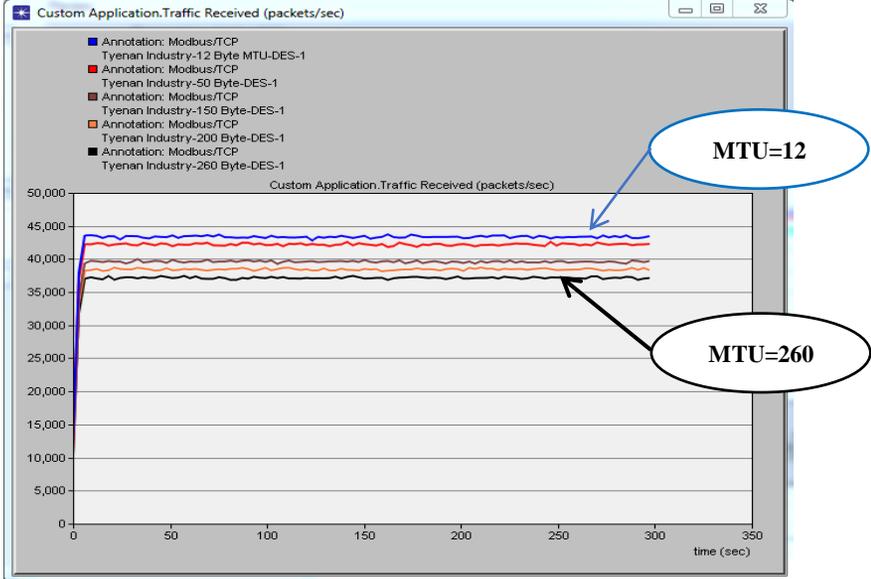
- البارامتر (Packet Network Delay): يُظهر الشكل (11) أنه مع ازدياد حجم الإطار يزداد التأخير حيث أعطى قيمة (0.07 ms) عند (MTU=12 Byte) و قيمة (0.23 ms) عند (MTU=260 Byte).



الشكل (11): تغير البارامتر (Packet Network Delay) مع ازدياد حجم الإطار .

النتائج التي حصلنا عليها مقبولة عند تغيير حجم الإطار من القيمة 12[Byte] إلى القيمة 260[Byte] كونها لا تُسبب تغيير في تأخير الشبكة أكبر من القيمة 0.5ms و التي تحدد متطلبات الزمن الحقيقي للشبكة الصناعية.[14]

- البارامتر (Traffic Received): يُظهر الشكل (12) أنه مع ازدياد حجم الإطار ينقص عدد الأطر المستلمة من قبل عقد الشبكة بوحدة الزمن فسجلت المحاكاة القيمة (43463) عند الحجم (MTU=12 Byte) و القيمة (37129) عند الحجم (MTU=260 Byte).



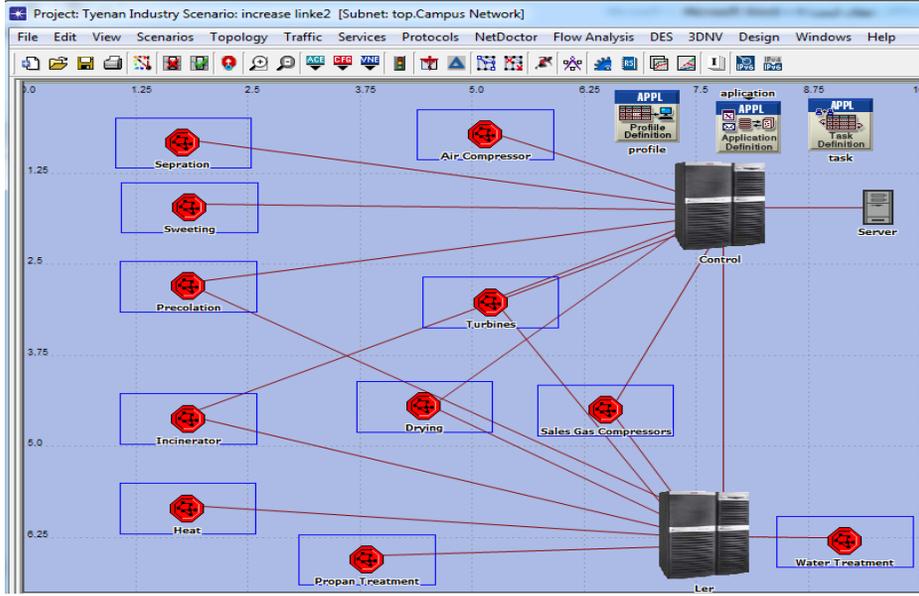
الشكل (12): تغير البازامتر (Traffic Received) مع ازدياد حجم الإطار.

إنّ القيم التي حصلنا عليها تعكس عدد الأطر المتبادلة في الشبكة بتغيير حجم الإطار و تم رصد عدد أقل بازدياد حجم الإطار و هذا مقبول، و الفائدة من رصد هذا البازامتر أخذ مؤشر عن زيادة استخدامية الشبكة حيث نلاحظ ازداد في عدد البتات المستلمة بوحدة الزمن مع زيادة حجم الإطار المرسل مما يُسبب زيادة في الأداء للشبكة.

الحالة الثانية : في هذه الحالة تم تشغيل المحاكاة على سيناريوهين و لمدة خمسة دقائق.

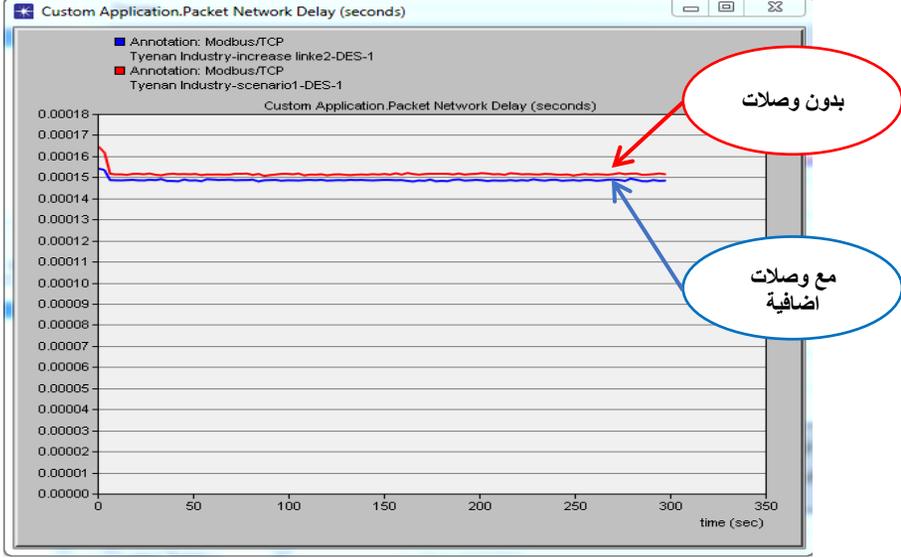
- ❖ السيناريو الأول: بقيت الشبكة الصناعية المدروسة بدون وصلات إضافية حيث ترتبط كل وحدة بخط نقل وحيد إما للعقدة "Control" أو للعقدة "Ler" و تم ضبط الخصائص للتطبيق بحيث يتم اختيار أحجام أطر محصورة بين (12 Byte) و(260 Byte) بشكل عشوائي.
- ❖ السيناريو الثاني: تم إضافة بعض الوصلات الإضافية لبعض الوحدات التي تقع على مسافة جغرافية وسط بين العقدتين (contro و Ler) بحيث تصبح كل

وحدة من تلك الوحدات تتصل مع كلتا العقدتين بخطي نقل كما يظهر في الشكل (13).



الشكل (13): الشبكة المدروسة بعد زيادة عدد الوصلات للوحدات.

- البارامتر (Packet Network Delay): من خلال الشكل (14) نلاحظ انخفاض في زمن التأخير من القيمة (0.152 ms) بدون وصلات اضافية إلى القيمة (0.148 ms) مع وجود وصلات إضافية.

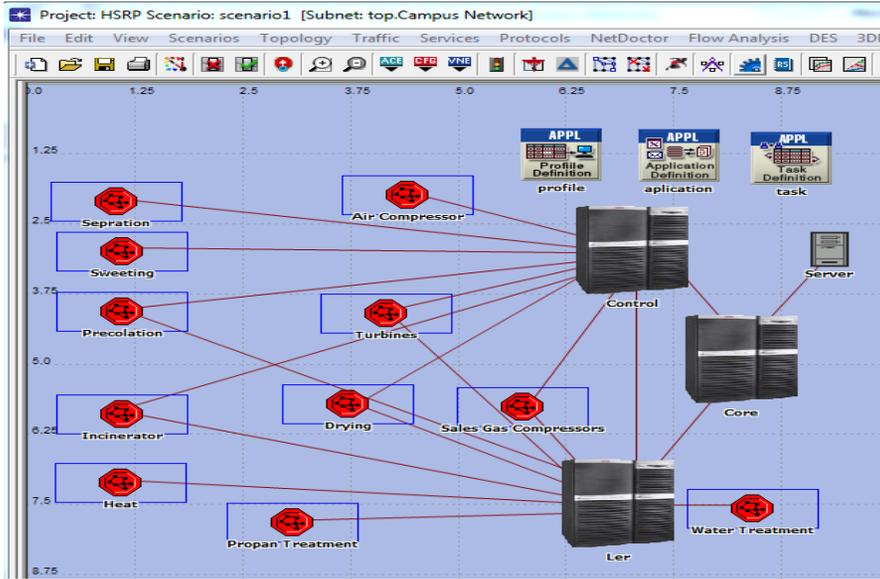


الشكل (14): أثر الوصلات الإضافية على تأخير الشبكة المدروسة.

السبب في انخفاض زمن التأخير بعض إضافة الوصلات هو انخفاض زمن التأخير المرتبط بزمن الانتشار للأطر ففي الحالة الأولى قبل إضافة الوصلات كان على الأطر المرسل من وحدة التجفيف "Drying" على سبيل المثال أن تمر عبر المبدلة (Ler) ثم المبدلة (Control) وصولاً للمخدم (Server) في حين بوجود خط النقل الإضافي يمكن الوصول مباشرة عبر المبدلة (Control) مما يقلل من زمن تأخير الانتشار .

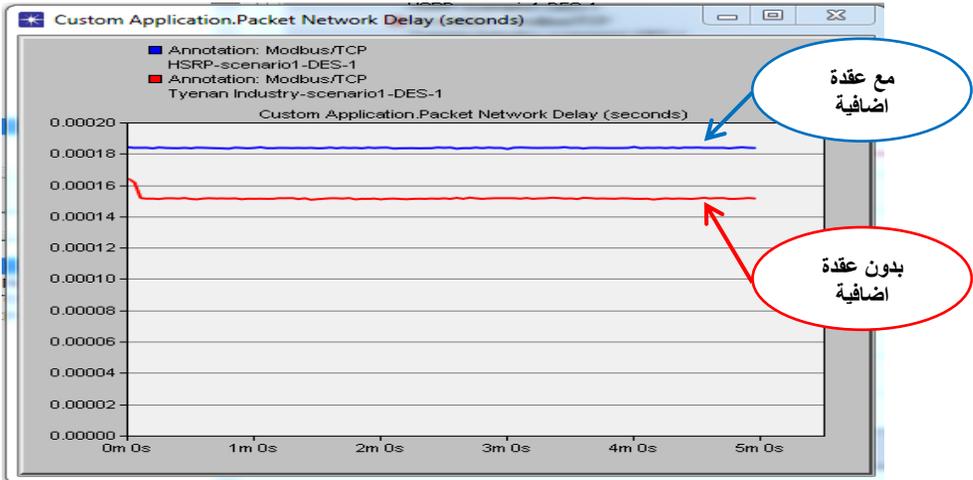
علماً أن التحسين الذي حصلنا عليه قليل لكن يمكن من خلال هذه النتيجة التأكيد على ضرورة أخذ البعد الجغرافي بعين الاعتبار حتى وإن كانت الوصلات ذات سرعات عالية.

الحالة الثالثة: تم تغيير شكل طبولوجيا الشبكة من خلال إضافة عقدة "Core" من النوع "router switch" للشبكة المدروسة ذات الوصلات الإضافية كما يظهر في الشكل (15).



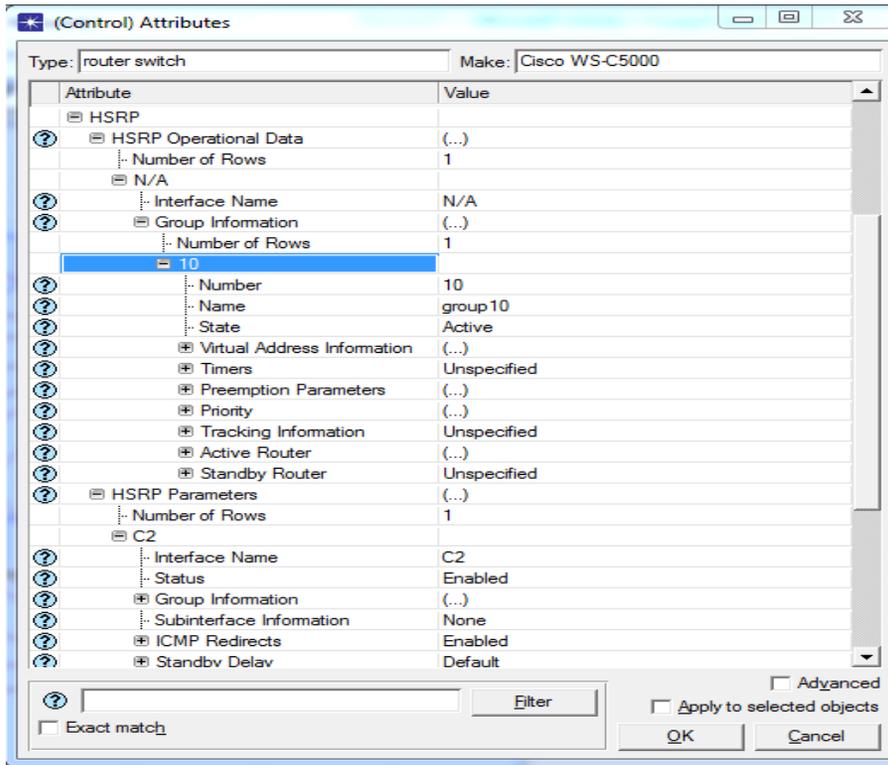
الشكل (15): تغيير طوبولوجيا الشبكة بشكل يتيح تطبيق بارامترات QoS.

- البارامتر (Packet Network Delay): من الشكل (16) نلاحظ ازدياد في زمن التأخير للشبكة من القيمة (0.152 ms) في حالة عدم اضافة عقد جديدة إلى القيمة (0.182 ms) عند إضافة عقد جديدة و تغيير طوبولوجيا الشبكة.



الشكل (16): التأخير الزمني للشبكة مع زيادة عقدة إضافية و تغيير طوبولوجيا الشبكة.

تتيح الطوبولوجيا الجديدة للشبكة و التي تظهر بالشكل (15) تطبيق بروتوكول جودة الخدمة HSRP و الذي يساعد في تحقيق الاتصال بالمخدم الرئيسي "server" عند حدوث انقطاع بأحد الوصلات التي تربط الوحدات بالعقدتين "control" و "Ler" و الذي من شأنه أن يؤدي إلى خروج الوحدة من الخدمة أو عند حدوث توقف في عمل العقدة "control" مما يؤدي إلى توقف الشبكة بشكل كامل و انقطاع الخدمة عن كافة وحدات الشبكة، تم ضبط خصائص بروتوكول HSRP في العقدتين "control" و "Ler" كما يظهر في الشكل(17).



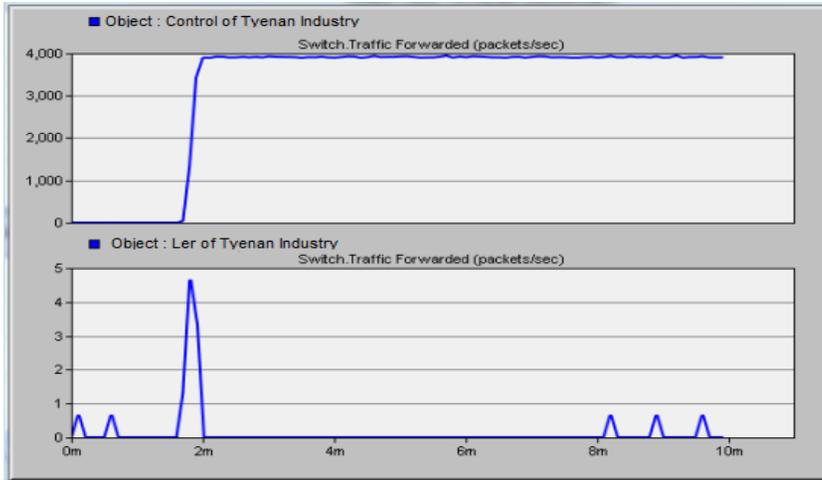
الشكل (17): تفعيل بروتوكول HSRP في الشبكة المدروسة.

