

# مجلة جامعة البعث

سلسلة العلوم الهندسية الميكانيكية  
والكهربائية والمعلوماتية



مجلة علمية محكمة دورية

المجلد 44 . العدد 7

1443 هـ - 2022 م

الأستاذ الدكتور عبد الباسط الخطيب

رئيس جامعة البعث

المدير المسؤول عن المجلة

رئيس هيئة التحرير

أ. د. ناصر سعد الدين

رئيس التحرير

أ. د. درغام سلوم

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 : 963 31 2138071 ++

. موقع الإنترنت : [www.albaath-univ.edu.sy](http://www.albaath-univ.edu.sy)

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

ISSN: 1022-467X

قيمة العدد الواحد : 100 ل.س داخل القطر العربي السوري

25 دولاراً أمريكياً خارج القطر العربي السوري

قيمة الاشتراك السنوي : 1000 ل.س للعموم

500 ل.س لأعضاء الهيئة التدريسية والطلاب

250 دولاراً أمريكياً خارج القطر العربي السوري

توجه الطلبات الخاصة بالاشتراك في المجلة إلى العنوان المبين أعلاه.

يرسل المبلغ المطلوب من خارج القطر بالدولارات الأمريكية بموجب شيكات

باسم جامعة البعث.

تضاف نسبة 50% إذا كان الاشتراك أكثر من نسخة.

## 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 ( كتابية 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
34-11	م. رنيم أكرم عطيه د. حسام الوفاني	الحد من الضجيج في إشارة تخطيط القلب الكهربائية باستخدام خوارزميات الترشيح التكيفية
54- 35	د.علي أحمد عجيب ربيع السوقي ديانا الحسن	استخدام التعلم العميق في تدريب روبوت استقبال على كشف قناع الوجه للحد من انتشار فايروس كورونا
84-55	داني ابراهيم أحمد اسكندر كلودا ابراهيم	العاكس الجسري التسلسلي ثلاثي الطور متعدد المستويات لتحسين كفاءة تحويل الطاقة من مستمر إلى متناوب
100-85	د . حسان محمد احمد	خوارزمية البحث عن مسار نبذة الصوت في الإشارة الكلامية
126-101	عبد الهادي حاج أحمد أ.د. أسامة الخياط	التوزيع الأمثل للمكثفات في شبكات التوزيع الكهربائية بهدف تخفيض الضياعات اعتماداً على خوارزمية أمثلية عناصر السرب





## الحد من الضجيج في إشارة تخطيط القلب الكهربائية باستخدام خوارزميات الترشيح التكيفية

طالبة الماجستير : م. رنيم أكرم عطيه

كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية اختصاص: هندسة الكتروليات

المشرف : د. حسام الوفائي

### ملخص البحث:

مخطط كهربية القلب **Electrocardiogram (ECG)** هو إشارة تصف النشاط الكهربائي للقلب ، يعدّ تحليل مخطط كهربية القلب ضرورياً جداً لتشخيص مشاكل القلب. عادةً ما تتأثر إشارة ECG بأنواع مختلفة من الضجيج .

يقدم هذا البحث خوارزميات الترشيح التكيفية لإزالة الضجيج من مخطط كهربية القلب حيث تم استخدام الترشيح التكيفي لتقليل الضجيج من إشارات ECG المرغوبة باستخدام خوارزمية **Normalized Least Mean Square (NLMS)** و **Least Mean Square (LMS)** وتم استخدام برنامج Matlab لمحاكاة التقنيات المدروسة.

في هذا البحث تم إجراء دراسة لأداء خوارزميتي الترشيح التكيفية LMS و NLMS لإزالة الضجيج من إشارة مخطط كهربية القلب. وتحليل الأداء من حيث نسبة الإشارة إلى الضجيج ((SNR(db)) ومتوسط الخطأ التربيعي (MSE) وجذر متوسط الخطأ التربيعي (RMSE).

و تم التوصل لنتائج مشجعة في مجال تحسين إشارة ECG عن طريق استخدام خوارزميات الترشيح التكيفية .

الكلمات المفتاحية: الترشيح ، متكيف ، (LMS) Least Mean Square ،  
إشارة تخطيط القلب الكهربائبة. Matlab ، Normalized Least Mean square(NLMS)

# ***Reduction noise from electrocardiogram using adaptive filtering algorithms***

**Paper Research**

**Master's Student: Eng. Raneem Akram Attiah**

**Faculty of Mechanical and Electrical Engineering**

**Specialization: Electronics Engineering**

**Supervisor: Dr. Hossam Al-Wafa'i**

## ***Abstract***

Electrocardiogram (ECG) is a signal that describes the electrical activity of the heart. The ECG signal is usually affected by different types of noise.

This paper presents adaptive filtering algorithms to remove noise from the electrocardiogram, where adaptive filtering was used to reduce noise from the desired ECG signals using the Least Mean Square (LMS) and Normalized Least Mean square (NLMS) algorithm and Matlab software was used to simulate the studied techniques.

In this paper, a study was conducted to perform the adaptive filtering algorithms LMS and NLMS to remove noise from ECG signal. And analyze the performance in terms of SNR(db), mean square error (MSE), and root mean squared difference (RMSE).

Encouraging results have been reached in the field of improving the electrocardiogram signal by using adaptive filtering algorithms.

**Key words:** filtering, adaptive, (LMS) Least Mean Square, Normalized Least Mean square (NLMS), Matlab, ECG signal.

## 1- مقدمة :

مخطط كهربية القلب (ECG) هو إشارة تصف النشاط الكهربائي للقلب ، ويلعب مخطط كهربية القلب دوراً مهماً جداً في اعطاء معلومات عن القلب. وهنا يتم تحويل الإشارة إلى الأشكال الموجية الكهربانية، والتي يمكن عرضها على شاشات مثل راسم الذبذبات.

بشكل عام ، تتراوح إشارة ECG في نطاق 2 ميلي فولط [5] ويتراوح التردد من 0.05 إلى 100 هرتز.و نظراً لأن إشارة ECG اشارة ضعيفة ، وذات تردد منخفض لذا من السهل ان تتأثر بالضجيج، لذلك نحن بحاجة إلى الحد من هذا الضجيج للحصول على إشارة تخطيط القلب الدقيقة بشكل صحيح ودقيق، وذلك لتشخيص المرض بدقة. [12]

تم اعتماد عمليات ترشيح مختلفة لتقليل التشوهات الناتجة عن إشارة ECG المتأثرة بالضجيج ، وفي هذا البحث تم تناول إزالة الضجيج من إشارة ECG باستخدام خوارزميات الترشيح المتكيفة .

في البحث [1] تمت معالجة إشارة ECG باستخدام خوارزمية NLMS ، وتم إظهار دورها المهم في التطبيقات الطبية الحيوية.

في البحث [13] تم شرح تقنيات معالجة الإشارة الرقمية و الإضاءة على إشارة ECG ، و كيفية تصميم مرشح تكيفي .

في البحث [7] تم دراسة أنواع مصادر الضجيج الشائعة في إشارات ECG وتقنيات معالجة الإشارة البسيطة لإزالتها ؛ حيث تم إزالة تداخل خطوط الطاقة (ضوء 50 أو 60 هرتز من مصدر التيار الكهربائي) باستخدام مرشح شق بتردد قطع 50 أو

60 هرتز، والضجيج الناتج عن العضلات هو ضجيج عالي التردد يزيد عن 100 هرتز ، وبالتالي تمت إزالته بواسطة مرشح تمرير منخفض بتردد قطع مناسب، يمكن تخفيف حركة القطب الكهربائي عن طريق تقليل الحركات التي يقوم بها المريض.

## 2- هدف البحث:

وفقاً لأحدث الإحصاءات الصادرة عن منظمة الصحة العالمية ، تظل أمراض القلب والأوعية الدموية السبب الرئيسي المحدد للوفيات في أي منطقة من العالم .

يهدف البحث إلى إجراء دراسة للحد من الضجيج الذي يؤدي إلى تشوه ECG باستخدام خوارزميات الترشيح التكرارية ، و مقارنة أداء بعض هذه الخوارزميات ومحاكاة النتائج عن طريق برنامج MATLAB ، بالإضافة إلى تقديم نتائج تبيّن مدى التحسن في إشارة ECG بعد تطبيق هذه الخوارزميات .

## 3- أهمية البحث:

بعض مشاكل القلب الأكثر شيوعاً ، هي احتشاء عضلة القلب (النوبة القلبية) ، تسرع القلب البطيني ، الرجفان البطيني أو الرجفان الأذيني ؛ حيث يكون الاكتشاف المبكر لظهور الأعراض الأولى أمراً بالغ الأهمية ، مما يقلل بشكل كبير من معدل الوفيات ، أو العلاج الطبي المركز. وهذه أسباب كافية للنظر في إشارة ECG كإشارة ذات صلة، ويجب مراقبتها و قياسها بالشكل الأمثل ، وبأقل أخطاء ممكنة .[1]

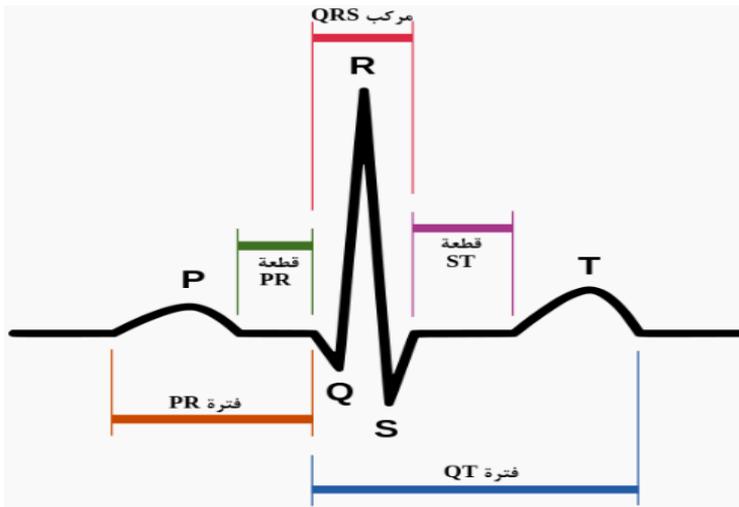
لذلك تكمن أهمية بحثنا في استنتاج إشارة ECG واضحة و خالية تقريباً من الأخطاء، التي من الممكن أن تؤدي إلى تشخيص خاطئ نتيجة وجود ضجيج و انحراف في إشارة ECG ؛ حيث تكون إشارة ECG هي الأساس في التشخيص الأولي الذي يعتمد عليه الطبيب .

#### 4- مواد وطرق البحث :

يبدأ البحث بإجراء دراسة عن إشارة ECG و البحث في مصادر الضجيج التي تؤدي إلى تشوه هذه الإشارة و دراسة خوارزميات الترشيح التكيفية ، بعد ذلك تمت المقارنة بين الخوارزميات من حيث ادائها في الحد من الضجيج في إشارة ECG . اعتمدنا في الدراسة العملية على برنامج MATLAB ، حيث تم التوصل لنتائج مهمة و واعدة في مجال الحد من الضجيج في إشارة ECG .

#### 5- إشارة تخطيط القلب الكهربائي (ECG):

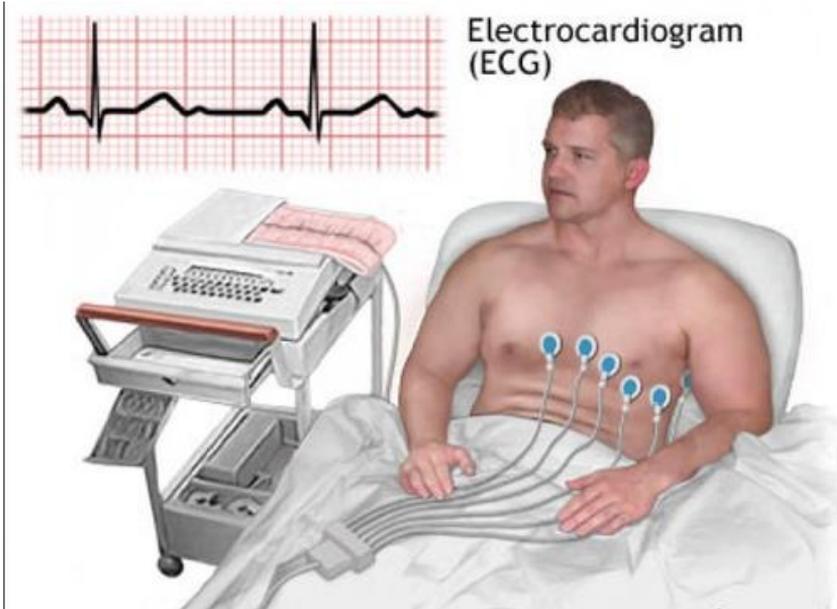
إشارة تخطيط القلب الكهربائي (ECG) هي إشارة تصف النشاط الكهربائي للقلب ، يتم إنشاؤها عن طريق الانقباض (إزالة الاستقطاب) والاسترخاء (عودة الاستقطاب) لعضلات القلب الأذينية والبطينية. تحتوي إشارة تخطيط القلب على موجة P (بسبب إزالة الاستقطاب الأذيني) ، ومركب QRS (بسبب عودة الاستقطاب الأذيني وإزالة الاستقطاب البطيني) وموجة T (بسبب عودة الاستقطاب البطيني). تظهر إشارة تخطيط القلب النموذجية في (الشكل 1). [6][7]



### الشكل (1) : إشارة تخطيط القلب الكهربائية ( ECG )

من أجل تسجيل إشارة ECG ، يتم وضع الأقطاب الكهربائية (محولات الطاقة) في مواضع محددة على جسم الإنسان ، يتم تسجيل البيانات ، إما على الورق أو على الشاشة كما في الشكل (2)، ثم يتم تحليل هذه البيانات من قبل الخبراء . مع كل نبضة قلب ، يتم إنتاج الاهتزازات عبر القلب وتميل العضلات إلى الانقباض واستخراج الدم من القلب .[2]

تتأثر إشارة ECG بالضجيج لأنها إشارة ذات تردد منخفض ويكون الضجيج على شكل إشارات غير مرغوب فيها يتم دمجها مع إشارة تخطيط القلب ، وفي بعض الأحيان تخلق عقبات أمام الأطباء من إجراء تشخيص حقيقي [11]. وبالتالي ، من الضروري إزالتها من إشارة ECG باستخدام طرائق معالجة الإشارة المناسبة ، وفي هذا البحث تم تناول إزالة الضوضاء من إشارة ECG باستخدام خوارزميات الترشيح المتكيفة .



## الشكل (2): طريقة تخطيط القلب وإظهار النتيجة على الورق الميللمتري

### 6- الضوضاء الطبية الحيوية Biomedical Noises:

توجد الضوضاء في جميع البيئات تقريباً ، ويمكن تعريفها على أنها إشارة غير مرغوب فيها تتداخل مع الإشارة المرغوبة. كما أنّ الضوضاء في حدّ ذاتها هي إشارة يمكن أن تتولد من عدّة مصادر ، وتأخذ توزيعات مختلفة من الطيف و إنّ الإشارات الكهربائبة الطبية الحيوية ، والتي هي نطاق هذا العمل ، ملوثة دائماً بنوع من الضوضاء . تتضمن إشارات التداخل التداخلات من مصادر الطاقة ، والتشوهات الحركية بسبب حركة المريض ، وتداخل التردد اللاسلكي ، والتداخلات من معدات المراقبة الأخرى ، وما إلى ذلك.[5]

فأثناء تسجيل مخطط كهربية القلب ، يتم إنشاء إشارات كهربائبة حيوية من خلايا أخرى ، مثل عضلات الهيكل العظمي التي يتم التقاطها بواسطة أقطاب تخطيط القلب ، مما يؤدي إلى تلوث إشارة تخطيط القلب الكهربائبة.[6]

يصبح قياس المخطط الكهربائي للقلب أمراً صعباً نظراً لوجود إزاحة كبيرة للتيار المستمر وإشارات التداخل المختلفة ؛ حيث يمكن أن تصل هذه الجهود إلى 300 مللي فولت للإلكتروود النموذجي ، وهو أكبر بعدة مرات من إشارة تخطيط القلب. لذلك يعدّ تقليل الضوضاء مهمّة ضرورية جداً لحلّ الإشارات الطبية الحيوية .[7]

### 6-1 مصادر الضجيج :

غالبًا ما تكون الضوضاء عاملاً مقيداً في أداء الأجهزة الطبية ، مما يؤدي إلى التباين في القياسات الطبية الحيوية و ترتبط إشارات ECG دائماً بضوضاء خلفية ،

كما أن مصادر الضوضاء كثيرة جداً لدرجة أن تقليل الضوضاء أصبح المهمة الأساسية لمعالجة الإشارات الطبية الحيوية. الضوضاء الأكثر شيوعاً التي يجب أخذها في الاعتبار هي: تداخل خط الطاقة ، التقلصات العضلية (EMG) ، الضوضاء الناتجة عن الأجهزة الإلكترونية ، و انحراف خط الأساس.[7]

### 2-6 Signal-to-Noise Ratio نسبة الإشارة إلى الضجيج :

نعتبر الإشارة والضجيج مصطلحين نسبيين ؛ حيث تكون الإشارة هي شكل الموجة محل الاهتمام بينما الضجيج هو كل إشارة أخرى تسبب تشوه في شكل الموجة المدروسة. كلاهما يقاس بسعة متوسط الجذر التربيعي Root-Mean-Square (RMS). وعادةً ما يتم تحديد نسبة الإشارة والضجيج الموجودة في شكل موجة بواسطة SNR ، وغالباً ما يتم التعبير عن SNR بالديسيبل (dB) :

$$SNR = 20 \log \frac{Signal}{Noise}$$

للتحويل من مقياس ديسيبل إلى مقياس خطي :

$$SNR_{linear} = 10^{\frac{dB}{20}}$$

❖ على سبيل المثال ، تعني النسبة 20 ديسيبل أن قيمة RMS للإشارة كانت

10 أضعاف قيمة RMS للضجيج ، لأن  $10 = 10^{20/20}$  [9].

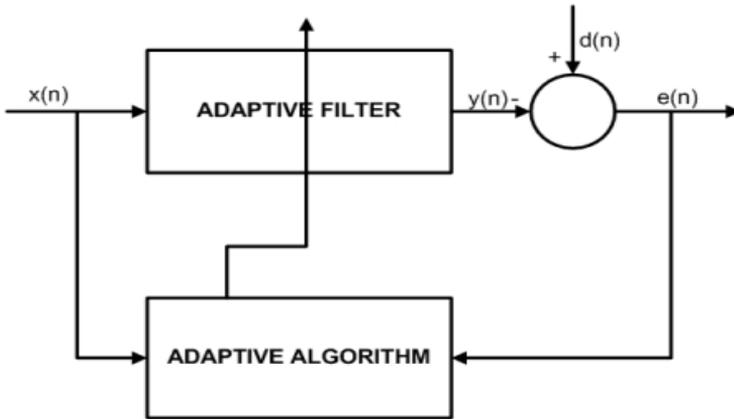
### 7- الخوارزمية التكيفية:

من الطرائق الأساسية لإلغاء الضجيج تحليل طيف الإشارة وقمع مكونات التردد غير المرغوب فيها. وتكمن المشكلة في أن الضجيج يمكن أن يتداخل مع الإشارة بأكملها

، وهذا التداخل يؤدي إلى فقدان إشارة مخطط كهربية القلب الخاصة بنا للمعلومات ، والتي بدورها توفر تشخيصاً غير صحيح في هذه الحالات تكون الطرق التقليدية لتقليل التشويش غير كافية وغير مفيدة .

لذلك و للتغلب على هذه الصعوبة ، يجب أن تؤخذ في الاعتبار الأساليب الجديدة القائمة على تقنيات معالجة الإشارات المتقدمة مثل معالجة الإشارات التكيفية. حيث يمكن أن تؤدي طرق معالجة الإشارات التكيفية الى ضبط معاملات الترشيح الخاصة بها بطريقة تحسن أدائها.[1]

يجد المرشح التكيفي تطبيقه ؛ حيث تكون الخصائص الثابتة غير معروفة أو لا يمكن تحقيقها بواسطة المرشحات الثابتة للوقت ، لذلك في هذا النوع من المواقع ، تعتبر المرشحات التكيفية هي الأفضل [10]، ويتم تعريف هذه المرشحات على أنها نظام ذاتي التصميم يعتمد على خوارزمية تكرارية لتشغيله كما هو مبين بالشكل (3). تسمح هذه الخوارزمية للمرشح بأداء دقة جيدة للإشارات حتى في حالة عدم توفر إحصاءات الإشارات المرغوبة.[11]



### الشكل (3) : الهيكل العام للمرشح التكيفي

من بين الخوارزميات التكيفية المختلفة التي درسناها خوارزمية LMS وخوارزمية NLMS.

#### **:Least Mean Square Algorithm 1-5(LMS)**

كانت إحدى الخوارزميات الأولى المستخدمة في معالجة الإشارات التكيفية هي Least Mean Square (LMS) التي طورها Widrow and Hoff في عام 1959. وتستخدم هذه الخوارزمية حالياً على نطاق واسع نظراً لقوتها وبساطتها. [4]

تُستخدم خوارزمية متوسط مربع الخطأ (LMS) في المرشحات التكيفية لإيجاد معاملات المرشح ، وتنتج أقل متوسط لمربع إشارة الخطأ ، وهي خوارزمية شائعة الاستخدام للترشيح التكيفي [8] . تتمثل السمات المهمة لخوارزمية LMS في البساطة والمتانة وإمكانيات التتبع الفعالة ، فيما يتعلق بالحمل الحسابي وسهولة التنفيذ. تعالج خوارزمية LMS معاملات المرشح وتولّد تغيّرات بكمية مكافئة للقيمة التقريبية الحالية لمتوسط الخطأ .

وتكون معادلة تحديث المعاملات لخوارزمية LMS بالشكل [4].

$$W(n + 1) = W(n) + \mu(n)e(n)x(n) \quad (1)$$

حيث  $x(n)$  هو ناقل الإشارة المرجعي لطول  $L$  في الوقت  $n$  ،  $\mu$  هو عامل التقارب للتحكم في السرعة التكيفية والاستقرار ، وهو ما يسمى بحجم الخطوة .  $w(n)$  هو متجه معامل المرشح الذي يتم تحديثه بشكل تكيفي لتقليل المتوسط التربيعي للخطأ.

يتم حساب الضوضاء المقدرة  $y(n)$  ، من المرشح التكيفي  $w(n)$  و  $e(n)$  هي إشارة

$$e(n) = d(n) - y(n) \quad \text{وتعطى بالشكل:} \quad (2)$$

حيث  $d(n)$  تمثل إشارة الإستجابة المرغوبة. [8][4]

يؤثر حجم الخطوة ،  $\mu$  ، على أداء خوارزمية LMS ، حيث يمكن أن يحقق حجم الخطوة الكبير ( $\mu = 0.01$ ) سرعة تقارب أسرع ، ولكنه يزيد أيضاً من التشويه في الإشارة . من ناحية أخرى ، يوفر حجم خطوة صغير ( $\mu = 0.0001$ ) تشويهاً ضئيلاً ، ولكن بتقارب بطيء للغاية لتتبع ضوضاء الحركة السريعة ، وبالتالي يجب أن يكون هناك مفاضلة في اختيار حجم خطوة مناسب وفقاً لمستوى الضوضاء عبر الوقت. [1]

### 2-5 Normalized Least Mean Square (NLMS) :

تم تقديم خوارزمية (NLMS) المعيارية مع تعديل حجم الخطوة المتغير لتحسين سرعة التقارب والأداء الجيد الثابت المحدد ، في البداية يتم اختيار حجم خطوة معين ويتم تسويته باستخدام المعادلة التالية. [3].

$$\mu(n) = \frac{\mu}{\|x(n)\|^2} \quad (3)$$

وتكون معادلة تحديث المعاملات لخوارزمية NLMS بالشكل. [4].

$$W(n+1) = W(n) + \mu(n)e(n)x(n) \quad (4)$$

الاختلاف الوحيد بين NLMS و LMS هو حجم الخطوة. تزداد سرعة التقارب في NLMS على حساب زيادة التعقيد الحسابي ولكن تعطي أداء أفضل عند حجم خطوة صغير وتزداد بذلك نسبة الإشارة إلى الضجيج. [1]

### 8- الدراسة العملية :

يعتبر برنامج (MATLAB(Matrix-Laboratory) هو البرنامج الرائد في التطبيقات الهندسية والرياضية وهو من إنتاج شركة Mathworks ؛ MATLAB يسمح بالتلاعب حسابياً بالمصفوفات، بالرسم البياني للتوابع الرياضية، بتنفيذ الخوارزميات المختلفة، إنشاء واجهات المستخدم الرسومية، والتواصل مع البرامج المكتوبة بلغات أخرى، بما في ذلك C ، C++ ، java . يستخدم البرنامج مع العديد من التطبيقات والأدوات المساعدة الأخرى مثل (Simulink) .

تم الاستعانة ببرنامج MATLAB في هذا البحث لدراسة أداء خوارزميات الترشيح التكيفية في الحد من الضجيج في إشارة تخطيط القلب الكهربائية ، وسنعرض نتائج المحاكاة في الجداول و المخططات التالية .

يتم أخذ إشارة ECG الحقيقية ذات 31 نبضة من قاعدة بيانات MIT-BIHarrhythmia التي يبلغ عدد عيناتها 4000 عينة وسعة 1 مللي فولت [14]، يتم إنشاء الضجيج باستخدام وظيفة randn في MATLAB .

في المحاكاة ، تكون d هي الإشارة المرغوبة المرجعية و N هي إشارة الضجيج و x هي عبارة عن إضافة إشارة الضجيج إلى الإشارة المرغوبة أي  $x = d + N$  .  
تمت الدراسة العملية و عملية المقارنة بالاعتماد على البارامترات التالية :

• **Signal-to-Noise Ratio (SNR)** تمت دراسته و شرح كيفية حسابه في الفقرة 2-6 .

• **(MSE) Mean-Square- Error** : هو متوسط الخطأ التربيعي ويتم استخدامه لتقييم جودة المعلومات المحفوظة في إشارة ECG بعد اجراء عملية

$$MSE = \frac{1}{M} \sum_{m=0}^{M-1} [x(m) - y(m)]^2 \quad (5) \quad \text{الترشيح ويتم حسابه بالشكل}$$

• **Root- Mean-Square- Error (RMSE)** : وهو جذر متوسط الخطأ

$$RMSE = \sqrt{MSE} \quad (6) \quad \text{التربيعي يتم حسابه كالتالي:}$$

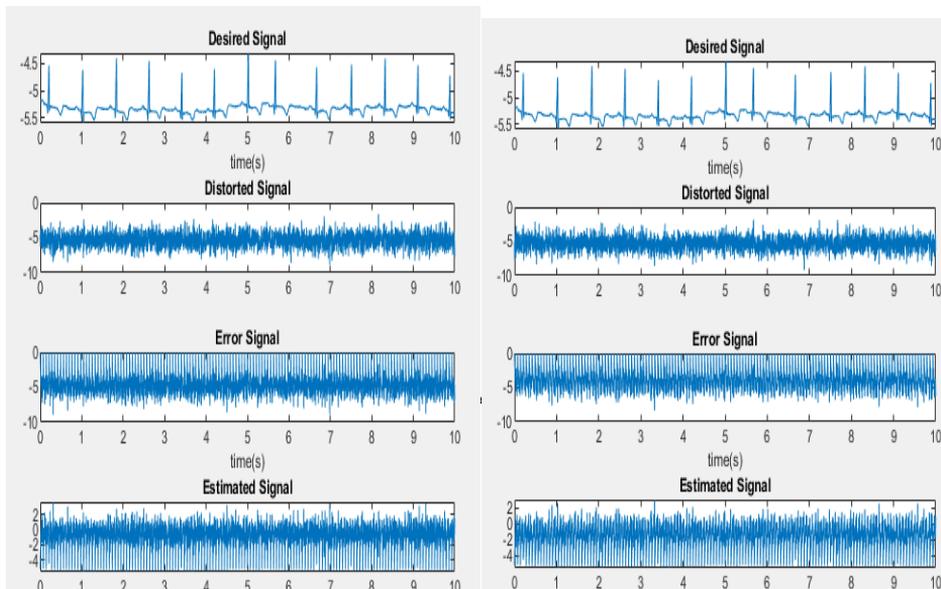
تتم إزالة الضوضاء باستخدام مرشحين متكيفين يعتمدان على خوارزمية LMS و NLMS .  
وتتم محاكاة الخوارزميات بالمواصفات التالية المبينة بالجدول أدناه .

**1-8** أولاً: قمنا بتثبيت طول المرشح على القيمة  $L=25$  و غيرنا بقيمة حجم الخطوة فكانت النتائج بالجدول (1):

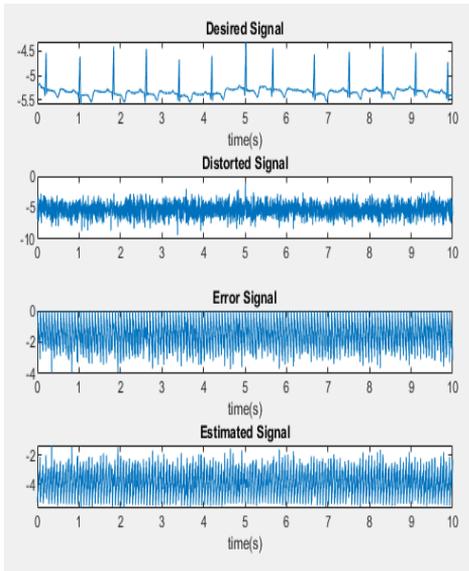
**جدول (1)**

L	$\mu$	LMS			NLMS		
		MSE	RMSE	SNR(dB)	MSE	RMSE	SNR(dB)
25	0.01	20.92	4.57	-4.42	0.52	0.72	8.44
25	0.005	16.72	4.08	-3.99	0.14	0.37	13.96
25	0.001	1.97	1.42	2.88	0.006	0.07	27.52
25	0.0001	0.04	0.2	18.97	0.04	0.007	47.67

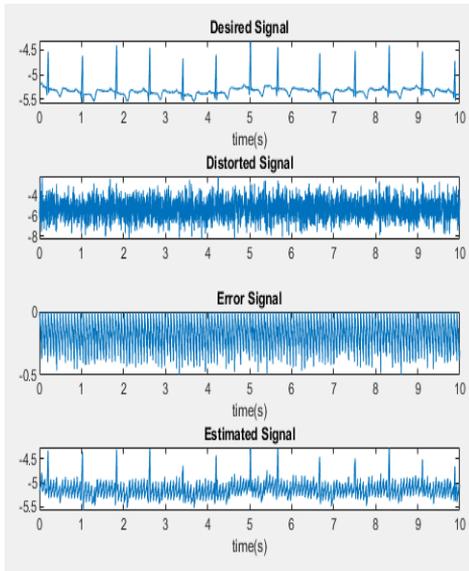
المخطط (1) محاكاة للنتائج المذكورة في الجدول للخوارزمية LMS :



$L=25$        $\mu=0.01$



$L=25$        $\mu=0.005$

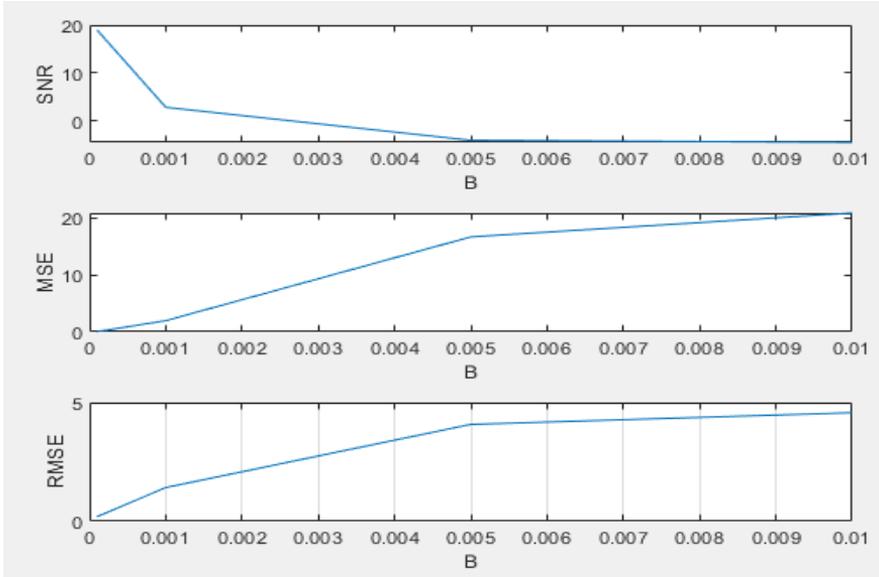


$L=25$        $\mu=0.0001$

$L=25$        $\mu=0.001$

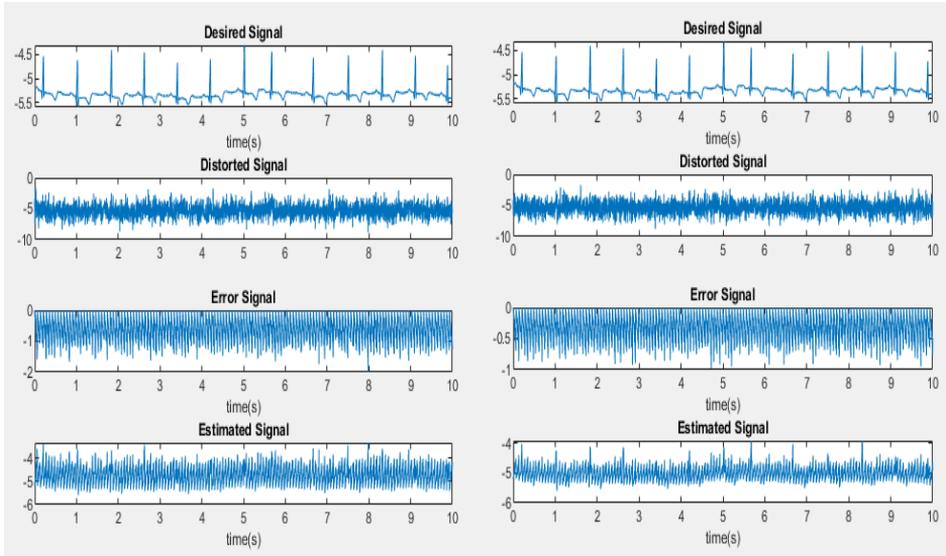
المخطط (1)

يوضح الشكل (4) الرسم البياني لنتائج خوارزمية LMS في الجدول (1) :



الشكل (4) : الرسم البياني لنتائج خوارزمية LMS

المخطط (2) محاكاة للنتائج المذكورة في الجدول للخوارزمية NLMS :

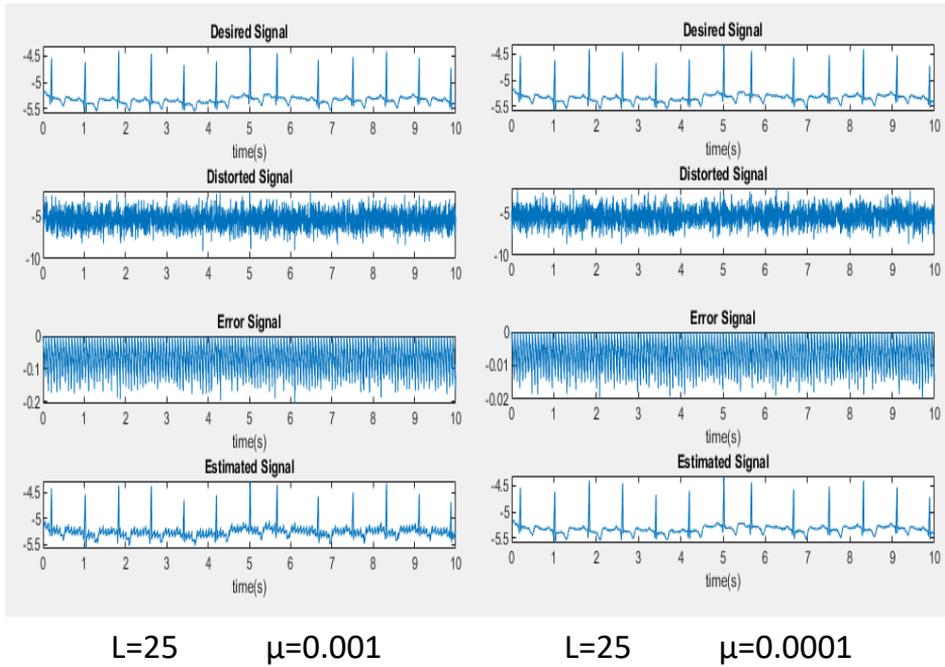


$L=25$

$\mu=0.01$

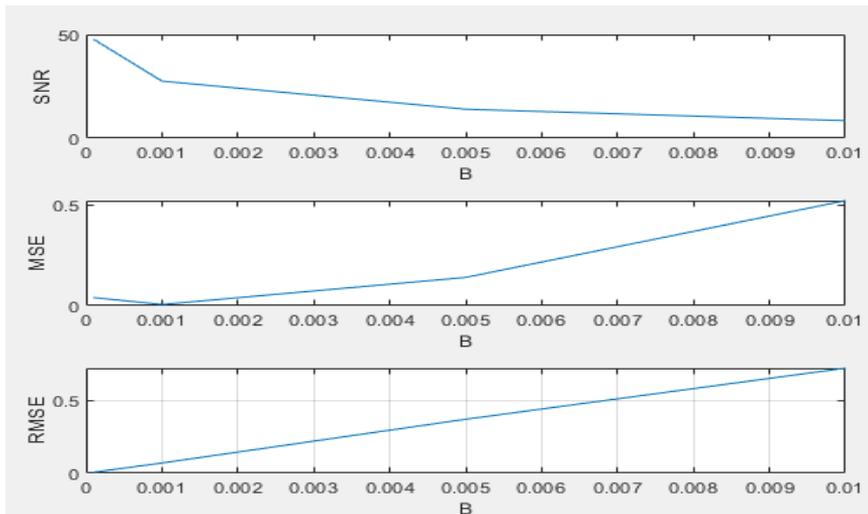
$L=25$

$\mu=0.005$



## المخطط (2)

يوضح الشكل (5) الرسم البياني لنتائج خوارزمية NLMS في الجدول (1):



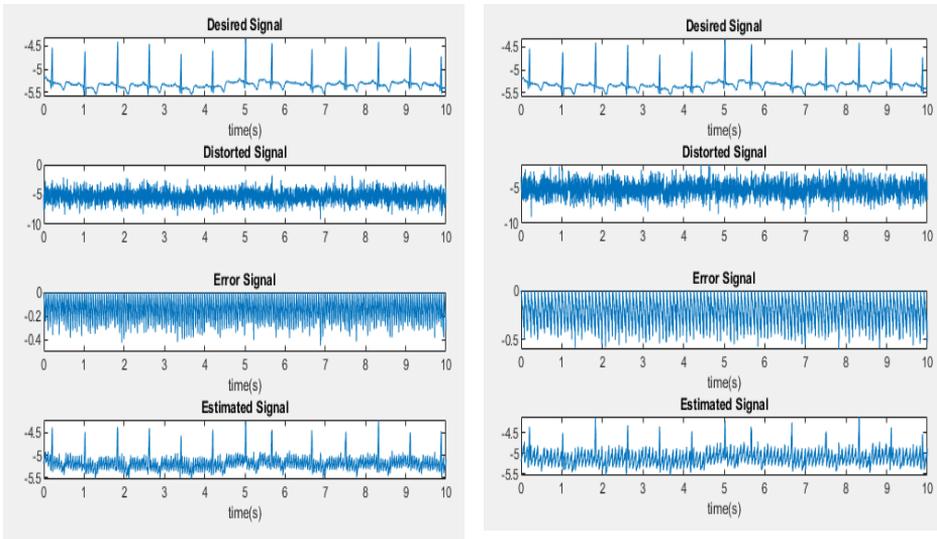
الشكل (5) : الرسم البياني لنتائج خوارزمية NLMS

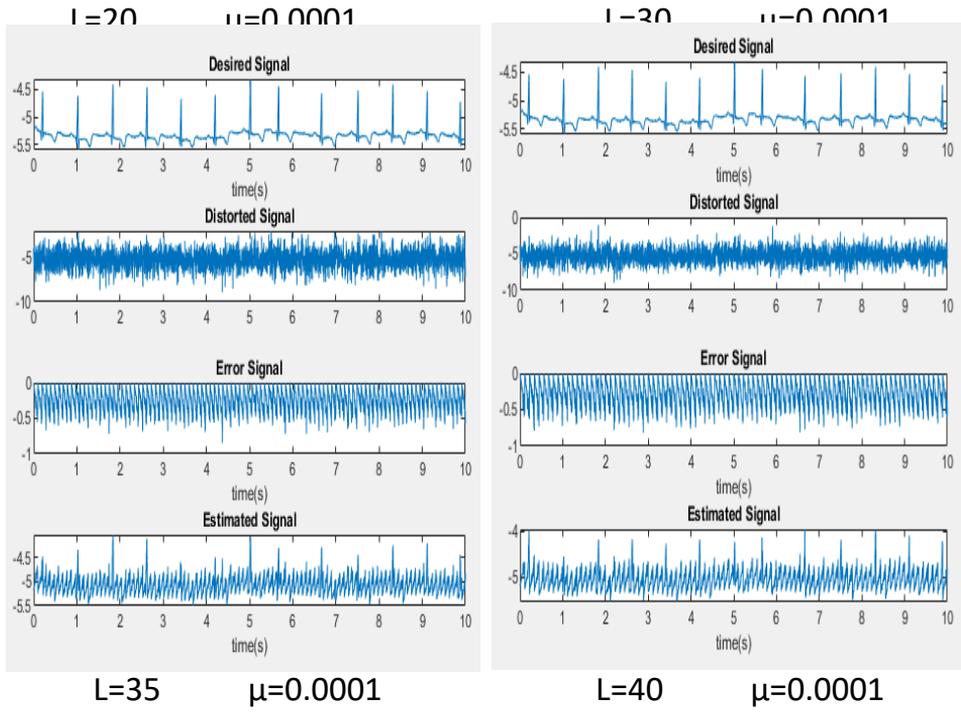
2-8 ثانياً: قمنا بتثبيت حجم الخطوة على القيمة  $\mu = 0.0001$  و غيرنا بطول المرشح فكانت النتائج بالشكل التالي:

L	$\mu$	LMS			NLMS		
		MSE	RMSE	SNR(dB)	MSE	RMSE	SNR(dB)
20	0.0001	0.02	0.16	20.70	0.02	0.006	49.37
30	0.0001	0.04	0.20	19.07	0.06	0.009	46.09
35	0.0001	0.08	0.29	16.28	0.02	0.011	44.69
40	0.0001	0.11	0.33	14.80	0.03	0.012	43.15

الجدول (2)

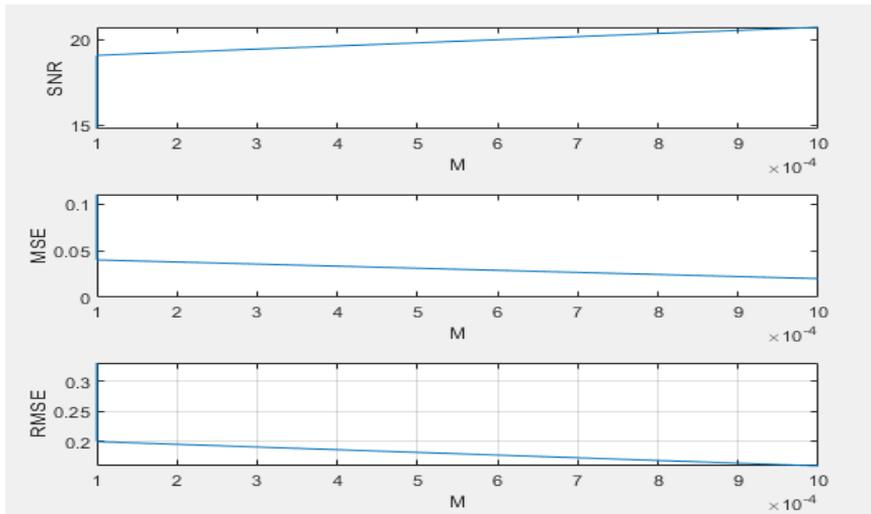
المخطط (3) محاكاة للنتائج المذكورة في الجدول (2) للخوارزمية LMS :





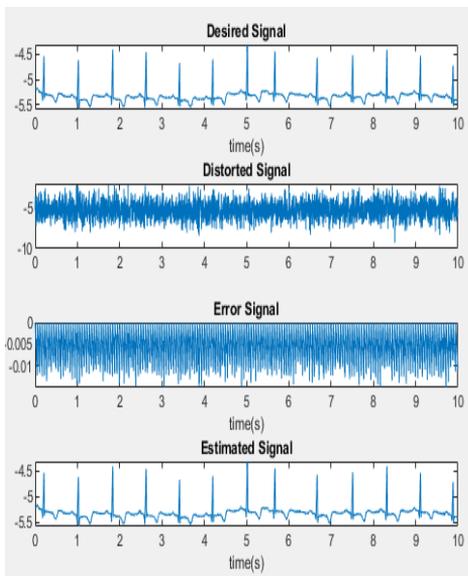
### المخطط (3)

يوضح الشكل (6) الرسم البياني لنتائج خوارزمية LMS في الجدول (2):

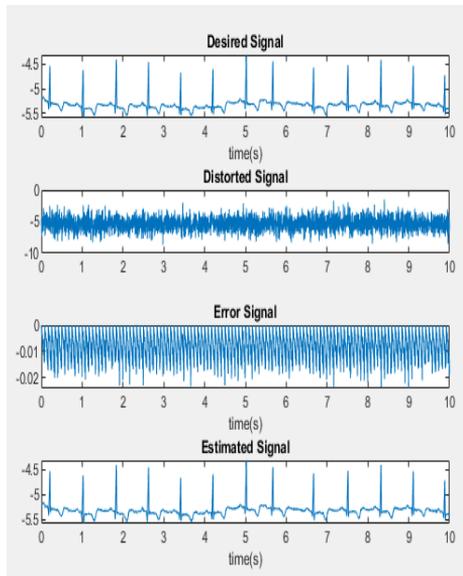


الشكل(6): الرسم البياني لنتائج خوارزمية LMS

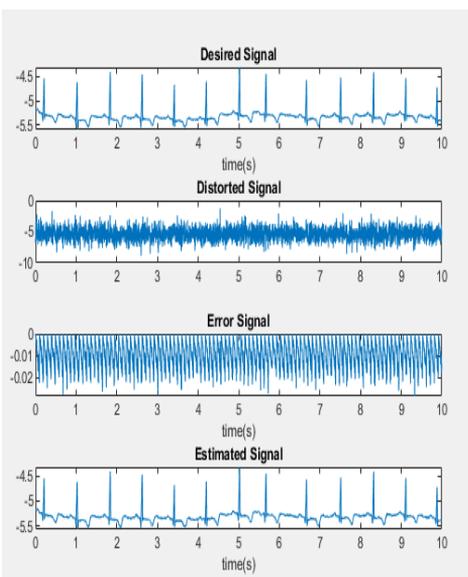
المخطط (4) محاكاة للنتائج المذكورة في الجدول (2) للخوارزمية NLMS :



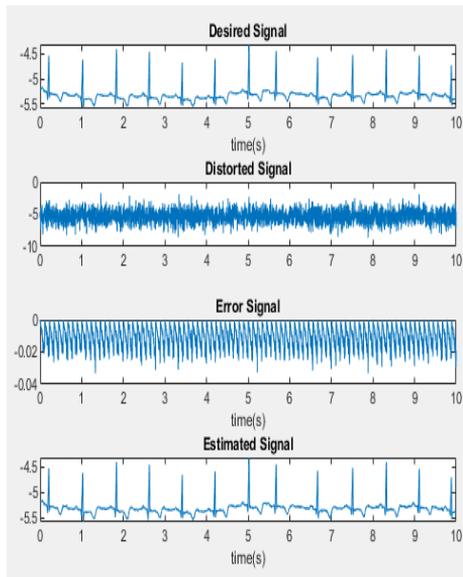
$L=20$        $\mu=0.0001$



$L=30$        $\mu=0.0001$



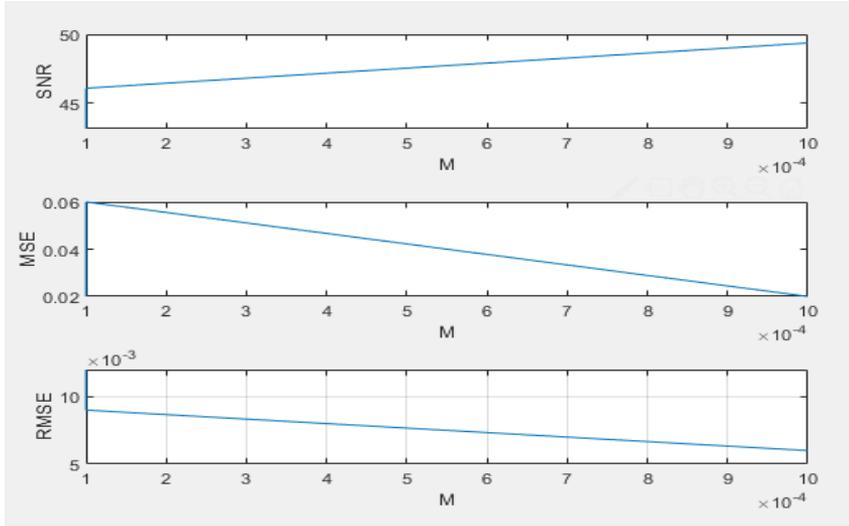
$L=35$        $\mu=0.0001$



$L=40$        $\mu=0.0001$

المخطط (4)

يوضح الشكل (7) الرسم البياني لنتائج خوارزمية NLMS في الجدول (2):



الشكل (7): الرسم البياني لنتائج خوارزمية NLMS

## 9- النتائج و المناقشة:

تصور المحاكاة السابقة تحليل أداء المرشحات التكيفية المختلفة بقيمة مختلفة لحجم الخطوة و طول المرشح و الهدف الأساسي من هذا التحليل هو التحقق من قدرة الخوارزميات على إلغاء الخطأ حيث تعتمد إمكانية إلغاء الخطأ هذه على طول المرشح وحجم الخطوة.

توضح هذه النتائج أن خوارزمية LMS لها تقارب بطيء ولكنها سهلة التنفيذ وتعطي نتائج جيدة إذا تم اختيار حجم الخطوة بشكل صحيح ومناسب للبيئة الثابتة، وإن خوارزمية NLMS هي الأفضل عند اختيار حجم خطوة أصغر وبالتالي تقارب أسرع و نسبة SNR أكبر .

بالنسبة لترتيب مرشح أقل ( $20 >$ ) ، أثبتت الخوارزميات المدروسة أنها تعطي أقل MSE وأقل RMSE وأعلى نسبة SNR، ولكن مع زيادة ترتيب المرشح ( $20 <$ ) أظهرت النتائج عكس ذلك ، لذلك نحتاج إلى أخذ ذلك في عين الاعتبار عند استخدام هذه الخوارزميات لتطبيق معين.

وبشكل عام نلاحظ من النتائج السابقة تفوق في أداء المرشحات القائمة على خوارزمية NLMS عن المرشحات القائمة على خوارزمية LMS ... لذلك يمكن استخدام تقنية إلغاء الضوضاء التكيفية القائمة على NLMS في جميع التطبيقات العملية.

#### 10- الاستنتاجات و التوصيات :

في هذا العمل تم تقييم أداء المرشح التكيفي القائم على خوارزميتي LMS و NLMS لإزالة الضجيج من إشارة ECG. وتم تنفيذ العملية ،أي أنه تم الحد من ضجيج إشارة ECG مع معاملات مختلفة قدر الإمكان.

يمكن تحسين هذه العملية بتقليل المتطلبات الحسابية إذا تمت عملية تحقيق أوزان فروع المرشح Wiener في كتل بدلاً من كل عينة. سيتأثر الأداء ، ولكن قد يكون هذا حلاً احترافياً لأنظمة الأجهزة الحسابية ذات الأداء المنخفض.

سيكون من المهم أيضاً تطوير خوارزمية لضبط حجم الخطوة ديناميكياً ، والتي قد تكون مفيدة لتكييف الخوارزمية مع مصادر الضوضاء المختلفة.

References:

المراجع

- 1- Ms. Chhavi Saxena, Mr. Vivek Upadhyaya, Dr. Hemant Kumar Gupta, Dr. Avinash Sharma- 2018 - **Analysis for Denoising of ECG Signals Using NLMS Adaptive Filters** - Jaipur, Rajasthan, India.
- 2- Markus Huoglinger- November 2016- **ECG Preprocessing**- Bachelor's Thesis, Austria.
- 3- Adyasha Sahu Prasanta-Kumar Parida-2019- **NOISE REDUCTION FROM ELECTROCARDIOGRAM SIGNAL USING SIGNAL PROCESSING TECHNIQUES** Burla, Odisha, India
- 4- Sadaf Khan, Syed Muhammad Anwar, Waseem Abbas, Rizwan Qureshi-2016- **A NOVEL ADAPTIVE ALGORITHM FOR REMOVAL OF POWER LINE INTERFERENCE FROM ECG SIGNAL**- Pakistan.
- 5- Krishna Kant Singh- Mohamed Elhoseny- Akansha Singh Ahmed A. Elngar-2021- **Machine Learning and the Internet of Medical Things in Healthcare**- Academic Press.
- 6- Chengyu Liu • Jianqing Li-2020- **Feature Engineering and Computational Intelligence in ECG Monitoring**- Nanjing, China.
- 7- Rahul Kher-2019- **Signal Processing Techniques for Removing Noise from ECG Signals**- Gujarat, India.
- 8- Anissa Khiter-2021- **Filtering of Electrocardiogram (ECG) signals**- People's Democratic Republic of Algeria.
- 9- Zia-ul-Haque, Rizwan Qureshi, Mehmood Nawaz, Faheem Yar Khuhawar, Nazish Tunio, Muhammad Uzair-2019- **Analysis of**

**ECG Signal Processing and Filtering Algorithms-** (IJACSA) International Journal of Advanced Computer Science and Applications.

10-Rizwan Qureshi ,Syed Ali Raza Rizvi, Sayed Haider Abbas Musavi, Sadaf Khan, Khurram Khurshid-2017- **Performance Analysis of Adaptive Algorithms for removal of Low Frequency Noise from ECG Signal-** Pakistan.

11-Nitika Sharma and Jaspinder Singh Sidhu-2016-**Removal of Noise From ECG Signal Using Adaptive Filtering.** Punjab, India.

12- Ms. Geeta Kadam, Prof.P.C.Bhaskar,2012-**REDUCTION OF POWER LINE INTERFERENCE IN ECG SIGNAL USING FIR FILTER,** India.

13- K. Deergha Rao M. N. S. Swamy -2018-**Digital Signal Processing.** Theory and Practice- Canada.

14- <https://archive.physionet.org/cgi-bin/atm/ATM> .

## استخدام التعليم العميق في تدريب روبوت استقبال على كشف قناع الوجه للحد من انتشار فايروس كورونا

\* أم.د.م. علي أحمد عجيب  
\*\* م. ربيع محمود السوقى  
\*\*\* م. ديانا حسين الحسن

### المخلص

يعتبر الذكاء الصناعي من أكثر المجالات التي جذبت انتباه الباحثين في هذا العصر، نظراً لأهميته في تقليد العقل البشري في حل المسائل المعقدة، كما تعتبر تطبيقات الذكاء الصناعي في الروبوتات مهمة جداً في تطوير أدائها. تم في هذا البحث تقديم دراسة حول تصميم وتنفيذ نظام لتعليم الروبوت باستخدام الذكاء الصناعي، كما نفذت الدراسة على الروبوت (HBE-RoboCAR) مع إضافة تعديلات مقترحة للروبوت لجعله يتعلم وفق خوارزميات الذكاء الصناعي شملت الدراسة مكونات الروبوت التفصيلية وإضافة Raspberry PI الذي يمثل العقل القادر على معالجة خوارزميات الذكاء الصناعي (التعليم العميق)، نفذت خوارزمية الذكاء الصناعي بالاعتماد على شبكة التعليم العميق (CNN) لتمييز الأشخاص الذين يرتدون قناع، وتم الاعتماد على مصنف (HAAR cascade) لتحديد الوجوه، حيث تم تنفيذ برنامج لتمييز الأشخاص الذين يرتدون قناع عن الأشخاص الذين لا يرتدونه، فكان الروبوت بمثابة مستقبل للزوار. أجريت مجموعة من التجارب على الروبوت المقترح، حيث تم استخدام 60% من قاعدة بيانات عالمية في مرحلة التدريب (بناء النموذج)، وتم الحصول على دقة 90% للتدريب.

**كلمات مفتاحية:** الذكاء الصناعي، التعليم العميق، Raspberry PI، الروبوت (HBE –RoboCAR).

\*أستاذ مساعد دكتور في كلية الهندسة المعلوماتية في أكاديمية الأسد للهندسة العسكرية.

\*\* مهندس في كلية الهندسة المعلوماتية في أكاديمية الأسد للهندسة العسكرية.

\*\*\*مهندس معيد في كلية الهندسة المعلوماتية في أكاديمية الأسد للهندسة العسكرية.

# Using deep learning to train a reception robot to detect a face mask to limit the spread of the Corona virus

\*Ali Ahmed Ajeeb

\*\*Rabee Mahmoud Al-Soki

\*\*\*Diana Hussein Al-Hassan

## Abstract

Artificial intelligence is one of the areas that has attracted the attention of researchers in this era, given its importance in imitating the human mind in solving complex problems, and the applications of artificial intelligence in robots are very important in developing its performance.

In this research, a study was presented on the design and implementation of a system for teaching robots using artificial intelligence. The study was also carried out on the robot (HBE-RoboCAR) with the addition of proposed modifications to the robot to make it learn according to artificial intelligence algorithms. The study included the detailed components of the robot and the addition of Raspberry PI, which represents the mind capable of Processing artificial intelligence algorithms (deep learning), an artificial intelligence algorithm was implemented based on the deep learning network (CNN) to distinguish people who wear a mask, and a classifier (HAAR cascade) was relied on to identify faces, where a program was implemented to distinguish people who wear a mask from people who not wearing it, the robot was a future for visitors. A set of experiments was conducted on the proposed robot, where 60% of a global database was used in the training phase (model building), and 90% accuracy was obtained for training.

**Keywords:** artificial intelligence, deep learning, Raspberry PI, robot (HBE - RoboCAR).

\*Assistant Professor, Informatics College, AL-Assad Academy, For Military Engineering

\*\*Engineer, Informatics College, AL-Assad Academy, For Military Engineering

\*\*\*Engineer, Informatics College, AL-Assad Academy, For Military Engineering

## 1- مقدمة (Introduction):

يعتبر الذكاء الصناعي حجر الأساس للعصر الحديث، حيث تقوم أغلب الشركات بإجراء العديد من الاختبارات من أجل تطوير أنظمة الذكاء الصناعي، وتقوم الكثير من الشركات حالياً بالاعتماد على أنظمة الذكاء الصناعي لتطوير نظامها التجاري والصناعي والتواصل مع العملاء لحل مشاكلهم [1].