الحالة الرابعة: تم فيها دراسة الشبكة ذات العقدة الإضافية و تم تشغيلها على سيناريوهين و لمدة 5 دقائق:

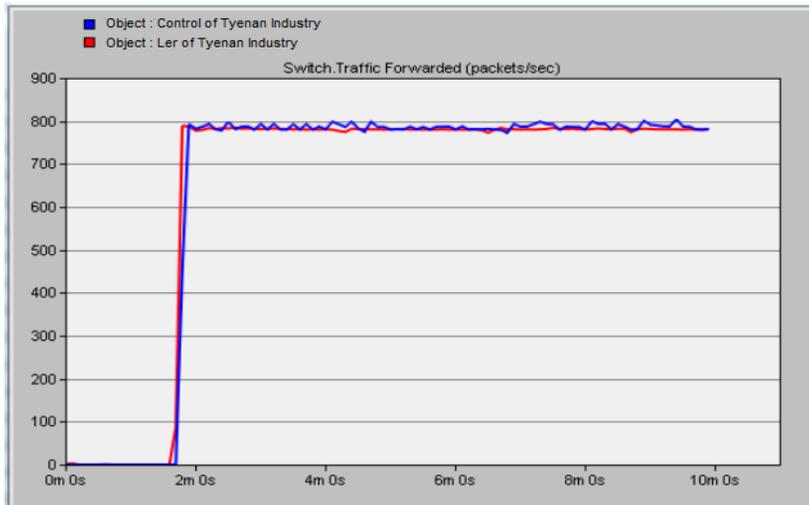
❖ **السيناريو الأول:** بتطبيق بروتوكول HSRP بدون موازنة حمولة حيث تم دراسة البارامتر (Traffic Forwarded) و هو من النوع "Node Statistics"

والذي يعبر عن عدد الرزم المارة في العقدة باتجاه المخدم الرئيسي و يقدر ب (Packet/Sec) كما يظهر في الشكل (18).

❖ السيناريو الثاني : بتطبيق بروتوكول HSRP مع موازنة الحمولة من خلال إنشاء مجموعتين افتراضيتين: في المجموعة الأولى تكون فيها العقدة "control" في حالة "Active" بينما العقدة "Ler" في حالة "Standby" ، و العكس تماما في المجموعة الثانية كما يظهر في الشكل(19).



الشكل (18): عدد الرزم المارة في العقدين control و Ler بدون موازنة حمولة.



الشكل (19): عدد الرزم المارة في العقدين control و Ler مع موازنة الحمولة.

12- النتائج و الاستنتاجات:

استطعنا من خلال برنامج OPNET نمذجة و محاكاة شبكة صناعية تعمل على بروتوكول MODBUS TCP/IP الصناعي و تم تحليل النتائج للشبكة المدروسة على أربع مراحل:

ففي الحالة الأولى: مع زيادة حجم الإطار من قيمة صغيرة (12 Byte) وصولاً للقيمة العظمى (260 Byte) لوحظ ازدياد في أزمدة التأخير بشكل ملحوظ من جهة و ازدادت استخدامية الشبكة من جهة أخرى ، فالبارامتر (Traffic Received) أعطى عدد الأطر المستلمة من قبل عقد الشبكة بمقدار (43463) عند طول إطار (12 Byte) في حين وصل إلى (37129) عند طول إطار (260 Byte)، و بإجراء عملية تحويل بسيطة بضرب عدد الأطر بطول الإطار الواحد نلاحظ أن عدد البتات المستلمة من قبل عقد الشبكة يزداد بشكل كبير عند زيادة حجم الإطار و بتالي زيادة في استخدامية الشبكة و هذا يقود بدوره إلى زيادة الأداء، و على الرغم من الازدياد الكبير في الأداء بزيادة حجم الإطار إلا أنه يُفضل بقاءها ضمن المجال (150 إلى 200) بايت من أجل الحفاظ على متطلبات الزمن الحقيقي لعمل الشبكة الصناعية و المتعلقة بأزمدة التأخير فتبقى نماذج المحاكاة مثالية و لا تظهر فيها عيوب الشبكات الواقعية و التي تسبب تأخيرات زمنية أخرى في الشبكة.

في الحالة الثانية: مع زيادة عدد الوصلات لبعض وحدات الشبكة لوحظ انخفاض في زمن التأخير للشبكة بشكل طفيف و بتالي زيادة بأداء الشبكة بمقدار صغير (4%) تقريباً.

في الحالة الثالثة: فعلى الرغم من ازدياد أزمدة التأخير إلا أنه بتطبيق بروتوكول HSRP زدنا من متانة الشبكة الصناعية المدروسة من خلال الحفاظ على عملية الاتصال بالمخدم عند حدوث انقطاع في أحد الوصلات أو فشل في عمل إحدى العقدتين الرئيسيتين بالشبكة "Control" أو "Ler"، وبتالي حقق هذا التغيير في الطوبولوجيا زيادة في جودة الخدمة للشبكة.

في الحالة الرابعة: لوحظ توزيع غير عادل لحمولة الشبكة إذ أنّ معظم الحمل يمر عبر العقدة "cotrol" و لا يمر سوى حمل صغير عبر العقدة "Ler" و ذلك نتيجة التصميم

للشبكة و الذي يعطي أولوية أكبر للعقدة "Control" ، و مع استخدام خاصية موازنة الحمولة و التي يدعمها بروتوكول HSRP أجرينا توزيع عادل لحمولة الشبكة مما انعكس إيجاباً على جودة الخدمة.

13- التوصيات و الآفاق المستقبلية:

- ✓ يمكن استخدام نموذج الشبكة المصمّم لدراسة عوامل أخرى مؤثرة في بارامترات الأداء.
- ✓ إجراء نماذج لشبكات صناعية أخرى و تحليل أدائها.
- ✓ تصميم دارة عمليّة للمقارنة بين أنماط ارسال MODBUS و اختبار أدائها.

المراجع:

- [1] MODBUS.Org,2012–MODBUS APPLICATION PROTOCOL SPECIFICATION . US,50p.
- [2] <https://userpages.uni-koblenz.de/~ros/Rechnerorganisation/Ethernet.pdf>.14p.
- [3] LU YANG,H2012–Unloking The Power of OPNET Modeler. CAMBRIDGE, UK, 253p.
- [4] Yunyuan.Y, Meng.C,2020–An Improved Algorithm for Adaptive Communication Frame Length Based on Modbus Protocol. IEEE, Shenyang Institute of Technology, China,8p.
- [5] Gamess.E, Smith.B, and Francia.G,2020 – PERFORMANCE EVALUATION OF MODBUS TCP IN NORMAL OPERATION AND UNDER A DISTRIBUTED DENIAL OF SERVICE ATTACK. IJCNC, Florida,US, Vol.12, No.2,21p.
- [6] Mnaouer.A, Fujii.Y, Sekiguch.T,2017– Colored Petri Nets Based Evaluation of Transmission Procedures at a Fieldbus Data Link Layer Protocol.IEEE, Yokohama University,Brazil,12p.
- [7] Krupanek.B , Bogacz.R,2016– OPNET Modeler simulations of performance for multi nodeswireless systems. Silesian University of Technology, Poland,10p.
- [8] Kim.B, Lee.D, Choi.T,2015– Performance Evaluation for Modbus/TCP Using Network Simulator NS3.IEEE, Kyungpook National University, Korea,10p.
- [9] Künzel.G, Ribeiro.C, Pereira.C,2014– A Tool for Response Time and Schedulability Analysis in Modbus Serial Communications. IEEE, Federal Institute of Education, Brazil,12p.

- [10] Hao.J, Wu.J, Guo.C,2011– Modeling and Simulation of CAN Network Based on OPNET. IEEE, Naval University, China,10p.
- [11] Oh.E,2009– Study of Network Design Factors That Influence Industrial Fieldbus Network–Based System Integration . The Ohio State University, Korea,84p.
- [12] Ali.Q,2007– Measurements and Performance Analysis of Industrial Ethernet. IEEE, University of Mosul, Iraq,16p.
- [13]MODBUS.Org,2012– MODBUS MESSAGING ON TCP/IP IMPLEMENTATION GUIDE . US,45p.
- [14] Mahmood,M and Al–Naima,F, OPNET SIMULATION OF DATA TRANSMISSION NETWORK: A CASE STUDY FOR CONTROL SYSTEM IN A PETROLEUM REFINERY COMPLEX IN IRAQ.IEEE. Nahrain University, Baghdad, Iraq. 2015,p12

تصميم مرشح متعدد الحزم في مجال ترددات التيرا هرتز باستخدام التوزيع التجزيئي لشرائح الغرافين ضمن دليل الموجة

م.رنا حسن**

د.تغريد حداد**

د.السموعل صالح*

□ الملخص □

كان مجال ترددات THZ، المحدد عادةً بالمجال [0.1-10] THZ، لعقود من الزمن أحد أقل المناطق استكشافاً في الطيف الكهرومغناطيسي، ويرجع ذلك إلى نقص المواد والأجهزة التي تستجيب لهذه الترددات بطريقة يمكن التحكم بها. في هذا السياق، ظهر مؤخرًا الغرافين كمادة مهمة لأجهزة THZ نظرًا لخصائصها غير العادية، حيث تعد إمكانية ضبط الخصائص الفيزيائية / الكيميائية للغرافين باستخدام المعاملات الخارجية خاصية مميزة لهذه المادة والمسبب الرئيس لاستخدامها في تطوير الأجهزة الإلكترونية العاملة في مجال ترددات التيرا هرتز. تم في هذه البحث بناء نموذج رياضي لبنية تحتوي على طبقات متناوبة من الغرافين وطبقات من مادة عازلة ضمن دليل الموجة والتي تعتبر بمثابة بلورة مثالية ومن ثم نمذجته باستخدام برنامج MATLAB، وتم استكشاف تبعية فجوات النطاق الفوتوني (PBGs) لعدد الطبقات العازلة وسماكتها. ثم تم دراسة بنية مؤلفة من توزيع تجزيئي لطبقات الغرافين /عازل ضمن دليل الموجة وحساب معامل الإرسال والانعكاس ودراسة تأثير معاملات الجسم التجزيئي مثل درجة التجزيء، والبعد التجزيئي ونوع المادة المدروسة على معامل الإرسال والانعكاس، بهدف الحصول على مرشح تمرير حزمة يعمل في مجال ترددات التيرا هرتز.

الكلمات المفتاحية: ترددات التيرا هرتز، التوزيع التجزيئي، معاملات الجسم التجزيئي.

* أستاذ - قسم هندسة الاتصالات والالكترونيات - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية-جامعة تشرين -اللاذقية -سورية..

** أستاذ مساعد - قسم هندسة الاتصالات والالكترونيات - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية-جامعة تشرين -اللاذقية - سورية.

*** طالبة دكتوراه - قسم هندسة الاتصالات والالكترونيات - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية-جامعة تشرين -اللاذقية - سورية

Design Multiband Terahertz Filter Based on fractal distribution of graphene layers in a waveguide

Dr .Alsamowal Saleh* Dr .Taghred Hadad** Eng. Rna Hasan ***

□ ABSTRACT □

The THz frequency band, usually defined in the 0.1–10 THz range, was for decades one of the least explored regions of the electromagnetic spectrum, mainly due to the lack of materials and devices responding to these frequencies in a controllable manner. Even today, there exists a need for devices that can efficiently manipulate THz waves.

Characteristics of two new graphene based photonic crystals are studied in detail. A structure containing alternating layers of graphene and dielectric slabs is considered as the ideal crystal.

* Professor ,Department of Communications Engineering ,Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University ,Lattakia, Syria

**Assistant Professor ,Department of Communications Engineering ,Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University , Syria

*** Postgraduate Student ,Department of Communications Engineering ,Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University ,Lattakia, Syria

The dependency of the photonic band gaps (PBGs) to the dielectric layer thickness and the period number is explored at first step. Then a fractal structure containing Cantor distribution of graphene layers/ dielectric layers are studied and calculated transmission and reflection coefficient, and study of the effect of fractal factors such as stage of growth, fractal dimension and the type of material studied on the transmission and reflection coefficient. In order to obtain a terahertz filter.

Keywords: Graphene , Thz Frequencies, Cantor Distribution, Transmission Coefficient

1- مقدمة

يقدم مجال الـ Terahertz حزمًا¹ ترددية أعلى بكثير من ترددات الموجات المليمترية الحالية (mmWave)، ولكن نظرًا لخصائص هذه الترددات هناك العديد من التحديات فيما يتعلق بتصميم نظام الاتصالات العامل في هذا المجال منها ضياع الامتصاص العالي وضياع الانتشار بالإضافة إلى أنه من الضروري تصميم أجهزة (مثل أجهزة الإرسال والاستقبال، والهوائيات، والمرشحات) من أجل توليد واكتشاف الإشارات عالية التردد [2,1]، حيث تنشأ صعوبة توليد الإشارات عند ترددات THz (أو ما يعرف باسم فجوة THz) من أن المجال الترددي مرتفع جدًا بالنسبة للمذبذبات التقليدية ومنخفض جدًا بالنسبة لبواعث الفوتونات الضوئية). هذه التحديات كان من الصعب للغاية التغلب عليها حتى وقت قريب ، لكن أصبح من الممكن حلها مع التقدم في أبحاث الغرافين، حيث إن قابلية توليف الخصائص الفيزيائية / الكيميائية للغرافين باستخدام بعض المعاملات جعلت منه مادة واعدة للاستخدام في مجال ترددات التيراهرتز [3,4,5]. على سبيل المثال ، من الممكن ضبط الناقلية السطحية للغرافين عن طريق تحيز خارجي ، ومجالات مغناطيسية أو حتى إضافة إشابة مناسبة [6,7,8]. علاوة على ذلك ، فقد ثبت أن الخصائص البصرية لشريحة الغرافين مثل امتصاصها تعتمد بشدة على درجة الحرارة التي تغير بدورها السماحية الكهربائية الفعالة . للاستفادة من هذه المزايا ، تم اقتراح العديد من البنى والأجهزة القائمة على الغرافين مع تطبيقات في الإلكترونيات الضوئية والإلكترونيات النانوية في السنوات الأخيرة [5,9].

2- هدف البحث:

يعتبر الغرافين مادة مهمة في مجال ترددات التيراهرتز بسبب خصائصه المميزة وقد تم استخدامه في تصميم المرشحات والهوائيات والمبدلات والعديد من البنى الأخرى. تستخدم مصفوفة النقل (Transfer matrix method) في دراسة معاملات الإرسال

والانعكاس وتتميز ببساطتها ودقتها وإمكانية استخدامها في البنى المختلفة بما في ذلك البلورات المثالية والتي فيها خلل والبنى غير متماثلة الخواص.

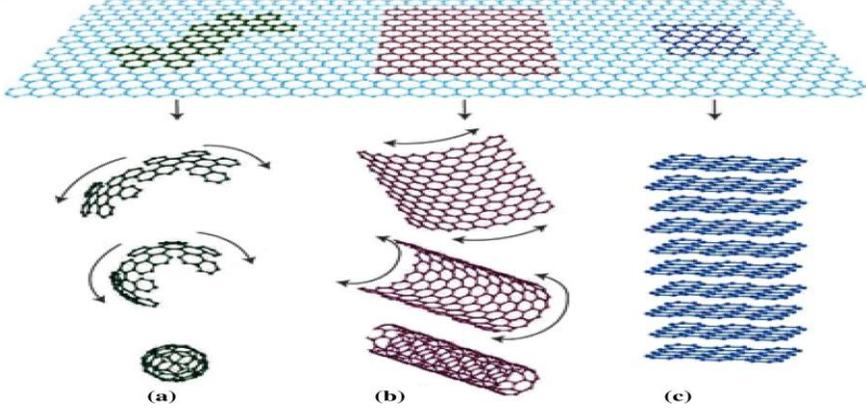
يتناول البحث دراسة خصائص الغرافين في مجال ترددات التيراهرتز ودراسة وتحليل معاملي الانعكاس والارسال للتوزع الدوري لشرائح الغرافين/عازل ضمن دليل الموجة كمرحلة أولى ثم التوزع التجزيئي كمرحلة ثانية ضمن دليل الموجة وذلك من خلال تطوير العلاقات الرياضية الخاصة بالتوزع التجزيئي لشرائح الغرافين /عازل ضمن دليل الموجة وتحليل النتائج للوصول إلى تصميم مرشح بمعاملات وخصائص جديدة والاستفادة منها في تطبيقات مجال ترددات التيراهرتز

3- طرائق البحث وأدواته :

3-1 الغرافين (Graphene):

تم عزل الغرافين لأول مرة عام (2004) على يد الباحثين من جامعة مانشستر اندريه جيم ونوفوسيلوف [10] وقد حصلوا على جائزة نوبل في الفيزياء عن أبحاثهما الرائدة في مادة الغرافين ثنائية البعد. يشكل الغرافين مادة واعدة للبحث والتطوير لما يقدمه من خصائص ومزايا رائعة ويعتبر أحد الأشكال المختلفة لعنصر الكربون (0D,1D,2D,3D) كالفحم والغرافيت والألماس، وهو عبارة عن مادة ثنائية البعد على هيئة طبقة رقيقة جدا" يبلغ سُمكها ذرة كربون واحدة، حيث تتوضع ذرات الكربون في هذه الطبقة بأشكال سداسية مترابطة تشبه قرص العسل. طبيعة الروابط التكافؤية بين ذرات الكربون تمنحه العديد من الخصائص كالقوة والمرونة والشفافية وخفة الوزن والناقلية الكهربائية العالية [11,10] يضاف إلى ذلك أنه يتميز بفجوة طاقة مساوية للصفر مع إمكانية التحكم بهذه الفجوة عن طريق تطبيق جهد خارجي وبالتالي تغيير طاقة فيرمي وهذا ما يعطي إمكانية للتحكم بهذه المادة لتعمل كناقل أو عازل.