تم استخدام الذكاء الصناعي في الروبوت لمحاكاة الذكاء البشري في أداء الوظائف والمهام المتعددة، وقد استطاعت العديد من الشركات الحصول على نماذج تستطيع التحدث مع البشر بشكل طبيعي وأداء مهام البشر المختلفة وتحليل الصور والمعلومات. يقدم هذا النوع من الذكاء الكثير من الميزات حيث يستطيع الروبوت أن يؤدي وظيفة طوال اليوم وعلى مدار الأسبوع دون أن يشعر بالملل أو الإرهاق أو يأخذ وقتاً للراحة، وكذلك يؤدي الوظيفة المطلوبة منه وفقاً للمعايير المدخلة له سابقاً بشكل دقيق ودون أي خلل طول فترة عمله [2].

هناك العديد من الدراسات التي قدمت في مجال استخدام الذكاء الصناعي والروبوت ومنها:

قدم الباحث (Tai Lei) في عام (2016) بحثاً بعنوان (استراتيجية الاستكشاف للروبوت المعتمدة على شبكة التعليم Q-Network)، حيث يقدم هذا البحث آلية لاستخدام التعلم المعزز كطريقة لاستكشاف بيئة ممر من خلال المعلومات المقدمة من حساس RGB-D، حيث يتم التحكم بالروبوت لتجنب العقبات من خلال التدريب المسبق، وقد تم الحصول على نتائج جيدة لأداء الروبوت [3].

قدم الباحثون (Zetao Chen, Adam Jacobson, et al) في عام (2017) بحثاً بعنوان (مميزات التعلم العميق في نطاق التعرف البصري على المكان). تم في هذا البحث الاعتماد على الشبكة العصبية التلافيفية للتعرف على مكان محدد، كما تم العمل على تطوير مجموعة بيانات ضخمة خاصة بالمواضع (SPED) مع مئات الأمثلة التي تعتمد على تغيير مظهر المكان. بعد تدريب الشبكة بشكل شامل على العديد من مجموعات

## استخدام التعليم العميق في تدريب روبوت استقبال على كشف قناع الوجه للحد من انتشار فيروس كورونا

بيانات التعرف على الأماكن المعيارية الصعبة ثبت أنها تحقق كمتوسط زيادة بنسبة 10% في الأداء مقارنة بخوارزميات التعرف الأخرى [4].

قدم الباحث (ماهر خلف حسين وآخرون) في عام (2017) بحثاً بعنوان (تصميم وتحليل أسلوب جديد لتمييز الوجوه باستخدام تقنية الشبكات العصبونية وبالاعتماد على شبكة ايلمان). في هذا البحث تم اقتراح نظام لتمييز الوجوه، يستخدم هذا النظام خوارزمية تحليل المركبات الأساسية في استخلاص الميزات المهمة من صور الوجوه في قاعدة البيانات، ويستخدم الشبكة العصبونية من نوع ايلمان في عملية التمييز، حيث تم اختبار الأسلوب المقترح بعد بناءه باستخدام الحزمة البرمجية ماتلاب وأعطت نتائج دقة 90% [5].

قدمت الباحثة شغاف عبدالله في عام (2019) رسالة بعنوان (الكشف عن العربات من صور جوية باستخدام خوارزميات التعلم العميق وتنفيذ روبوت متحرك). تمحور هذا البحث حول استخدام طرق التعلم العميق من أجل كشف الأهداف في الصور الجوية، تم التركيز في هذا البحث على خوارزمية (YOLOv3) للتعلم العميق، حيث تم اقتراح بنية تساعد على كشف الأجسام من الصور الجوية بتطوير هذه الخوارزمية وأعطت نتائج تحسين بنسبة 95% [6].

قدم الباحثان (Chakarova and Traber) في عام (2019) دراسة بعنوان (أنا الروبوت، وجدت لمساعدتك يا أمين المكتبة). تمحور هذا البحث على أهمية الروبوتات بالنسبة لأمناء المكتبات، وقد أجرى فيها الباحثان دراسة استطلاعية على عدد من المكتبات الجامعية في تسع دول أوروبية، وتسع دول آسيوية. توصلت الدراسة إلى جملة من النتائج أهمها أن الروبوت يؤدي خدمات جليلة للمكتبات بعضها بسيط والآخر أكثر تعقيداً [7].

قدم الباحثون (Sorin Grigorescu, Bogdan Trasnea, et al) في عام (2019) دراسة حول (استخدام تقنيات التعلم العميق للقيادة الذاتية) بهدف الاطلاع على أحدث ما توصلت إليه تقنيات التعلم العميق المستخدمة في القيادة الذاتية. تعتمد هذه الدراسة على

الشبكات العصبية التلافيفية والمتكررة، بالإضافة إلى نموذج التعلم المعزز العميق، تساعد المقارنة المقدمة في هذا الاستطلاع في الحصول على نظرة ثاقبة لنقاط القوة والقيود في التعلم العميق، وأساليب الذكاء الصناعي للقيادة الذاتية والمساعدة في خيارات التصميم [8].

قدم الباحثان (Adlamani Ravi and Richard Alan) في عام (2019) دراسة حول (التعلم العميق مع التركيز بشكل خاص على البنى والتطبيقات والاتجاهات الحديثة)، حيث قدما في هذه الدراسة لمحة عامة عن بعض الشبكات العصبونية متعددة الطبقات، وهيكلية الشبكة العصبونية العميقة، وكيفية استخدام الشبكات العصبونية، وأسلوب التعلم العميق لاكتشاف الأخطاء وتقليل الخطأ لاحقاً. تعتبر هذه الدراسة مرجع مفيد للباحثين الذين يسعون إلى استخدام التعلم العميق في التعرف على الأنماط الإحصائية من أجل أفضل أداء [9].

قدم الباحثون (Osama Mazhar, Benjamin Navarro, et al) في عام 2020 رسالة بعنوان ( إطار التفاعل بين الإنسان والروبوت في الوقت الفعلي مع اكتشاف لإيماءات اليد الثابتة)، حيث يعمل هذا البحث على تصميم إطار عمل موثوق للتعاون الآمن في الزمن الحقيقي بين الإنسان والروبوت باستخدام إيماءات اليد الثابتة واستخراج الهيكل العظمي ثلاثي الأبعاد، كما تم تسجيل مجموعة بيانات للصور لإيماءات اليد الثابتة بالأبجدية الرقمية مأخوذة من لغة الإشارة الأمريكية. بنيت الشبكة العصبية التلافيفية ودربت على اكتشاف إيماءات اليد، وفي النتيجة تم الحصول على دقة بنسبة 98.9% [10].

قدم الباحثون (Rabab Benotsmane, L. Dudás, et al) في عام 2020 رسالة بعنوان (دراسة حول خوارزميات الذكاء الصناعي المستخدمة في الروبوتات الصناعية)، تقدم هذه المقالة نظرة عامة عن خوارزميات الذكاء الصناعي المستخدمة في الروبوتات الصناعية،

## استخدام التعليم العميق في تدريب روبوت استقبال على كشف قناع الوجه للحد من انتشار فيروس كورونا

وقد تم توضيح خوارزميات التعلم الآلي، وعرض أهم خوارزميات الذكاء الصناعي المستخدمة لتحسين مسار الأسلحة الآلية [11].

قدم الباحثون (Barbosa Pinto, Tiago Alexandre, et al) في عام 2020 رسالة بعنوان (الكشف عن الأشياء بالرؤية الصناعية والشبكات العصبونية لروبوتات الخدمة). تم الاعتماد في هذا البحث على التعلم العميق لتنفيذ أنظمة يمكنها التعلم من البيانات المقدمة دون الحاجة إلى ترميزها، وذلك لتقليل التعقيد واستهلاك الوقت والاعتماد على الشبكة العصبية التلافيفية CNN للتعرف على الأنماط والحواف من بيانات الصورة. تم في نهاية هذا البحث تقديم نموذج جيد يسمح بالكشف عن الأشياء في الزمن الحقيقي [12].

قدم الباحثان (Ming Xiao and Nanfeng Xiao) في عام (2020) رساله بعنوان (الشبكة العصبية التلافيفية المحسنة للتعرف على الكائنات معتمدة على الانسان الآلي)، حيث تم في هذا البحث اقتراح الخوارزمية المثلى باستخدام الشبكة العصبية التلافيفية، والتي تم استخدامها لاكتشاف وتصنيف الكائنات بواسطة الروبوتات، واستخدمت الشبكة المحسنة (Faster R-CNN)، وتم الحصول على أداء جيد نسبياً [13].

### 2- أهداف البحث:

الهدف الأساسي من هذا البحث هو:

- ❖ تصميم وتنفيذ نظام لتعليم الروبوتات باستخدام الذكاء الصناعي، حيث يعمل الروبوت كموظف استقبال ينفذ ما يلي:
- اكتشاف الوجوه في الصور.
- تمييز الأشخاص الذين يرتدون قناع عن الأشخاص الذين لا يرتدون قناع.
- مرافقة الشخص الذي يرتدي قناع إلى القاعة، وتشغيل جهاز إنذار في حال عدم ارتداء القناع.

### 3- التعلم العميق (Deep Learning)

هو أحد فروع تعلم الآلة (Machine Learning)، والذي يهتم بشكل أساسي بتطوير خوارزميات تُمكن الحاسب الآلي من تعلم كيفية أداء المهام الصعبة التي تتطلب فهماً عميقاً للبيانات، وطبيعة عملها كتشخيص الأمراض باستخدام التصوير الطبي. يعتمد التعلم العميق بشكل أساسي على الشبكات العصبونية Artificial Neural Networks، ويوضح الشكل (1) ارتباط التعلم العميق بتعلم الآلة والذكاء الاصطناعي [14].



الشكل (1): ارتباط التعلم العميق بتعلم الآلة والذكاء الاصطناعي [14].

أظهرت الاكتشافات في هذا المجال تقدماً كبيراً وسريعاً وفعالاً في العديد من المجالات منها التعرف على الوجه، التعرف على الكلام، الرؤية الحاسوبية، ومعالجة اللغات الطبيعية. تتعلم الآلة من البيانات الضخمة باستخدام تصميمات مختلفة لشبكات التعلم العميق منها: الشبكات المتكررة (RNN) المستخدمة بكثرة مع النصوص والبيانات المستمرة، والشبكة العصبونية التلافيفية (CNN) التي تستمد إلهامها من العمليات البيولوجية في الفص البصري، وغيرها من التصميمات [15].

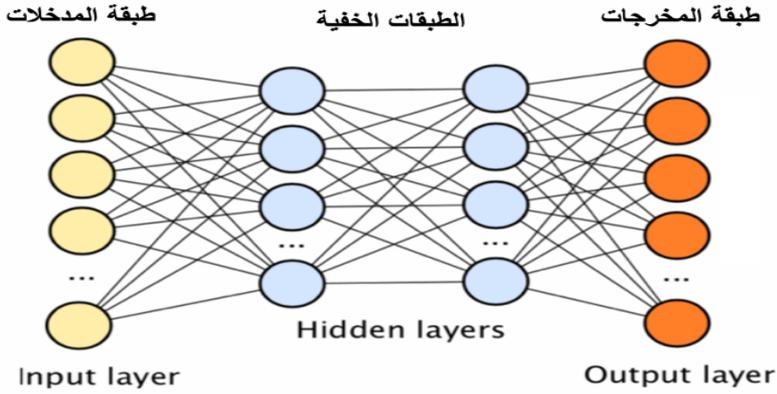
### 4- البنية المعمارية لشبكة التعلم العميق:

تتألف الشبكات العصبونية بشكل عام من ثلاثة أنواع من الطبقات وهي طبقة الدخل المسؤولة عن إدخال البيانات بشكلها الطبيعي إلى الشبكة العصبونية بعد عملية النمذجة، وطبقة الخرج المسؤولة عن إصدار النتيجة النهائية للشبكة العصبونية، ويقع بين

## استخدام التعليم العميق في تدريب روبوت استقبال على كشف قناع الوجه للحد من انتشار فيروس كورونا

هاتين الطبقتين عدد من الطبقات التي تعمل على تحويل بيانات الدخل إلى الخرج المطلوب، وتسمى هذه الطبقات بالطبقات الخفية (Hidden Layers)، وذلك لغموض طريقة توزيع البيانات بين طبقتي الدخل والخرج. يرمز البعض إلى هذا النوع من الخوارزميات بالصندوق الأسود [16].

يوضح الشكل (2) هيكلية الشبكة العصبونية ذات طبقتين خفيتين، وعدد غير محدد من العصبونات في كل طبقة.



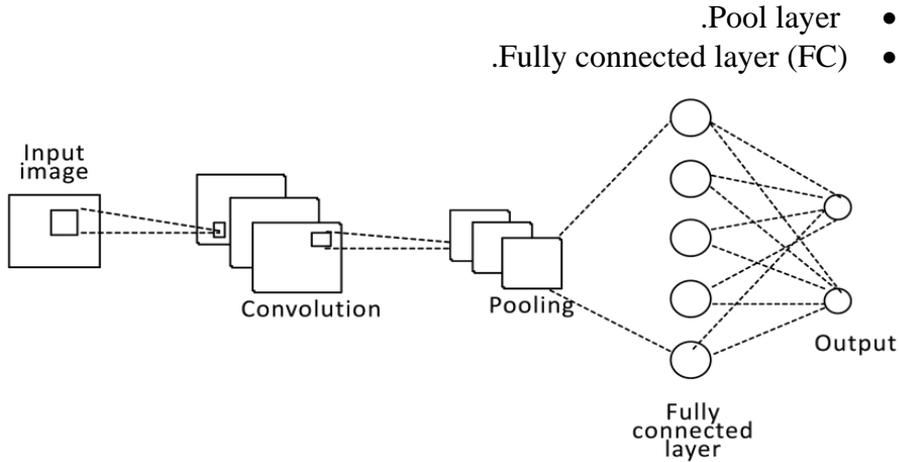
الشكل (2): هيكلية الشبكة العصبونية ذات طبقتين خفيتين [16].

تحتوي كل طبقة من الطبقات الخفية على عدد معين من العصبونات التي تستقبل البيانات من عصبونات الطبقة السابقة، ومن ثم تجري عليها عملية رياضية غير خطية وترسلها إلى الطبقة التالية، وهكذا حتى آخر طبقة (طبقة الخرج). سيتم التحدث عن واحدة من أهم الشبكات العصبونية في التعليم العميق وهي الشبكة العصبونية التلافيفية والتي تم الاعتماد عليها في هذا البحث.

### 5- الشبكات العصبونية التلافيفية (Convolutional Neural Networks):

إحدى شبكات التعليم العميق، والتي تختلف بنيتها عن الشبكات العادية، حيث تتعامل مع الصور وتعطي السمات دون الحاجة لتقنيات استخراج السمات. يوضح الشكل (3) بنية الشبكة العصبونية التلافيفية وأنواع الطبقات الموجودة فيها [17]:

- Conv layer
- RELU layer



الشكل (3): بنية الشبكة العصبونية التلافيفية [17].

يكون دخل الشبكات العصبونية شعاع وحيد تستقبله وتحوله عبر سلسلة من الطبقات المخفية. كل طبقة مخفية تكون عبارة عن مجموعة من العصبونات يتصل كل عصبون منها مع جميع عصبونات الطبقة السابقة له. تدعى الطبقة الأخيرة بطبقة الخرج. لتوضيح عملية تدريب الشبكة العصبية الترشيحية (شبكة الالتفاف) Convolution Network يمكن تلخيصها في الخطوات التالية [17]:

1. نقوم بتهيئة كل المرشحات والمعاملات والأوزان بقيم ابتدائية عشوائية.
2. تقوم الشبكة بأخذ صورة التدريب المدخلة وتمر بعملية الانتشار الامامي forward (propagation)، الالتفاف (Convo)، الريلو (ReLU)، التجميع (pooling) بالإضافة للانتشار الامامي في الطبقة (FC) ثم نقوم باستخراج احتمالات التصنيف لكل فئة، بما أن الأوزان هي أوزان عشوائية في الخطوة الأولى في عملية التدريب فإن احتمالات التصنيف المخرجة ستكون عشوائية أيضاً.
3. حساب مجموع الخطأ في طبقة الخرج، باستخدام المعادلة التالية:

$$\text{Total Error} = \sum \frac{1}{2} (\text{target probability} - \text{output probability})^2 \quad (1)$$

4. استخدام الانتشار العكسي لحساب مشتقة الخطأ مع تحديث جميع قيم المرشحات والأوزان والمعاملات لتقليل نسبة الخطأ في الخرج. يتم تعديل الأوزان بما يتناسب مع مساهمتها في الخطأ الكلي. بعض المعاملات مثل عدد المرشحات، حجم

## استخدام التعليم العميق في تدريب روبوت استقبال على كشف قناع الوجه للحد من انتشار فيروس كورونا

المرشحات، نوع بناء الشبكة ... الخ تكون ثابتة ولا تتغير خلال عملية التدريب، الذي يتغير هو قيم مصفوفات المرشحات والأوزان يتم تحديثها فقط.

5. إعادة تنفيذ الخطوات من 2 الى 4 مع كل الصور المدخلة في مجموعة التدريب.

بعد التعرف على بنية الشبكة العصبية التلافيفية، لابد من توضيح مواصفات الروبوت الذي تم العمل عليه والتعديل المقترح.

### 6- مواصفات الروبوت (HBE-RoboCAR) التفصيلية:

هو روبوت على شكل سيارة، كما هو موضح في الشكل (4) ، حيث تتكون وحدة القيادة للروبوت من معالج دقيق داخلي (ATmega128L) مدعم بأجهزة استشعار (حساسات) مختلفة، ومحركات بالإضافة الى التحكم الذكي في الروبوت من خلال وحدات المعالجات الدقيقة المدمجة متعددة الأشكال، وإمكانية الكشف عن العوائق باستخدام الحساسات المتنوعة [18].



الشكل (4): هيكل الروبوت (HBE-RoboCAR) [18].

يمكن توضيح مواصفات الروبوت (HBE-RoboCAR) وفق الجدول (1):

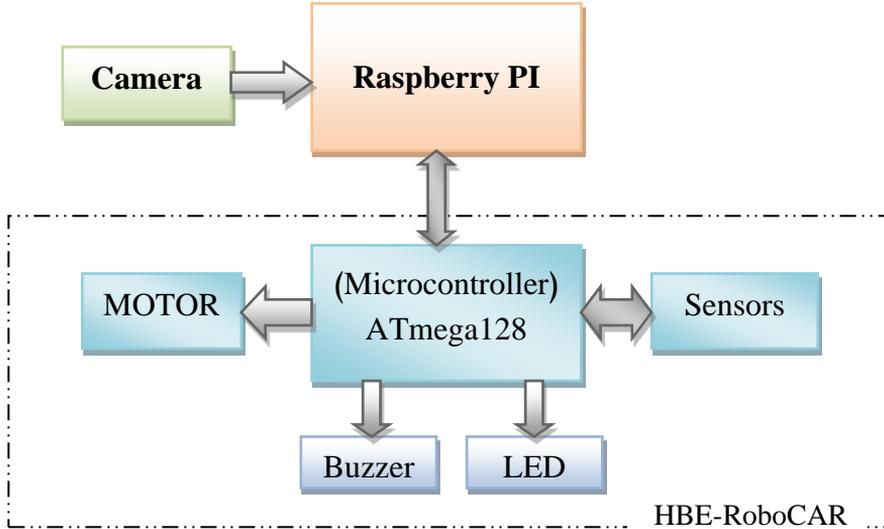
الجدول (1): مواصفات الروبوت (HBE-RoboCAR) [18].

الميزات	HBE-RoboCAR
المتحكم	ATmega128
حجم الذاكرة	128 كيلو بايت
نوع الحساسات	Ultrasonic sensor PSD sensor Phototransistors

DC geared motor	نوع المحركات
وحدة الكاميرا HBE-RoboCAR- vision RoboCAR- embaded	وحدات التوسيع
6.0 ++ C تدعمها مكتبات OpenCV امكانية التطوير واستخدام اصدارات Linux ، C # ، VC	لغة البرمجة المستخدمة
التحكم الذكي في الروبوت من خلال وحدات التوسيع الإضافية متعددة الأشكال، التي يمكن تركيبها على الروبوت، وتجارب واختبارات باستخدام الحساسات المختلفة (الكشف عن العوائق، تتبع مسار أرضيه محدد). وتجربة التحكم اللاسلكي	التطبيقات الممكنة على الروبوت

#### 7- التطبيق المقترح:

يمكن توضيح النظام المقترح للروبوت عن طريق المخطط الصندوقي الموضح في الشكل (5) الذي يبين المكونات الداخلية للروبوت مع الإضافات المقترحة.



الشكل (5): المخطط الصندوقي لنظام التحكم.

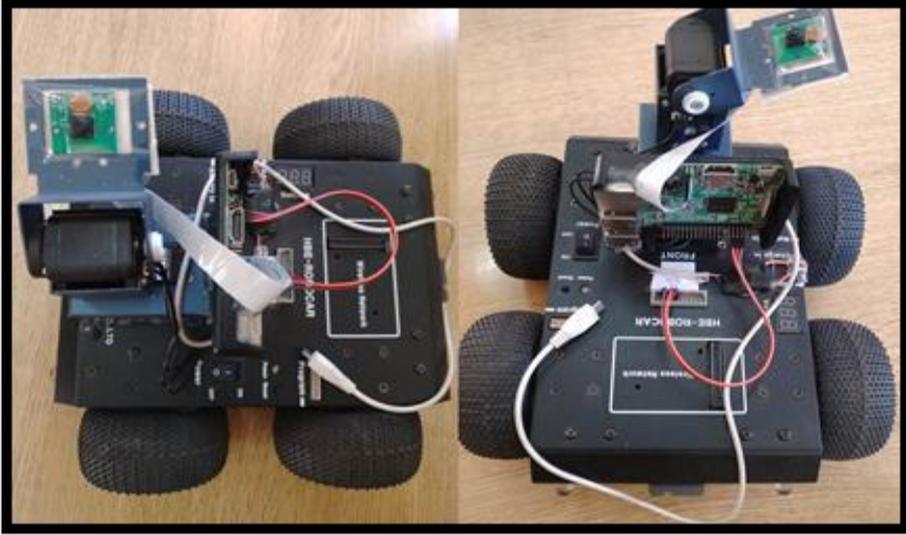
## استخدام التعليم العميق في تدريب روبوت استقبال على كشف قناع الوجه للحد من انتشار فيروس كورونا

بناء على ما ذكر سابقا فإن الآلية التي تم اقتراحها لتطوير الروبوت هي إضافة Raspberry PI، حيث تم الربط عن طريق منفذ التوسيع الخاص بالروبوت، يوضح الجدول (2) الأقطاب التي يمكن توصيلها لتأمين الربط بين روبوت HBE-(RoboCAR) ولوح Raspberry PI بحيث تتم معالجة خوارزميات الذكاء ضمن العقل، وإعطاء الأوامر للجسم للقيام بردة الفعل المناسبة للقرار المتخذ.

الجدول (2): توصيل Raspberry PI مع HBE-RoboCAR.

HBE-RoboCAR	Raspberry PI
GND	GND
TXD	RXD
RXD	TXD

يوضح الشكل (6) الروبوت المعدل في النموذج المقترح من مسقط جانبي وعمودي، مع إظهار التوصيلات التي تربط الروبوت المقترح مع Raspberry PI الذي تم إضافته.



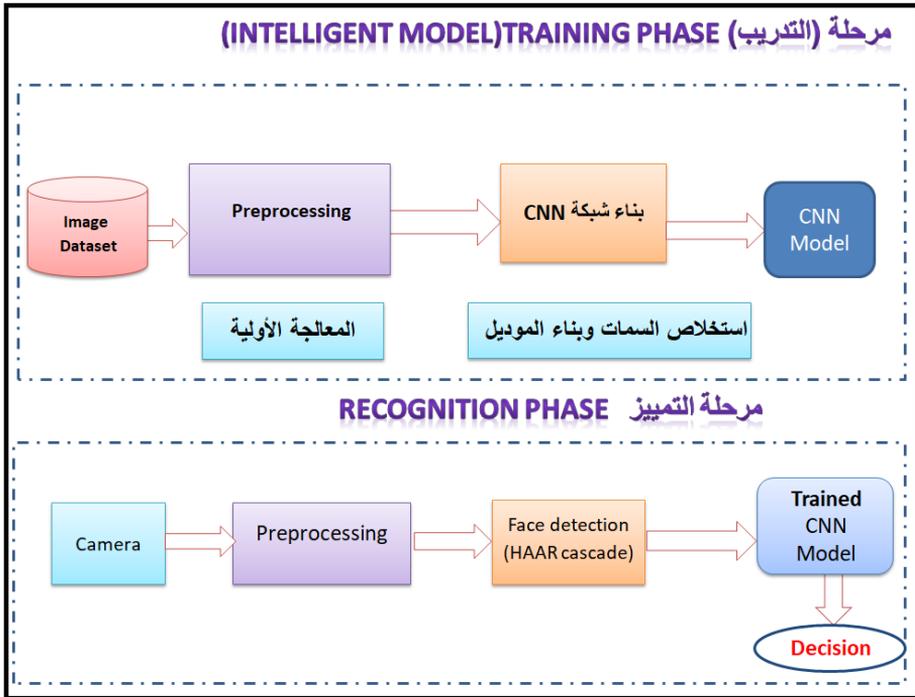
الشكل (6): الروبوت المعدل في النموذج المقترح من مسقط جانبي وعمودي.

تم في هذا التطبيق كشف قناع الوجه (الكمامة الطبية) في الزمن الحقيقي مع (Python) باستخدام التعليم العميق لاكتشاف فيما إذا كان الشخص الموجود على كاميرا الويب

يرتدي قناعاً أم لا، حيث تم تدريب نموذج كاشف قناع الوجه بالاعتماد على مكتبات (OpenCV, Keras). تم تحميل مجموعة البيانات التي تتكون من 1376 صورة 690 صورة منها تحتوي على صور لأشخاص يرتدون أقنعة، و686 صورة لأشخاص بدون أقنعة. يمر التطبيق الخاص بالنظام المقترح بمرحلتين كما هو موضح في الشكل (7) وهما:

**المرحلة الأولى:** يتم فيها كتابة كود برمجي باستخدام لغة البايثون بالاعتماد على مكتبة Keras، وإنشاء شبكة التعليم العميق (CNN) التي تم توضيحها سابقا من أجل تدريب نموذج كاشف قناع الوجه باستخدام قاعدة البيانات التي تم تحميلها.

**المرحلة الثانية:** تُستخدم لاختبار النتائج باستخدام كاميرا Raspberry Pi في الزمن الحقيقي عن طريق مكتبة OpenCV والموديل الناتج من المرحلة الأولى لتمييز حالة الشخص فيما اذا كان يرتدي قناع أو لا.



الشكل (7): مراحل كشف قناع الوجه في الزمن الحقيقي.

## استخدام التعليم العميق في تدريب روبوت استقبال على كشف قناع الوجه للحد من انتشار فيروس كورونا

تدعى المرحلة الأولى بمرحلة التدريب، وتتم فيها عملية المعالجة الأولية المتمثلة في تحديد الوجوه ضمن الصور المأخوذة من قاعدة البيانات، وبعد ذلك يتم إنشاء شبكة الالتفاف في التطبيق المقترح المكونة من زوجين من طبقات Conv و MaxPool لاستخراج الميزات من مجموعة البيانات، وبعد ذلك تأتي طبقة Dropout (التي تُظهر أن العصبونات في الطبقة السابقة تمتلك احتمالية تعطل أثناء التدريب)، ثم طبقتي Dense كثيفتين من أجل عملية التصنيف باستخدام توابع (relu, softmax). يتم إنشاء شبكة الالتفاف (CNN) وفق التعليمات التالية في بايثون:

```
model = Sequential([Conv2D(100, (3,3), activation='relu',
input_shape=(150, 150, 3)),
MaxPooling2D(2,2),
Conv2D(100, (3,3), activation='relu'),
MaxPooling2D(2,2),
Dropout(0.5),
Dense(50, activation='relu'),
Dense(2, activation='softmax')
```

يُظهر الجدول (3) النتائج التي تم الحصول عليها في نهاية مرحلة تدريب نموذج الشبكة المقترح الذي تم الاعتماد عليه، والذي يبين قيم (loss, Accuracy) عند كل تكرار لتدريب للشبكة، فقد تم تحديد عدد التكرارات ب 5 تكرارات، وكانت كافية لتدريب الشبكة بشكل جيد.

الجدول (3): قيم (loss, Accuracy) عند كل مرور.

LOSS	ACCURACY	EPOCH
0.7737	0.5904	Epoch(1)
0.3710	0.8618	Epoch(2)
0.2876	0.8879	Epoch(3)
0.3243	0.8692	Epoch(4)
0.2661	0.9009	Epoch(5)

يمكن حساب تابع (loss) وفق المعادلة التالية:

$$loss = -(y * (\log (p) + (1 - y) * \log (1 - p))) \dots \dots \dots (2)$$

حيث:  $y$  قيمة الخرج الحقيقي،  $p$  قيمه الخرج المحسوب.

يمكن حساب الدقة (Accuracy) وفق المعادلة التالية:

$$\text{Accuracy} = ((\text{TP} + \text{TN}) / (\text{TP} + \text{TN} + \text{FP} + \text{FN})) \dots \dots (3)$$

حيث:

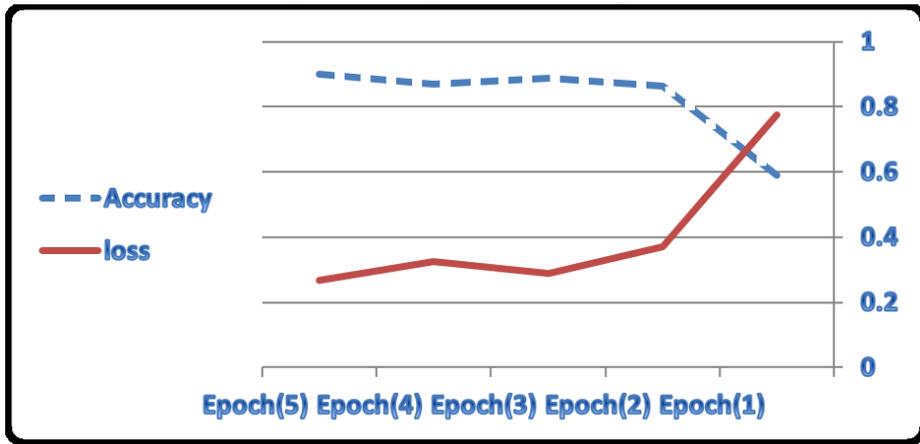
TP(True positive): عدد التنبؤات التي نجح فيها النموذج في تعرف الأنماط الصحيحة، مثلاً الشخص يرتدي قناع والنموذج تنبأ بذلك.

FP(False positive): عدد التنبؤات التي فشل فيها النموذج في تعرف الأنماط الصحيحة.

TN(True Negative): عدد التنبؤات التي نجح فيها النموذج في تعرف الأنماط الخاطئة.

FN(False Negative): عدد التنبؤات التي فشل فيها النموذج في تعرف الأنماط الخاطئة.

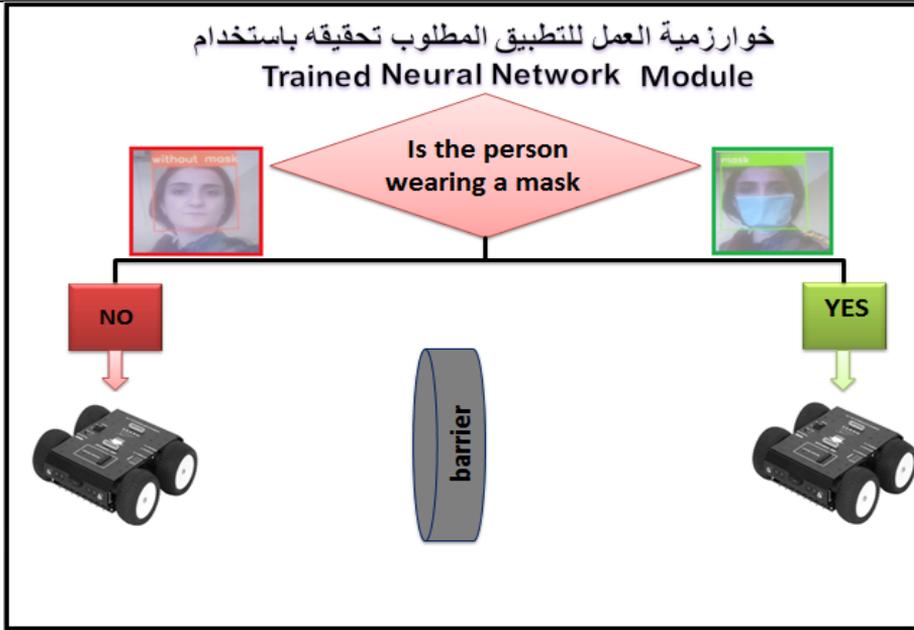
يمكن توضيح العلاقة بين الدقة وتابع (loss) وعدد تكرارات التدريب من خلال الشكل (8)، حيث أن الدقة تتردد مع عدد مرات التدريب، بينما تابع الفقدان يتناقص.



الشكل (8): العلاقة بين الدقة وعدد تكرارات التدريب.

المرحلة الثانية تُدعى بمرحلة التمييز، ويتم فيها اختبار النتائج باستخدام كاميرا Raspberry Pi لتمييز الشخص فيما إذا كان الشخص يرتدي قناع أو لا. تعطى الأوامر إلى الروبوت بناءً على القرار المتخذ للقيام بالإجراء المناسب كما هو موضح في الشكل (9).

استخدام التعليم العميق في تدريب روبوت استقبال على كشف قناع الوجه للحد من انتشار  
فايروس كورونا

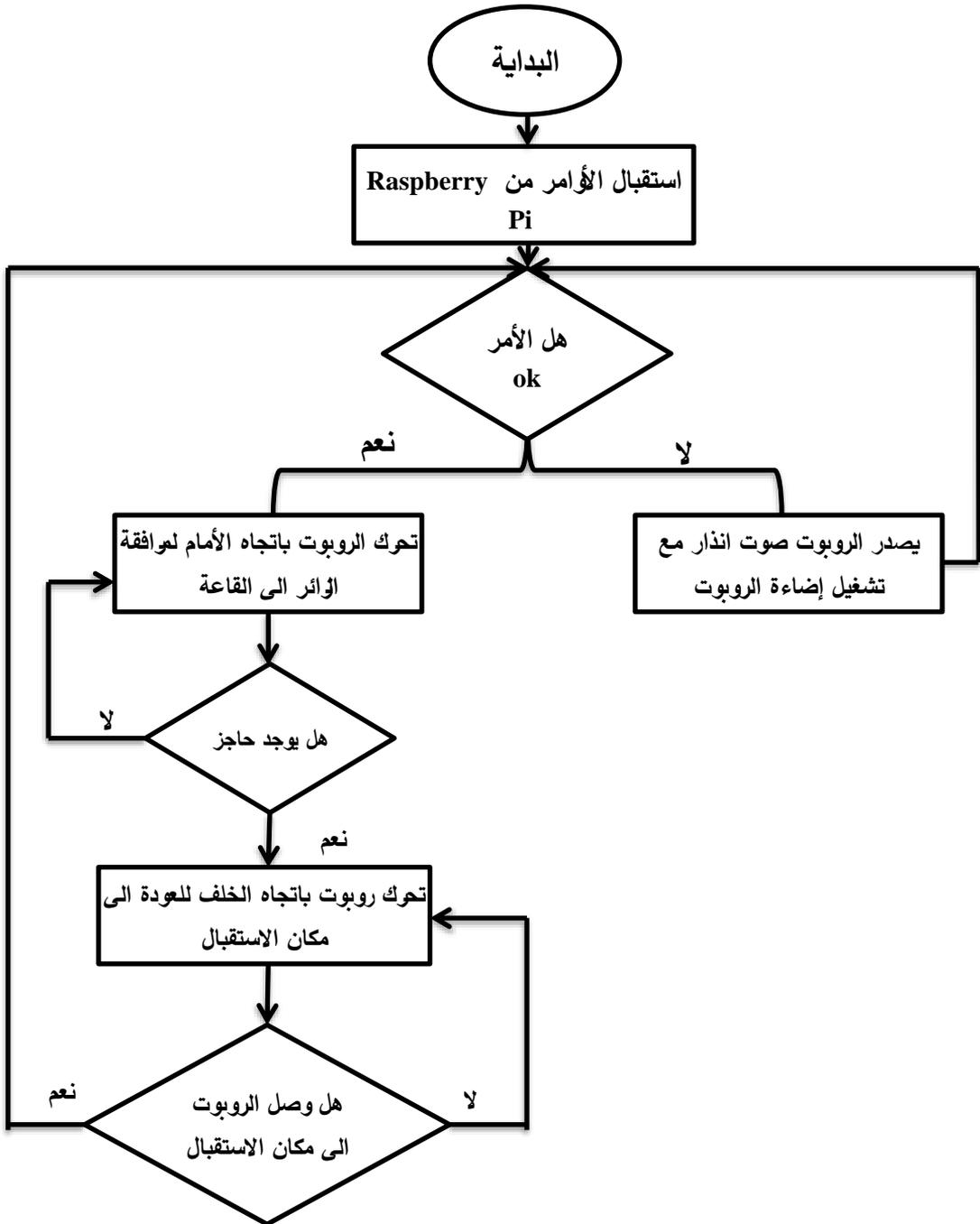


الشكل (9):مرحلة التمييز في الزمن الحقيقي.

كما سيتم ارسال الأوامر بين Raspberry والمتحكم الداخلي للروبوت عن طريق المنفذ التسلسلي للروبوت. يتم تهيئة الروبوت عن الطريق تعليمة بايثون التالية:

```
ser = serial.Serial( port='/dev/serial0', baudrate = 9600,  
parity=serial.PARITY_NONE,stopbits=serial.STOPBITS_ONE,  
bytesize=serial.EIGHTBITS)
```

بعد تهيئة المنفذ ينتقل التحكم الى الروبوت بناءً على القرار المتخذ, حيث توضح الخوارزمية في الشكل(10) عمل المتحكم الداخلي للروبوت بعد تلقي الأمر من Raspberry.



الشكل (10): خوارزمية عمل المتحكم الداخلي للروبوت.

#### 8- الملخص (Summery):

بناء على المراحل السابقة تم تصميم روبوت استقبال، كما تم اجراء اختبار الروبوت على مجموعة مؤلفة من (30) طالب يدخلون إلى قاعة وتم الحصول على زمن اكتشاف لكل طالب (2 - 3 sec).

تم في هذا التطبيق إنجاز عملية التمييز في الزمن الحقيقي فيما إذا كان الشخص الموجود على كاميرا الويب يرتدي قناعاً أم لا باستخدام التعليم العميق. تم تدريب النموذج المقترح بالاعتماد على مكتبات (OpenCV,Keras) وعلى مجموعة بيانات مكونة من 1376 صورة، وتم الحصول على دقة حوالي 90% في مرحلة التدريب.

#### 9- الأعمال المستقبلية (Future Works):

بغية تطوير العمل المنفذ في هذا البحث يقترح الآتي:

- استخدام بورد التطوير **Raspberry PI4** بدلاً من **Raspberry PI3** المستخدم في هذا البحث لزيادة إمكانيات التطبيق المنجز.
- إضافة إمكانية التعرف على الوجوه بالإضافة إلى اكتشاف الكمامة.

**10-المراجع (References):**

- [1] Bowden M., 2006- **Mind as Machine** ,Oxford University Press.
- [2] Johnston J., 2008 - **The Attractiveness of Machine Life: Cybernetics, Artificial Life, and the New Artificial Intelligence**, MIT.
- [3] Lei T., 2016- **A Robot Exploration Strategy Based on Q-learning Network**, Department of Mechanical University of Hong Kong.
- [4] Chen Z., Jacobson A., Sünderhauf N., 2017-**Deep Learning Features at Scale for Visual Place Recognition**.
- [5] منار عبد الكريم زيدان وماهر خلف حسين, 2017 - تصميم وتحليل أسلوب جديد لتمييز الوجوه باستخدام تقنية الشبكات العصبية بالاعتماد على شبكة ايلمان, قسم هندسة البرمجيات, جامعة الموصل.
- [6] شغاف عبدالله, 2019- **الكشف عن العربات من صور جوية باستخدام خوارزميات التعلم العميق وتنفيذ روبوت متحرك**, مركز البحوث قسم التحكم والروبوتيك.
- [7] Chakarova, Traber, 2019- **I'm a robot, I found to help you, librarian**, Journal of Information Studies & Technology (JIS&T)
- [8] Grigorescu S., Trasnea B., 2019 - **A study on the use of deep learning techniques for self-driving**, Transilvania University of Brasov.Brasov, Romania.
- [9] Ravi A., Alan R., Peters, 2019 - **A Review of Deep Learning with Special Emphasis on Architectures, Applications and Recent Trends** , IEEE TRANSACTIONS

- [10] Mazhar O., Navarro B., , Cherubin A., 2020- **Real-time Human-Robot Interaction Framework with Robust Background Invariant Hand Gesture Detection**, Computer Science.
- [11] Benotsmane R., Dudás L., Kovács G., 2020 - **Survey on artificial intelligence algorithms used in industrial robotics** , Computer Science.
- [12] Alexandre T., Pinto B., 2020- **Object detection with artificial vision and neural networks for service robots**, Minho's university.
- [13] Xiao M., Xiao N., 2020- **Optimized Convolutional Neural Network-Based Object Recognition for Humanoid Robot**, China University.
- [14] Goodfellow I., Bengio Y., Courville A., 2016- **Deep Learning**, MIT
- [15] Bengio, Yoshua ,2009 - **Learning Deep Architectures for AI**, Université de Montréal.
- [16] Derek C., Thomas P., Karnowski ,2010- **Deep Machine Learning A New Frontier in Artificial Intelligence Research**, IEEE COMPUTATIONAL INTELLIGENCE MAGAZINE.
- [17] Saha S.,2019 - **A Comprehensive Guide to Convolutional Neural Networks the ELI5 way**, Published in Intel Student Ambassadors.
- [18] dong G., Yuseong-gu, Daejeon, 2007- [www.hanback.co.kr](http://www.hanback.co.kr), Korea.

# العاكس الجسري التسلسلي ثلاثي الطور متعدد المستويات لتحسين كفاءة تحويل الطاقة من مستمر إلى متناوب

م. داني ابراهيم\* م. أحمد اسكندر\*\* م. كلودا ابراهيم\*\*\*

## ملخص

تم في هذا البحث تحديد استراتيجية التعديل الأنسب لقيادة العاكس التسلسلي متعدد المستويات Cascaded H-Bridge-MLI لتحسين كفاءة تحويل القدرة من شكلها المستمر إلى المتناوب، وذلك من خلال توضيح نظام التحكم العام بالعاكس متعددة المستويات واختبار ثلاث استراتيجيات مختلفة لتوليد نبضات القدر لعناصر إلكترونيات القدرة لتحديد الاستراتيجية الأفضل بينها، ومن ثم مقارنتها مع دائرة العاكس التقليدية LEVEL-2. تمت محاكاة النظام باستخدام برنامج Matlab/ Simulink، حيث أظهرت النتائج تفوق استراتيجية (PD- Pwm) Phase Disposition حيث كان معدل التشوه التوافقي THD لموجة الجهد والتيار أقل ما يمكن مقارنةً مع الاستراتيجيات الأخرى، وذلك عند ترددات موجة حامل مختلفة بالإضافة إلى دراسة تأثير عدد مستويات الجهد على معدل التشوه التوافقي THD، فعند محاكاة دائرة العاكس التسلسلي ثلاثي الطور ذو سبع مستويات يعتمد على استراتيجية (PD-PWM) عند تردد موجة حامل 3000 Hz لم يتجاوز معدل التشوه التوافقي THD لموجة الجهد قيمة 11%، في حين أنه في العاكس التقليدي 2-LEVEL كان معدل التشوه التوافقي THD لموجة الجهد حوالي 66%، وهذا يوضح أهمية MLI لتحسين كفاءة التحويل.

**الكلمات الرئيسية** – العاكس متعدد المستويات، العاكس الجسري التسلسلي، Multicarrier PWM، معدل التشوه التوافقي THD.

\*ماجستير هندسة الأتمتة الصناعية، كلية الهندسة التقنية، جامعة طرطوس. سوريا

[danyibrahim2@gmail.com](mailto:danyibrahim2@gmail.com)

\*\*ماجستير هندسة الطاقة الشمسية والطاقات المتجددة، كلية الهندسة التقنية، جامعة طرطوس. سوريا.

\*\*\*ماجستير هندسة تكنولوجيا المعلومات، كلية هندسة تكنولوجيا المعلومات والاتصالات، جامعة طرطوس.

سوريا.

# Three phase Cascaded H-Bridge multilevel inverter to improve energy conversion efficiency from DC to AC

Eng. Danny Ibrahim\* Eng. Ahmad Iskandar\*\* Eng. Kloda Ibrahim\*\*\*

## Abstract

In this research, we identified the best modulation strategy for driving Cascaded H-Bridge multilevel inverter to improve the efficiency of converting power from its continuous to alternating form, by explaining the Universal control scheme of multi-level inverters and testing three different strategies to generate pulses for Power electronics elements and determining the best strategy between them, then compare it with the traditional 2-LEVEL inverter circuit .

We simulated the system using Matlab / Simulink. The results showed the superiority of Phase Disposition (PD-PWM) strategy, where the THD ratio of the voltage and current wave was minimal compared to the other strategies at different carrier wave frequencies in addition to studying the effect of the number of voltage levels on THD ratio, and when we simulated a three phase (Cascaded H-Bridge 7 level) inverter circuit based on PD-PWM strategy at 3000 Hz carrier wave frequency, the THD ratio of voltage wave has not exceed 11%, While in the traditional 2-LEVEL inverter, the THD ratio of voltage wave is about 66%, which shows the importance of MLI to improve conversion efficiency.

**Keywords** — Multilevel inverters, Cascaded H-Bridge, Multicarrier PWM, Total harmonic distortion.

---

*aster of Industrial Automation, Faculty of Technical Engineering, Tartous University, Syria, [danyibrahim2@gmail.com](mailto:danyibrahim2@gmail.com).*

*\*\*Master of Engineering Solar Energy and Renewable energies, Faculty of Technical Engineering, Tartous University, Syria.*

*\*\*\*Master of Information Technology, Faculty of Information and Communication Technology Engineering, Tartous University, Syria.*

## 1. المقدمة:

أدى التطور الكبير في مجال إلكترونيات القدرة الكهربائية، إلى تحسين كبير في الأنظمة الإلكترونية للطاقة، حيث أصبحت الدارات المختلفة وبالتحديد التي لم يكن من الممكن تطبيقها نظراً للتعقيد الكبير في التحكم بها، محط اهتمام الكثير من الباحثين ومنها تقنية العاكس متعدد المستويات عند ترددات تبديل منخفضة مع معدل تشوه توافقي (THD) منخفض، حيث برزت أهمية هذا النوع من المحولات في التطبيقات التي تتطلب طاقة متوسطة وعالية لتحسين كفاءة تحويل هذه الطاقة من شكلها المستمر إلى المتناوب [1].

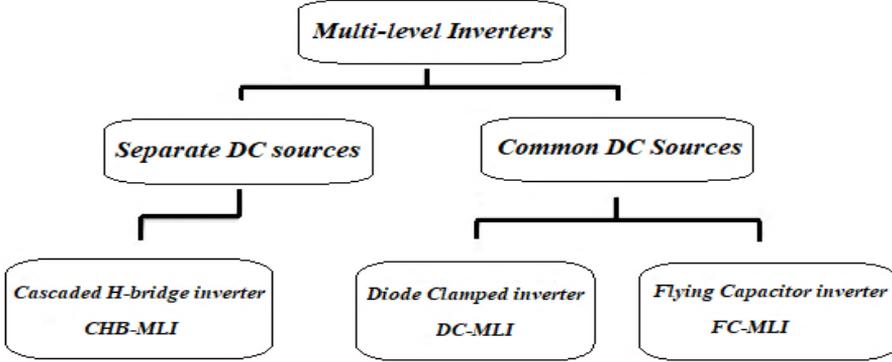
تم إدخال مفهوم العاكس متعدد المستويات منذ عام 1975، من خلال وضع مجموعة من خلايا DC بشكل متسلسل لتوليد جهد متناوب AC ومعه بدأ مصطلح Multilevel [6]، ومنذ ذلك الوقت تم تطوير العديد من طبولوجيا العاكس المتعدد المستويات، فعلى الرغم من ظهور هذه التكنولوجيا باكراً، إلا أن التعقيد الكبير في قيادتها جعل من غير الممكن استخدامها دون الاعتماد على تقنيات التحكم الرقمية.

### 1.1 مميزات العاكس متعدد المستويات

تشمل المزايا الأساسية للعاكس متعددة المستويات على قدرة تحمل للجهود العالية مع ضياعات تبديل منخفضة جداً، انخفاض معدل  $dv/dt$ ، ومعدل التشوه التوافقي THD المنخفض، والتداخل الكهرومغناطيسي المنخفض. وعليه نستنتج من المميزات السابقة أن هذا النوع من العواكس يتمتع بكفاءة تحويل عالية جداً مقارنة مع العاكس التقليدي كما أنه مناسب لتطبيقات توليد الطاقة انطلاقاً من المنظومات الكهروضوئية [1,7,11].

## 1.2 أشهر أنواع العواكس متعدد المستويات

يوضح الشكل (1) أشهر أنواع العواكس متعددة المستويات، وفيما يلي ميزات وسيئات كل منها [10]:



الشكل 1: أشهر أنواع العواكس متعددة المستويات

### 1- Diode Clamped Multilevel Inverter (DC-MLI)

#### المميزات:

- تقنية التحكم أقل تعقيد.
- كلما ازداد عدد مستويات الجهد قل معدل التشوه التوافقي مع تجنب وجود دائرة مرشح.

#### المساوي:

- كلما ازداد عدد مستويات الجهد، يزداد عدد الديوتات المستخدمة في الدارة.
- جهد الخرج له مطال يساوي نصف قيمة منبع DC.

### 2- Flying Capacitor Multilevel Inverter (FC-MLI)

#### المميزات:

- كلما ازداد عدد مستويات الجهد يتم تقليل معدل التشوه مع تجنب دارات المرشحات.
- كمية كبيرة من القدرة المخزنة ضمن المكثفات.

### المساوى:

- تكنولوجيا التحكم يمكن أن تكون معقدة.
- ضياعات التبديل كبيرة جداً.

### 3- Cascaded H-bridge Multilevel Inverter (CHB-MLI)

### المميزات:

- معدل التشوه منخفض جداً.
- يحتاج إلى عناصر أقل لكل مستوى مقارنة بالأنواع الأخرى.

### المساوى:

- يحتاج لمصدر جهد مستمر DC منفصل لكل مستوى.

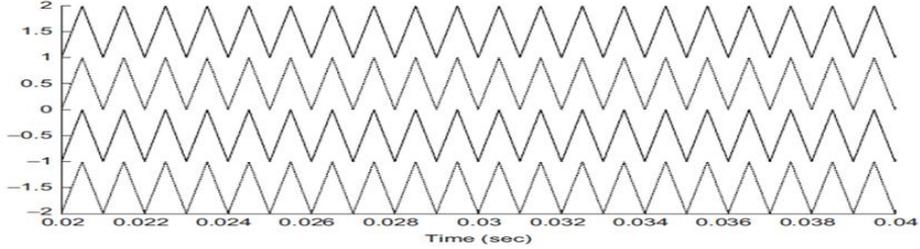
### 1.3 استراتيجية التعديل لتوليد نبضات القدح لـ MLI

العواكس متعددة المستويات (MLIs) عبارة عن دوائر تقوم بتحويل مصادر التيار المستمر DC المتعددة إلى شكل موجي AC متدرج، لذلك فإن مفاتيح القدرة هي مفاتيح مقادة لا يتم تشغيلها إلا في وضعين إما ON (تشغيل) أو OFF (إطفاء).

يُطلق على العملية التي يتم التحكم فيها بقدح عناصر إلكترونيات القدرة للحصول على موجة الجهد المطلوبة بالتعديل، فهناك عدد كبير من استراتيجيات التعديل التي هي موضوع بحث مكثف لسنوات عديدة من أجل التحكم بالعواكس متعددة المستويات (MLIs)، فلكل بنية معينة هناك استراتيجيات تعديل مفضلة مرتبطة بها [8, 9].

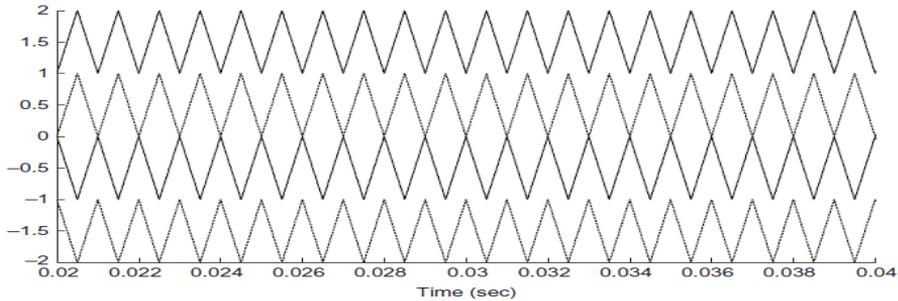
تم اقتراح العديد من طرق التعديل الخاصة بالعواكس متعددة المستويات، ومن بينها تقنيات Multicarrier PWM وفقاً لإشارات الموجة الحاملة، حيث تعتمد على موضع إشارات الموجة الحاملة ومطالها وترددتها ومدة تداخلها مع بعضها البعض، ومن أشهر هذه التقنيات:

1- Phase Opposition Disposition (POD-PWM): في هذه التقنية، تكون كل إشارات الموجة الحاملة لها طور ثابت ومطالها مزاح بقيمة ثابتة عن بعضها البعض، ويكون الصفر المرجعي في منتصف الإشارات الحاملة كما هو موضح بالشكل (2).



الشكل 2: استراتيجية (PD-PWM)

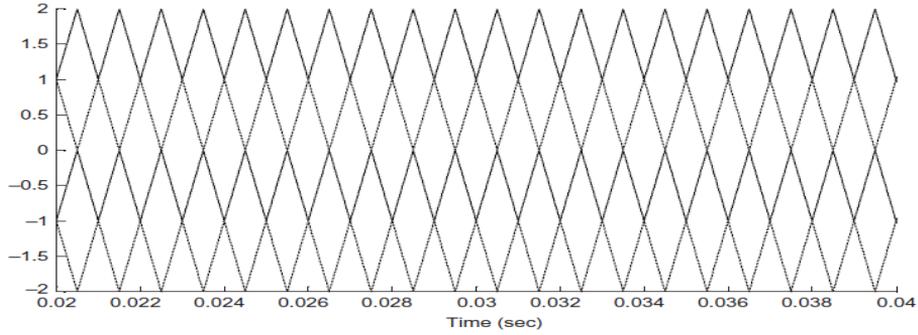
2- Phase Opposition Disposition (POD-PWM): في هذه التقنية، تكون إشارات الموجة الحاملة الأعلى من الصفر المرجعي بنفس الطور، وكذلك إشارات الموجة الحاملة الأدنى من الصفر المرجعي تكون بنفس الطور، ولكن طور إشارات الموجة الحاملة العلوية يكون بفارق 180 درجة عن إشارات الموجة الحاملة السفلية، كما هو موضح بالشكل (3).



الشكل 3: استراتيجية (POD-PWM)

### 3- Alternative Phase opposition Disposition (APOD-PWM)

تكون إشارات الموجة الحاملة مزاحة بالطور بالتناوب عن بعضها البعض بمقدار 180 درجة، كما هو موضح بالشكل (4).



الشكل 4: استراتيجية (APOD-PWM)

### 2. أهداف البحث

يهدف هذا البحث لتحديد الاستراتيجية الأنسب لتصميم دائرة عاكس تسلسلي متعدد المستويات ثلاثي الطور Cascaded H-Bridge-MLI يحقق أقل معدل تشوه توافقي لموجة جهد الخرج، وذلك من خلال محاكاة مبدأ عمله واختبار ثلاث استراتيجيات مختلفة لتوليد نبضات القذح لعناصر إلكترونيات القدرة لتحديد الاستراتيجية الأفضل بينها، ومن ثم مقارنتها مع دائرة العاكس التقليدية 2-level.

### 3. منهجية البحث

في البداية سنعمد إلى توضيح نظام التحكم العام (UCS) بالعاكس متعددة المستويات، ومن ثم استخدام برنامج Matlab Simulink لمحاكاة دائرة العاكس متعدد المستويات (CHB-MLI) الأحادي والثلاثي الطور ذو 5 و 7 و 9 مستويات عند استراتيجيات مختلفة لتوليد نبضات القذح، ومن ثم إجراء تحليل فورييه باستخدام الأداة FFT Analysis للحصول على معدل التشوه التوافقي THD لكل من موجة الجهد

والتيار الناتج عند ترددات مختلفة، ومن ثم مقارنة النتائج مع دائرة العاكس التقليدي 2-  
Level.

### 3.1 نظام التحكم العام (UCS) :Universal control scheme

تم تطوير نظام تحكم عام بالعاكس متعددة المستويات، بطريقة يمكن من خلالها تطبيقها على جميع بنى العواكس متعددة المستويات كما هو موضح بالشكل (5)، بالنسبة للإنفرتر المطلوب التحكم به، نرمز لعدد مستويات موجة جهد الخرج بـ  $n_{levels}$  [2, 3].

في العاكس متعدد المستويات دائماً ما يكون  $n_{levels} \geq 3$ ، وبما أن المستوى 0 مهم جداً فهو يعتبر من ضمن مستويات موجة الجهد، لذلك فإن عدد مستويات موجة الجهد دائماً ما يكون فردياً، وبالتالي عدد المستويات الموجبة لموجة جهد الخرج التي تتكون من  $n_{levels}$  تعطى بالعلاقة التالية:

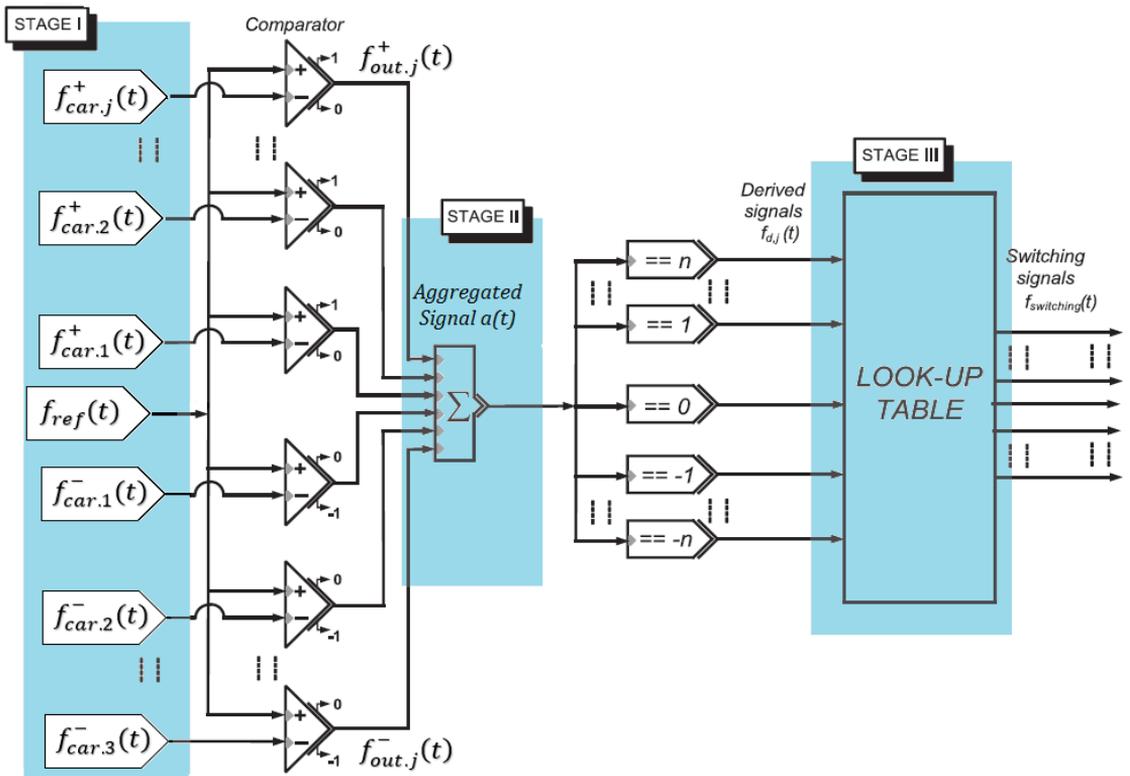
$$n = (n_{levels} - 1)/2$$

في البداية يجب اختيار كل من الإشارة المرجعية (إشارة التعديل) وإشارة الموجة الحاملة، وذلك بعد تحديد الاستراتيجية المتبعة لتوليد نبضات القدر.