تصميم مرشح متعدد الحزم في مجال ترددات التيرا هرتز باستخدام التوزيع التجزيبي لشرايح الغرافين
ضمن دليل الموجة

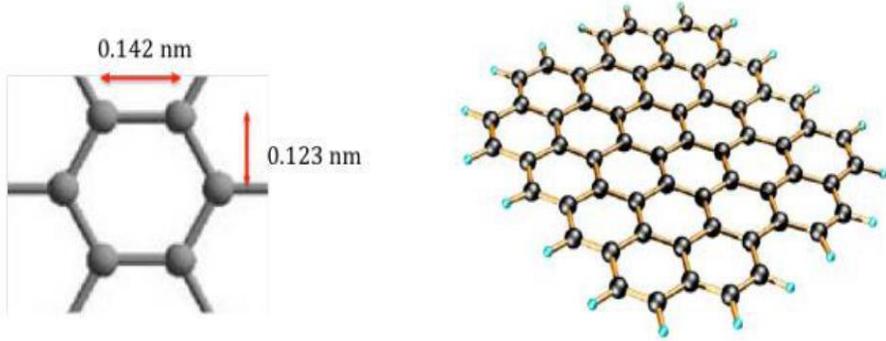


الشكل (1): أشكال الكربون، a: الفلورين (0D)، b: أنابيب الكربون (1D)، c: الغرافيت (3D)

3-1-1 خواص الغرافين:

يقع عنصر الكربون في الجدول الدوري فوق السيلكون فهو يمتلك أربع إلكترونات تكافؤ ويوجد بعدة أشكال صفر البعد (الفلورين) وأحادي البعد (أنابيب الكربون) ثنائي البعد (الغرافين) ثلاثي البعد (الغرافيت والألماس). الغرافيت هو عبارة عن مادة تتكون من عدة طبقات من الغرافين المتباعدة عن بعضها البعض بـ 0.3nm ومرتبطة معا بقوى فان دير والس الضعيفة، هذا الارتباط الضعيف يسمح لهذه الطبقات بالانزلاق عن بعضها البعض بسهولة وهذا ما يعطي أقلام الرصاص قدرتها على الكتابة. أما الغرافين فهو عبارة عن شريحة ثنائية البعد ذات هيكل سداسي من ذرات كربون بمسافة فاصلة 0.142nm وتشبه قرص العسل، كما هو موضح في الشكل (2)، تشكل كل ذرة كربون 3 روابط مع الذرات المجاورة الأقرب إليها تعرف هذه الروابط بـ σ وهي موجهة نحو الذرات المجاورة وتتكون من ثلاث إلكترونات تكافؤ $[11,10]$ ، روابط الكربون-كربون التشاركية تكافئ الروابط التي تجمع الذرات في الألماس، مما يعطي الغرافين خصائص ميكانيكية وحرارية مماثلة للألماس، لا يشارك الإلكترون التكافؤ الرابع بهذه الرابطة التشاركية، فهو في المدار الطاقوي p والمستوي z أي في المدار $2Pz$ المرتبط عمودياً على شريحة الغرافين مشكلة نطاقاً "موصلاً". يتمتع الغرافين بحركية عالية، شفافية ومرونة عالية، قوة ميكانيكية عالية واستقرار بيئي عالٍ مناسب تماماً لاستخدام هذه المادة

لتطبيقات الهوائي. تم الحصول على الغرافين أحادي الطبقة من الجرافيت متعدد الطبقات لأول مرة باستخدام تقنية التقشير الميكانيكي وقد تم البحث و دراسة العديد من التقنيات الأخرى مثل التقشير الكيميائي، والطور السائل والتقشير الحراري، وترسيب البخار الكيميائي، والتوليف على SiC، وغيرها من التقنيات الأخرى للحصول على الغرافين.



الشكل (2): بنية الغرافين

2-3 الناقلية الكهربائية للغرافين:

يتم استخدام معادلة كوبو للتعبير عن ناقلية الغرافين [14,13,12] كتابع للتردد وتتكون ناقلية الغرافين من جزأين

$$\sigma = \sigma_{inter} + \sigma_{intra} \quad (1)$$

intraband : ترتبط بالتشنت الناتج عن الشوائب، العيوب والفرنونات والالكترونات وتعتبر عن الانتقال الداخلي للالكترونات ويمثل الجزء الحقيقي والذي يساهم في امتصاص الطاقة أو تبديدها بسبب الإلكترونات البينية. ويعبر عنه بالمعادلة (2) :

$$\sigma_{intra} = i \frac{e^2 K_B T}{\pi h^2 (\omega + i\tau^{-1})} \left[\frac{\mu_c}{K_B T} + 2 \ln \left(\exp \left(\frac{-\mu_c}{K_B T} \right) + 1 \right) \right] \quad (2)$$

interband: تعبر عن انتقال الالكترون بين السويات الطاقية أو المجالات وقيمتها صغيرة جدا عندما يكون جداء التردد الزاوي بثابت بلانك $\hbar\omega$ أصغر بكثير من الكمون الكيميائي للغرافين ويعبر عنها بالمعادلة (3):

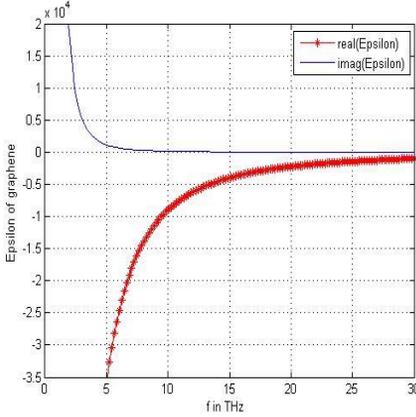
$$\sigma_{inter} = \frac{ie^2}{4\pi h} \ln \left(\frac{2\mu_c - (\omega + i\tau^{-1})}{2\mu_c + (\omega + i\tau^{-1})} \right) \quad (3)$$

T : على درجة الحرارة و μ_c : الكمون الكيميائي و w : تردد الاشعاع و τ زمن الاسترخاء للاكترونات وتختلف قيمته حسب المجال الترددي ويعطى بـ (10^{-12} و 10^{-13} ps) من أجل ترددات [14,13] THz وفي الترددات الميكروية [14] يأخذ قيمة 20 ps، K_B : ثابت بولتزمان ، h : ثابت بلانك ، e : شحنة الالكترون.

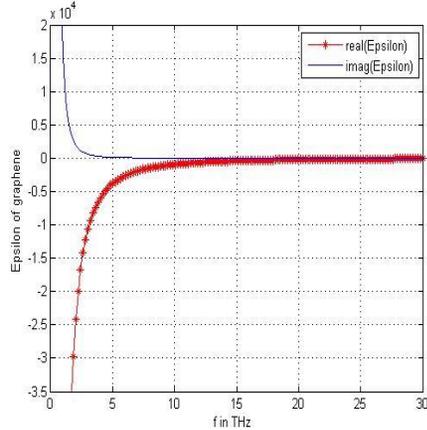
تعطى السماحية الكهربائية لطبقة مفردة من الغرافين [15]

$$\epsilon_g = \epsilon_0 + i \frac{\sigma(\omega)}{\epsilon_0 \omega d_g} \quad (4)$$

وتصبح علاقة السماحية الكهربائية (5) $\epsilon_g = \epsilon_m + i \frac{\sigma(\omega)}{\epsilon_0 \omega d_g}$ [17,16] في حال وجود طبقة الغرافين مرسبة على طبقة مضيئة (SIO₂, CSI, EO). يوضح الشكل (4,3) الجزء الحقيقي والجزء التخيلي للسماحية الكهربائية للغرافين في مجال ترددات التيرا هرتز عند قيم مختلفة للكمون الكيميائي للغرافين.



الشكل (4): الجزء الحقيقي والتخيلي
للسماحية الكهربائية للغرافين عند
 $\mu_c = 0.9 e.v$

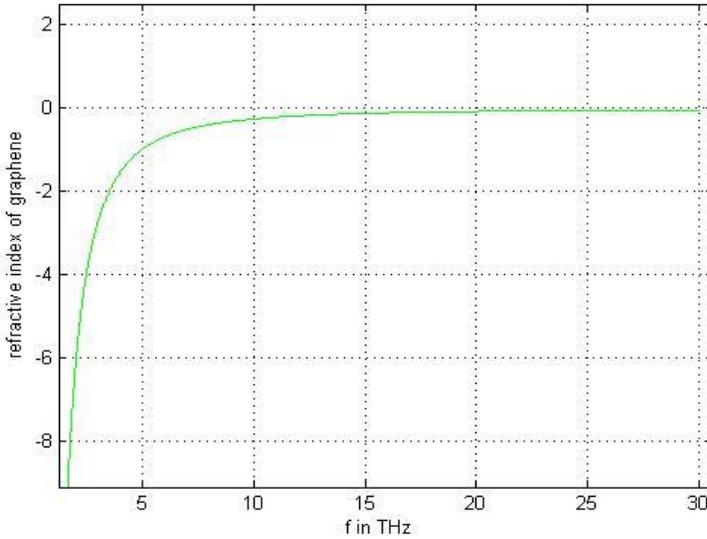


الشكل (3): الجزء الحقيقي والتخيلي
للسماحية الكهربائية للغرافين عند
 $\mu_c = 0.1 e.v$

تعطى قرينة الانكسار لشريحة الغرافين بالعلاقة $n_g = \sqrt{\epsilon_g}$ حسب المراجع [19,18] وتعطى قرينة الانكسار للغرافين حسب المراجع [21,20] بالعلاقة:

$$n_g = \sqrt{\frac{\text{real}(\epsilon_g(\omega)) + \sqrt{[\text{real}(\epsilon_g(\omega))]^2 + [\text{imag}(\epsilon_g(\omega))]^2}}{2}} \quad (6)$$

ويبين الشكل (5) علاقة قرينة الانكسار للغرافين كتابع للتردد ضمن المجال الترددي [0.1,30] THz وهنا يسلك الغرافين سلوك المواد سالبة قرينة الانكسار أو LHM (Left Hand Material).



الشكل (5): قرينة انكسار الغرافين في مجال ترددات [0-30]THz

3-3 الهندسة التجزئية (الفراكتالية):

اقترح ماندلبروت في عام 1975، كلمة فراكتال (fractal) للدلالة على منظومات ذات تشابه ذاتي والتي تمتلك بعداً غير محدد وغير قابلة للقياس، حيث يكون الجسم أو السطح متشابهاً ذاتياً ويمكن تحليله إلى نسخ أصغر من نفسه وتشبه الجسم الاساسي، وقد اشتقت كلمة فراكتال من الكلمة اللاتينية (fractus) والتي تعني كسرة أو جزء وقد استخدمت لتوصيف وشرح العديد من الظواهر الطبيعية فمثلا اعتبر ماندلبروت - Mandelbrot -

أن السحب ليست كرات وأن الجبال ليست مخاريط والسواحل ليست أنصاف دوائر وبالتالي ساهم باكتشاف نوع جديد من التركيب الهندسي أطلق عليه الهندسة التجزيئية أو الفركتال (Geometry Fractal) حيث تعنى بالبحث في المكونات الجزئية للأشكال الرياضية والأشكال الهندسية غير النظامية وغير قابلة للوصف أو القياس باستخدام الهندسة الإقليدية ومن أهم الأمثلة عليها (سبيرينسكي - فان كوخ - شريط كانتور) والتي تتمتع بمجموعة من الخصائص الرياضية [22] وهي :

- خاصية التشابه الذاتي self-similarity
- خاصية البعد التجزيئي أو الفركتالي fractal dimension

3-3-1 الجسم التجزيئي أو التكميري :

هو جسم غير منتظم يمكن أن يكون محدد ولكنه غير منته [23]، يمتلك خاصية التشابه الذاتي الداخلي ويتولد بالتجزئ، أي بتجزئة الشكل الأساسي إلى أصغر فأصغر وبشكل مشابه للجسم الأساسي ويوصف الجسم التجزيئي عن طريق مجموعة من المعاملات:

- البعد التجزيئي (Fractal dimension D): هو معامل أساسي للجسم التجزيئي

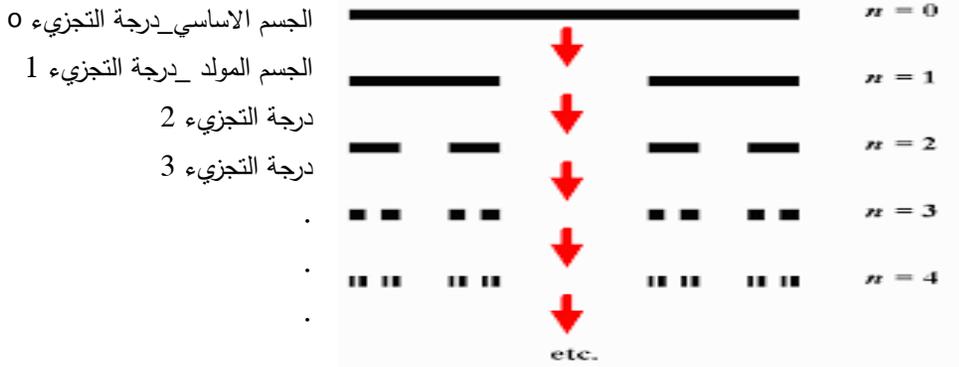
$$D = \ln(N) / \ln\left(1/\rho\right) \quad (7) \quad \text{ونعبر عنه بالقانون:}$$

ρ : تمثل درجة التجزيء و N : عدد القطع الموجودة في الجسم

التجزيئي

- مرحلة التجزيء (Stag of growth S): تتم العملية التكرارية المستخدمة في الحصول على الجسم التجزيئي على عدة مراحل، كل مرحلة تدعى درجة تجزيء تبدأ هذه العملية بالمرحلة $S=0$ والتي تعبر عن الجسم الأساسي ثم $S=1$ التي تعبر عن مولد الجسم التجزيئي، وتستمر العملية إلى اللانهاية حتى تصغر قطع المادة وتتعدم ضمن الجسم .

- معامل تغير أبعاد الفجوات أو الفراغات (Lacunarity a): يعبر عن توزع الفراغات أو الفجوات في الجسم التجزيئي، وهذا المعامل يعبر عن كثافة توزع المادة في الجسم التجزيئي الذي يكون بأشكال مختلفة ولها نفس البعد التجزيئي D ونفس درجة التجزيء ولكنها تختلف عن بعضها البعض بتوزع المادة ضمن الشكل التجزيئي للجسم.



الشكل (6): شريط كانتور

4-النتائج و المناقشة :

يوجد عدة طرائق لدراسة ومحاكاة المسائل الهندسية الكهرومغناطيسية منها طريقة الفروق المحدودة في المجال الزمني (FDTD/FDFD) [24] ، مصفوفة النقل (Transfer matrix method/TMM) [25] وطريقة Green Function Method GFM) لقد جذبت طريقة مصفوفة النقل مزيداً من الاهتمام وتم تطبيقها على نطاق واسع لدراسة البنى المختلفة بسبب بساطتها ودقتها وإمكانية استخدامها في البنى المختلفة بما في ذلك البلورات المثالية والتي فيها خلل والبنى غير متماثلة الخواص، حيث تأخذ في الاعتبار العديد من الظواهر الفيزيائية الهامة مثل الانعكاسات من الواجهات وحالة الاستقطاب للموجة المنتشرة. يمكن توسيع TMM بسهولة إلى أي بنية معقدة متعددة الطبقات مع تعقيد حسابي أقل بكثير مقارنة بالطرق الأخرى مثل طرق العناصر المحدودة أو طريقة الفروق المحدودة في المجال الزمني (FDFD) [27]. في هذا البحث تم اقتراح هياكل جديدة ذات استجابة في

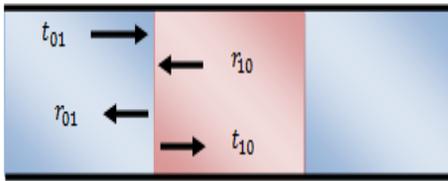
مجال ترددات THZ. تم اختيار طبقة من الغرافين المرسبة على ثاني أكسيد السيلكون كأحد المكونات الأساسية للبلورة وثاني أكسيد السيلكون (SiO_2) هو الطبقة الرئيسية الأخرى ويمكن اختيار البوليمر (بدلاً من ثاني أكسيد السيلكون). استخدمنا الطريقة التكرارية لدراسة وتحليل كل من معامل الإرسال والانعكاس الناتجين عن البنية الدورية والبنية التجزيئية المقترحة وذلك بالاعتماد على العلاقات الرياضية الخاصة بتوزيع شرائح (الغرافين / عازل) ضمن دليل الموجة والتي تعتمد آلية التشابه الداخلي في حساب كل من علاقة الانعكاس R والارسال (النقل) T حيث يتم حساب معاملي الإرسال (النقل) والانعكاس لكل نمط من أنماط الأمواج المنتشرة ضمن دليل الموجة بتكرار الحل الرياضي بناءً على التكرار في الجسم التجزيئي ويتم ذلك على خطوتين :