نرمز للإشارة المرجعية بـ  $f_{ref}(t)$ ، وتكون ذات مطال وتردد معين.

لكل  $n_{levels}$  من عدد مستويات موجة الخرج لدينا  $2n$  إشارة موجة حاملة  $f_{car}(t)$  ، لكل منها مطال وتردد معين.

نرمز لإشارات الموجة الحاملة الموجبة التي تقع وفق مستوى الصفر بالرمز  $f_{car,j}^+(t)$  ، وكذلك لإشارات الموجة الحاملة السالبة بالرمز  $f_{car,j}^-(t)$ ، حيث أن  $\{j = 1 \text{ to } n\}$ .



الشكل (5): نظام التحكم العام USC

بالنسبة إلى جميع إشارات الموجة الحاملة الأعلى من الإشارة الصفرية، يعطي كل مقارن "1" إذا كانت إشارة التعديل (الإشارة المرجعية) أكبر من إشارة الموجة الحاملة و "0" على خلاف ذلك [4].

بالنسبة إلى جميع إشارات الموجة الحاملة الأقل من الإشارة الصفرية، يعطي كل مقارن "0" إذا كانت إشارة التعديل أكبر من إشارة الموجة الحاملة و "1" على خلاف ك. كما في العلاقة التالية:

$$\left. \begin{aligned} f_{out.j}^+(t) &= 1, \text{ for } f_{ref}(t) \geq f_{car.j}^+(t) \\ &= 0, \text{ otherwise} \\ f_{out.j}^-(t) &= 0, \text{ for } f_{ref}(t) \geq f_{car.j}^-(t) \\ &= -1, \text{ otherwise} \end{aligned} \right\} \quad (8 - 2)$$

عند جمع نتائج المقارنة نحصل على إشارة تدعى بالإشارة المجمعة "a(t)" وتعطى بالعلاقة التالية:

$$a(t) = \sum_{j=1}^n \{f_{out.j}^+(t) + f_{out.j}^-(t)\}$$

من المهم جداً ملاحظة أن a(t) لها نفس الشكل الموجي لموجة جهد الخرج المتوقع.

تحتاج نبضات القيادة الفعلية لمفاتيح القدرة الإلكترونية وفق البنية المعتمدة للإنفرتتر متعدد المستويات إلى الاشتقاق من الإشارة المجمعة a(t) باستخدام دوائر منطقية وجدول توجيه خاص لكل بنية من بنى العاكس متعدد المستويات لتجنب حدوث قصر في الدارة الإلكترونية.

تستمد التوابع المنطقية من f<sub>a.j</sub>(t) من الإشارة المجمعة a(t) وفق المعايير التالية:

$$f_{d,j}(t) = 1, \text{ if } a(t) == j \\ = 0, \text{ otherwise;}$$

where,  $j = -n \text{ to } +n$

وبالتالي، سيتم الحصول على ما مجموعه  $n_{levels}$  من الإشارات المستمدة من الإشارة المجمعة  $a(t)$  يستخدم كل منها لفتح المفاتيح الإلكترونية للحصول على المستوى المطلوب لموجة جهد الخرج [4].

يتميز المخطط العام للتحكم بثلاث مراحل كما هو مبين في الشكل (5):

1. المرحلة الأولى: في هذه المرحلة يتم تحديد كل من الإشارة المرجعية (إشارة التعديل) وإشارات الموجة الحاملة وذلك تبعاً لاستراتيجية التعديل المختارة، مع مراعاة بنية العاكس متعدد المستويات التي سيتم العمل من خلالها.

2. المرحلة الثانية: في هذه المرحلة يتم تشكيل الإشارة المجمعة  $a(t)$  والتي تمثل بدورها الشكل المتوقع لإشارة موجة جهد الخرج للإنفترتر متعدد المستويات، وكذلك يتم استنتاج إشارات القيادة لعناصر القدرة الإلكترونية التي توافق كل مستوى من مستويات موجة الخرج.

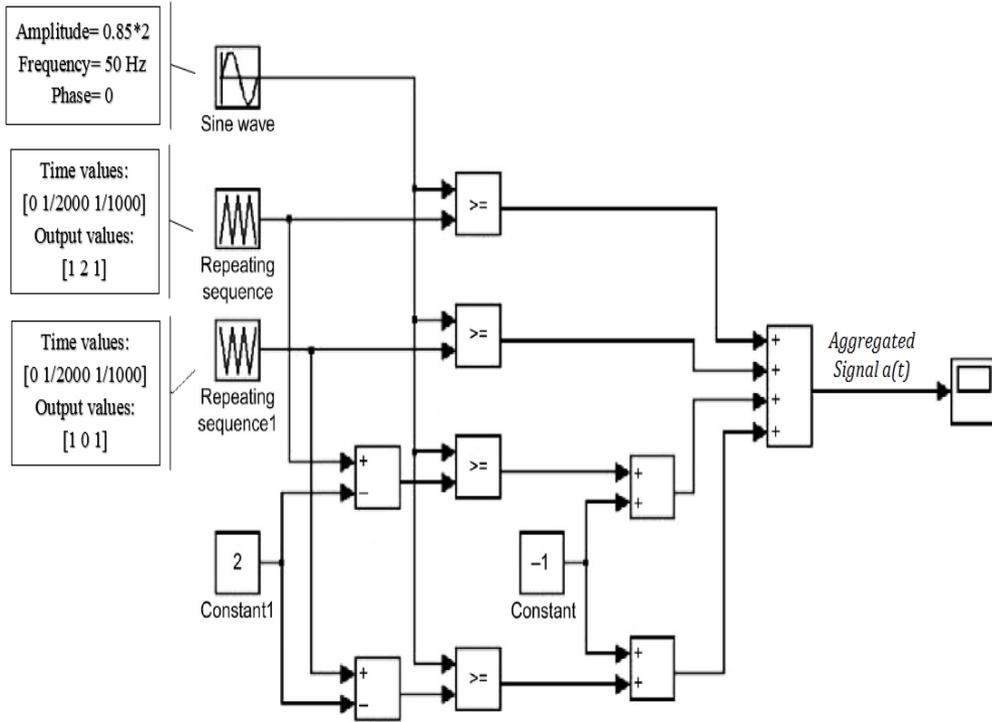
3. المرحلة الثالثة: في هذه المرحلة يتم صياغة جدول توجيه خاص ببنية العاكس متعدد المستويات المتبعة، وذلك لتوجه نبضات القيادة إلى عناصر القدرة الإلكترونية لتحديد العناصر التي ستعمل معاً، لضمان الحصول على شكل الموجة المطلوب وفقاً لبنية العاكس المتبعة.

وبالتالي فإن نظام التحكم العام قابل للتطبيق على جميع بنى العاكس متعدد المستويات [4].

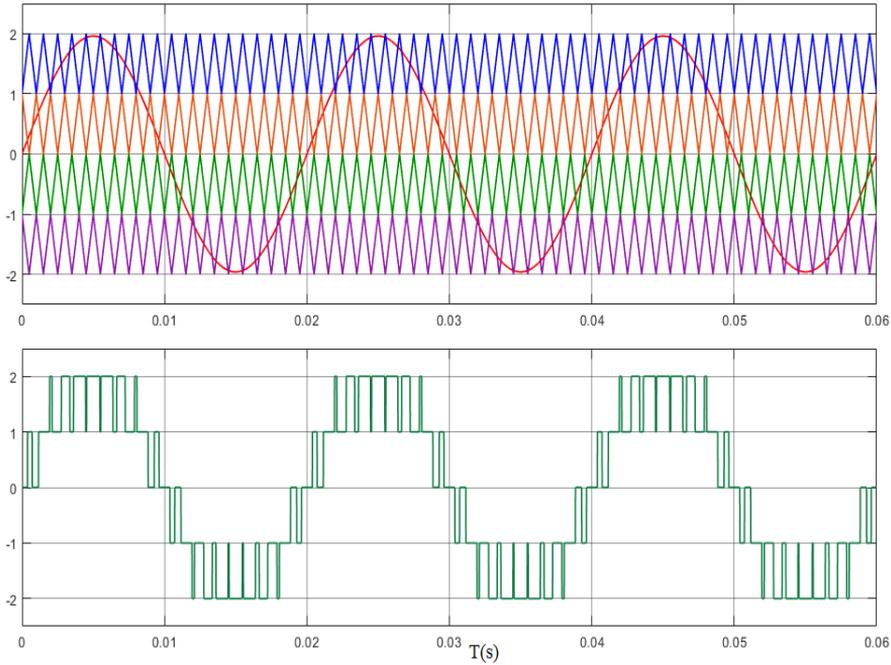
### 3.2 نموذج توليد إشارة مجمعة $a(t)$ ذات خمس مستويات:

في البداية قمنا بتوليد إشارة  $a(t)$  وفق استراتيجية التعديل (APOD-PWM)، وبما أن الإشارة المجمعة مكونة من خمس مستويات سنحتاج إلى إشارة جيبية نقية كإشارة مرجعية وأربع إشارات حامل مثلثية، يوضح الشكل (6) نموذج Matlab / Simulink للحصول على الإشارة المجمعة  $a(t)$ ، الشكل (7) يوضح الإشارة المرجعية وإشارات الحامل المثلثية مع الإشارة المجمعة الناتجة [5,3].

تمثل الإشارة المجمعة  $a(t)$  شكل موجة جهد الخرج المتوقع عند أطراف العاكس حيث تُستمد إشارات القيادة الفعلية من هذه الإشارة وفق بنية العاكس متعدد المستويات المتبعة.



الشكل (6): نموذج للحصول على الإشارة المجمعة  $a(t)$  ذات خمس مستويات وفق استراتيجية APOD



الشكل (7): شكل الإشارة المرجعية مع إشارات الحامل المثلثية والإشارة المجمعة الناتجة

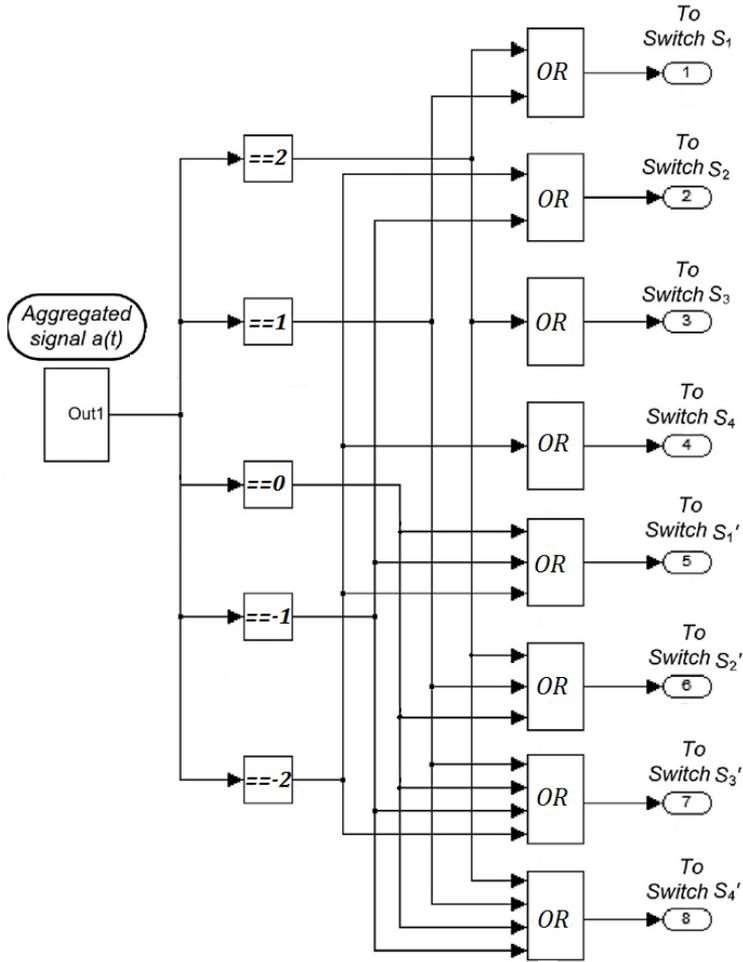
### 3.3 نموذج توليد نبضات القيادة الفعلية لإنفرتتر تسلسلي (CHB-MLI) ذو خمس مستويات:

يتم الحصول على إشارات القيادة الفعلية لعناصر إلكترونيات القدرة انطلاقاً من الإشارة المجمعة  $a(t)$ ، نموذج Matlab / Simulink المقابل له موضح بالشكل (8). عدد الإشارات المشتقة من الإشارة المجمعة هو نفس عدد المستويات في شكل موجة جهد الخرج المرغوبة.

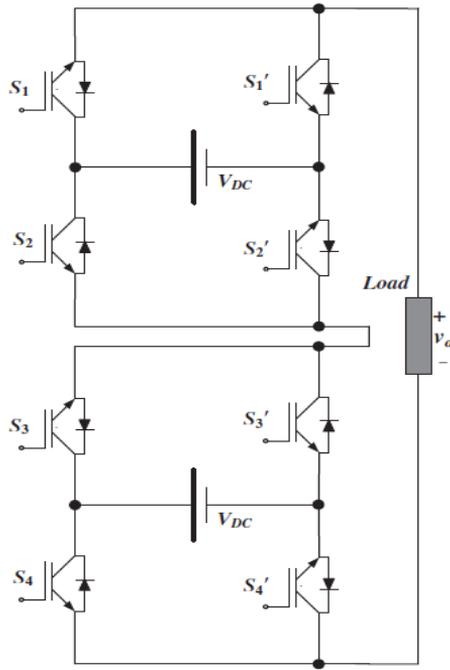
كل إشارة من الإشارات المشتقة لها وظائف تبديلية خاصة بها لتوليد مستوى الجهد المطلوب وفق بنية العاكس متعدد المستويات المتبعة، وبذلك نحصل على إشارات قيادة

فعلية لمفاتيح القدرة تأخذ بعين الاعتبار المفاتيح التي يجب أن تعمل معاً لضمان الحصول على شكل الموجة المطلوب بدون حدوث قصر.

فعلى سبيل المثال، لدينا العاكس (CHB-MLI) الموضح بالشكل (9) مكون من جسرين (H-bridge) متصلين على التسلسل، لكل منهما مصدر جهد  $V_{DC}$ ، شكل موجة جهد الخرج الناتج مكون من خمس مستويات  $0, \bar{V}_{DC}, \bar{2V}_{DC}$  بشكل يتوافق مع الإشارة المجمعة  $a(t)$ ، إشارات القيادة الفعلية في هذه الحالة تحتاج إلى اعتبارات تبديل محددة لعناصر القدرة، يتم تحديد هذه الاعتبارات وفق جدول توجيه يحدد العناصر التي ستعمل معاً لتوليد مستوى الجهد المطلوب وفق بنية العاكس المتبعة، كما هو موضح بالجدول (1) [4].



الشكل (8): نموذج توليد نبضات القيادة الفعلية لإنفرتير تسلسلي (CHB-MLI) ذو خمس مستويات



الشكل (9): دائرة القدرة لإنفرتر تسلسلي (CHB-MLI) ذو خمس مستويات

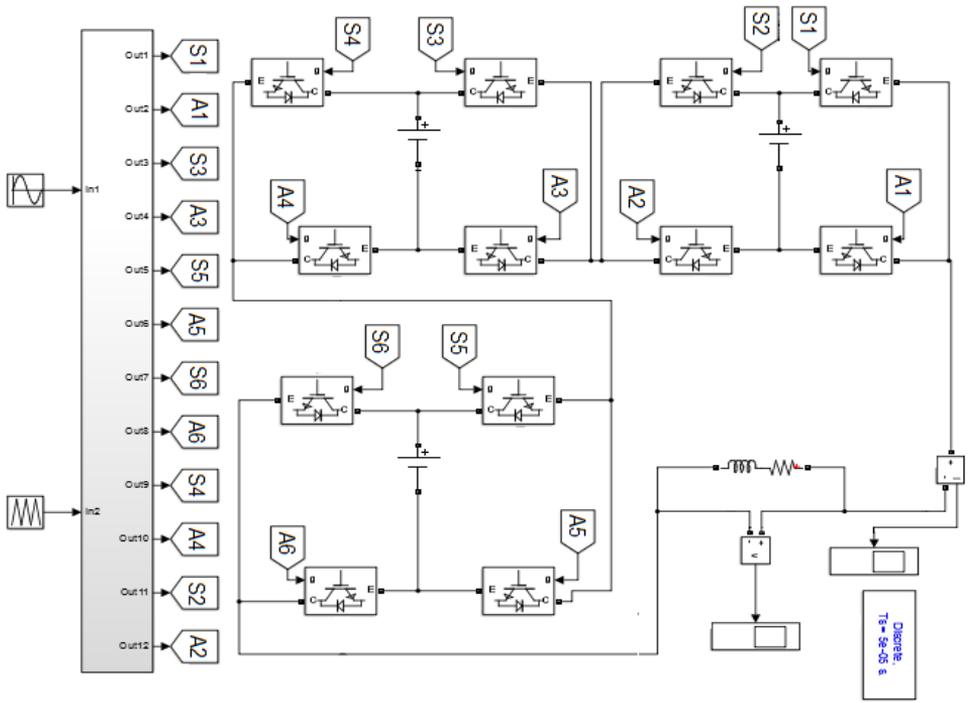
الجدول (1): جدول توجيه لإنفرتر تسلسلي (CHB-MLI) ذو خمس مستويات

Level of Aggregated Signal $a(t)$	Output Voltage Level $V_o(t)$	Switches is ON State (Other Switches Remain OFF)
2	$+2 V_{DC}$	$S_1, S_2', S_3, S_4'$
1	$+V_{DC}$	$S_1, S_2', S_3', S_4'$
0	0	$S_1', S_2', S_3', S_4'$
-1	$-V_{DC}$	$S_1', S_2, S_3', S_4'$
-2	$-2 V_{DC}$	$S_1', S_2, S_3, S_4'$

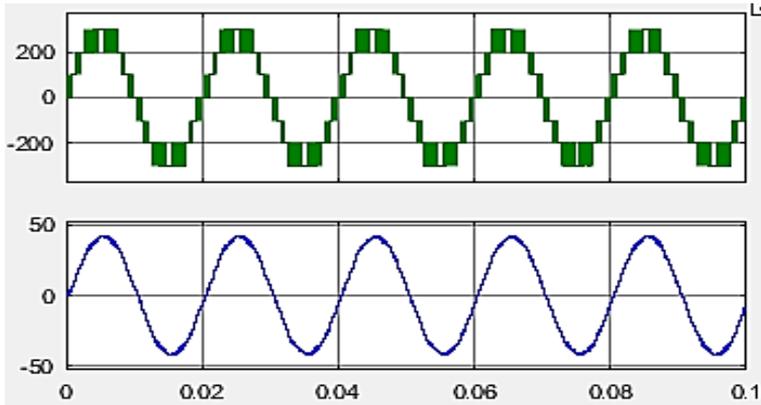
### 3.4 نمذجة العاكس التسلسلي (CHB-7 LEVEL) أحادي الطور:

يوضح الشكل (10) نموذج MATLAB / Simulink للعاكس التسلسلي (CHB) ذو سبع مستويات أحادي الطور، باستخدام استراتيجية التعديل (APOD- PWM) وعند تردد موجة حامل  $3000 H_z$ ، خرج العاكس متصل بحمولة تحريضية قيمتها  $Z_L = 7 + 0.003J$ .

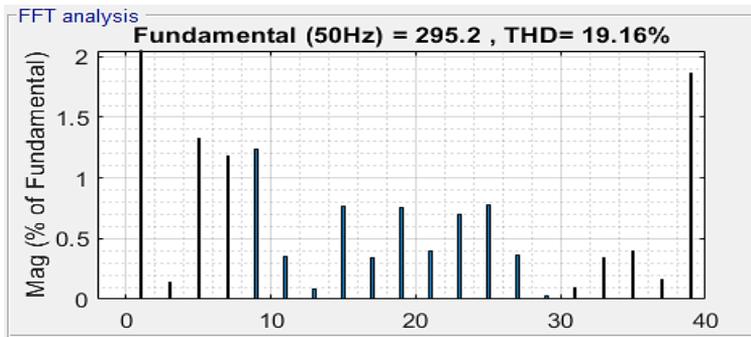
إشارة موجة جهد و تيار الحمل للعاكس موضحة بالشكل (11)، عند قياس قيمة التشوه التوافقي THD لموجة الجهد كان بقيمة 19.16% كما هو موضح بالشكل (12)، في حين أن معدل التشوه التوافقي لموجة التيار الناتجة 2.69%، كما هو موضح بالشكل (13).



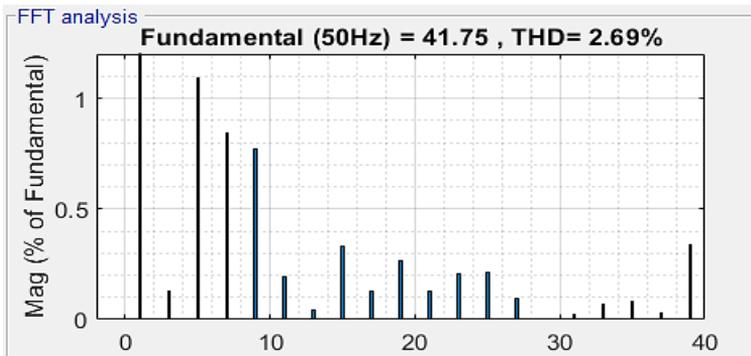
الشكل 10: نموذج MATLAB للعاكس (CHB-7 L)



الشكل 11: إشارة موجة جهد و تيار الحمل للعاكس (CHB-7 L)



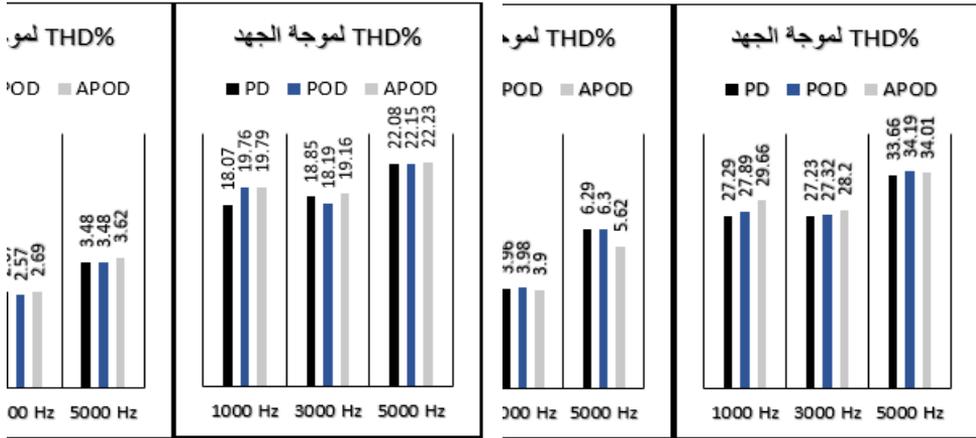
الشكل 12: التحليل التوافقي لموجة جهد الخرج للعاكس (CHB-7 L)



الشكل 13: التحليل التوافقي لموجة تيار الحمل للعاكس (CHB-7 L)

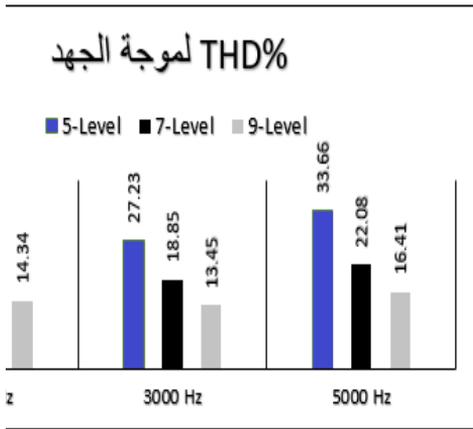
### 3.5 مقارنة بين أشهر استراتيجيات التعديل (PD-POD-APOD)

تمت محاكاة أشهر استراتيجيات التعديل PD-POD-APOD لتوليد نبضات القدر لثلاث نماذج من العواكس متعددة المستويات التسلسلية (CHB-5, CHB-7, CHB-9) عند ترددات تبديل مختلفة (تردد إشارة الموجة الحاملة)، وبحمولة تحريضية ثابتة لجميع النماذج  $Z_L = 7 + 0.003j$ ، فكان معدل التشوه التوافقي THD لكل طريقة على حدى موضحة بالمخططات البيانية التالية، حيث نلاحظ العلاقة بين ترددات التبديل المختلفة واستراتيجية التعديل المتبعة لتوليد نبضات القدر لعناصر إلكترونيات القدرة، وكذلك تأثير زيادة عدد مستويات موجة الجهد على قيمة معدل التشوه التوافقي للموجة الناتجة، حيث أن:

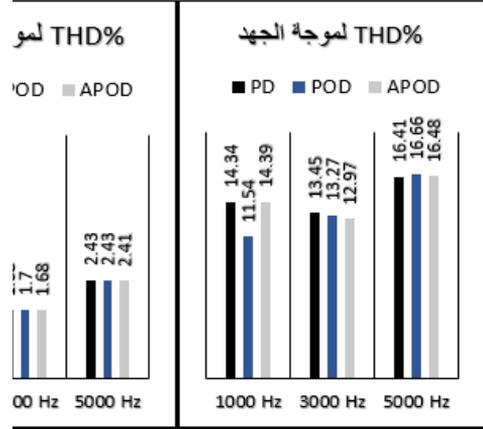


الشكل 15: معدل التشوه التوافقي للعاكس التسلسلي CHB-7

الشكل 14: معدل التشوه التوافقي للعاكس التسلسلي CHB-5



الشكل 17: معدل التشوه التوافقي عند استراتيجية PD-PWM



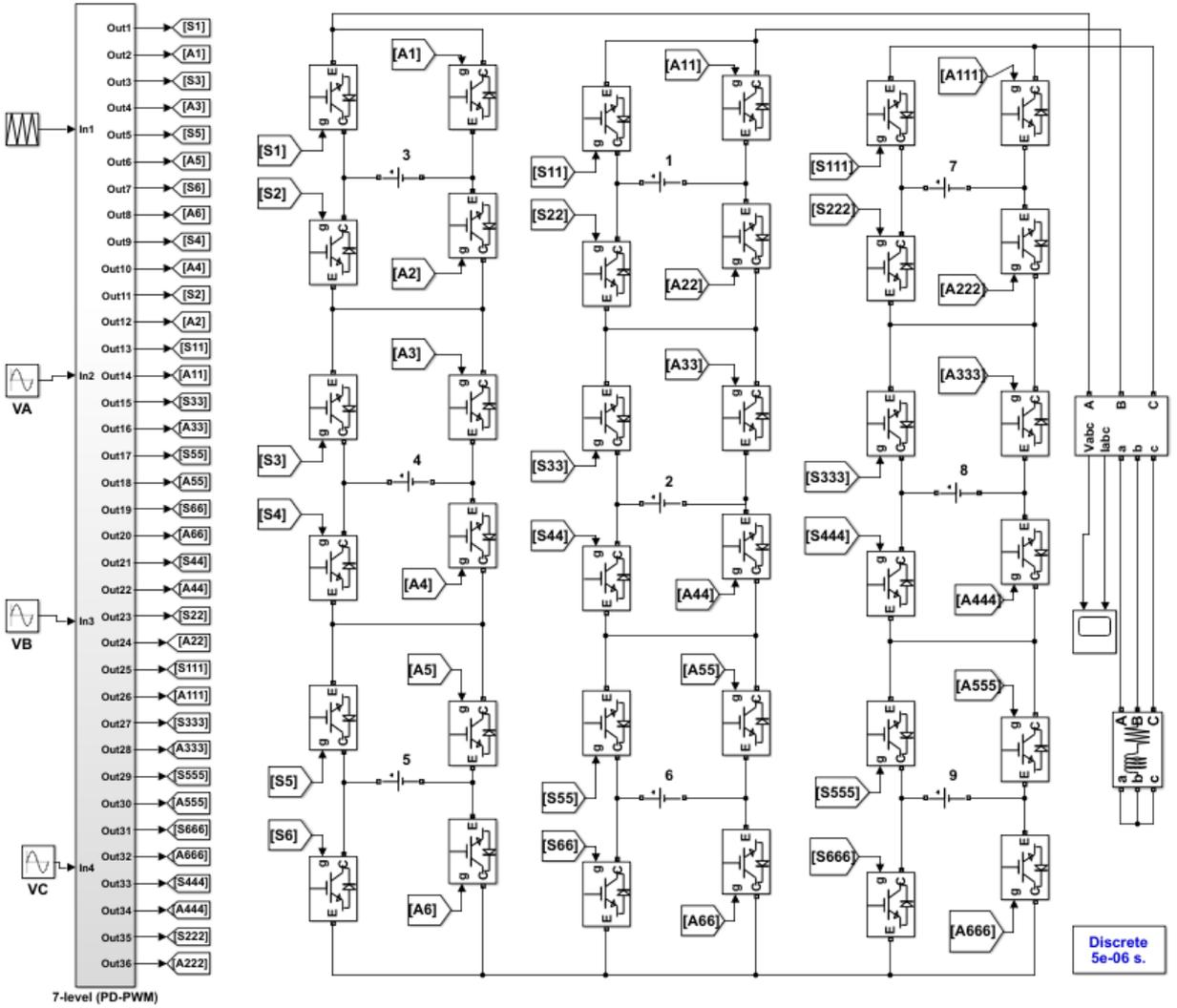
الشكل 16: معدل التشوه التوافقي للعاكس التسلسلي CHB-9

- أقل معدل تشوه توافقي عند تردد تبديل  $3000 H_z$ ، عند استراتيجيات التعديل المختلفة، وكذلك عند عدد مستويات جهد مختلفة، كما هو موضح بالشكل (14)، الشكل (15) والشكل (16).
- معدل التشوه التوافقي THD يتناسب عكساً مع عدد مستويات الجهد، كما هو موضح في الشكل (17)، حيث أنه عند استراتيجية تعديل PD-PWM كانت موجة الجهد ذات تسع مستويات تملك أقل معدل تشوه توافقي مقارنة بالمستويات الأخرى وعند ترددات تبديل مختلفة.
- عند تردد تبديل  $1000 H_z$  كان معدل التشوه التوافقي لموجة جهد وتيار الحمل الأعلى مقارنة بالترددات الأخرى.
- معدل التشوه التوافقي عند تردد  $5000 H_z$  أعلى منه عند تردد  $3000 H_z$ ، وعليه فإنه عند ترددات التبديل المرتفعة نسبياً يزداد معدل التشوه التوافقي طردياً مع ازدياد التردد.

- أفضل معدل تشوه توافقي كان عند استراتيجيتي التعديل (POD) و (PD) حيث تتقارب معدلات التشوه التوافقي بينهما في حالة العاكس أحادي الطور، ولتحديد الأفضل بينهما ندرس حالة العاكس ثلاثي الطور.

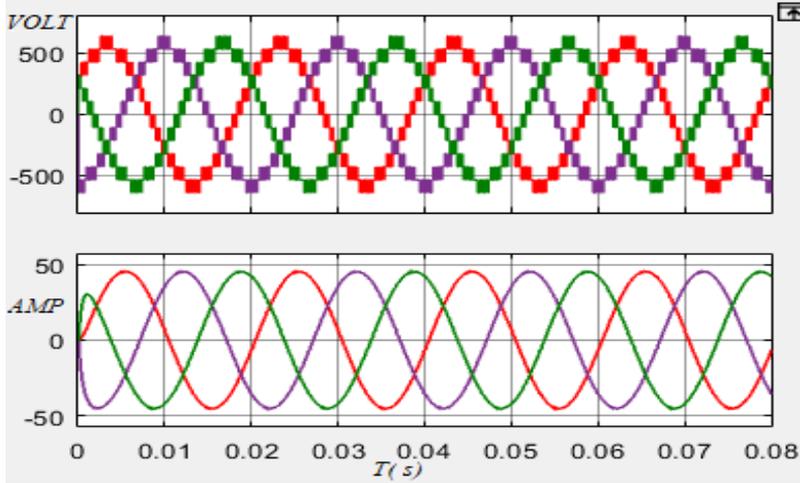
### 3.6 نمذجة العاكس التسلسلي (CHB-7 LEVEL) ثلاثي الطور:

يوضح الشكل (18) نموذج MATLAB / Simulink للعاكس التسلسلي (CHB) ذو سبع مستويات ثلاثي الطور، باستخدام استراتيجية التعديل (PD-PWM) وعند تردد موجة حامل  $3000 H_z$ ، خرج العاكس متصل بحمولة تحريضية قيمتها  $Z_L = 7 + 0.003j$ .

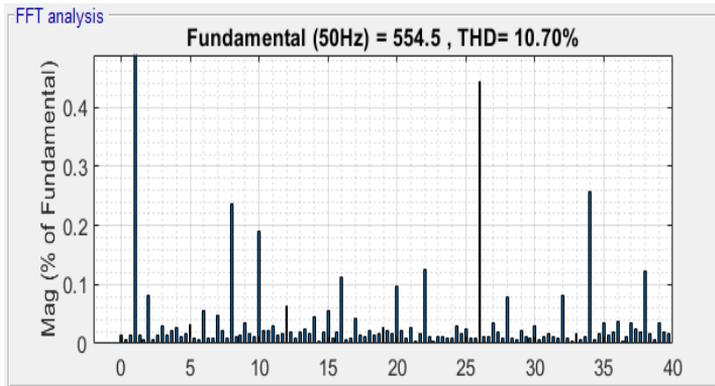


شكل 18: نموذج MATLAB للعاكس (CHB-7) ثلاثي الطور

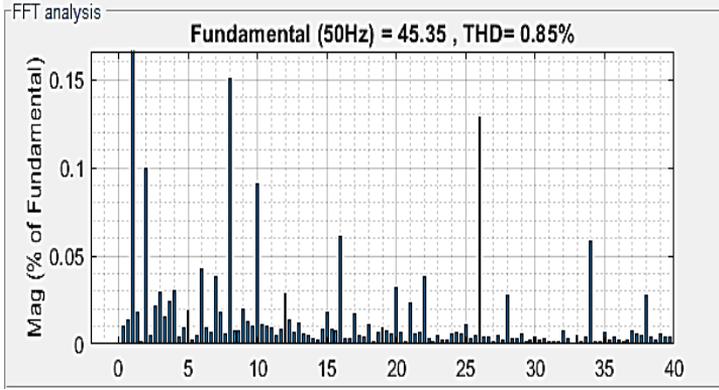
إشارة موجة جهد الخرج وتيار الحمل للعاكس (CHB-7) ثلاثي الطور موضحة بالشكل (19)، عند قياس قيمة التشوه التوافقي THD لموجة جهد الخط كانت بقيمة 10.70% كما هو موضح بالشكل (20)، بينما معدل التشوه التوافقي لموجة تيار الخط الناتجة 0.85%، كما هو موضح بالشكل (21).



الشكل 19: موجة الجهد والتيار الحمل للعاكس (CHB-7) ثلاثي الطور



الشكل 20: THD لموجة جهد الخط للعاكس (CHB-7) ثلاثي الطور



الشكل 21: THD لموجة تيار الحمل للعاكس (CHB-7) ثلاثي الطور

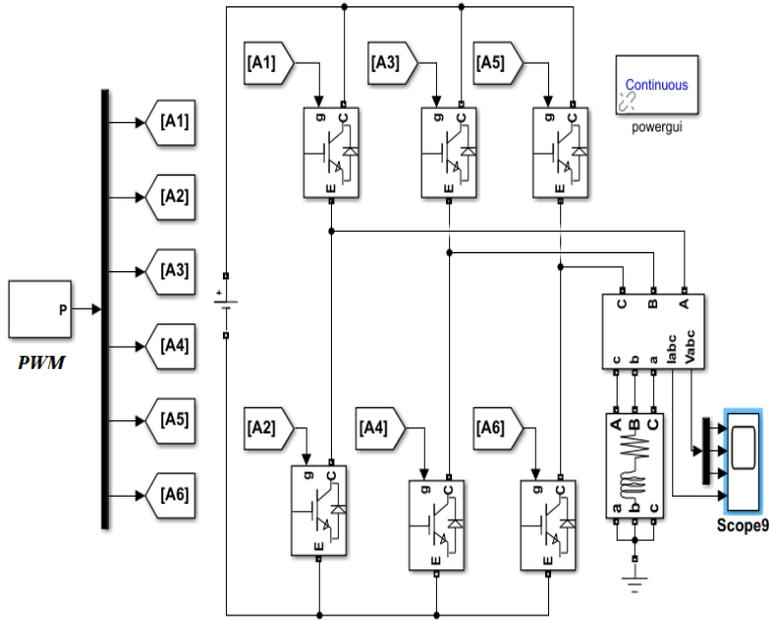
تمت محاكاة استراتيجيات التعديل المختلفة لتوليد نبضات القرح على نموذج العاكس متعدد المستويات (CHB-7 LEVEL) ثلاثي الطور عند تردد تبديل 3000 Hz فكان معدل التشوه التوافقي THD الناتج لكل طريقة على حدى موضحاً بالجدول (2) التالي.

الجدول 2: معدل التشوه التوافقي للعاكس (CHB-7 L) ثلاثي الطور

تردد التبديل 3000 Hz					
PD-PWM		P0D-PWM		APOD-PWM	
V line	I line	V line	I line	V line	I line
10.71%	0.86%	15.52%	1.58%	15.68%	<b>1.60%</b>

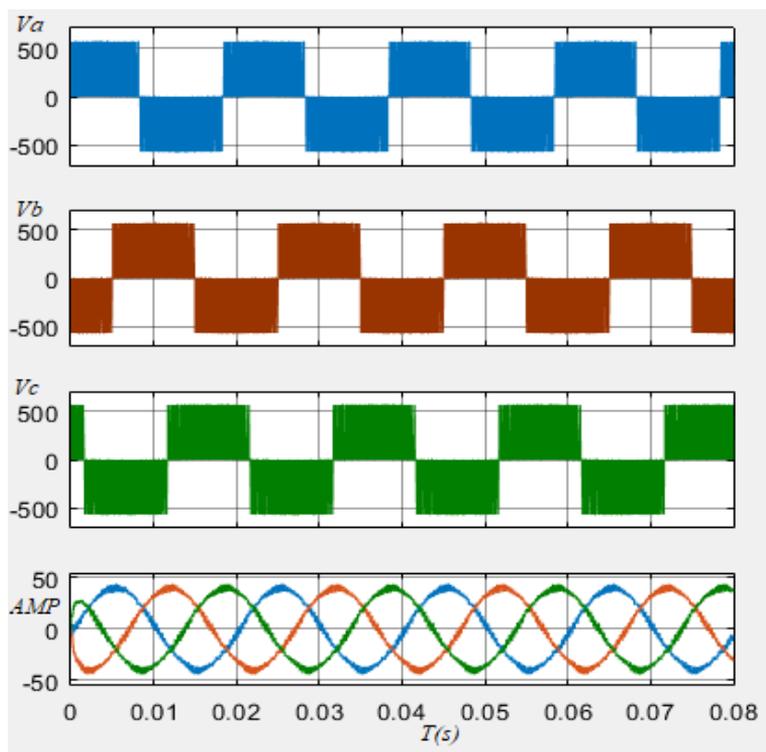
بناء عليه نلاحظ أن تقنية (PD-PWM) هي الأفضل من ناحية التشوه التوافقي THD مقارنة مع الطرق الأخرى، وعليه سنقوم بإجراء مقارنة مع دائرة العاكس التقليدية ثلاثية الطور.

يوضح الشكل (22) نموذج MATLAB / Simulink للعاكس ثلاثي الطور التقليدي ذو مستويين وعند تردد موجة حامل 3000 Hz، خرج العاكس متصل بحمولة تحريضية قيمتها  $Z_L = 7 + 0.003j$ .

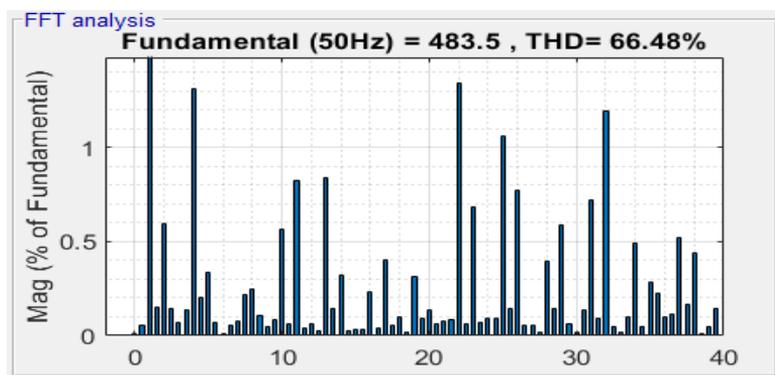


الشكل 22: نموذج MATLAB للعاكس التقليدي ثلاثي الطور

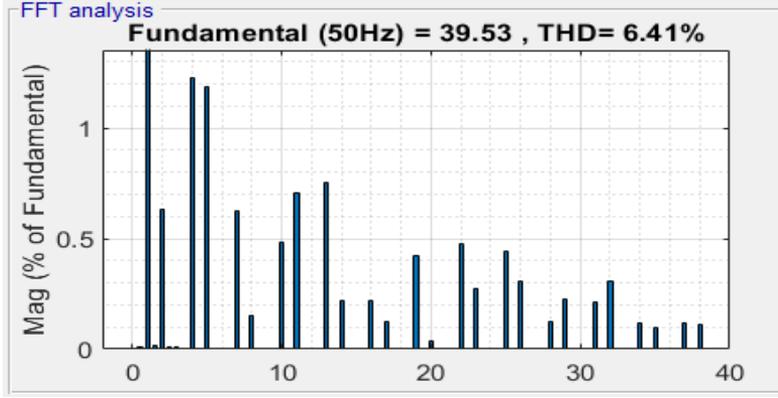
إشارة موجة جهد الخرج وتيار الحمل للعاكس التقليدي ثلاثي الطور بدون استخدام مرشحات موضحة بالشكل (23)، عند قياس قيمة التشوه التوافقي THD لموجة جهد الخط كانت بقيمة 66.48% كما هو موضح بالشكل (24)، في حين أن معدل التشوه التوافقي لموجة تيار الخط الناتجة 6.41% كما هو موضح بالشكل (25).



الشكل 23: إشارة موجة جهد وتيار الحمل للعاكس التقليدي ثلاثي الطور



الشكل 24: THD لموجة جهد الخط للعاكس التقليدي ثلاثي الطور



الشكل 25: THD لموجة تيار الحمل للعاكس التقليدي ثلاثي الطور

#### 4. الاستنتاجات والتوصيات

##### الاستنتاجات

- معدل التشوه THD يتناسب عكساً مع عدد مستويات موجة الجهد أي أنه كلما ازداد عدد مستويات موجة الجهد انخفض معدل التشوه التوافقي.
- معدل التشوه THD لموجة جهد العاكس (CHB-7 L) ثلاثي الطور عند استراتيجية التعديل (APOD-PWM) تساوي 15.68%.
- معدل التشوه THD لموجة جهد العاكس (CHB-7 L) ثلاثي الطور عند استراتيجية التعديل (POD-PWM) تساوي 15.52%.
- العاكس المتعدد المستويات التسلسلي CHB-7L ثلاثي الطور وفق استراتيجية التعديل PD-PWM يحقق أقل معدل تشوه توافقي لموجة الجهد بمقدار (10.70%) مقارنة بالعاكس التقليدي 2-level ثلاثي الطور ذو معدل تشوه توافقي (66.48%) بدون مرشح وبالتالي تحسين كفاءة تحويل القدرة من شكلها المستمر إلى المتناوب.

## التوصيات

- دراسة استخدام العواكس متعددة المستويات في ربط المنظومات الكهروضوئية مع الشبكة العامة.
- دراسة استخدام العواكس DC-MLI و FC-MLI المتعددة المستويات في قيادة مضخات المياه الكهروضوئية.
- دراسة استخدام العواكس متعددة المستويات في قيادة السيارات والقطارات الكهربائية.

## الرموز

Alternative Phase opposition Disposition	APOD
Cascaded H-bridge	CHB
Diode Clamped	DC
Flying Capacitor	FC
Multilevel Inverter	MLI
Universal control scheme	UCS
Phase Disposition	PD
Phase Opposition Disposition	POD
Pulse Width Modulation	PWM
Total harmonic distortion	THD

## المراجع

- [1] Debnath, S., Qin, J., Bahrani, B., Saedifard, M., & Barbosa, P. "Operation, control, and applications of the modular multilevel converter: A review," IEEE transactions on power electronics, 30(1), 37-53. (2014).
- [2] Gonzalez, Sergio Alberto, Santiago Andres Verne, and Maria Ines Valla. "Multilevel converters for industrial applications." CRC Press, (2013).
- [3] Gupta, Krishna Kumar, and Shailendra Jain. "Control of Multilevel Inverters With Reduced Device Count." Modeling and Control of Power Electronics Converter System for Power Quality Improvements. Academic Press, 2018. 121-149.
- [4] Gupta, Krishna Kumar, and Pallavee Bhatnagar. "Multilevel inverters: conventional and emerging topologies and their control." Academic Press, 2017
- [5] Khalili, T., Raihani, A., Bouattan, O., Ouajji, H., & Amri, F. "Analysis study of a cascaded h-bridge multilevel inverter dedicated to power bank usage," Journal of Theoretical & Applied Information Technology, 88(3). (2016).
- [6] Lai, J. S., & Peng, F. Z. "Multilevel converters-a new breed of power converters," IEEE Transactions on industry applications, 32(3), 509-517. (1996).
- [7] Luo, Fang Lin, and Hong Ye. "Advanced DC/AC inverters: applications in renewable energy." Crc Press, (2017).
- [8] Massoud, A. M., S. J. Finney, and B. W. Williams. "Control techniques for multilevel voltage source inverters." IEEE 34th Annual Conference on Power Electronics Specialist, 2003. PESC'03. Vol. 1. IEEE, (2003).
- [9] McGrath, Brendan Peter, and Donald Grahame Holmes. "Multicarrier PWM strategies for multilevel inverters." IEEE Transactions on industrial electronics 49.4 (2002): 858-867
- [10] Rodriguez, J., Lai, J. S., & Peng, F. Z. "Multilevel inverters: a survey of topologies, controls, and applications," IEEE Transactions on industrial electronics, 49(4), 724-738. (2002).
- [11] Suresh, Y., Venkataramanaiah, J., Panda, A. K., Dhanamjayulu, C., & Venugopal, P. "Investigation on cascade multilevel inverter with symmetric, asymmetric, hybrid and multi-cell configurations," Ain Shams Engineering Journal, 8(2), 263-276. (2017)

## خوارزمية البحث عن مسار نبرة الصوت

### في الإشارة الكلامية

الدكتور المهندس حسان محمد احمد

أستاذ مساعد، كلية هندسة الحاسوب والمعلوماتية، الجامعة السورية الخاصة

#### الملخص

يُقدم هذا العمل خوارزمية العثور على مسار نبرة الصوت (pitch track) بناءً على خوارزمية مختلطة للبحث في المجالات الطيفية والزمنية (spectral & time domains) للإشارة الأصلية ولتحويلها غير الخطي (nonlinear transformation). تتشكل مجموعة القيم المرشحة (candidates) لتكوين مسار النبرة عند خرج كلٍ من دالة الارتباط التوافقي الطيفي (spectral harmonic correlation) ودالة الارتباط المتبادل المستتظمة (normalized cross-correlation) للإشارة الأصلية. بعد الفرز النهائي للقيم المرشحة في المجموعة الحاصلة، يتم تشكيل المسار النهائي لنبرة الصوت الموافقة للإشارة الكلامية.

**الكلمات المفتاحية:** الإشارة الكلامية، نبرة الصوت، دالة الارتباط.

## Pitch track search algorithm in speech signal

### Abstract

This article describes an algorithm for search a pitch track based on a mixed search algorithm in the spectral and time domains for the original signal and its nonlinear transformation. The set of candidates is formed at the output of the spectral harmonic correlation function and the normalized cross-correlation function. After the final screening of candidates, the final track is formed.

**Keywords:** speech signal, pitch, correlation function,

## 1. مقدمة

يعدُّ التردد اللحظي للنبرة الأساسية ( $F_0$ ) البارامتر الأهم في تصنيف الإشارات الكلامية في التمثيل البارامتري للكلام (speech parametric representation)، والذي يُعرّف على أنه التردد اللحظي لتذبذبات الحبال الصوتية (vocal cords) للمتكلم. من أهم المؤشرات الرئيسية لجودة التقييم، والتي تتمثل في دقة الوقت والتردد، أي سرعة الاستجابة لتغيرات  $F_0$  ومقدار الانحراف، والتي تقوم بتحديد الخوارزميات المستخدمة في معالجة الإشارة الكلامية [5,6].

إن تباين تردد النبرة الأساسية كبير جدًا، ويمكن أن يختلف اختلافاً كبيراً ليس فقط بين الأشخاص (لأصوات الذكور يكون التردد 70 – 200 Hz، ولأصوات الإناث يمكن أن يصل إلى 400 Hz)، وإنما أيضاً لشخص واحد وخاصة في الكلام الإنفعالي [1,19]. حتى الآن، هناك العديد من الخوارزميات المقترحة لتقييم النبرة الأساسية للصوت، أي حدة ارتفاع الصوت، بما في ذلك تلك التي تستخدم طرق التقييم في كلٍ من مجالات الزمن والتردد [9,10,11,16,28]، وأكثر هذه الخوارزميات شيوعاً هي RAPT [24] و YIN [2,8] و SWIPE [7] وتعديلاتها. وعلى الرغم من معدل الخطأ المنخفض، حتى في وجود الضجيج (سواءً الخلفي أو الشرطي الناتج عن الإثارة المختلطة للقناة الصوتية)، فإن دقة التقييم تنخفض مع تعديل  $F_0$  (modulation).

تُعدُّ طريقة الارتباط التلقائي (autocorrelation) الطريقة الرئيسية التي ظهرت لاحقاً على أساسها عائلة كاملة من خوارزميات تحديد نبرة الصوت في الإشارة الكلامية. والنهج بسيط للغاية - من الضروري حساب دالة الارتباط التلقائي وأخذ أول قيمة عظمى لها، والتي ستعرض المكون الترددي الأكثر وضوحاً في الإشارة [13,14].

## 2. هدف البحث

نظرًا لأن مسألة تحديد تردد النبرة الأساسية ( $F_0$ ) تبرز تقريبًا، بشكل أو بآخر، أمام كل شخص يعمل مع الصوت والكلام، فلا بد من إيجاد طريقة أكثر فعالية من الطرق المتاحة لحلها.

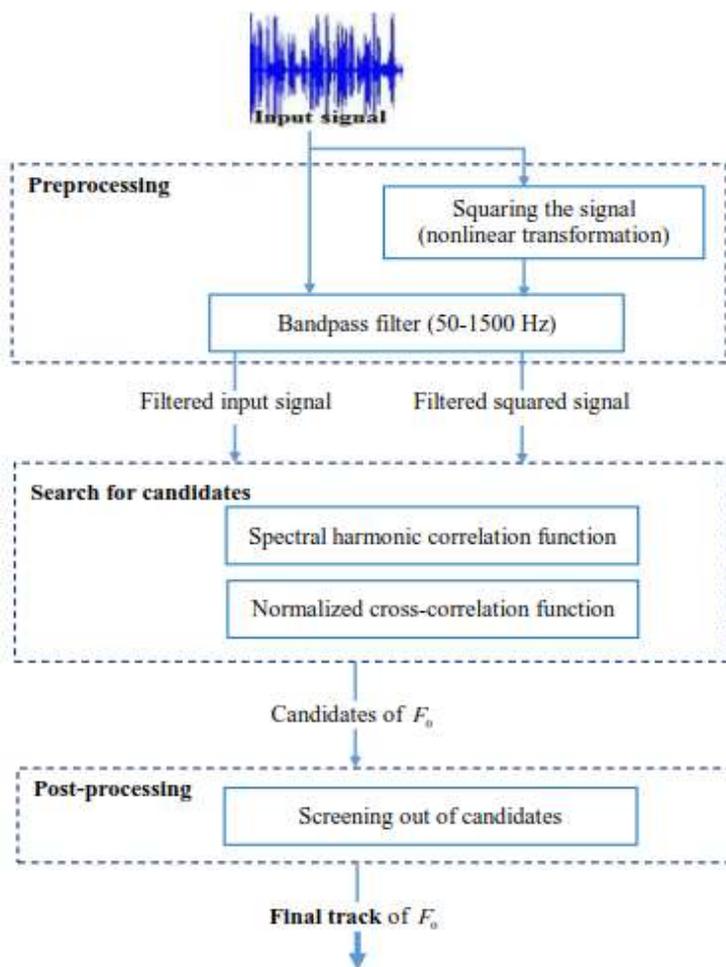
يتجلى الهدف الرئيس من هذا العمل في إيجاد خوارزمية تقوم بتقليل الحساسية تجاه تعديلات التردد الأساسي لنبرة الصوت ودرجة الضجيج في الإشارة الكلامية من خلال دمج طريقة الارتباط (correlation method) واختيار التردد (frequency selection) لتقييم التردد اللحظي للنبرة الأساسية ( $F_0$ )، وتعمل على تحديد مسار نبرة الصوت في الإشارة الكلامية.

## 3. مواد وطرق البحث

بعد أن وضعنا أمامنا مسألة تقليل الحساسية تجاه تعديلات التردد الأساسي لنبرة الصوت ودرجة الضجيج في الإشارة الكلامية، فإن طريقتنا المقترحة لتشكيل مسار النبرة تستخدم دالة الارتباط المتبادل المستنظمة (normalized cross-correlation function, NCCF) في البحث عن القيم المرشحة لتشكيل مسار النبرة وتركيبية من طريقة الارتباط واختيار التردد  $F_0$ . لذلك، ولأجل تحقيق الاستقرار ضد التشويشات الخارجية، نقوم بإجراء التقييم في المنطقة الطيفية للإشارة الأصلية ولتحويلها غير الخطي.

### 3.1 توصيف الخوارزمية المقترحة

يمكن تحديد الخطوات الرئيسية للخوارزمية وفق الآتي: المعالجة المسبقة (Preprocessing) للإشارة، والبحث عن القيم المرشحة (Search for candidates) لتشكيل مسار النبرة، والمعالجة النهائية اللاحقة (final post-processing). يبين الشكل (1) المخطط العام للخوارزمية المقترحة.

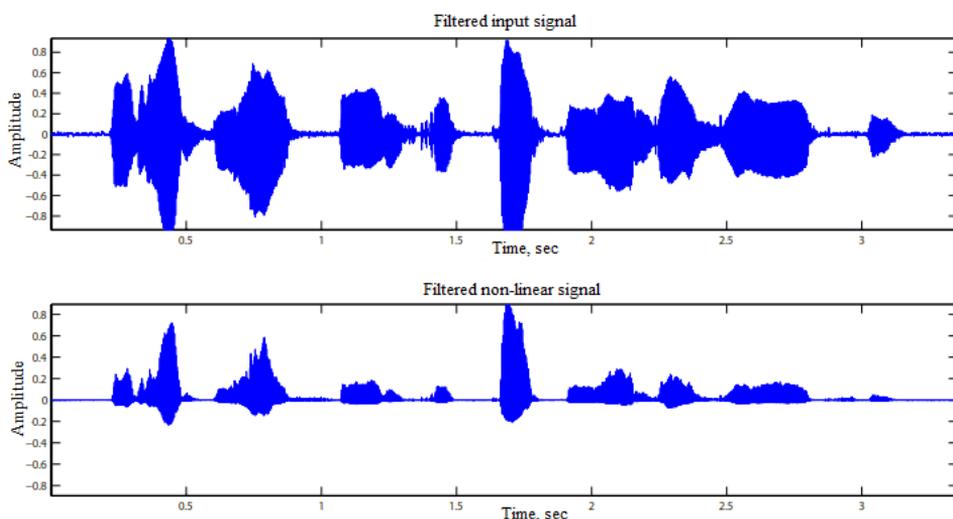


الشكل (1): المخطط العام لخوارزمية تحديد مسار النبرة

### 3.1.1.1 المعالجة المسبقة

يظهر التردد الأساسي  $F_0$  عند استخدام مربع الإشارة حتى لو كان المطال (amplitude) صغيراً أو غائباً في البيانات الأولية، كما هو موضح في [26]، وهذا مميز للكلام في الخطوط الهاتفية. وبالتالي، فإن المعالجة المسبقة تشمل إنشاء نسخة من الإشارة الأصلية وتحويلها غير الخطي، أي التربيع (squaring) والاستنظام

(normalization)، وكذلك الترشيح اللاحق للإشارات الأصلية والمربعة باستخدام مرشح تمرير حزمة (band pass filter, BPF) بعرض حزمة ترددات (bandwidth) من ( ) ضمن المجال (50–1500Hz) [15،18]. يتم تحديد الفاصل الزمني (interval) على التردد  $F_0$  (60–400Hz). يبين الشكل (2) نتائج المعالجة المسبقة للإشارة الكلامية.



الشكل (2): الإشارة الأصلية والملاحظة بعد الترشيح

3.1.2. البحث عن القيم المرشحة لـ  $F_0$  وفقاً للقيمة العظمى لدالة الارتباط

التوافقي الطيفي، SHC.

يعتمد أساس طريقة اختيار التردد على افتراض أنه أثناء الإثارة الصوتية للفنارة الصوتية (vocal tract)، يحتوي طيف الإشارة على ذروات (peaks) عند الترددات التي تعد مضاعفات تردد النبرة الأساسية (pitch frequency) [27]. يتم إجراء البحث على فترات زمنية (32 ms) مع تراكب (overlap) بمقدار (10 ms) وتردد أخذ عينات (sampling frequency) (16kHz).