1. يتم الحساب بالإعتماد على مرحلة التجزيء S :حيث تعتبر البداية عند

$$S=0$$

2. يتم الحساب بالإعتماد على عدد المقاطع المتكررة N في المرحلة S

قمنا بالبداية بتطوير علاقات معاملي الارسال (النقل) والانعكاس عند الحدود الفاصلة بين الطبقات :



$$t_{01} = \frac{2n_d}{n_d - n_g} = t \quad (8)$$

$$t_{10} = \frac{-2n_g}{n_d - n_g} = t' \quad (9)$$

$$r_{01} = \frac{n_g + n_d}{n_d - n_g} = r \quad (10)$$

$$r_{10} = \frac{-n_g - n_d}{n_d - n_g} = -r \quad (11)$$

ثم نقوم بإيجاد المعادلات الخاصة بحساب معاملي الإرسال والانعكاس للشريط الكانتوري وبالاعتماد على مرحلة التجزيء S:

$$R_{(0,\rho^S L)} = \frac{r_{01} + (t_{10}t_{01} - r_{01}r_{10})r_{10}e^{j\gamma_{1M}\rho^S L}}{1 - r_{10}r_{01}e^{j2\gamma_{1M}\rho^S L}} \quad (12) \quad \text{معامل الانعكاس:}$$

$$T_{(0,\rho^S L)} = \frac{t_{10}t_{01}e^{j\gamma_{1M}\rho^S L}}{1 - r_{10}r_{01}e^{j2\gamma_{1M}\rho^S L}} \quad (13) \quad \text{معامل الارسال:}$$

a : معامل تغير أبعاد الفجوات أو الفراغات (lacunarity) ، γ : معامل الانتشار

وتصبح المعادلات الخاصة بحساب معاملات الإرسال والانعكاس للشريط الكانتوري والمعتمدة على عدد المقاطع المكررة N ضمن المرحلة S:

معامل الانعكاس :

$$R_N[x, y, \alpha_N] = x + \frac{y^2 R_{N-1}[x, y, \alpha_{N-1}]e^{j2\gamma_{0M}\alpha_N L}}{1 - x R_{N-1}[x, y, \alpha_{N-1}]e^{j2\gamma_{0M}\alpha_N L}} \quad (14)$$

معامل الارسال (النقل):

$$T_N[x, y, \alpha_N] = \frac{y T_{N-1}[x, y, \alpha_{N-1}]e^{j2\gamma_{0M}\alpha_N L}}{1 - x R_{N-1}[x, y, \alpha_{N-1}]e^{j2\gamma_{0M}\alpha_N L}} \quad (15)$$

وتعطى الشروط الابتدائية عندما N=0 :

$$T_0[x, y, 0] = y$$

$$R_0[x, y, 0] = x$$

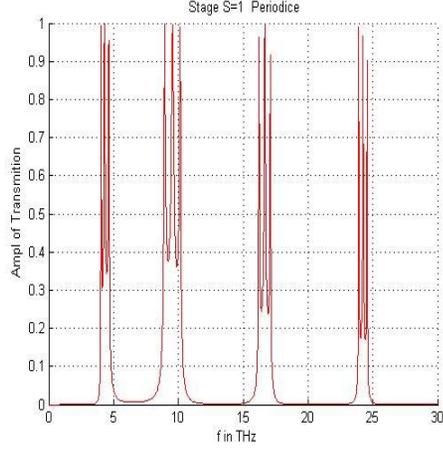
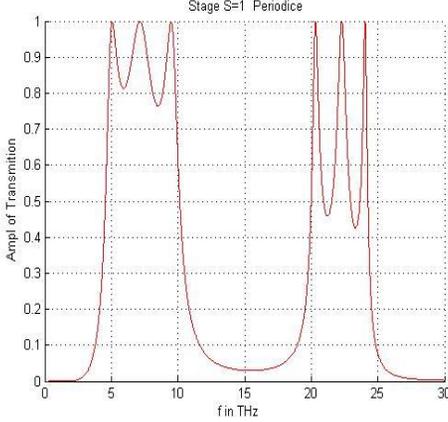
- المرحلة الأولى (البنية الدورية) : قمنا بدراسة معامل الارسال للبنية الدورية المؤلف من شرائح من الغرافين واوكسيد السيلكون الموزعة بشكل دوري ضمن دليل الموجة في المجال الترددي [0-30]THz.



الشكل (8): البنية الدورية من شرائح الغرافين /عازل (أوكسيد السيلكون)

تصميم مرشح متعدد الحزم في مجال ترددات التيرا هرتز باستخدام التوزيع التجزيبي لشرائح الغرافين
ضمن دليل الموجة

أولاً: قمنا بدراسة تأثير عدد الشرائح المتوضعة ضمن دليل الموجة على معامل الإرسال فكانت النتائج كالآتي:

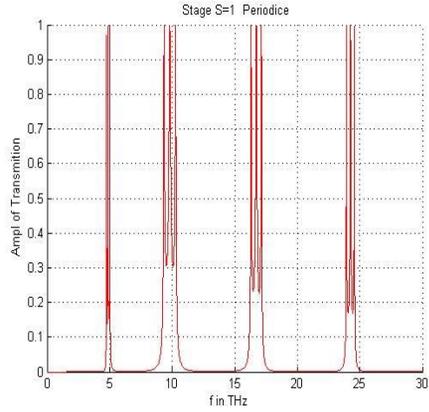
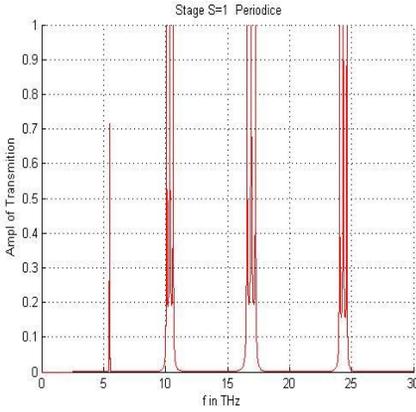


الشكل (10): معامل الإرسال لبنية مؤلفة من (17) طبقات من الغرافين /أكسيد السيلكون وعند $\mu_c = 0.1 e.v$

الشكل (9): معامل الإرسال لبنية مؤلفة من (7) طبقات من الغرافين /أكسيد السيلكون وعند $\mu_c = 0.1 e.v$

نلاحظ انه بزيادة عدد الشرائح يزداد عرض حزم الإرسال وتنتزح نحو الترددات الأعلى وذلك عند أخذ نفس البارامترات .

ثانياً: قمنا بدراسة تأثير الكمون الكيميائي μ_c على معامل الإرسال للبنية الدورية السابقة المؤلفة من 7 شرائح من الغرافين /أكسيد السيلكون فكانت النتائج على الشكل التالي:

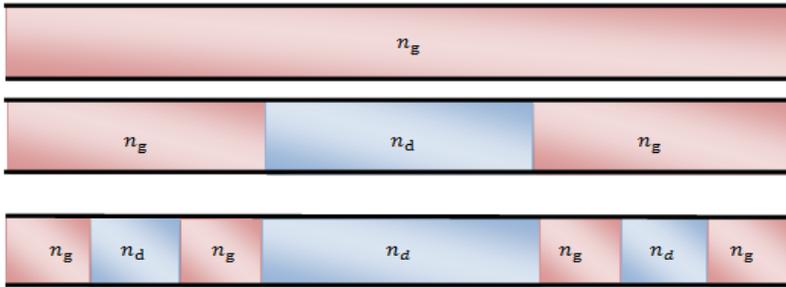


الشكل (11) معامل الارسال لبنية مؤلفة من 7 طبقات من الغرافين /أوكسيد السيلكون وعند $\mu_c = 0.3e.v$

الشكل (12)معامل الارسال لبنية مؤلفة من 7 طبقات من الغرافين /أوكسيد السيلكون وعند $\mu_c = 0.9e.v$

من خلال ماسبق نلاحظ أنه بزيادة الكمون الكيميائي للغرافين ينقص معامل الارسال وتضيق حزم التمرير ويظهر هذا الاثر بشكل أوضح في الترددات الدنيا من المجال الترددي المدروس.

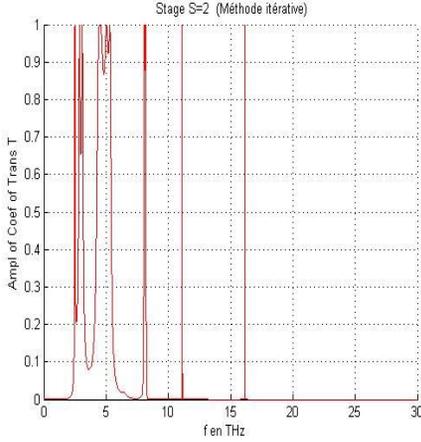
- المرحلة الثانية (البنية التجزئية): قمنا بدراسة معامل الارسال لشريط كانتور $D = \frac{\ln 2}{\ln 3}$ المؤلف من شرائح من الغرافين ذات قرينة الانكسار ng /أوكسيد السيلكون قرينة انكساره nd.



الشكل(13):توزيع شريط كانتور ذوالبعد $D = \ln(2)/\ln(3)$ ضمن دليل الموجة من اجل المراحل التجزئية الثلاث الأولى

تصميم مرشح متعدد الحزم في مجال ترددات التيرا هرتز باستخدام التوزيع التجزيئي لشرائح الغرافين ضمن دليل الموجة

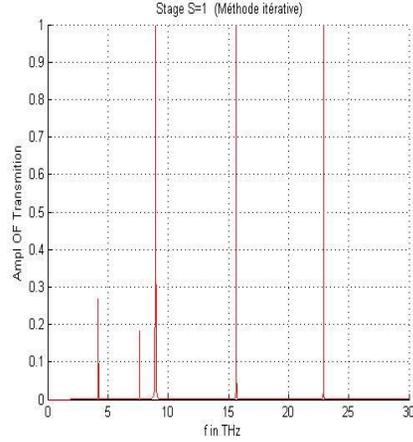
أولاً: قمنا بدراسة تأثير مراحل التجزيء على معامل الإرسال عند نفس البارامترات التصميمية والتجزئية وكانت النتائج بالشكل الآتي:



الشكل (15): معامل الإرسال لشريط

كانتور $D = \frac{\ln 2}{\ln 3}$ عند مرحلة $S=2$ وعند

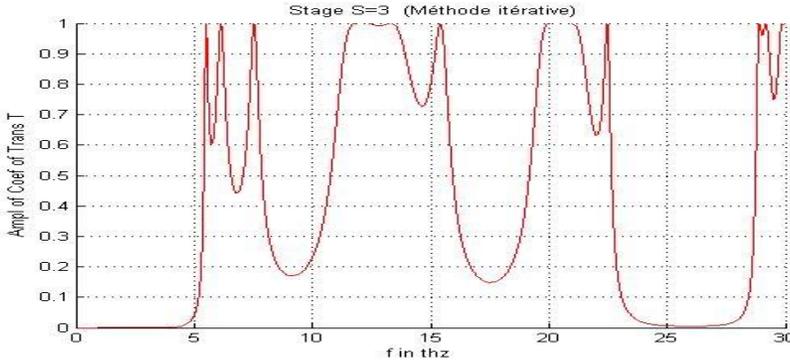
$$\mu_c = 0.1 e.v$$



الشكل (14): معامل الإرسال لشريط

كانتور $D = \frac{\ln 2}{\ln 3}$ عند مرحلة $S=1$ وعند

$$\mu_c = 0.1 e.v$$



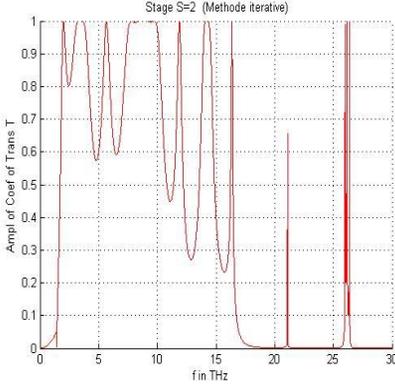
الشكل (16): معامل الإرسال لشريط كانتور $D = \frac{\ln 2}{\ln 3}$ عند مرحلة $S=3$ وعند كمون كيميائي

$$\mu_c = 0.1 e.v \text{ للغرافين}$$

من خلال ما سبق نلاحظ أنه بزيادة عدد مراحل التجزيء يزداد عرض حزم الإرسال وتتزاح نحو الترددات الأعلى في المجال الترددي المدروس وهذا يتوافق مع انه بزيادة عدد المراحل يزداد عدد الشرائح الموزعة ضمن نفس البنية ويزداد عرض حزم الإرسال وهذا يوافق النتيجة التي توصلنا إليها بالبنية الدورية.

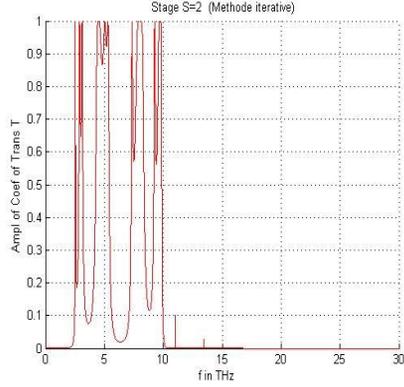
ثانياً: سنقوم بدراسة تأثير البعد التجزيئي على معامل الارسال لذلك لنموذجين من شريط كانتور

$$D = \frac{\ln 2}{\ln 3} \text{ وشريط كانتور ذو البعد التجزيئي } D = \frac{\ln 4}{\ln 7}$$



الشكل (18):معامل الارسال لشريط

كانتور $D = \frac{\ln 4}{\ln 7}$ عند مرحلة $S=2$ وعند $\mu_c = 0.5e.v$



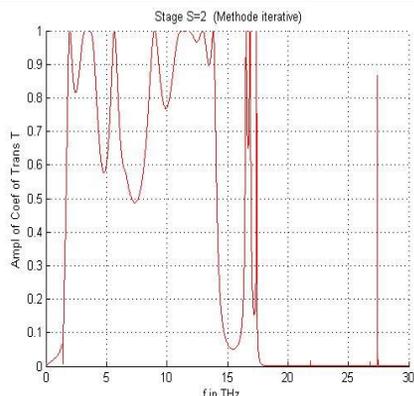
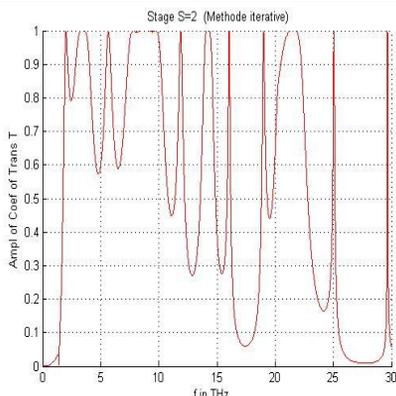
الشكل (17):معامل الارسال لشريط

كانتور $D = \frac{\ln 2}{\ln 3}$ عند مرحلة $S=2$ وعند $\mu_c = 0.5e.v$

نلاحظ انه بزيادة البعد التجزيئي يزداد عرض حزم الارسال وتنتزح نحو الترددات الاعلى ويقفل عمق حزم المنع وتظهر لدينا حزمة تمرير ضيقة جدا" ضمن حزمة المنع الواسعة.

ثالثاً: قمنا بدراسة تأثير طاقة فيرمي على نموذج شريط كانتور $D = \frac{\ln 4}{\ln 7}$ عند مرحلة من مراحل التجزيء وهنا أخذنا عند المرحلة $S=2$ من أجل قيمتين مختلفتين للكمون الكيميائي للجرافين:

تصميم مرشح متعدد الحزم في مجال ترددات التيرا هرتز باستخدام التوزيع التجزيئي لشرائح الغرافين ضمن دليل الموجة



الشكل (20): معامل الارسال لشريط

الشكل (19): معامل الارسال لشريط

كانتور $D = \frac{\ln 4}{\ln 7}$ عند مرحلة $S=2$ وعند

كانتور $D = \frac{\ln 4}{\ln 7}$ عند مرحلة $S=2$ وعند

$$\mu_c = 0.9e.v$$

$$\mu_c = 0.1e.v$$

نلاحظ أنه بزيادة الكمون الكيميائي للغرافين وعند نفس مرحلة التجزيء $S=2$ يزداد عدد حزم التمرير (الارسال) ويزداد عرضها وتتراوح نحو الترددات الاعلى.

5- الاستنتاجات والتوصيات:

بينت هذه الدراسة إمكانية تصميم مرشح تمرير يعمل في مجال ترددات التيرا هرتز وأنه يمكن التحكم بعدد حزم التمرير ومواقعها وازاحتها ضمن المجال الترددي وذلك من خلال التحكم بعدد الشرائح المتوضعة ضمن دليل الموجة، والتي يمكن التحكم بها من خلال عدة بارامترات مثل البعد التجزيئي، وعدد المراحل التجزيئية، وذلك ضمن شريط كانتور مما يعطي درجة أكبر من الحرية في تصميم المرشح المطلوب، أما بالنسبة للبنية الدورية فيتم اختيار عدد الطبقات بشكل مباشر عند التصميم. قدم استخدام الغرافين بارامتر تصميمي جديد في تصميم المرشح المطلوب وهو الكمون الكيميائي للغرافين والذي يمكن من خلاله التحكم بقيمة معامل الارسال (النقل) وعدد حزم التمرير ضمن المجال الترددي المطلوب. تمكنا من الوصول إلى تصميم مرشح تمرير متعدد الحزم يعمل في مجال ترددات التيرا هرتز باختيار التوزيع التجزيئي المناسب لشرائح الغرافين/ أكسيد السيلكون ضمن دليل الموجة واختيار مرحلة التجزيء المناسبة والذي يمكن استخدامه في العديد

من التطبيقات مثل الحساسات الطبية والكيميائية ومعالجة إشارات THz وفي مجال الاتصالات ويمكننا تطوير العمل السابق من خلال تغيير نوع العازل المستخدم أو باختيار بنية تجزئية مختلفة متوضعة على طبقة أساس من الغرافين .