للحصول على تبيين تردد (frequency resolution) أفضل، يتم تطبيق عملية الاستيفاء (interpolation) باستخدام مرشح الكتروني مثالي نافذي (windowed sinc filter)، الذي يقوم بحذف كل الترددات في طيف الإشارة والتي هي أعلى من تردد القطع الأساسي (cutoff frequency) ويبقي حزمة التردد المنخفضة للإشارة، ونحصل بذلك على خطوة التردد (frequency step) من (7.8 Hz) وعرض النافذة من 2048 عينة (samples) [24]. بعد ذلك، يتم إنشاء دالة الارتباط التوافقي الطيفي (spectral harmonic correlation function, SHC)، والتي تحدد العلاقة التالية:

$$SHC(n, f) = \sum_{-W/2}^{W/2} \prod_{r=1}^R S(n, r f + W/2) \quad (1)$$

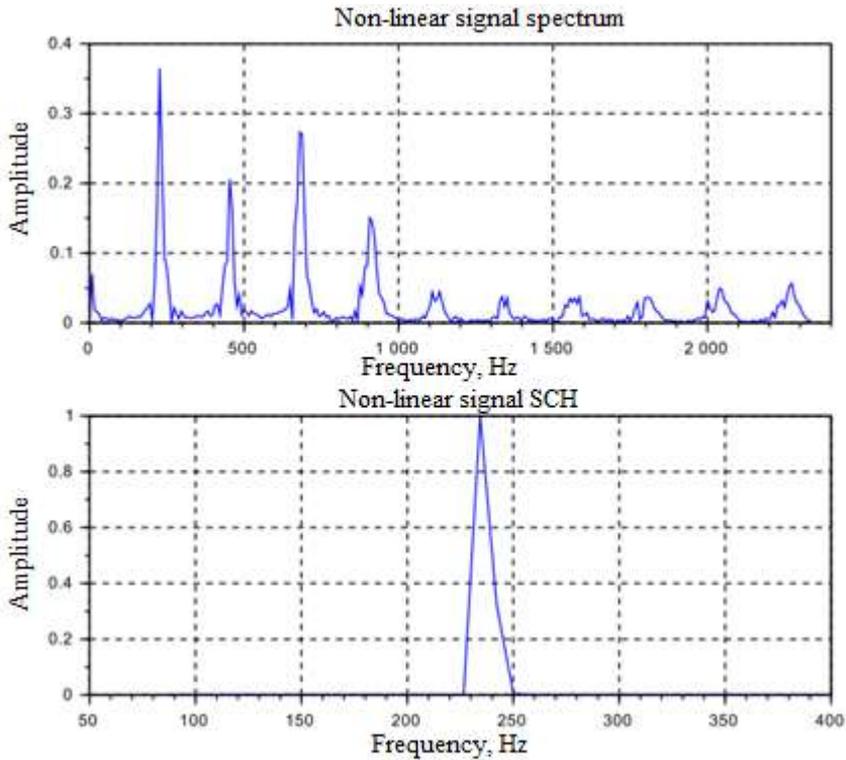
حيث:

$S(n, f)$  - طيف الإشارة للإطار (frame)  $n$ ؛  $f$  - تردد الإشارة (frequency)؛  
 $W$  - عرض النافذة (window width)؛  $R$  - عدد التوافقيات (number of harmonics).

نظرًا لأن الإشارة مستنظمة، فإن القيمة القصوى للدالة SHC هي 1. يتم إجراء البحث عن القيمة العظمى المحلية فقط من أجل طيف الإشارة المربعة، وتحدد قيمة العتبة (0.6) لاستبعاد القيم العظمى الخاطئة. يبين الشكل (3) طيف ودالة الارتباط المتبادل الطيفي لإطار من الإشارة.

لتقليل الأخطاء، يتم حساب  $F_0$  في المقاطع الصوتية. لأجل تحديد نوع الفاصل الزمني، يتم استخدام نسبة الطاقة الترددية المنخفضة المستنظمة (normalized low-frequency energy ratio, NLFER) [20,21]، والتي يتم تحديدها من خلال نسبة مجموع المكونات الطيفية للإطار في النطاق الترددي  $F_{0max} - F_{0min}$  إلى متوسط القيمة على الإشارة بأكملها، وفق العلاقة التالية:

$$NLFER(n) = \frac{\sum_{f=F_0 \min}^{F_0 \max} S(n, f)}{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \sum_{f=F_0 \min}^{F_0 \max} S(n, f)} \quad (2)$$



الشكل (3): طيف ودالة الارتباط المتبادل الطيفي لإطار من الإشارة

### 3.1.3 البحث عن القيم المرشحة لـ $F_0$ وفقاً للقيمة العظمى لـ NCCF

يتم حساب القيم المرشحة لتحديد مسار النبرة لكل من الإشارة الأصلية  $(s(n))$  والإشارة المعدلة بشكل غير خطي  $(s(n+k))$  باستخدام دالة الارتباط المتبادل المستتظمة (NCCF) وفق العلاقة التالية:

$$NCCF(k) = \frac{1}{\sqrt{e_0 e_k}} \sum_{n=1}^{N-K_{\max}} s(n)s(n+k) \quad (3)$$

حيث:

$$e_0 = \sum_{n=1}^{N-K_{\max}} s(n)^2, \quad e_k = \sum_{n=k}^{k+N-K_{\max}} s(n)^2, \quad K_{\min} \leq k \leq K_{\max}$$

تتوافق القيم القصوى المحلية لـ NCCF مع تأخر (delay) الإشارة الذي يساوي دور (period) النبذة الأساسية. في حالة وجود بعض القيم القصوى المحلية لـ NKKF القريبة بالقيمة من 1، يتم تحديد القيمة الموافقة لأصغر دور. نظرًا لأن القيم الموجودة في المقاطع غير الصوتية أقل بكثير من 1، يتم حساب NKKF فقط في المقاطع الصوتية وفقًا للعلاقة (3).

#### 3.1.4. المعالجة اللاحقة النهائية

في مرحلة المعالجة اللاحقة النهائية، يتم البحث عن دائرة (contour) قيم النبذة الأساسية باستخدام البرمجة الديناميكية (dynamic programming)، التي تربط القيم المرشحة لدور النبذة التي تم العثور عليها في المجالين الطيفي والديناميكي، وبذلك يُفرض قيد على أن تردد النغمة الأساسية يتغير ببطء، وبالتالي، يجب ألا تختلف قيم ترددات الإطارات المتجاورة اختلافًا كبيرًا.

#### 4. نتائج التجارب

أجريت جميع التجارب والاختبارات في بيئة ماتلاب (Matlab) وباستخدام صندوق الأدوات البرمجية المفتوحة المصدر [25,31].

##### 4.1. قاعدة البيانات الكلامية

من المهم جدًا أن يتم اختبار خوارزميات تحديد تردد نبذة الصوت الأساسية ( $F_0$ ) ومسارها في الإشارة الكلامية على ذات قواعد البيانات الكلامية. يتوفر العديد من قواعد

البيانات الكلامية مفتوحة المصدر والتي تم إنشاؤها من قبل بعض مخابر الأبحاث المتخصصة، ومنها:

- "The Pitch-Tracking Database": تشمل 2342 عبارة تم تسجيلها بأصوات 10 رجال و 10 نساء [17]؛
- "The fundamental frequency determination algorithm evaluation database": تشمل 50 عبارة تم تسجيلها مرة بصوت رجل، ومرة أخرى بصوت امرأة [4].
- "LibriSpeech ASR corpus": تشمل ما يقارب 1000 ساعة قراءة باللغة الإنكليزية بتردد (16 kHz) [29].
- "RAVDESS": تشمل 1440 ملفاً صوتياً بتردد (48 kHz) [30].

تتضمن البيانات تسجيلات صوتية (تم تسجيلها باستخدام ميكروفونات خاصة (laryngophone)) وقيم لترددات معيارية مرجعية لنبرة الصوت الأساسية تم حسابها وفقاً للمسارات (trajectory) من الميكروفون الخاص.

تم في هذا العمل استخدام قاعدة البيانات "The Pitch-Tracking Database"، واحتساب الترددات المرجعية في نافذة بعرض (32 ms) وبتركاكات من (10 ms).

#### 4.2 مسار تردد النبرة الأساسية

يبين الشكل (4) نتيجة اختبار الخوارزمية المقترحة والممثلة بالمسار النهائي لنبرة الصوت في الإشارة الكلامية المستخدمة.

يتمثل مقياس الأخطاء في نسبة الأخطاء الجسيمة (Gross Error, GE) التي يمكن حسابها بالعلاقة التالية:

$$GE = \frac{1}{N_{VF}} \sum_{k=1}^{N_{VF}} \delta(F_0^{ref}(t), F_0^{est}(t)) \quad (4)$$

حيث:

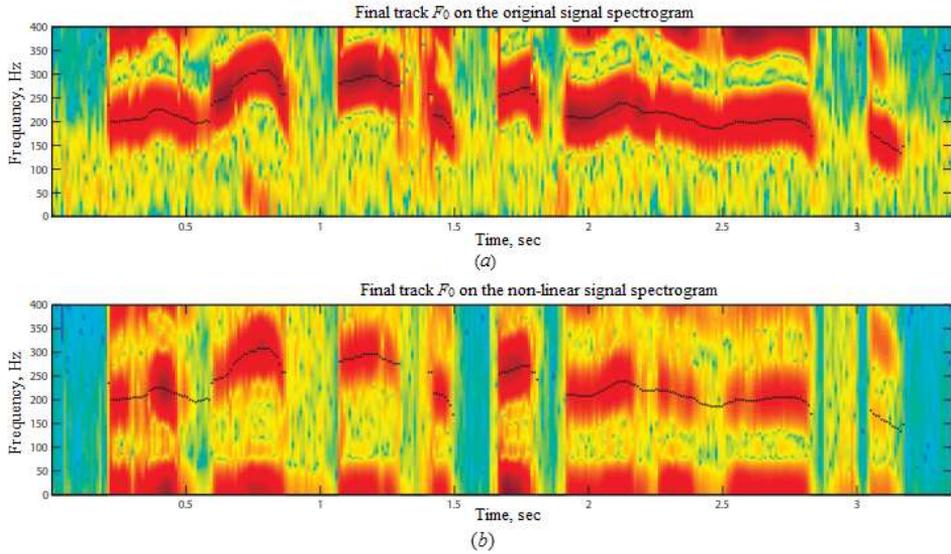
$$\delta(F_0^{ref}(t), F_0^{est}(t)) = \begin{cases} 1, & \left| \frac{F_0^{ref}(t) - F_0^{est}(t)}{F_0^{ref}(t)} \right| > 0.2 \\ 0 & \end{cases}$$

$N_{VF}$  - عدد الإطارات الصوتية (vocalized frames)؛

$F_0^{ref}$  - القيمة المرجعية (reference value) للتردد النبرة الأساسية  $F_0$ ؛

$F_0^{est}$  - القيمة التقديرية (estimated value) للتردد النبرة الأساسية  $F_0$ ؛

بالتالي، يتم تحديد الإطارات مع التقييم الحاصل بأكثر من 20%.



الشكل (4): (a) - طيف الإشارة الأصلية والمسار النهائي للتردد  $F_0$

(b) - طيف التحويل اللاخطي للإشارة والمسار النهائي للتردد  $F_0$

## 5. الاستنتاجات والتوصيات

نظرًا لأن مسألة تحديد تردد النبرة الأساسية ( $F_0$ ) تبرز بشكل أو بآخر تقريبًا أمام كل شخص يعمل مع الصوت والكلام، فإننا نجد العديد من الطرق لحلها. يتم تحديد مسألة الدقة المطلوبة وخصائص المواد الصوتية المستخدمة في كل حالة محددة وفقًا

لضرورة تحديد البرامترات بعناية، أو يمكن الاقتصار على حل المسألة باستخدام خوارزمية معروفة.

تم تنفيذ الطريقة المقترحة لإيجاد مسار النبذة الأساسية للصوت في الإشارة الكلامية على أساس خوارزمية البحث المشترك في المجالين الطيفي والزمني للإشارة الكلامية الأصلية ولتحويلها غير الخطي. وقد بين التجارب أن فعالية الطريقة تعود إلى استخدام النسخة اللاخطية للإشارة للبحث عن القيم المرشحة لتحديد مسار نبذة الصوت الأساسية ودمج نتائج البحث.

وبنتيجة الاختبارات، بلغت قيمة الأخطاء الجسيمة  $GE = 3.75\%$  للذكور، و  $GE = 3.45\%$  للإناث. بالتالي، بلغت دقة تحديد مسار النبذة في الإشارة الكلامية للذكور  $96.25\%$  وللإناث  $96.55\%$ .

يمكن استخدام الخوارزمية المقترحة لتحديد تردد النبذة الأساسية لحل مجموعة واسعة من المسائل:

- التعرف على الحالة الانفعالية للشخص (emotion recognition)؛
- تحديد جنس المتكلم (gender speaker determination)؛
- تجزئة الصوت أو تقسيم الكلام إلى جمل (speech segmentation, speech)؛
- (dividing into phrases)؛
- في الطب، لتحديد الخصائص المرضية للصوت (على سبيل المثال، التعرف على علامات مرض باركنسون [20]).

## 6. المراجع

1. Akhmad, H M 2007 – **Vvedenie v cifrovuyu obrabotku rechevnyh signalov**. Ucheb. posobie / H. M. Ahmad, V. F. Zhirkov; Vladim. gos. un-t. – Vladimir: Izd-vo Vladim. gos. un-ta, – 192 s. – ISBN 5-89368-751-5 [Rus]
2. AULIA, F, BASUKI, A, DEWNTARA, B S B 2020 Implementation of Yin Algorithm to Detect Human Voice Emotions According to Gender: Implementation of Yin Algorithm to Detect Human Voice Emotions According to Gender. **Jurnal Mantik**, 4(1), pp. 709-717.
3. AZAROV, I S, VASHEVICH, M I, PETROVSKIY, A A 2012 Algoritm ocenki mgnovennoj chastoty osnovnogo tona rechevogo signala // **Cifrovaya obrabotka signalov**, № 4. S. 49–57. [Rus]
4. BAGSHAW, P C, MILLER, S M, JACK, M A 1993 Enhanced pitch tracking and the processing of the F0 contours for computer aided intonation teaching // **Proceedings of EUROSPEECH, Berlin, Germany**, 1003–1006. <http://www.cstr.ed.ac.uk/research/projects/fda>
5. BEAT GFELLER, CHRISTIAN FRANK et al. 2020 SPICE: Self-supervised Pitch Estimation. **IEEE trans. On audio, speech and language processing**, CASSP-2020.
6. BRATA, I P B W & DARMAWAN, I D M B A 2021 Comparative study of pitch detection algorithm to detect traditional Balinese music tones with various raw materials. **J. Phys.: Conf. Ser. 1722 012071**.
7. CAMACHO, A, HARRIS, J G 2008 A saw tooth waveform inspired pitch estimator for speech and music // **Journal Acoust. Soc. Am. 2008**, Vol. 123, № 4. P. 1638–1652.
8. CHEVEIGNE, A, HIDEKI KAWAHARA 2002 YIN, a fundamental frequency estimator for speech and music.

- Computer Science, Medicine The Journal of the Acoustical Society of America.** J. Acoust. Soc. Am. 111 (4).
9. GERHARD, D 2003 Pitch Extraction and Fundamental Frequency: History and Current Techniques. **Technical report, Dept. of Computer Science, University of Regina-2003.**
  10. HERMES, D J 1993 – **Pitch analysis / Visual Representations of Speech Signals** / edited by M. Cooke, S. Beet, M.C. Wiley. 1993. P. 325.
  11. HESS, W J 1992 – **Pitch and voicing determination / Advances in Speech Signal Processing** /edited by S. Furui, M.M. Sohndi. 1992. P. 348.
  12. KAVITA, K, ZAHORIAN, S 2002 Yet another algorithm for pitch tracking // **Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP), 2002 IEEE International Conference.** IEEE 2002. Vol. 1. P. 1—361.
  13. KOLOKOVO, A S, Lyubinskij, I A **2019** Izmerenie osnovnogo tona rechevogo signala s ispolzovaniem funkicii avtokorrelyacii. **Avtomat. i telemeh.** , vypusk 2, stranicy 152–160. [Rus]
  14. MANPREET KAUR, GAGADEEP KAUR, PRIYNKA SOOD **2020** Analysis of performance of pitch estimation techniques. **Journal of critical reviews**, VOL 7, ISSUE 17.
  15. ORCHISAMA DAS, JULIUS, SMITH, O, CHRIS CHAFE **2020** Improved Real-time Monophonic Pitch Tracking with the Extended Complex Kalman Filter. **Journal of the Audio Engineering Society**, Vol 68, No. 1/2.
  16. PAVLOVETS, A, PETROVSKY, A 2011 Robust HNR-based closed loop pitch and harmonic parameters estimation // **Proc. the 12th Annual Conference of the International Speech Communication Association (Interspeech-2011)**, Italy, Florence, 27-31 August 2011.
  17. PIRKER, G, WOHLMAYR, M, PETRIK, S et al 2012 Database for multi-pitch tracking // Graz University of Technology,

- Signal Processing and Speech Communication Laboratory.**  
**<http://www2.spsc.tugraz.at/databases/PTDB-TUG/>**
18. PRADEEP RENGASWAMY, KIRAN REDDY et al 2020. Robust f0 extraction from monophonic signals using adaptive sub-band filtering. **Speech Communication**, Volume 116, January 2020, Pages 77-85.
  19. PRAJWAL, S, KHOUSHIKH, S et al 2020 A Comparative Study of Various Pitch Detection Algorithms. **IEEE, 5th International Conference on Computing, Communication and Security (ICCCS).**
  20. RUSZ, J, CMEJLA, R, RUZICKOVA, H 2011 Quantitative acoustic measurements for characterization of speech and voice disorders in early untreated Parkinson's disease. **The Journal of the Acoustical Society of America**, vol. 129, issue 1, pp. 350-367.
  21. RYHOR VASHKEVICH, ELIAS AZAROV 2020 Pitch-invariant Speech Features Extraction for Voice Activity Detection. **IEEE, 22th International Conference on Digital Signal Processing and its Applications (DSPA).**
  22. STEPHEN, A, ZAHORIAN, PRINCY DIKSHIT, HONGBING HU 2006 A spectral-temporal method for pitch tracking. **INTERSPEECH 2006 - ICSLP, Ninth International Conference on Spoken Language Processing**, Pittsburgh, PA, USA, September 17-21.
  23. STEVEN, W SMITH 1999 – **Digital Signal Processing**. California Technical Publishing, Second Edition.
  24. TALKIN, D 1995 – **A Robust Algorithm for Pitch Tracking (RAPT) / Speech Coding and Synthesis** / W.B. Kleijn, K.K. Paliwal eds. Elsevier, ISBN 0444821694. 1995.
  25. MIKE BROOKS, **VOICEBOX: Speech Processing Toolbox for MATLAB.**  
**<http://www.ee.ic.ac.uk/hp/staff/dmb/voicebox/voicebox.html>**

26. ZAHORIAN, S A, HU H 2008 A spectral/temporal method for robust fundamental frequency tracking // **The Journal of the Acoustical Society of America**. № 123. P. 4559–4571.
27. ZHUKOVA, A B, MASLENNIKOV, A L 2019 Voice pitch frequency detection via spectrum peaks search with additional frequency weight functions. **Politechnical student journal**, no. 12(41)
28. ZUBRYCKI, P, PETROVSKY, A 2010 Quasi-periodic signal analysis using harmonic transform with application to voiced speech processing // **ISCAS 2010**: 2374-2377.
29. VASSIL PANAYOTOV et al 2015 LibriSpeech: an ASR corpus based on public domain audio books. **ICASSP 2015**. <http://www.openslr.org/12> ;
30. LIVINGSTONE SR, RUSSO FA 2018 The Ryerson Audio-Visual Database of Emotional Speech and Song (RAVD ESS). <https://smartlaboratory.org/ravdess/>.
31. JYH-SHING ROGER JANG 2021 **Speech and Audio Processing (SAP) Toolbox**. <http://mirlab.org/jang/matlab/toolbox/sap>.

# التوزيع الأمثل للمكثفات في شبكات التوزيع الكهربائية بهدف تخفيض الضياعات اعتماداً على خوارزمية أمثلية عناصر السرب

طالب الماجستير: م. عبد الهادي حاج أحمد

كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة البعث

إشراف: أ.د. أسامة الخياط

## ملخص البحث

يشكل نظام التوزيع الكهربائي جزءاً رئيسياً في نظام القدرة لأنه الرابط بين نظام نقل الطاقة وأحمال المستهلكين. تنمو شبكات التوزيع بشكل كبير وتمتد بعيداً عن المصدر مما يسبب ضياعات في النظام وانخفاض في التوتر وكذلك انخفاض عامل الاستطاعة. يمكن تحسين هذه العوامل إلى حد كبير عن طريق تعويض الاستطاعة الردية. نظراً لأن الجزء الأكبر من أحمال نظام التوزيع هي من النوع التحريضي، يمكن إجراء تعويض الاستطاعة الردية عن طريق وضع بنوك من المكثفات في المواقع المثلى في الشبكة. في هذا البحث يتم تحديد الموقع الأمثل وكذلك الاستطاعة المثلى للمكثفات باستخدام خوارزمية أمثلية عناصر السرب (PSO) بهدف تخفيض الضياعات وتحسين التوتر. تم اختبار الخوارزمية على شبكات قياسية 15 و 33 عقدة، وأثبتت النتائج فعالية الخوارزمية المقترحة في الوصول إلى الحل الأمثل.

**الكلمات المفتاحية:** شبكات التوزيع الكهربائية، المكثفات، الاستطاعة الردية، جريان الاستطاعة.

## Optimal Distributed of Capacitors in Electrical Distribution Networks for Reduce the Losses Based on Particle Swarm Optimization Algorithm

### Abstract

Electrical distribution system forms a major part in the power system as it is the link between power transmission system and the consumers loads. Distribution systems are growing in large and are stretched too far leading higher system losses, voltage drop and low power factor. These factors can be improved to a greater extent using reactive power compensation. As major part of the load in distribution system is of inductive type, reactive power compensation can be done by placing capacitor banks at optimal locations in the system. In this research the optimal location and size of capacitors is determined using particle swarm optimization algorithm (PSO) for losses reduction and voltage improvement. The algorithm was tested on 15 and 33 bus standard systems, and The results proved the effectiveness of the proposed algorithm in reaching the optimal solution.

**Keywords:** Electrical distribution networks, capacitors, reactive power, power flow.

## 1. مقدمة:

نظراً لأن أنظمة التوزيع تنمو بشكل كبير وتمتد إلى مناطق بعيدة، الأمر الذي يؤدي إلى زيادة ضياعات النظام وضعف في تنظيم الجهد، فقد أصبحت الحاجة إلى نظام توزيع فعال أكثر إلحاحاً وأهمية.

في هذا الصدد، إن تعويض الاستطاعة الردية بواسطة المكثفات هي واحدة من أكثر الطرق استخداماً لتحقيق عدة أهداف منها: تحسين التوتر، تخفيض الضياعات، زيادة قدرة نقل الطاقة للخطوط وتحسين عامل الاستطاعة [1]، كما يتسبب التوصيل الغير أمثل للمكثفات في زيادة الضياعات [2]، لذلك من المهم إيجاد أفضل موقع واستطاعة للمكثفات للحصول على أقل ضياعات ممكنة.

يوجد العديد من الطرق والتقنيات المستخدمة لحل مشكلة وضع المكثفات بالشكل الأمثل في شبكات التوزيع الكهربائية، منها البرمجة التحليلية والعددية والنكاه الاصطناعي، حيث تم اقتراح طريقة البرمجة غير الخطية المختلطة في [3]. كما تم استخدام طريقة الشبكات العصبونية لحل المشكلة كما في [4]. تم في [5] استخدام البرمجة الديناميكية الضبابية حيث استخدم الباحث هذا النموذج لشرح فقدان الاستطاعة الحقيقية وانحراف التوتر. أما في [6] تم استخدام الخوارزمية الجينية لحل مشكلة وضع المكثفات بالشكل الأمثل في الشبكة.

تعتمد خوارزمية أمثلية عناصر السرب (PSO) على السلوك الاجتماعي لبعض المجموعات في الطبيعة (الطيور، النحل، الأسماك، ...) وتقوم بالبحث في فضاء البحث عن طريق تعديل مسارات العناصر المتحركة في الفضاء متعدد الأبعاد وتستخدم للعثور على الحل الأمثل للمشاكل الغير خطية المستمرة والمنفصلة [7]، حيث تتلخص المزايا الرئيسية لـ PSO بأنها ذات مفهوم بسيط بالإضافة إلى كفاءتها العالية عند مقارنتها بالخوارزميات الأخرى.

## 2. هدف البحث:

يهدف هذا البحث إلى إيجاد الموقع الأمثل والاستطاعة المثلى للمكثفات التي يراد توصيلها إلى شبكات التوزيع بهدف تخفيض الضياعات في هذه الشبكات بالإضافة إلى تحسين التوتر في عقد الشبكة الأمر الذي يؤدي إلى تقليل الخسائر الإجمالية وزيادة موثوقية الشبكة.

## 3. المواد وطرائق البحث:

يقوم البحث على تحليل شبكة التوزيع لحساب الضياعات والتوترات في الشبكة وثم إيجاد الموقع والاستطاعة الأمثلين للمكثفات في الشبكة، وتم استخدام برنامج Matlab لكتابة برنامج من أجل تحليل الشبكة لحساب الضياعات والتوترات (خوارزمية المسح الخلفي- الأمامي)، وكتابة برنامج يمثل خوارزمية PSO لإيجاد الحلول المثلى عن طريق ربط البرنامجين ببعضهما.

### 1.3. خوارزمية المسح الخلفي-الأمامي لحساب جريان الاستطاعة:

تعمل الخوارزمية على مرحلتين أساسيتين، المرحلة الأولى هي المسح الخلفي والمرحلة الثانية هي المسح الأمامي [8-11].

#### 1.1.3. المسح الخلفي:

في هذه الخطوة يتم حساب تيارات الأحمال الموصولة إلى كل عقدة من شبكة التوزيع وفق التالي [10]:

$$I_L(m) = \left( \frac{P_L(m) + jQ_L(m)}{V(m)} \right)^* = \left( \frac{P_L(m) - jQ_L(m)}{V^*(m)} \right) \quad (1)$$

حيث:  $I_L(m)$  تيار الحمل الموصول إلى العقدة  $m$ .

$P_L(m)$  و  $Q_L(m)$  يمثلان الاستطاعة الفعلية والردية على التوالي للحمل الموصول إلى العقدة  $m$ .

$V(m)$  توتر العقدة  $m$ .

### 2.1.3. المسح الأمامي:

تستخدم هذه الخطوة بعد المسح الخلفي لتحديد توتر كل عقدة من الشبكة على النحو التالي:

$$V(n) = V(m) - I(mn) \times Z(mn) \quad (2)$$

حيث: العقدة  $m$  والعقدة  $n$  هما عقدتا الإرسال والاستقبال على التوالي للفرع  $mn$ .

$I(mn)$  تيار الفرع  $mn$ .

$Z(mn)$  ممانعة الفرع  $mn$ .

في هذه الخوارزمية تعتمد منهجية جريان الاستطاعة على:

(1) التيارات المكافئة للأحمال

(2) مصفوفة تيارات العقد - تيارات الفروع

BIBC (The bus-injection to branch-current matrix)

(3) مصفوفة تيارات الفروع - توترات العقد

BCBV (The branch-current to node-voltage matrix)

(1) التيارات المكافئة للأحمال:

في أي عقدة من الشبكة يمكن التعبير عن الاستطاعة بالمعادلة التالية:

$$S_i = P_i + jQ_i = V_i \times I_i^* \quad i = 1, \dots, Nb \quad (3)$$

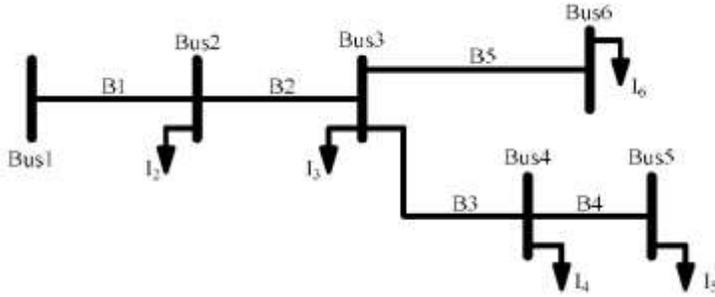
$$I_i = \left( \frac{P_i + jQ_i}{V_i} \right)^* \quad i = 1, \dots, Nb \quad (4)$$

من أجل التكرار رقم k والعقدة رقم i يمكن كتابة التيار كما يلي:

$$I_i^k = \left( \frac{P_i + jQ_i}{V_i^k} \right)^* \quad (5)$$

(2) تشكيل مصفوفة BIBC:

بتطبيق قانون كيرشوف للتيار عند كل عقدة من الشبكة يتشكل لدينا مجموعة من المعادلات تربط ما بين تيارات الأحمال وتيارات الفروع كما هو موضح في الشكل (1) الذي من خلاله يتم شرح الخوارزمية بشكل عملي وفق التالي:



الشكل (1): شبكة توزيع بسيطة

$$IB_5 = I_6$$

$$IB_4 = I_5$$

$$IB_3 = I_4 + I_5 \quad (6)$$

$$IB_2 = I_6 + I_3 + I_4 + I_5$$

$$IB_1 = I_2 + I_3 + I_4 + I_5 + I_6$$

من المعادلات السابقة يمكن كتابة مصفوفة BIBC بالشكل التالي:

$$\begin{bmatrix} IB_1 \\ IB_2 \\ IB_3 \\ IB_4 \\ IB_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ I_4 \\ I_5 \end{bmatrix} \quad (7)$$

الشكل العام للمعادلة السابقة يمكن التعبير عنه كما يلي:

$$[IB] = [BIBC] \times [I] \quad (8)$$

(3) تشكيل مصفوفة BCBV:

تلخص هذه المصفوفة العلاقة بين تيارات الفروع وتوترات العقد حيث يمكن الحصول عليها بسهولة من خلال تطبيق قانون كيرشوف للجهد.