6- المراجع

- [1] AKYILDIZ, I. F; JORNET, J. M; HAN, C. 2014, TeraNets: Ultra-broadband communication networks in the terahertz band, IEEE Wireless Communications, Vol. 21, No. 4, 130-135.
- [2] SIEGEL, P. H. 2002, Terahertz technology. IEEE Transactions on microwave theory and techniques, Vol. 50, No. 3, 910-928.
- [3] JAMSHIDNEJAD, M; VAEZZADEH, M; SOLEIMANI, H. R; ASADPOUR, S. H. 2016, Polarized control of probe absorption in a single-layer graphene nanostructure system. Laser Physics, Vol. 26, No. 2, 025205.
- [4] LEE, C. C; SUZUKI, S; XIE, W; SCHIBLI, T. R. 2012, Broadband graphene electro-optic modulators with sub-wavelength thickness. Optics express, Vol. 20, No. 5, 5264-5269.
- [5] GHASEMI, F; RAZI, S; MADANIPOUR, K. 2018, Single-Step Laser-Assisted Graphene Oxide Reduction and Nonlinear Optical Properties Exploration via CW Laser Excitation. Journal of Electronic Materials, Vol. 47, No. 5, 2871-2879.
- [6] COSTA, C. H; PEREIRA, L. F; BEZERRA, C. G. 2017, Light propagation in quasiperiodic dielectric multilayers separated by graphene, Physical Review B, Vol. 96, No. 12, 125412.
- [7] ANDRYIEUSKI, A; LAVRINENKO, A. V. 2013, Graphene metamaterials based tunable terahertz absorber: effective surface conductivity approach. Optics express, Vol. 21, No. 7, 9144-9155.
- [8] NING, R; LIU, S; ZHANG, H.; KONG, X; BIAN, B; BAO, J. 2014, Wideband absorption in fibonacci quasi-periodic

graphene-based hyperbolic metamaterials, Journal of Optics, Vol. 16, No. 12, 125108.

[9] LEE, C; WEI, X; KYSAR, J. W; HONE, J. 2008, Measurement of the elastic properties and intrinsic strength of monolayer graphene. science, Vol. 321, No. 5887, 385–388.

[10] WANG, J; MA, F; SUN, M. 2017, Graphene, hexagonal boron nitride, and their heterostructures: properties and application, RSC advances, Vol. 7, No. 27, 16801–16822.

[11] WUNSCH, B; STAUBER, T; SOLS, F; GUINEA, F. 2006, Dynamical polarization of graphene at finite doping. New Journal of Physics, Vol. 8, No. 12, 318.

[12] JABLAN, M; BULJAN, H; SOLJAČIĆ, M. 2009, Plasmonics in graphene at infrared frequencies, Physical review B, Vol. 80, No. 24, 245435.

[13] TAN, Y. W; ZHANG, Y; BOLOTIN, K; ZHAO, Y; ADAM, S; HWANG, E. H; KIM, p. 2007, Measurement of scattering rate and minimum conductivity in graphene. Physical review letters, Vol. 99, No. 24, 246803.

[14] FALKOVSKY, L. A; PERSHOGUBA, S. S. 2007, Optical far-infrared properties of a graphene monolayer and multilayer. Physical Review B, Vol. 76, No. 15, 153410.

[15] ZHANG, R. Z; ZHANG, Z. M. 2015, Tunable positive and negative refraction of infrared radiation in graphene-dielectric multilayers. Applied Physics Letters, Vol. 107, No. 19, 191112.

- [16] OTHMAN, M. A; GUCLU, C; CAPOLINO, F. 2013, Graphene-based tunable hyperbolic metamaterials and enhanced near-field absorption. Optics express, Vol. 21, No. 6, 7614–7632.
- [17] GOSCINIAK, J; TAN, D. T. 2013, Theoretical investigation of graphene-based photonic modulators. Scientific reports, Vol. 3, No. 1, 1–6.
- [18] JABBARZADEH, F; HEYDARI, M; HABIBZADEH-SHARIF, A. 2019, A comparative analysis of the accuracy of Kubo formulations for graphene plasmonics. Materials Research Express, Vol. 6, No. 8, 086209.
- [19] AREFINIA, Z; ASGARI, A. 2013, Performance considerations of a photonic crystal based on graphene multilayer system. In: 2013 21st Iranian Conference on Electrical Engineering (ICEE). IEEE, 1–4.
- [20] CHUANG, S. L. 2012– **Physics of photonic devices**, John Wiley & Sons, Vol. 80.
- [21] TIWARI, A. 2012, Fractal applications in electrical and electronics engineering. International Journal of Engineering Science & Advanced Technology, Vol. 2, No. 3, 406–411.
- [22] GAO, Y. J; YANG, H. W; WANG, G. B. 2016, A research on the electromagnetic properties of plasma photonic crystal based on the symplectic finite-difference time-domain method. Optik, Vol. 127, No. 4, 1838–1841.

[23] LI, Y; QI, L., YU, J; CHEN, Z; YAO, Y; LIU, X. 2017, One-dimensional multiband terahertz graphene photonic crystal filters. Optical Materials Express, Vol. 7, No. 4, 1228–1239.

[24] CHANG, Y. H; LIU, C. C; YANG, T. J; WU, C. J. 2009, Angular dependence of a narrowband reflection–and–transmission filter containing an ultrathin metallic film. JOSA B, Vol. 26, No. 5, 1141–1145.

[25] OUCHANI, N; EL MOUSSAOUY, A; AYNAOU, H., EL HASSOUANI, Y; DJAFARI–ROUHANI, B. 2018, Optical transmission properties of an anisotropic defect cavity in one-dimensional photonic crystal. Physics Letters A, Vol. 382, No. 4, 231–240.

دراسة تأثير استخدام الخوارزميات التطورية في تخفيض استهلاك الطاقة في أنظمة الزمن الحقيقي

* أ.د. محمد حجازية

** م. يوسف نتيفة

الملخص

تم في هذا البحث استخدام الخوارزميات التطورية للبحث عن أقل قيمة تردد عمل لمعالج في نظام زمن حقيقي لتخفيض استهلاك الطاقة مع الحفاظ على أداء النظام، وتم التركيز على ثلاث خوارزميات تطورية متشابهة، الخوارزمية الجينية GA وخوارزمية تحسين سرب الجسيمات PSO وخوارزمية التطور التفاضلي DE. ثم تم تقديم لمحة موجزة عن كل من الخوارزميات التطورية الثلاث وتم التركيز على الإجراءات الحسابية المتعلقة بالأداء كما تمت مناقشة أوجه الاختلاف والتباين بين الخوارزميات وفقاً لبساطة خطوات العمل وسرعة الوصول للنتائج، ثم تم اختبار الخوارزميات الثلاث في البحث عن أقل قيمة تردد عمل للمعالج وتبين أن خوارزمية PSO هي الأبسط والأسرع بالوصول لنتائج جيدة بما يساعد في تخفيض استهلاك النظام للطاقة.

الكلمات المفتاحية

الخوارزمية التطورية، الخوارزمية الجينية، خوارزمية تحسين سرب الجسيمات، خوارزمية التطور التفاضلي.

*أستاذ في قسم هندسة الحاسبات والتحكم الآلي- كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية- جامعة تشرين.

الإيميل: mohammed.hejazieh2016@gmail.com

**طالب دكتوراه في قسم هندسة الحاسبات والتحكم الآلي- كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية- جامعة تشرين.

الإيميل: youssef.ntefeh@gmail.com

Studying The Effect Of Using Evolutionary Algorithms In Reducing Energy Consumption In Real-Time Systems

* Prof.Dr. Mohammed Hijazieh

** Eng. Youssef Ntefeh

Abstract.

In this paper, evolutionary algorithms were used to search for the lowest frequency value that maintains system performance and reduce power consumption. Three similar evolutionary algorithms were focused on: the Genetic Algorithm (GA), the Particle Swarm Optimization algorithm (PSO) and the Differential Evolution algorithm (DE). A brief overview of each of the three evolutionary algorithms was presented, and the focus was on the computational procedures related to performance. The differences and variances between the algorithms were also discussed, according to the simplicity of implementation, the speed of reaching solutions. Then the three algorithms were tested in searching for the lowest frequency. It was found that the PSO algorithm was the simplest and fastest to reach a good results, which helps in reducing system power consumption.

Keywords

Evolutionary Algorithm, Genetic Algorithm, Particle Swarm Optimization, Differential Evolution Algorithm.

1. مقدمة

تستخدم خوارزميات التحسين بشكل واسع في مختلف التطبيقات ونظراً لمحدودية قدرة الخوارزميات الكلاسيكية على التعامل مع العمليات الرياضية المعقدة فقد توجه الباحثون نحو خوارزميات التحسين المستوحاة من الطبيعة، وفي هذا النوع من الخوارزميات تتم تهيئة مجموعة من الحلول عشوائياً وتقوم الخوارزمية بتقييم ملاءمتهم ومن ثم دفعهم باتجاه الحل الأمثل، ومنذ أن نشر Holland كتابه [1] عن الخوارزمية الجينية عام 1975، إحدى أهم خوارزميات التحسين الحديثة، قدم الباحثين خوارزميات عديدة من الخوارزميات مثل Tabu Search [2] عام 1986، وخوارزمية تحسين سرب الجسيمات PSO [3,4] وخوارزمية التطور التفاضلي DE [5] عام 1995 وخوارزمية مستعمرة النمل ACO [6] عام 1999.

قارن الباحثون في الدراسات السابقة [7,8,9] بين مختلف خوارزميات التحسين ولكن كان التركيز في أغلبها على المقارنة التجريبية باستخدام اختبارات أداء صناعية أو تطبيقات محددة ولم يفسر الباحثون سبب أداء بعض الخوارزميات بشكل جيد في أحد التطبيقات دون الآخر ولم يحددوا الخصائص التي جعلت خوارزمية معينة تتفوق على أخرى.

أكد الباحثون في [10] أنه لا يوجد خوارزمية كاملة ولكل منها محاسن ومساوئ، وبالنتيجة فإن الخوارزميات تكون فعالة في حل بعض وليس كل مشاكل التحسين مما يجعل عملية المقارنة ضرورية لمعرفة أي الخوارزميات تناسب حالة معينة، وبناء عليه تمت دراسة ثلاث خوارزميات في هذا البحث وهم الخوارزمية الجينية وخوارزمية تحسين سرب الجسيمات وخوارزمية التطور التفاضلي، وبسبب طبيعتها في إنتاج حلول في مجال قيم مستمرة، حظيت خوارزمتنا تحسين سرب الجسيمات والتطور التفاضلي باهتمام أكبر

مؤخراً بسبب قابليتها للتطبيق على مجالات أوسع وأكثر محاكاةً للأمثلة الطبيعية من الخوارزمية الجينية.

تتمحور هذه الدراسة حول إجراء مقارنة نوعية عامة للخوارزميات التطورية الثلاثة بناءً على ثلاثة معايير وهي جودة الحل وسرعة الوصول إليه وبساطة الخوارزمية، وتم التركيز على عناصر العمليات المطلوبة وتأثيرها على قدرات التنوع والتكيف الخاصة بكل خوارزمية.

تم ترتيب بقية البحث على الشكل التالي: وصف مفهوم الخوارزميات التطورية بشكل عام لتسليط الضوء على العناصر المشتركة بين جميع الخوارزميات ثم وصف الخوارزميات الثلاث محل الدراسة وإبراز أوجه التشابه والاختلاف في الفصل الثالث تمت المقارنة النظرية وإجراء التجارب للمقارنة العملية، و في القسم الرابع و الأخير تمت مناقشة النتائج و التوصيات.

1.1 مشكلة البحث

تعتمد أغلب أنظمة الزمن الحقيقي الحديثة المحمولة في تشغيلها على مصدر طاقة محدود [11] وبالتالي يجب تصميم النظام بحيث يحقق أكبر استغلالاً للطاقة المتوفرة، ولتقليل استهلاك الطاقة الديناميكية في معالج النظام يجب تخفيض تردد العمل إلى أقل قيمة ممكنة دون أن يتأثر أداء النظام.

2.1 أهمية البحث

إن المقارنة التي تم إجراؤها في هذا البحث حددت معايير تقييم ومقارنة الخوارزميات التطورية وتم تحديد نقاط القوة والضعف لكل من الخوارزميات المدروسة ومدى تأثير البارامترات العشوائية لكل خوارزمية على كثافة وتنوع أجيال الطول وطريقة ضبطها لتناسب الحالة المدروسة.

3.1 أهداف البحث

تهدف الدراسة إلى إيجاد الخوارزمية التطورية الأفضل من بين ثلاث خوارزميات (GA, PSO, DE) للبحث عن أقل قيمة تردد يمكن للمعالج في نظام الزمن الحقيقي العمل بها بما يحقق تخفيض استهلاك الطاقة دون أن يتراجع أداء النظام وذلك بمقارنة عدد المهام التي تفشل بتحقيق الحد الزمني النهائي لها. وتم اعتماد معيار الأفضلية من خلال بساطة العمليات الرياضية للخوارزمية وقدرتها على الوصول إلى حل مقبول بأقل عدد تكرارات وذلك بهدف تقليل زمن تشغيل المعالج لتوفير الطاقة المستهلكة.

4.1 فرضيات البحث

- إن تقليل تردد عمل المعالج يؤدي إلى تقليل استهلاك الطاقة في النظام.
- يمكن استخدام الخوارزميات التطورية لإيجاد أقل تردد عمل للمعالج يضمن الحفاظ على أداء النظام.
- خوارزمية جدولة المهام LLREF هي الأقل استهلاكاً للطاقة عند العمل على منصة متعددة المعالجات.

5.1 مواد و طرق البحث

تم استخدام برنامج Matlab2018 لبناء النموذج الرياضي للنظام وتوليد مجموعة مهام نظام الزمن الحقيقي واختبار أداء الخوارزميات التطورية المدروسة [12].

تم الاختبار على معالج Intel Core i5-2410M ثنائي النوى بتردد أعظمي 2.6 GHz وذاكرة وصول عشوائي 8Gb.

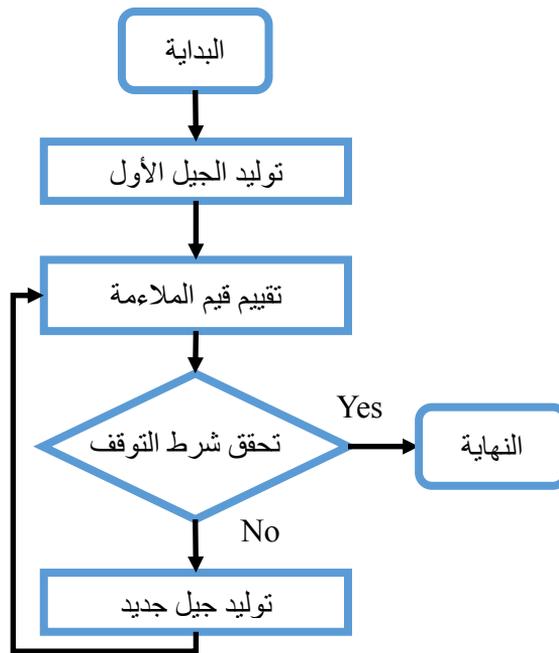
2. وصف عام للخوارزميات التطورية

تتشترك الخوارزميات التطورية بوجود ثلاث مراحل رئيسية، حيث تبدأ المرحلة الأولى بالتهيئة، وهي التوليد العشوائي للجيل الأول من الأفراد وفقاً لشروط ابتدائية تختلف باختلاف الخوارزمية، ويمثل الفرد أحد الحلول المقترحة بشكل مباشر أو غير مباشر ومهما كان مدى بعده عن الجواب الأمثل فهو لا يزال يعتبر حلاً ولكن بنسبة خطأ كبيرة. إذا تم اعتماد التمثيل غير المباشر فإذاً يجب ترميز الأفراد بشكل حلول الخوارزمية ثم يعاد فك ترميزها بعد انتهاء عمل الخوارزمية. يتم في المرحلة الثانية تقييم كل حلول الجيل الأول باستخدام تابع ملاءمة خاص بالمسألة المدروسة، ويمكن استخدام قيم الملاءمة الفردية إما لاستنتاج قيمة ملاءمة الجيل ككل أو لتقييم مدى ملاءمة الأفراد بغرض الاختيار في ما بينها. المرحلة الثالثة والأخيرة هي توليد جيل جديد عن طريق خلق اضطراب معين في الجيل الأول [13]. يوضح الشكل (1) المراحل الثلاث للخوارزمية التطورية.

يتم تقييم أفراد الجيل الأول بعد التهيئة ثم يتم فحص شروط التوقف فإذا لم يتحقق أي منها يتم توليد جيل جديد، وتكرر العملية حتى تحقق أحد شروط التوقف التي قد تكون إما ساكنة مثل عدد تكرارات معين، أو ديناميكية مثل وصول نسبة معينة من الحلول إلى القيمة المثلى للجيل الحالي.

عند استخدام الخوارزميات التطورية في مسائل إيجاد الحل الأمثل، يجب في البداية تحديد كيفية تمثيل الحل وفقاً لعناصر الخوارزمية التطورية المتبعة، قد تنتج عملية التهيئة وتوليد الأجيال الجديدة حلولاً غير مجدية، لذلك يجب اختيار تمثيل للحلول يكون أكثر ترجيحاً لإنتاج أجيال من الحلول المجدية، ويعتبر تمثيل الحل من عوامل التصميم المشتركة بين كل الخوارزميات التطورية. يمكن أن يكون تمثيل الحلول مباشراً أو غير مباشر والاعتبار

الأهم في التصميم هو أن تكون كلاً من الحلول المولدة قابل دائماً لفك ترميزه إلى حلول مجددة. يستخدم التمثيل غير المباشر في المسائل المعقدة إلى جانب إجراءات فك الترميز لتحويل التمثيل غير المباشر إلى حل مجدي وبمجرد فك ترميز الحل يمكن حساب ملاءمة الحلول. بالإضافة إلى تمثيل الحل يجب تحديد بارامترات إضافية عند التهيئة، وهي حجم الجيل والعدد الأعظمي للتكرارات، ولاختيار هذين العنصرين تأثيراً كبيراً على نوعية الحلول وزمن الوصول لها، ويتم عادة تحديد قيم هذه العناصر من خلال التجربة.

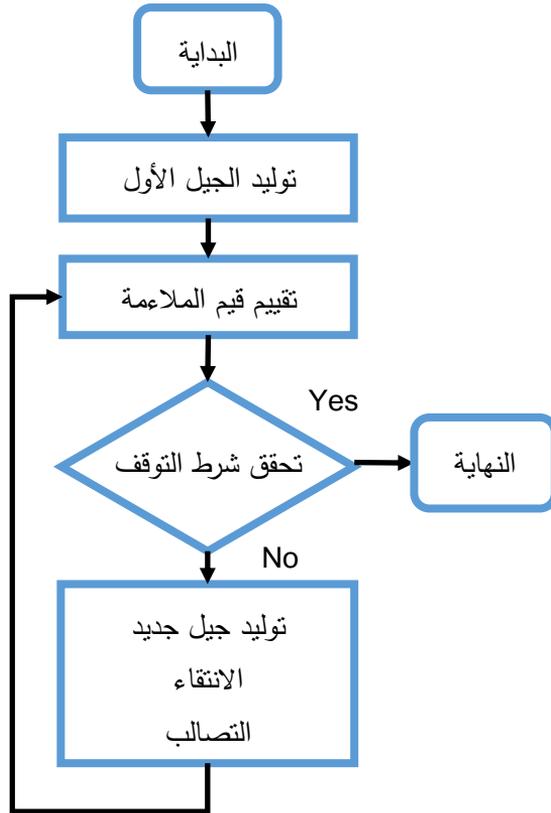


الشكل (1): مخطط تدفقي لخوارزمية تطورية

1.2 الخوارزمية الجينية (Genetic Algorithm (GA))

تعود أصول اكتشاف الخوارزمية الجينية إلى العام 1975 بواسطة Holland [1] الذي قدمها بشكل مبسط وبأسلوب قابل للتطبيق العملي على مسائل رياضية، ويوضح الشكل (2) المخطط التدفقي للخوارزمية.

بداية يتم اختيار زوج من العناصر للتراوج من الجيل الحالي بناءً على قيم ملاءمتهم، حيث يزداد احتمال الارتباط للعناصر الأكثر ملاءمة لتكون الآباء التي تنتج أبناء (كروموسومات) جديدة، وتتم عملية الاختيار باستخدام الترتيب النسبي لقيم الملاءمة، وبمجرد اختيار الكروموسومات الآباء يجمع عامل التصالب بين الوالدين لتوليد عنصرين أبناء بتطبيق العمليات الجينية ويتم وضع العنصرين الجدد في الجيل الجديد ويتكرر الجمع بين الآباء حتى وصول عدد الجيل الجديد إلى عدد الجيل الأب فيستبدل الجيل الأب بالجيل الابن ويتم تكرار جميع الخطوات السابقة منذ البداية وحتى تحقق أحد شروط التوقف، وعلى اعتبار أن عملية الاختيار تكون دائماً للعناصر الأكثر ملاءمة، تميل الأجيال الجديدة إلى التشابه بعد عدة تكرارات وينخفض التنوع وقد يؤدي إلى ركود في أجيال الأبناء مما يستدعي إدخال طفرات على الأبناء لتحفيز التنوع.



الشكل (2): مخطط تدفقي للخوارزمية الجينية

تحتوي الخوارزمية على عدد من بارامترات التحكم مثل حجم الجيل، وأكبر عدد من التكرارات، وطريقة الانتقاء التي تعتمد على تابع الملاءمة لضمان توازن تنوع الجيل الجديد وتطور الحلول نحو قيم مجدية. تحتوي الدراسات السابقة [14] على العديد من طرق الانتقاء وأكثرها شهرةً هي طريقة Roulette wheel وطريقة Tournament وطريقة Elitist. أما المجموعة الثانية من البارامترات فهي طريقة التصالب والثالثة هي طريقة حقن الطفرات بحيث تساعد في الحفاظ على تنوع الجيل وذلك بحقن عناصر جديدة في الكروموسومات، ويتم ضبط هذه البارامترات الثلاث عن طريق التجربة.

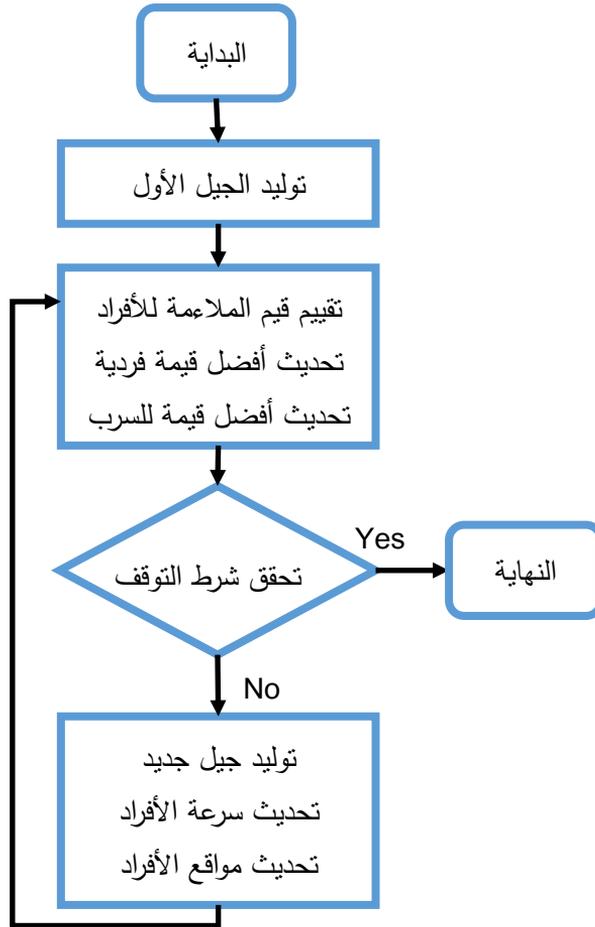
بناءً على ما سبق يتبين أن الخوارزمية الجينية هي عملية تكرارية تنتج جيلاً جديداً في كل تكرار، ويقترح الباحثون في [15] أن يكون عدد الأجيال أو التكرارات بين (50-500) ثم يتم فحص قيم ملائمة أفضل الكروموسومات فإذا لم تحقق الملائمة المطلوبة يعاد تشغيل الخوارزمية.

2.2 خوارزمية تحسين سرب الجسيمات (Particle Swarm Optimization (PSO))

عند دراسة القواعد التي يتبعها سرب الأسماك أو سرب الطيور والتي تسمح لهم بالقيام بحركات متزامنة دون الاصطدام ببعضها، تبين وجود مشاركة للمعلومات بين أفراد السرب مما يشير إلى ميزة تطورية، وكانت هذه هي الفكرة الرئيسية التي أوحى للباحثين بتطوير خوارزمية تحسين سرب الجسيمات PSO.

تلا نشر الدراسات [3,4] التي قدمت أول نموذج لخوارزمية PSO في عام 1995 العديد من الدراسات التي بحثت في تطبيقات ناجحة للخوارزمية لحل مشاكل الأمثلة الصعبة وقد جذبت خوارزمية PSO الباحثين بسبب بساطتها وقلة التعقيد الحسابي فيها وقد سهل فهمها عند تشبيهها لسرب من الطيور تبحث عن هدف معين كالغذاء. يوضح الشكل (3) مراحل الخوارزمية.

يتم تمثيل الحل في خوارزمية PSO على شكل جسيمات ويطلق على الجيل اسم سرب الجسيمات يتم تهيئتها عشوائياً وتركها لتبحث بحرية في فضاء الحل متعدد الأبعاد، ولكل جسيم خاصيتين أساسيتين هما الموقع والسرعة، يتحرك كل جسيم نحو الموقع الجديد بواسطة شعاع السرعة وبمجرد وصول الجسيم إلى الموقع الجديد يتم تحديث قيم أفضل موقع لكل جسيم وأفضل موقع للسرب، ثم يتم تعديل اتجاه شعاع السرعة بناءً على ذاكرة معطيات الجسيم وتكرر العملية حتى تحقق أحد شروط التوقف.



الشكل (3) المخطط التدفقي لخوارزمية تحسين سرب الجسيمات PSO

تكون المرحلة الأولى في خوارزمية تحسين سرب الجسيمات متشابهة في جميع الخوارزميات التطورية وهي مرحلة توليد القيم المبدئية والتي يتم بواسطتها إيجاد سرب الجسيمات الأول. يتم إسناد قيم مبدئية عشوائية لموقع وسرعة كل جسيم ويتم تقييم كل جسيم بواسطة تابع ملاعبة ثم مقارنته بأفضل قيمة ملاعبة سابقة للجسيم وبأفضل قيمة ملاعبة سابقة للسرب كاملاً فإذا كانت أعلى من أفضل قيمة ملاعبة سابقة تصبح الملاعبة الحالية هي أفضل ملاعبة للجسيم ويتم تعديل قيمة الملاعبة العامة للسرب في

الجيل الحالي بنفس الطريقة. يتم تحديث السرعة والموقع وإنشاء سرب جديد طالما أن شروط التكرار ما زالت قائمة وذلك عن طريق استخدام أفضل قيمة ملائمة للجسيم وأفضل قيمة ملائمة للسرب بالإضافة إلى السرعة السابقة لتحديث قيمة السرعة الحالية.

إن تحديث قيمة الموقع وتحديث قيمة السرعة هما العمليتان الرئيسيتان في الخوارزمية ولكل من هذه العوامل وزن ثابت مرافق لها. يتم تكرار هذه الخطوات لإنتاج سرب جديد ويتم إيقاف الخوارزمية بعد عدد محدد مسبقاً من التكرارات أو عند فشل الخوارزمية في تحقيق تحسن بعد ثبات ملائمة السرب لعدد محدد من التكرارات.

من الخواص الهامة للخوارزمية أنها لا تحتوي ترتيب قيم الملائمة للجسيمات في أي من خطوات عملها مما يمنحها أولوية وميزة حسابية على حساب الخوارزمية الجينية، وخصوصاً عندما يكون حجم الجيل كبيراً، كما أن عملية تحديث قيم السرعة والموقع ليست معقدة حسابياً. تتحرك مجموعة الجسيمات في فضاء بحث عن القيمة الأفضل ملائمة ويمكن وصف حركة الجسيم i بواسطة المعادلتين التاليتين اللتين تنظمان موقع الجسيم وسرعته [3,4]:

$$v_i(t) = w \cdot v_i(t - 1) + c_1 \cdot \text{rand}().(BP_i - P_i(t - 1)) + c_2 \cdot \text{rand}().(BGP_i - P_i(t - 1)) \quad (1)$$

$$P_i(t) = P_i(t - 1) + v_i(t) \quad (2)$$

حيث إن $v_i(t)$ هي سرعة الجسيم و $P_i(t)$ هي موقع الجسيم في التكرار الحالي و w, c_2, c_1 عوامل القصور الذاتي وهي ثوابت موجبة، أما التابع rand فهو تابع توليد قيمة عشوائية بين $(0 - 1)$ و BP هو قيمة أفضل ملائمة للجسيم في جمع التكرارات حتى الآن، و BGP هو قيمة أفضل ملائمة لجسيم في السرب كاملاً. يتم استخدام عوامل

القصور الذاتي لضبط حركة الجسيمات أثناء عملية البحث، حيث إن W هو وزن القصور الذاتي يستعمل لضبط حركة الجسيمات الانفجارية كي لا تتجاوز فضاء البحث وينقصانه تميل الخوارزمية إلى البحث المحلي، وينصح الباحثون في الدراسات السابقة [16] باعتماد قيمة كبيرة في بداية عملية البحث وتتناقص بالعثور على منطقة ذات ملائمة عالية للبحث بداخلها وينصح بالبدء من قيمة 0.9 تتناقص خطياً حتى 0.4 وتشير الدراسات السابقة أن c_1 معامل التعلم الذاتي و c_2 معامل التعلم الجماعي يجب ألا يتجاوز مجموعهما 4 أي أن $0 < c_1 + c_2 < 4$ عندما يكون البحث في فضاء ثنائي البعد، وأن ضبطهم يتحكم بالمفاضلة بين توسيع رقعة البحث وبين التجمع حول أفضل الجسيمات.

3.2 الخوارزمية التطورية التفاضلية (Differential Evolution (DE))

تم طرح الخوارزمية لأول مرة سنة 1995 بواسطة Price و Storn وللتحسين العام في مساحة بحث مستمرة [5]. تعتبر مراحل الخوارزمية بسيطة نسبياً وتتطلب عدداً محدوداً من متغيرات التحكم، ولم تتل خوارزمية DE شهرة خوارزمية PSO في البداية ولكنها بدأت تظهر مؤخراً في العديد من الدراسات وأظهرت تفوقاً في تطبيقات عديدة.

تستخدم الخوارزمية DE بشكل خاص عندما يكون التابع المراد تحسينه متعددة الوسائط وغير قابل للفصل، وتتجز الخوارزمية اضطراب أفراد الجيل من خلال تدريج الفروقات بين الأفراد الآخرين الذين تم اختيارهم عشوائياً مما يلغي الحاجة إلى استخدام آلية خاصة لزيادة توزيع الحلول وتكون حلول الجيل الأول منتشرة على نطاق واسع في فضاء البحث ولديها قدرة استكشاف أكبر، وأثناء التحسين تميل الحلول إلى التركيز على مناطق البحث التي تحتوي أفضل القيم، أي أن عملية البحث تتركز تلقائياً حول الحلول الواعدة.

يتم تمثيل الحلول في خوارزمية DE على شكل شعاع متعدد الأبعاد، وكما في جميع الخوارزميات التطورية، يبدأ إنشاء الجيل الأول بقيم عشوائية وبحجم N شعاع متعدد الأبعاد والفرق بين خوارزمية DE وخوارزميتي PSO و GA هو في آلية توليد الأجيال الجديدة وتتم عبر دمج عدة حلول مع حل منتخب (هدف) وتتطور الأجيال المتتالية من الحلول من خلال تكرار ثلاث معاملات رئيسية وهي الطفرات والتصالب والانتقاء وهي ليست العمليات ذاتها الموجودة في الخوارزمية الجينية رغم تشابه الأسماء.

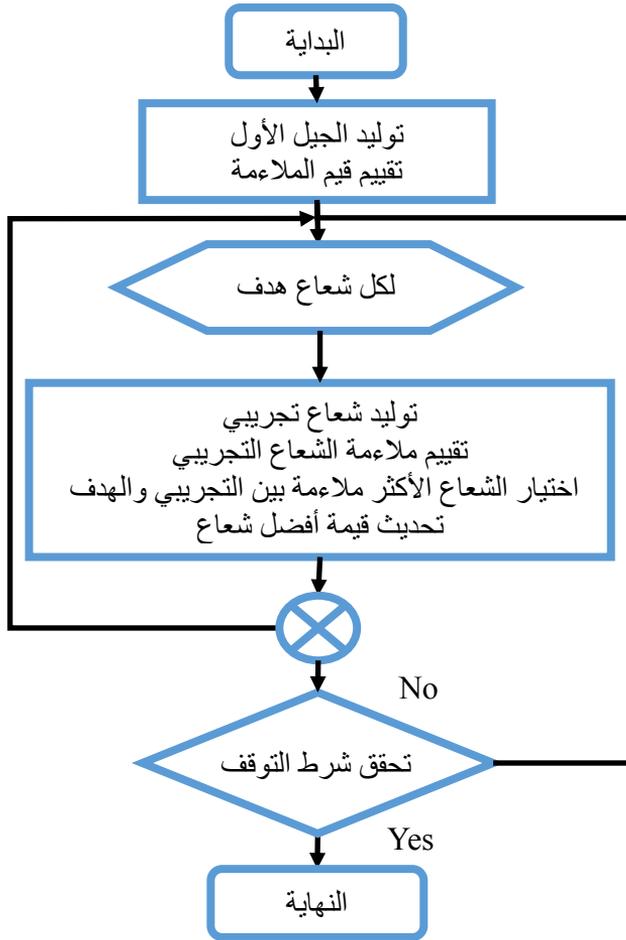
يتم إنشاء أفراد جدد في الخوارزمية النفاضلية من خلال دمج أفراد الجيل الحالي لتشكيل الشعاع المتحول mutant vector من ثلاثة أشعة يتم اختيارها عشوائياً X_{r1}, X_{r2}, X_{r3} ، باستثناء شعاع الهدف، من خلال القانون التالي [5]:

$$V_i = X_{r1} + F(X_{r2} - X_{r3}) \quad (3)$$

حيث إن F معامل التحجيم هو بارامتر رئيسي في الخوارزمية وله تأثير كبير على أدائها وتتراوح قيمته بين (1 - 0.4) وتعتبر عملية إنشاء الشعاع المتحول هي عملية الطفرة وهي مختلفة تماماً عن الطفرة في الخوارزمية الجينية. بعد إنشاء الشعاع المتحول من القانون (3) يتم إنشاء الشعاع التجريبي trial vector من تصالب كل شعاع في الجيل الحالي مع الشعاع المتحول، ويتم استعمال إحدى طريقتين للتصالب هما الأكثر انتشاراً التصالب ثنائي الدرجة والتصالب الأسّي فينتج الشعاع U_i :

$$U_{i,j} = \begin{cases} V_{i,j} & \text{if } (rand_{i,j} \leq C_r \text{ or } j = j_{rand}) \\ X_{i,j} & \text{otherwise} \end{cases}$$

أي أن المكون j من الشعاع المتحول i تم إنشاؤه بواسطة تصالب من الدرجة الثانية و $rand_{i,j}$ هو رقم عشوائي بين (0-1) و C_r هو معدل التصالب و j_{rand} هو بعد يتم اختياره عشوائياً.



الشكل (4) المخطط التدفقي لخوارزمية التطور التفاضلي DE

بعد تشكيل الشعاع التجريبي تجري عملية انتقاء بينه وبين الشعاع الهدف وذلك للحفاظ على الشعاع ذي الملاءمة الأعلى أي قد يتم الحفاظ على الشعاع الهدف إذا كان الشعاع التجريبي أقل منه ملاءمة وإلا فإن الشعاع الهدف يستبدل بالشعاع التجريبي ويصبح شعاع الهدف الجديد جاهزاً للتصالب مع شعاع متحول جديد لتشكيل الشعاع التجريبي التالي وتعتبر هذه العملية من أهم ميزات الخوارزمية التفاضلية حيث إن أي تحسن يطرأ

على أحد الحلول يؤثر مباشرةً في باقي الحلول دون انتظار كامل الجيل لينتهي عملية التحديث[5]. يلخص الشكل (4) المخطط التدفقي للخوارزمية التفاضلية.

تبدأ الخوارزمية عند توليد جيل من الحلول يدعى الأشعة ويتم تقييم ملاءمة كل شعاع منها يكون إما مرشح أو هدف وبمقابل كل شعاع هدف يتم تشكيل شعاع تجريبي ثم يتم اختيار الشعاع الأكثر ملاءمة ما بين الشعاع التجريبي والشعاع الهدف بواسطة عملية الانتقاء، ويعاد استعمال الشعاع الذي تم اختياره في التكرار التالي بينما يتم تجاهل الشعاع الآخر.

يقترح الباحثون في الدراسات السابقة [16] قيمة البارامترات التالية:

- حجم الجيل: أن يكون أكبر من 4 للتأكد أن عدد الأشعة كافٍ للانتقال من جيل لآخر.
- ثابت التحول F : بين 0.4 و 1 واعتبار أن 0.5 اختياراً مبدئياً جيداً ولكن إذا حصل تقارب مبكر يجب زيادة قيمة F .
- ثابت التصالب C_r : قيمته بين 0.3 و 0.9 يزداد التقارب سرعة ومجازفة بازدياده، وتوصي الدراسات السابقة بقيمة 0.9 إلى 1 كقيمة مبدئية في حال الرغبة بسرعة الحصول على النتائج بينما قيمة 0.1 ستبطئ التقارب ولكن البحث سيكون أكثر شمولاً.

3. نتائج المقارنة بين الخوارزميات

تم إجراء المقارنة بين الخوارزميات من ناحيتين نظرية وعملية، تم في المقارنة النظرية دراسة خواص وخطوات وبارامترات الخوارزمية التي لا تحتاج لبرهان عددي وهي المقارنة من ناحية (توليد الحلول الجديدة - تكثيف وتوزيع الحلول - تأثير إعادة التهيئة - تأثير البحث المحلي - تأثير التجمع الفرعي - بساطة التطبيق) أما المقارنة العملية

فتم إجرائها للخواص التي لا تمكن معرفتها إلا بالتجربة العددية (دقة الحل - زمن التشغيل).

1.3 المقارنة النظرية لخوارزميات من ناحية توليد الحلول الجديدة

يتم اختيار الحلول الجديدة في خوارزمية DE فقط إذا كانت أكثر ملاءمة وبالتالي فإن ملاءمة الجيل إما أن تكون مساوية أو أعلى في كل تكرار جديد، وإن أي تحسن في الحلول قابل للدخول مباشرة في عملية الطفرة لتشكيل الشعاع المتحول وهذا الفرق يميز خوارزمية DE عن خوارزمية PSO التي لا يحدث التحسين فيها إلا بعد انتهاء جميع حلول الجيل من حساباتها [16].

بعكس الخوارزمية الجينية فإن خوارزمية DE تختار الحلول الآباء اعتماداً على ملاءمتها [17]، وباعتبار أن كل حل في الجيل يتخذ دور الشعاع الهدف وبالتالي كل الأشعة ستكون آباء، والاب الثاني هو الشعاع المتحول الذي يتكون من ثلاثة أشعة أي أن الشعاع التجريبي ينتج عن أربعة أشعة مختلفة وسيستخدم مكان الشعاع الهدف فقط إذا كان أكثر ملاءمة منه وإلا يتم إقصاؤه، تتم عملية التبديل بين الشعاع التجريبي والهدف فوراً دون انتظار باقي حلول الجيل لتكتمل حساباتها. الشعاع الناتج يكون جاهزاً مباشرة للمشاركة في عملية الاختيار العشوائي التي تساهم في تشكيل الشعاع المتحول الجديد.

2.3 المقارنة النظرية للخوارزميات من ناحية تكثيف وتوزيع الحلول

تختلف آلية توليد الجيل الجديد من الحلول في الخوارزميات التي تمت مناقشتها وتولد هذه الآليات المختلفة مجموعة من الحلول ذات توازن مختلف بين التكتيف والتوزيع، ويمكن توقع السلوك الديناميكي للجيل من الطريقة المستخدمة لإنشاء الجيل التالي. يتم ترتيب الحلول في الخوارزمية الجينية بناءً على قيم الملاءمة ويتم اختيار الآباء اعتماداً على احتمالية إنتاجهم أبناء أفضل، لذلك فإن عملية التصالب تنتج أبناء تحتوي على جزء من

الآباء وتكون مشابهة لها جزئياً وبناء عليه فإن الخوارزمية الجينية تميل إلى توليد حلول تتجمع حول الحلول الجيدة، ولتحقيق التنوع في الخوارزمية الجينية يتم إحداث الطفرة والتي تقوم بحقق بعض الاختلاف في الحلول [18].

يتم إنشاء السرب الجديد في خوارزمية PSO بواسطة معادلات تحديث السرعة والموقع وهو ما يضمن أن تكون حلول الجيل التالي مختلفة تماماً عن حلول الجيل الحالي، وباعتبار أن الخوارزمية تعتمد على عمليات رياضية بأرقام ذات فواصل عشرية فبإمكانها توليد كل القيم الممكنة في فضاء البحث أي أن كثافة الحلول الناتجة أعلى بكثير من الخوارزمية الجينية، كما أن أفضل جسيم في السرب يؤثر بطريقه إلى الهدف على جميع جسيمات السرب مما يسرع من عملية التجمع حول أفضل الجسيمات خصوصاً إذا كان هناك تباين واضح في قيم الملاءمة [19].

تحقق خوارزمية DE كثافة في الحلول بشكل مشابه لخوارزمية PSO بسبب اعتمادها على عمليات رياضية بأرقام عشرية ولكن التنوع في الخوارزمية التفاضلية أعلى لأن أفضل حلول الجيل الحالي ليس له أي تأثير على باقي الحلول بالإضافة إلى أن الشعاع المتحول لا ينتمي إلى الجيل الأصلي أي أن عملية التصالب في الخوارزمية التفاضلية تكون دائماً بين أحد حلول الجيل وحل تم توليده حديثاً، ويتقدم عملية البحث تتجمع الحلول تدريجياً حول الحلول الجيدة، قد يؤدي هذا التجمع إلى تقارب الجيل نحو حل معين، وإذا حصلت هذه العملية بسرعة كبيرة قد يصاب الجيل بالركود التطوري ويصبح احتمال التحسين ضعيفاً [20].

3.3 المقارنة النظرية للخوارزميات من ناحية تأثير إعادة التهيئة

يكون تأثير التجمع أقل فاعلية في الخوارزمية الجينية ولكن تميل أفضل الكروموسومات إلى التشابه فيما بينها ويمكن حقق الاختلاف فيها لتحسين التنوع [21] و يكون التجمع في أقل مستوياته في خوارزمية DE ولا تأثير مهم لعملية إعادة التهيئة.

تتجمع الحلول في خوارزمية PSO بأعلى سرعة بين الخوارزميات الثلاثة مما قد يسهل إصابة الجيل بالركود، وللتخلص من هذه العقبة تم طرح عدة تقنيات للتجميع لتقليل تأثير أفضل جسيم ، كما يمكن تطبيق مفهوم بديل أكثر بساطة وهو الإبقاء على أفضل جسيم وإعادة توليد كل أو بعض الجسيمات المتبقية مما ينشأ تأثير يشابه توليد سرب جديد ولكن باعتبار أفضل جسيم كأحد الجسيمات البقية وتسمى هذه العملية إعادة التهيئة [22].

4.3 المقارنة النظرية للخوارزميات من ناحية تأثير البحث المحلي

إن كثافة الحلول في فضاء بحث الخوارزمية الجينية منخفضة وبالتالي لا يمكن لمعاملات الخوارزمية إنتاج كل الحلول الممكنة، ويستعمل البحث المحلي لحل هذه المشكلة، وهو التقصي عن إمكانية وجود حلول أفضل حول الحلول الحالية وهي عملية مكلفة زمنياً وتزداد كلفتها بازدياد عدد أفراد الجيل [23].

يكون لأفضل جسيم في كل جيل في خوارزمية PSO تأثير مسيطر على السرب بكامله وبتطبيق عملية البحث حول الجسيم الأفضل يمكن اختصار الزمن وتحسين الحلول بفاعلية، وتم إثبات أن هذه الاستراتيجية مفيدة في جدولة الإنتاج حسب الطلب [24].

لا تؤثر تقنية البحث المحلي على خوارزمية DE باعتبار أن لا تأثير لأفضل حلٍ فيها على باقي حلول الجيل.

5.3 المقارنة النظرية للخوارزميات من ناحية تأثير التجمع الفرعي

التجمع الفرعي هو استراتيجية بسيطة لتأخير التجمع المبكر للحلول، ويمكن تحقيقه في الأجيال المتجانسة والمتغايرة، حيث يشير مصطلح الأجيال المتجانسة إلى الأجيال التي تستخدم بارامترات متطابقة في إنتاج الأجيال الجديدة في كل تكرار، أما الأجيال المتغايرة فهي الأجيال التي تسمح للحلول التي تنتمي إلى مجموعات فرعية

متخلفة باستعمال قيم معاملات وبارامترات مختلفة مما يزيد من تنوع عملية البحث. يسمح التجمع الفرعي في الخوارزمية الجينية وخوارزمية PSO بالتخلص من تأثير الحلول المسيطرة ويسمح للمجموعات الفرعية من الجيل بالبحث في مناطق مختلفة من فضاء الحل، أما بالنسبة لخوارزمية DE لا يوجد تأثير مهم للتجمع الفرعي للحلول باعتبار أن أفضل حل لا تأثير له على باقي الحلول.

يحقق التغيير الديناميكي في سلوك الجيل تأثيرات مشابهة لاستخدام الجيل المتغير، عند استخدام أكثر من استراتيجية بحثٍ يمكن لخوارزمية البحث تحديد الاستراتيجية التي تؤدي إلى التحسين المستمر للحلول وعند توقف التحسين بعد عدد من التكرارات يمكن للخوارزمية استبدال خوارزمية البحث بأخرى [25].

6.3 المقارنة النظرية للخوارزميات من ناحية البساطة في التطبيق

تبين بعد المقارنة أن الفرق الأساسي بين الخوارزميات الثلاث هو أن PSO لا تحتوي عمليات ومعاملات جينية مثل التصلب والطفرات حيث تقوم الجسيمات بتحديث قيمها بواسطة سرعتها الذاتية كما أنها تمتلك ذاكرة وآلية لتبادل المعلومات المختلفة ويشترك أفضل جسيم فقط معلومات حركته لبقية الجسيمات مما يؤدي إلى تقارب الحلول حول القيم المثلى بشكلٍ سريع وبالمقارنة مع الخوارزميات الأخرى فإن PSO هي الأبسط تمثيلاً وتحتوي عدداً أقل من البارامترات للتحكم به.

7.3 نتائج المقارنة النظرية للخوارزميات

تم توضيح المقارنات والنتائج التي تم التوصل إليها في الدراسة في الجدول (1)، حيث تمت المقارنة في عدد من الدراسات السابقة [26] بين أداء الخوارزميات التطورية محل الدراسة في حل مشاكل بحث عن الحل الأمثل في مختلف المجالات ولكن المنهجية كانت غير مباشرة وذلك لأن الباحثين استخدموا تمثيلاً مختلفاً للبيانات بالإضافة إلى أن

استراتيجيات البحث المحلي كانت مختلفة لذلك لم يكن واضحاً إن كان التأثير على الأداء سببه نوع الخوارزمية التطورية أم من اختلاف تمثيل الحلول واستراتيجيات البحث.

الجدول (1) ملخص المقارنة النظرية بين الخوارزميات التطورية المدروسة

الخوارزمية			مجال المقارنة
DE	PSO	GA	
لا	لا	نعم	بحاجة إلى تصنيف الحلول
خطي	خطي	أسّي	تأثير حجم الجيل على زمن الحل
الأقل	الأعلى	متوسط	تأثير أفضل حل على بقية الحلول
صحيح	خطأ	خطأ	متوسط قيمة الملاءمة لا ينخفض
الأقل	الأعلى	متوسط	الميل إلى التقارب المبكر
أكثر	أكثر	أقل	استمرارية وكثافة مساحة البحث
أكثر	أكثر	أقل	القدرة على الوصول لحل جيد دون إجراء بحث محلي
لا	نعم	نعم	تجمع الحلول المتجانسة يحسن التقارب

4. التجربة العملية وقياس الأداء

تمت محاكاة تشغيل النظام عبر برنامج Matlab بتوليد مجموعة مهام بالنسب التالية (70% مهام دورية - 20% مهام عشوائية - 10% مهام لا دورية) وتمت جدولتها بواسطة خوارزمية LLREF وتمت دراسة أثر تغيير تردد العمل على مدة تنفيذ المهام تحت حمل خفيف إلى متوسط (0.2 - 0.5) حيث يكون هناك إمكانية لزيادة مدة تنفيذ المهام دون فشل النظام. يوضح الجدول (2) مواصفات التجربة التي تم اختيارها لقياس أداء الخوارزميات المدروسة.

الجدول (2) مواصفات التجربة العملية وقيم بارامترات الخوارزمية المدروسة

البارامتر	القيمة	تفاصيل
عدد مجموعات المهام	10	
عدد تكرارات التجربة	30	
عدد المهام في كل مجموعة	100	70% دورية - 20% عشوائية - 10% لا دورية
خوارزمية جدولة المهام	LLREF	-
الحمل Utilization	0.5 - 0.2	خفيف إلى متوسط
عدد النوى	2	-
زمن التشغيل	1 ثانية	تتم جدولة المهام ضمن مدة 1 ثانية
عدد التكرارات	20	-
قيم حدود البحث	الحد الأدنى = 0.8 الحد الأعلى = 2.5	قيمة تردد المعالج (MHz)
بارامترات GA	Mutation rate=0.1 Crossover rate= 0.8	
بارامترات PSO	C1=2, C2=2, W=(0.4-0.9)	-
بارامترات DE	F=0.5, $C_r = 0.7$	-

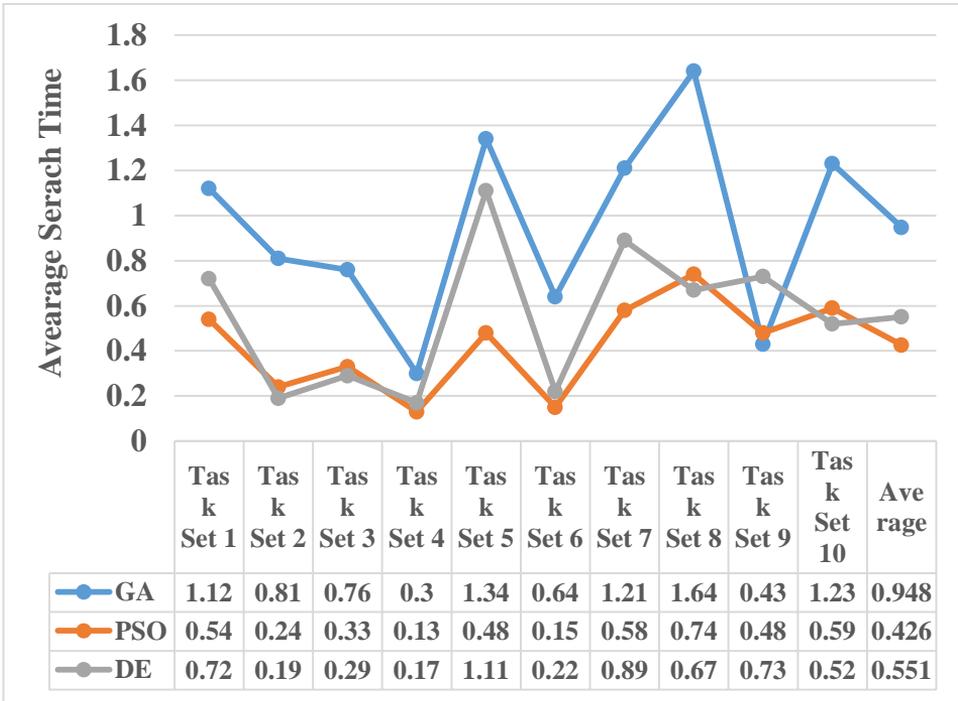
1.4 خوارزمية LLREF (Largest Local Remaining Execution time First)

تبين الدراسات السابقة أن خوارزمية LLREF مثالية (أي أنها تحقق كل القيود الزمنية Deadlines بشرط أن يكون مجموع نسب استخدام المهام للمعالج utilization لا يزيد عن عدد المعالجات) لجدولة مهام أنظمة الزمن الحقيقي التي تعمل على منصة متعددة المعالجات [27]، كما أنها الأقل استهلاكاً للطاقة [28]، وتتقسم الأحداث في هذه الخوارزمية إلى قسمين هما: الأحداث الرئيسية (إطلاق مهمة - إنهاء تنفيذ مهمة) والأحداث الثانوية (نفاذ سماحية تأخير تنفيذ المهمة - وجود زمن إضافي للتنفيذ نتيجة انتهاء المهمة). تعتمد الخوارزمية بشكل أساسي على بارامتر هو مخطط Time and Local execution time Plane، وتسعى في جدولتها للمهام من الاقتراب قدر الإمكان من التنفيذ التدفقي دون استخدام الفترات الزمنية Time slices باستخدام نسخ متعاقبة من مخططات TL-Plane حيث إن ضمان قابلية الجدولة ضمن كل منها يؤدي إلى قابلية الجدولة لمجموعة المهام بشكل كلي.

2.4 المقارنة العملية للخوارزميات من ناحية زمن التشغيل

يتزايد زمن الحل في الخوارزمية الجينية بشكل لا خطي بازدياد حجم الجيل بسبب الحاجة لترتيب الحلول. تعاني خوارزمية PSO من الركود أي أنه عندما تتمركز الحلول حول القيم الجيدة الملائمة يصبح من الصعب الحصول على أية تحسينات إضافية مهما زادت التكرارات بينما خوارزمية DE فإنها دائماً ما تصل إلى حلول أفضل عند منحها مزيداً من الوقت وهي أكثر فاعلية في إيجاد الحلول المثالية عند التعامل مع مسائل معقدة يمكن فيها تحسين عدة متحولات معا ويسمح فيها بعدد كبير من التكرارات، ولكن عندما يكون الوقت قيماً جداً ويجب الوصول لقيم مقبولة في أقل عدد من التكرارات

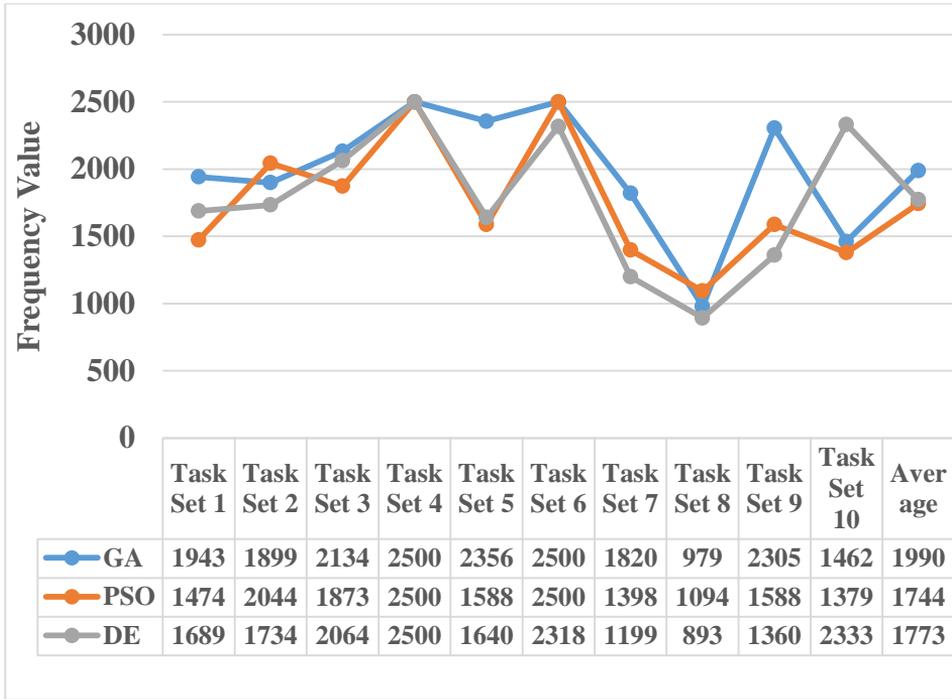
فإن خوارزمية PSO هي الأكثر ملاءمة للوصول للحل بسرعة كما يوضح الشكل (5) بالإضافة إلى أن PSO تتجز عمليات بحث موجهة أي في فضاء بحث ثنائي البعد مثل عملية البحث عن التردد الأفضل لمعالج، فهي الأنسب لعملية تحسين لقيمة واحدة فقط بينما الخوارزمية التفاضلية فتستعمل في مجالات البحث الاستكشافية التي تحتوي عدداً من البارامترات متساوية الأهمية ويجب تحسينهم معاً.



الشكل (5) مقارنة زمن بحث الخوارزميات التطورية المدروسة

3.4 المقارنة العملية للخوارزميات من ناحية دقة الحل

تمتكت خوارزمية PSO من الوصول إلى أفضل قيمة في متوسط اختبارات التجربة العملية مقارنة بباقي الخوارزميات كما هو موضح في الشكل (6) وتتناقص جودة الحل بشكل بسيط عند DE لتصبح أقلها في الخوارزمية الجينية.



الشكل (6) مقارنة أفضل قيمة تردد عمل توصلت لها الخوارزميات التطورية المدروسة

عادةً ما تكون دقة الحل هي أهم معايير تقييم الخوارزمية، ولكن في هذا البحث وباعتبار أن الهدف هو الوصول لأقل قيمة تردد للمعالج لتقليل استهلاك الطاقة في النظام فمن غير المجدي أن تستغرق عملية البحث عن التردد المطلوب مدة أطول من اللازم. توضح النتائج في الشكل (5) أن زمن تشغيل خوارزمية PSO للوصول لنتيجة مقبولة هو الأقصر.

5. مناقشة نتائج المقارنة النظرية والعملية للخوارزميات المدروسة

- تصنف خوارزمية DE بأنها الأفضل من ناحية الفرق بين الأجيال المتعاقبة وأن قيمة ملائمة الجيل تزداد بعد كل تكرار للخوارزمية وذلك لأنه لا يتم الاحتفاظ بأفراد الجيل الجديد إلا إذا كانوا أعلى ملائمة من أفراد الجيل السابق.

- إن كثافة الحلول في خوارزمية PSO و DE أعلى من الخوارزمية الجينية كون العمليات الرياضية تحتوي أرقاماً ذات فواصل عشرية.
 - إن خوارزمية DE هي الأعلى تنوعاً في الحلول وذلك لأن الحل الأفضل في الجيل الحالي ليس له أي تأثير على باقي الحلول.
 - تحتاج خوارزمية PSO إلى عملية إعادة تهيئة للتخلص من الركود أما الخوارزمية الجينية وخوارزمية DE لا تحتاجان لعملية إعادة تهيئة.
 - تستفيد خوارزمية GA و PSO من البحث المحلي والتجمع الفرعي بينما لا حاجة لهما في خوارزمية DE.
 - إن زمن تشغيل خوارزمية PSO للوصول لنتيجة مقبولة هو الأقصر كون الخوارزمية لا تحتاج عدداً كبيراً من التكرارات لتتجمع الحلول حول أفضل الجسيمات في السرب.
 - إن خوارزمية PSO هي الأبسط والأقل عمليات رياضية من باقي الخوارزميات والشيفرة البرمجية الخاصة بها هي الأصغر كونها لا تحتوي عمليات ترتيب عناصر مثل الخوارزمية الجينية وليست بحاجة لعدد كبير من التكرارات للوصول لحل مقبول مثل خوارزمية DE.
 - يمكن لخوارزمية DE الوصول إلى حلول أفضل عند منحها مزيداً من الوقت، ولكن عندما يكون مطلوب الوصول لقيم مقبولة في أقل وقت ممكن فإن خوارزمية PSO هي الأكثر ملاءمة للوصول للحل بسرعة.
- بناء على ما سبق يقترح الباحث في هذه الدراسة استخدام خوارزمية PSO للبحث عن أقل قيمة تردد عمل للمعالج تضمن المحافظة على أداء نظام زمن حقيقي أثناء جدولة المهام بخوارزمية LLREF.

1.5 التوصيات

- دراسة خوارزميات جدولة مهام في نظام زمن حقيقي مختلفة عن LLREF لدراسة تأثيراتها المحتملة.
- اختبار منصات عمل مختلفة عما سبق ذكره في الدراسة لمعرفة تأثير العتاد الصلب الأكثر تعقيداً في تقليل زمن البحث.
- دراسة الطرق والتعديلات على خوارزمية DE لجعلها أبسط وأسرع وصولاً للحل كونها أفضل ببقية مجالات المقارنة.

الخاتمة

الخوارزميات التطورية مستوحاة من الطبيعة ورغم الإثبات بأنها أداة فعالة في حل مشاكل التحسين إلا أنها ليست الحل الشامل الحاسم رغم قوتها الظاهرية ويجب اختيار قيم مناسبة للبارامترات والمتغيرات تضمن نجاحها.

تم في هذه الدراسة استخدام الخوارزميات التطورية للبحث عن أقل قيمة تردد تساعد في تخفيض استهلاك الطاقة مع المحافظة على أداء النظام. تم التركيز على ثلاث خوارزميات تطورية متشابهة وهي الخوارزمية الجينية GA وخوارزمية تحسين سرب الجسيمات PSO وخوارزمية التطور التفاضلي DE. تم في هذه الدراسة تقديم لمحة موجزة عن كل من الخوارزميات التطورية الثلاث وتم التركيز على الإجراءات الحسابية المتعلقة بالأداء واختبار الخوارزميات الثلاث في البحث عن أقل قيمة تردد عمل للمعالج وتبين أن الخوارزمية الجينية هي الأكثر تعقيداً والأقل قدرة على إيجاد حلول في فضاء البحث مستمر القيم أما خوارزمية DE فتبين قدرتها على الوصول لحلول أفضل ولكن على حساب الزيادة في زمن التشغيل بينما خوارزمية PSO هي الأبسط والأسرع بالوصول لنتائج مقبولة، وبمقارنة القيمة التي توصلت إليها PSO مع القيمة التي توصلت إليها DE تبين أن الزيادة في زمن البحث أكثر تأثيراً على استهلاك الطاقة من الفرق بين أفضل قيمة وصلت إليها الخوارزميتين، وعلى اعتبار أن العامل الأهم هو تقليل وقت المعالجة لتوفير استهلاك الطاقة فإن خوارزمية PSO تعتبر الأفضل للبحث عن أقل قيمة تردد عمل للمعالج في نظام زمن حقيقي ذو مصادر طاقة محدودة ويعتمد على خوارزمية LLREF في جدولة المهام.

المراجع

1. Holland JH. Adaptation in natural and artificial systems: an introductory analysis with applications to biology, control, and artificial intelligence. MIT press; 1992 Apr 29.
2. Glover F. Future paths for integer programming and links to artificial intelligence. Computers & operations research. 1986 Jan 1;13(5):533-49.
3. Eberhart R, Kennedy J. A new optimizer using particle swarm theory. InMHS'95. Proceedings of the sixth international symposium on micro machine and human science 1995 Oct 4 (pp. 39-43). IEEE.
4. Kennedy J, Eberhart R. Particle swarm optimization. InProceedings of ICNN'95-international conference on neural networks 1995 Nov 27 (Vol. 4, pp. 1942-1948). IEEE.
5. Storn, R. and Price, K.: Differential Evolution — A Simple and Efficient Adaptive Scheme for Global Optimization Over Continuous Spaces, Technical Report TR-95-012, International Computer Science Institute, Berkeley, CA, USA.
6. Dorigo M, Di Caro G. Ant colony optimization: a new meta-heuristic. InProceedings of the 1999 congress on

- evolutionary computation–CEC99 (Cat. No. 99TH8406)
1999 Jul 6 (Vol. 2, pp. 1470–1477). IEEE.
7. Gao S, Yu Y, Wang Y, Wang J, Cheng J, Zhou M. Chaotic local search–based differential evolution algorithms for optimization. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems. 2019 Dec 20;51(6):3954–67.
 8. Özsoy VS, Ünsal MG, Örkücü HH. Use of the heuristic optimization in the parameter estimation of generalized gamma distribution: comparison of GA, DE, PSO and SA methods. Computational Statistics. 2020 Dec;35(4):1895–925.
 9. Diveev AI, Konstantinov SV. Study of the practical convergence of evolutionary algorithms for the optimal program control of a wheeled robot. Journal of Computer and Systems Sciences International. 2018 Jul;57(4):561–80.
 10. Wolpert DH, Macready WG. No free lunch theorems for optimization. IEEE transactions on evolutionary computation. 1997 Apr;1(1):67–82.
 11. Baital K, Chakrabarti A. Dynamic scheduling of tasks for multi–core real–time systems based on optimum energy and throughput. IET Computers & Digital Techniques. 2019 Mar 14;13(2):93–100.

12. Zheng X. Real-time simulation in real-time systems: Current status, research challenges and a way forward. arXiv preprint arXiv:1905.01848. 2019 May 6.
13. Slowik A, Kwasnicka H. Evolutionary algorithms and their applications to engineering problems. *Neural Computing and Applications*. 2020 Aug;32(16):12363–79.
14. Blicke T, Thiele L. A comparison of selection schemes used in evolutionary algorithms. *Evolutionary Computation*. 1996 Dec;4(4):361–94.
15. Roberge V, Tarbouchi M, Labonté G. Comparison of parallel genetic algorithm and particle swarm optimization for real-time UAV path planning. *IEEE Transactions on industrial informatics*. 2012 May 10;9(1):132–41.
16. Vu VT. A comparison of particle swarm optimization and differential evolution. *International Journal on soft computing*. 2012 Aug 1;3(3):13.
17. Hegerty, B., Hung, C. C., & Kasprak, K. A comparative study on differential evolution and genetic algorithms for some combinatorial problems. In *Proceedings of 8th Mexican international conference on artificial intelligence*. 2009 Nov; (Vol. 9, p. 13).
18. Scheibenpflug A, Wagner S. An analysis of the intensification and diversification behavior of different operators for genetic algorithms. In *International Conference*

- on Computer Aided Systems Theory 2013 Feb 10 (pp. 364–371). Springer, Berlin, Heidelberg.
19. Lei L, Min X, Xiaokui L. Research on hybrid PSO algorithm with appended intensification and diversification. In Proceedings 2013 International Conference on Mechatronic Sciences, Electric Engineering and Computer (MEC) 2013 Dec 20 (pp. 2359–2363). IEEE.
20. Jain S, Kumar S, Sharma VK, Sharma H. Improved differential evolution algorithm. In 2017 international conference on infocom technologies and unmanned systems (Trends and Future Directions)(ICTUS) 2017 Dec 18 (pp. 627–632). IEEE.
21. Sekaj, I., & Perkacz, J. (2007, September). Some aspects of parallel genetic algorithms with population re-initialization. In 2007 IEEE Congress on Evolutionary Computation (pp. 1333–1338). IEEE.
22. Kennedy DD, Zhang H, Rangaiah GP, Bonilla–Petriciolet A. Particle swarm optimization with re-initialization strategies for continuous global optimization 2013.
23. Yun Y. Hybrid genetic algorithm with adaptive local search scheme. Computers & Industrial Engineering. 2006 Sep 1;51(1):128–41.
24. Chen J, Qin Z, Liu Y, Lu J. Particle swarm optimization with local search. In 2005 International Conference on Neural

- Networks and Brain 2005 Oct 13 (Vol. 1, pp. 481–484).
IEEE.
25. Laishram A, Padmanabhan V. Discovery of user–item subgroups via genetic algorithm for effective prediction of ratings in collaborative filtering. *Applied Intelligence*. 2019 Nov;49(11):3990–4006.
26. Cho H, Ravindran B, Jensen ED. An optimal real–time scheduling algorithm for multiprocessors. In 2006 27th IEEE International Real–Time Systems Symposium (RTSS'06) 2006 Dec 5 (pp. 101–110). IEEE.
27. Maier HR, Razavi S, Kapelan Z, Matott LS, Kasprzyk J, Tolson BA. Introductory overview: Optimization using evolutionary algorithms and other metaheuristics. *Environmental modelling & software*. 2019 Apr 1;114:195–213.
28. Youssef Mohammad Ntefeh, Mohammad Hijazieh. (2022). Development of Energy–Efficient Load Balancing Scheduling Algorithm in Real–time Systems. *مجلة العلوم الهندسية و تكنولوجيا المعلومات*, 6(4), 133–150.
<https://doi.:10.26389/AJSRP.C100222>