كما هو مبين في الشكل (1)، توترات العقد 2 و3 و4 يمكن التعبير عنها كما يلي:

$$V_2 = V_1 - IB_1 \times Z_{12} \quad (9)$$

$$V_3 = V_2 - IB_2 \times Z_{23} \quad (10)$$

$$V_4 = V_3 - IB_3 \times Z_{34} \quad (11)$$

بتبديل المعادلتين (9) و (10) في المعادلة الأخيرة (11) يمكن كتابة توتر العقدة 4 كما يلي:

$$V_4 = V_1 - IB_1 \times Z_{12} - IB_2 \times Z_{23} - IB_3 \times Z_{34} \quad (12)$$

من المعادلة الأخيرة يتبين أن توترات عقد الشبكة يمكن التعبير عنها كتابع لتيارات الفروع وبارامترات الخطوط والتوتر الرئيسي للمحطة الفرعية.

بالتالي يمكن كتابة مصفوفة BCBV بالشكل التالي:

التوزيع الأمثل للمكثفات في شبكات التوزيع الكهربائية بهدف تخفيض الضياعات اعتماداً على خوارزمية أمثلية عناصر السرب

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ V_1 \\ V_1 \\ V_1 \\ V_1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} V_2 \\ V_3 \\ V_4 \\ V_5 \\ V_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & 0 & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & Z_{45} & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & 0 & 0 & Z_{56} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} IB_1 \\ IB_2 \\ IB_3 \\ IB_4 \\ IB_5 \end{bmatrix} \quad (13)$$

الشكل العام للمعادلة السابقة يمكن التعبير عنه كما يلي:

$$[\Delta V] = [BCBV] \times [IB] \quad (14)$$

كما يمكن كتابتها بالشكل:

$$[\Delta V] = [BCBV] \times [BIBC] \times [I] \quad (15)$$

$$[\Delta V] = [DLF] \times [I] \quad (16)$$

$$[DLF] = [BCBV] \times [BIBC] \quad (17)$$

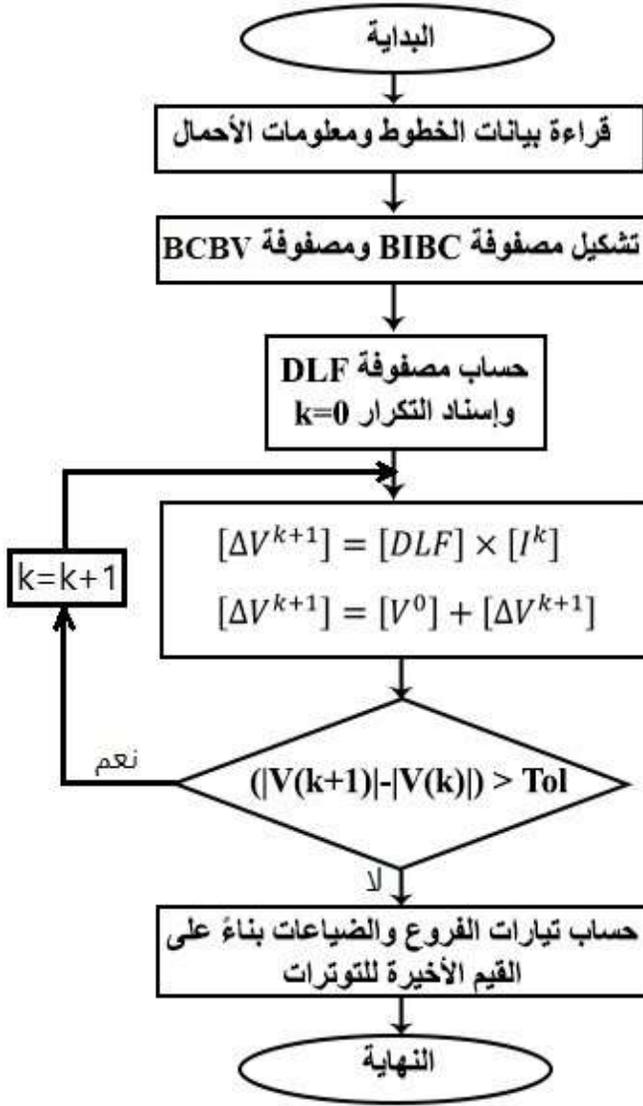
يمكن الحصول على الحل التكراري لجريان استطاعة شبكة التوزيع عن طريق حل المعادلات التالية:

$$I_i^k = \left( \frac{P_i + jQ_i}{V_i^k} \right)^* \quad (18)$$

$$[\Delta V^{k+1}] = [DLF] \times [I^k] \quad (19)$$

$$[\Delta V^{k+1}] = [V^0] + [\Delta V^{k+1}] \quad (20)$$

يمكن تلخيص خوارزمية المسح الخلفي-الأمامي بالمخطط التدفقي التالي:



الشكل (2): المخطط التدفقي لخوارزمية المسح الخلفي-الأمامي

### 2.3. خوارزمية أمثلية عناصر السرب (Particle Swarm Optimization) :

تم تقديم الخوارزمية في عام 1995 [7] كبديل للخوارزميات الجينية القياسية، حيث أن هذه الخوارزمية مستوحاة من أسراب الحشرات أو الحيوانات (الطيور، الأسماك، النحل ...) حيث تسافر هذه العناصر للعثور على الطعام، ويطلق على أفراد الخوارزمية اسم

التوزيع الأمثل للمكثفات في شبكات التوزيع الكهربائية بهدف تخفيض الضياعات اعتماداً على خوارزمية أمثلية عناصر السرب

العناصر وتسمى المجموعة سرباً. في هذه الخوارزمية يتم استخدام تعريفيين مختلفين: الأفضل للعناصر والأفضل كلياً. عندما يتحرك العنصر في مساحة البحث، فإنه يقارن قيمة لياقته في الموضع الحالي بأفضل قيمة لياقة وصل إليها من قبل.

في PSO لضبط الموقع يتم حساب سرعة كل عنصر باستخدام الموضع الحالي  $x_i$  وأفضل موضع للعنصر حتى الآن  $Pbest$  وأفضل موضع كلي للعنصر في  $Gbest$  وبالتالي ستعتمد حركة العناصر على خبرتهم الخاصة بالإضافة لتجارب الأصدقاء في المجموعة.

يمكن حساب السرعة الجديدة والموقع الجديد لكل عنصر في السرب على النحو التالي [12]:

$$V_i^{k+1} = wV_i^k + c_1r_1(Pbest_i^k - x_i^k) + c_2r_2(Gbest_i^k - x_i^k) \quad (21)$$

$$X_i^{k+1} = X_i^k + V_i^{k+1} \quad (22)$$

حيث:  $V_i^k$  سرعة العنصر  $i$  في التكرار  $k$ .

$r_1$  و  $r_2$  أرقام عشوائية بين 0 و 1.

$c_1$  و  $c_2$  ثوابت موجبة تمثل ثوابت التسارع وتؤخذ عادة مساوية لـ 2.

$Pbest_i^k$  هي أفضل قيمة لتابع الهدف تم تحقيقها بواسطة العنصر  $i$  قبل التكرار  $k$ .

$Gbest_i^k$  هي أفضل قيمة لتابع الهدف تم الوصول إليها حتى الآن بواسطة أي عنصر.

$w$  يمثل عامل الوزن ويعطى كما يلي:

$$w = w_{max} - \frac{w_{max} - w_{min}}{iter_{max}} \times iter \quad (23)$$

حيث:  $W_{min}$  و  $W_{max}$  هما الحد الأعلى والأدنى لعامل الوزن.

$iter$  و  $iter_{max}$  هما التكرار الأعظمي والتكرار الحالي على التوالي.

### 1.2.3. تابع الهدف:

الهدف الرئيسي من تحديد استطاعة وموقع المكثفات هو تخفيض الضياعات الفعلية في شبكة التوزيع وبالتالي يكون تابع الهدف بالشكل التالي:

$$\min \left( f = \sum_{i=1}^{nl} Ploss_i \right) = \min \left( f = \sum_{i=1}^{nl} R_i \times I_i^2 \right)$$

$$\text{for } i = 1, 2, \dots, nl \quad (24)$$

حيث:  $Ploss_i$  يمثل الضياعات الفعلية في الفرع  $i$ .

$R_i$  و  $I_i$  يمثلان مقاومة وتيار الفرع  $i$  على التوالي.

$nl$  يمثل عدد فروع الشبكة.

### 2.2.3. القيود:

(a) حدود توترات العقد: عند وصل المكثفات إلى نظام التوزيع يجب أن تبقى

توترات العقد ضمن الحدود المقبولة كما يلي:

$$V_{min} \leq V_i \leq V_{max} , \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (25)$$

حيث  $V_i$  يمثل توتر العقدة  $i$ .

$V_{min} = 0.9$  و  $V_{max} = 1.05$  يمثلان الحد الأدنى والحد الأعلى المقبولان

للتوتر على التوالي.

$n$  يمثل عدد العقد.

(b) الاستطاعة الردية الكلية للمكثفات: يجب أن تكون الاستطاعة الردية الكلية المقدمة من قبل المكثفات ( $Q_c^{Total}$ ) أصغر أو تساوي مجموع الاستطاعات الردية لشبكة التوزيع ككل ( $Q_L^{Total}$ ) كما يلي:

$$Q_c^{Total} \leq Q_L^{Total} \quad (26)$$

### 3.2.3. خطوات تنفيذ خوارزمية PSO:

تتم عملية تنفيذ خوارزمية PSO وفق الخطوات البسيطة التالية:

- التوليد العشوائي لكافة العناصر.
- تقييم تابع الهدف بالنسبة لكل عنصر.
- تحديد  $Pbest$  و  $Gbest$  لجميع العناصر.
- تحديد السرعة الجديدة لكل عنصر.
- تحديث الموضع الحالي إلى الموضع الجديد.
- تحديث السرعة الحالية إلى السرعة الجديدة.
- التحقق من معيار التوقف وإلا الانتقال إلى الخطوة b.

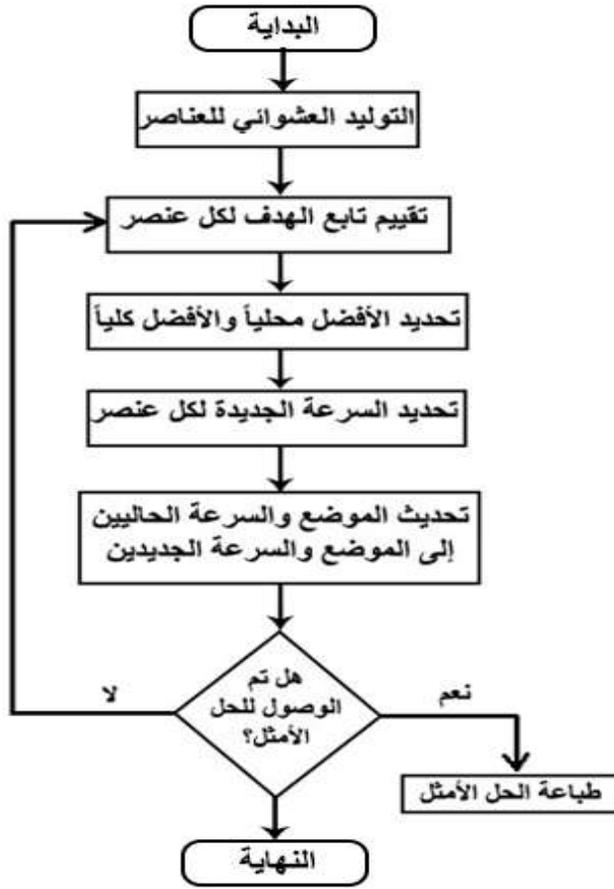
في هذا البحث، العناصر هي عبارة عن استطاعة المكثفات وموقع المكثفات كما توضع العلاقة التالية:

$$X_{particle} = \{Q_{c1}, Q_{c2}, \dots, Q_{c\beta}, L_{c1}, L_{c2}, \dots, L_{c\alpha}\} \quad (27)$$

حيث:  $\beta$  عدد مجموعات المكثفات.

$\alpha$  عدد المواقع المتاحة.

يمكن تلخيص خوارزمية PSO بالمخطط التدفقي التالي:



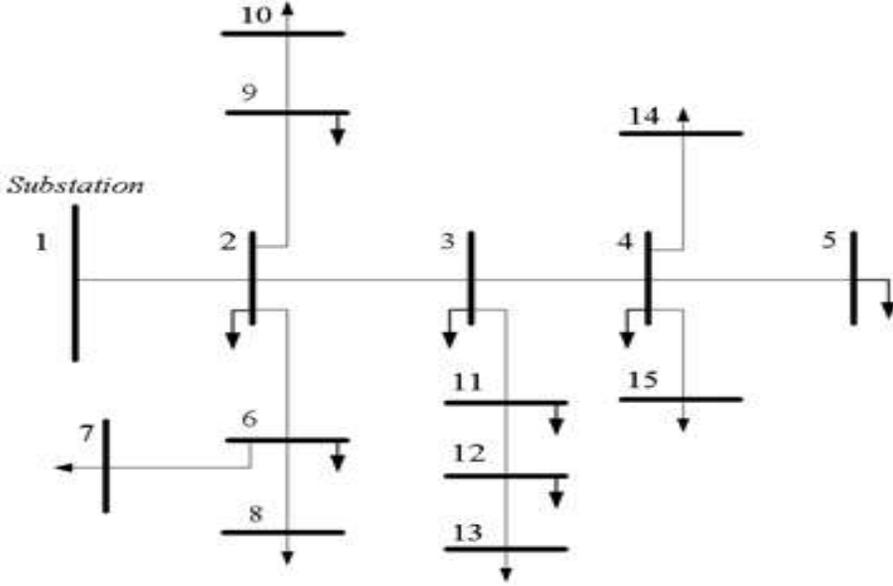
الشكل(3): المخطط التدفقي لخوارزمية PSO

#### 4. النتائج والمناقشة:

##### 1.4. شبكة توزيع 15 عقدة:

تم اختبار الطريقة المقترحة على شبكة توزيع 15 عقدة ذات التوتر 11 kV والتي تم تقديم معلوماتها من خلال الشكل والجدول التاليين [9]:

التوزيع الأمثل للمكثفات في شبكات التوزيع الكهربائية بهدف تخفيض الضياعات اعتماداً على خوارزمية أمثلية عناصر السرب



الشكل (4): مخطط شبكة توزيع 15 عقدة

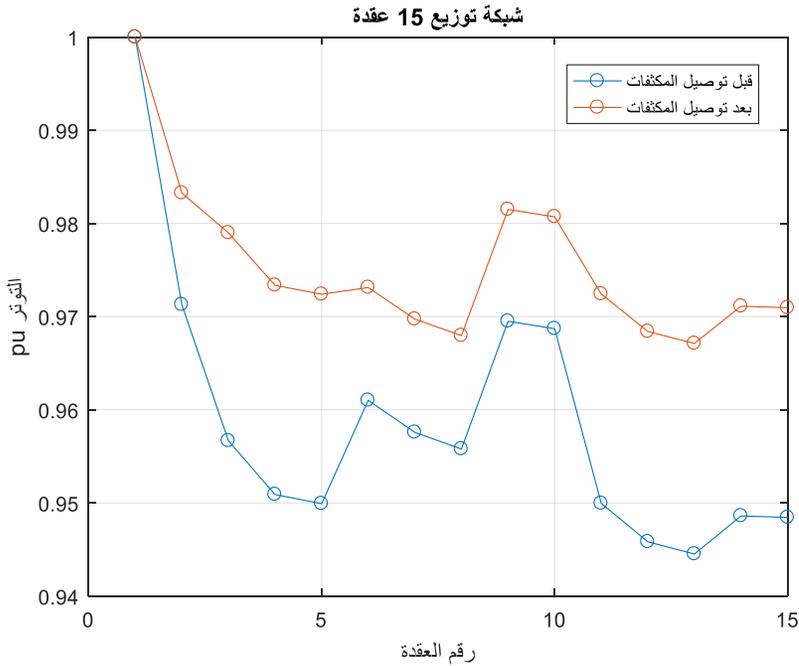
Bus No.		Line data		Load data	
From	To	R( $\Omega$ )	X( $\Omega$ )	P(kW)	Q (kVAR)
1	2	1.353	1.323	44	44.99
2	3	1.17	1.145	70	71.44
3	4	0.841	0.823	140	142.82
4	5	1.523	1.028	44	44.99
2	9	2.013	1.358	70	71.44
9	10	1.687	1.138	44	44.99
2	6	2.557	1.725	70	71.414
6	7	1.088	0.734	140	142.82
6	8	1.251	0.844	140	142.82
3	11	1.796	1.211	140	142.82
11	12	2.448	1.652	70	71.414
12	13	2.013	1.358	44	44.99
4	14	2.231	1.505	70	71.414
4	15	1.197	0.807	140	142.82
Total Load				1226.5	1251.182

الجدول (1): معلومات شبكة التوزيع 15 عقدة

• الحالة 1 :

استخدام مجموعة واحدة من المكثفات في موقع واحد من الشبكة:

بعد تطبيق الخوارزميات المذكورة سابقاً (المسح الخلفي-الأمامي و PSO) على برنامج MATLAB وإدخال معلومات الشبكة إلى البرنامج، تم حساب التوترات والضيعات في الحالة الأساسية ومن ثم إيجاد أفضل استطاعة وأفضل موقع للمكثفات بما يحقق أقل ضياعات ممكنة، وبينت النتائج أن أفضل موقع لمجموعة المكثفات هو عند العقدة 3 باستطاعة 1040 kVAR، والشكل التالي يبين توترات العقد قبل وبعد توصيل مجموعة المكثفات:



الشكل (5): توترات عقد الشبكة 15 عقدة قبل وبعد إضافة مجموعة المكثفات

التوزيع الأمثل للمكثفات في شبكات التوزيع الكهربائية بهدف تخفيض الضياعات اعتماداً على خوارزمية أمثلية عناصر السرب

توتر العقدة رقم 1 (نقطة بداية المنحنيين) يمثل توتر المحطة الفرعية المغذية لشبكة التوزيع والتي تكون عندها قيمة التوتر مساوية للقيمة الاسمية 11 kV أي (1 p.u) لأنه لم يطرأ عليها بعد أي هبوط بسبب ممانعات خطوط النقل وذلك بحسب المعادلة (12).

الملاحظ من الشكل السابق تحسن واضح في قيم توترات عقد الشبكة، وتم أخذ متوسط توترات العقد لمعرفة مدى التحسن، فقد كان متوسط توترات عقد الشبكة في الحالة الأساسية 10.5446 kV أي (0.9586 p.u) وأصبح المتوسط بعد توصيل المكثفات 10.7294 kV أي (0.9754 p.u).

بعد حساب ضياعات الشبكة في الحالة الأساسية كانت تساوي 61.54 kW وبعد توصيل المكثفات بالشكل الأمثل (عند العقدة 3 باستطاعة 1040 kVAR) أصبحت الضياعات تساوي 36.85 kW أي انخفضت الضياعات بنسبة % 40.12.

يبين الجدول التالي الضياعات قبل وبعد توصيل المكثفات:

بعد توصيل المكثفات		قبل توصيل المكثفات	الشبكة 15 عقدة
الاستطاعة المثلى	الموقع الأمثل		
1040 kVAR	3		
36.85		61.54	ضياعات الشبكة (kW)
0.9754		0.9586	متوسط التوترات (p.u)

الجدول (2): مقارنة بين الضياعات قبل وبعد إضافة مجموعة المكثفات إلى الشبكة

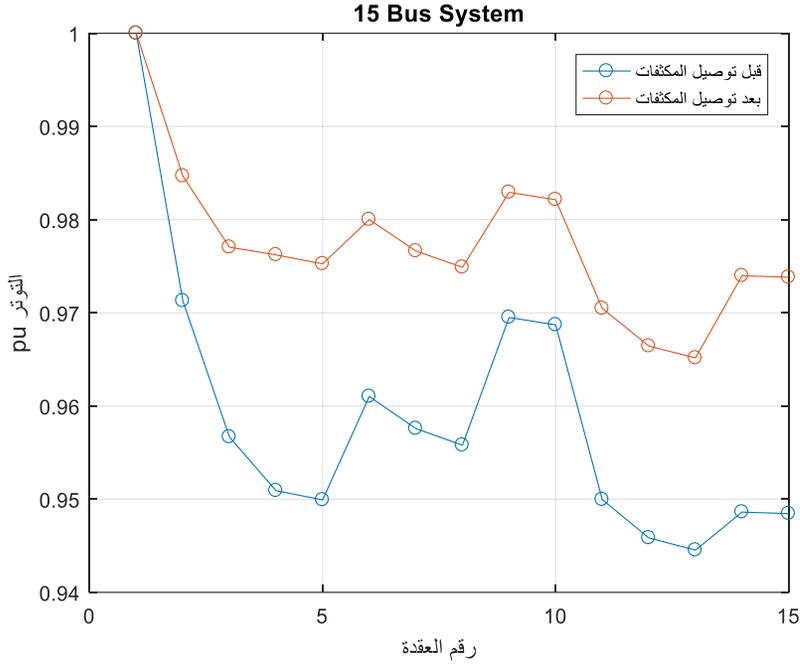
عقدة 15

• الحالة 2 :

استخدام مجموعتين من المكثفات في موقعين مختلفين من الشبكة:

بينت النتائج أن أفضل موقع لمجموعتي المكثفات هو عند العقدة 4 والعقدة 6 باستطاعة

توصيل مجموعتي المكثفات: 689 kVAR و 472 kVAR على التوالي، والشكل التالي يبين توترات العقد قبل وبعد



الشكل (6): توترات عقد الشبكة 15 عقدة قبل وبعد إضافة مجموعتي المكثفات

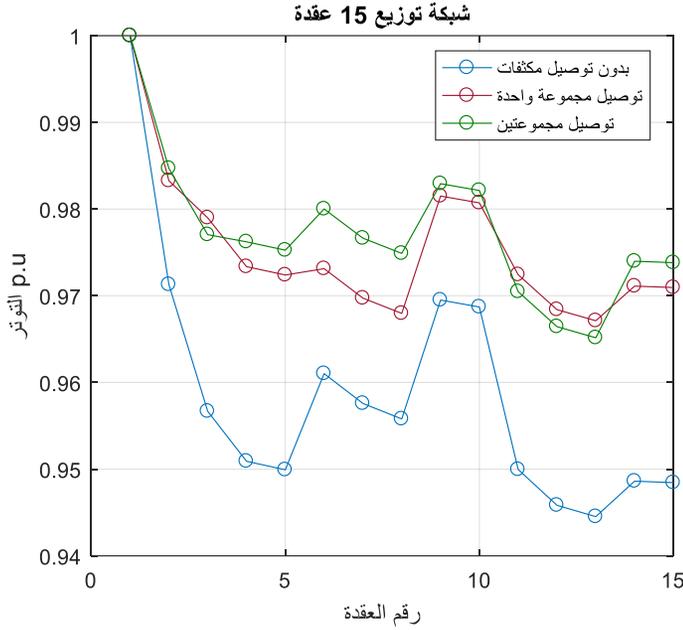
يبين الجدول التالي الضياعات قبل وبعد توصيل المكثفات:

بعد توصيل المكثفات		قبل توصيل المكثفات	الشبكة 15 عقدة
الاستطاعة المثلى	الموقع الأمثل		
689 kVAR	4		
472 kVAR	6		
33.09		61.54	ضياعات الشبكة (kW)
0.9773		0.9586	متوسط التوترات (p.u)

الجدول (3): مقارنة بين الضياعات قبل وبعد إضافة مجموعتي المكثفات إلى

الشبكة 15 عقدة

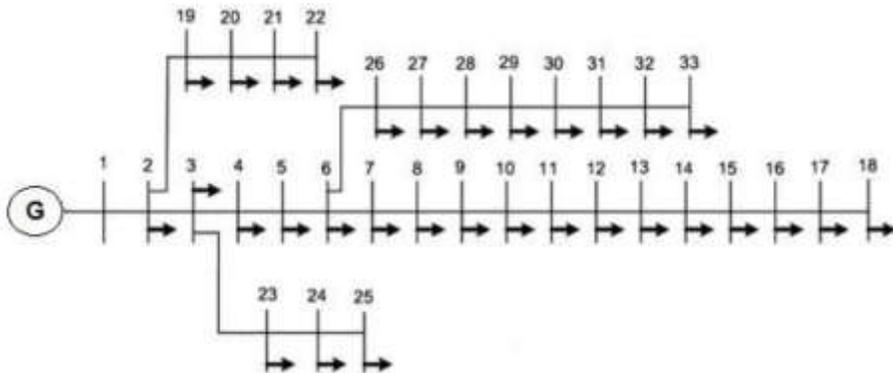
التوزيع الأمثل للمكثفات في شبكات التوزيع الكهربائية بهدف تخفيض الضياعات اعتماداً على خوارزمية أمثلية عناصر السرب



الشكل (7): توترات عقد الشبكة 15 عقدة قبل وبعد إضافة المكثفات في الحالتين 1 و 2

#### 2.4. شبكة توزيع 33 عقدة:

تم اختبار الطريقة المقترحة على شبكة توزيع 33 عقدة ذات التوتر 12.66 kV والتي تم تقديم معلوماتها من خلال الشكل والجدول التاليين [13]:



الشكل (8): مخطط شبكة التوزيع 33 عقدة

Bus No.		Line data		Load data	
From	To	R( $\Omega$ )	X( $\Omega$ )	P(kW)	Q (kVAR)
1	2	0.0922	0.047	100	60
2	3	0.493	0.2511	90	40
3	4	0.366	0.1864	120	80
4	5	0.3811	0.1941	60	30
5	6	0.819	0.707	60	20
6	7	0.1872	0.6188	200	100
7	8	1.7114	1.2351	200	100
8	9	1.03	0.74	60	20
9	10	1.044	0.74	60	20
10	11	0.1966	0.065	45	30
11	12	0.3744	0.1238	60	35
12	13	1.468	1.155	60	35
13	14	0.5416	0.7129	120	80
14	15	0.591	0.526	60	10
15	16	0.7463	0.545	60	20
16	17	1.289	1.721	60	20
17	18	0.732	0.574	90	40
2	19	0.164	0.1565	90	40
19	20	1.5042	1.3554	90	40
20	21	0.4095	0.4784	90	40
21	22	0.7089	0.9373	90	40
3	23	0.4512	0.3083	90	50
23	24	0.898	0.7091	420	200
24	25	0.896	0.7011	420	200
6	26	0.203	0.1034	60	25
26	27	0.2842	0.1447	60	25
27	28	1.059	0.9337	60	20
28	29	0.8042	0.7006	120	70
29	30	0.5075	0.2585	200	600
30	31	0.9744	0.963	150	70
31	32	0.3105	0.3619	210	100
32	33	0.341	0.5302	60	40

التوزيع الأمثل للمكثفات في شبكات التوزيع الكهربائية بهدف تخفيض الضياعات اعتماداً على خوارزمية أمثلية عناصر السرب

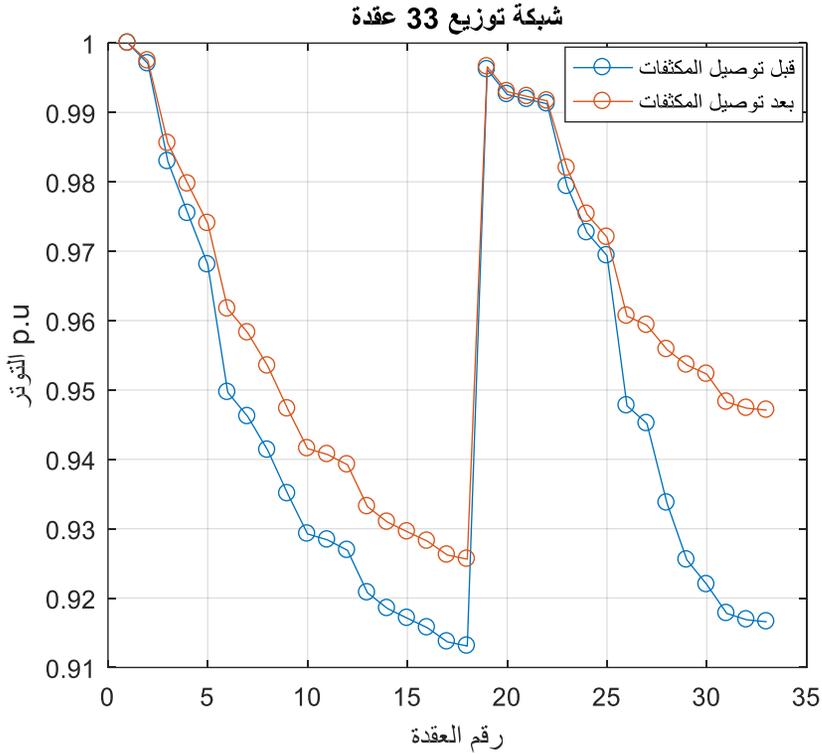
Total Load	3715	2300
------------	------	------

الجدول (4): معلومات شبكة التوزيع 33 عقدة

• الحالة 1 :

استخدام مجموعة واحدة من المكثفات في موقع واحد من الشبكة:

بينت النتائج أن أفضل موقع لمجموعة المكثفات هو عند العقدة 30 باستطاعة 1250 kVAR والشكل التالي يبين توترات العقد قبل وبعد توصيل مجموعة المكثفات:



الشكل (9): توترات عقد الشبكة 33 عقدة قبل وبعد إضافة مجموعة المكثفات

يبين الجدول التالي الضياعات قبل وبعد توصيل المكثفات:

بعد توصيل المكثفات		قبل توصيل المكثفات	الشبكة 33 عقدة
الاستطاعة المثلى 1250 kVAR	الموقع الأمثل 30		
143.7		202.78	ضياعات الشبكة (kW)
0.9599		0.9484	متوسط التوترات (p.u)

الجدول (5): مقارنة بين الضياعات قبل وبعد إضافة مجموعتي المكثفات إلى

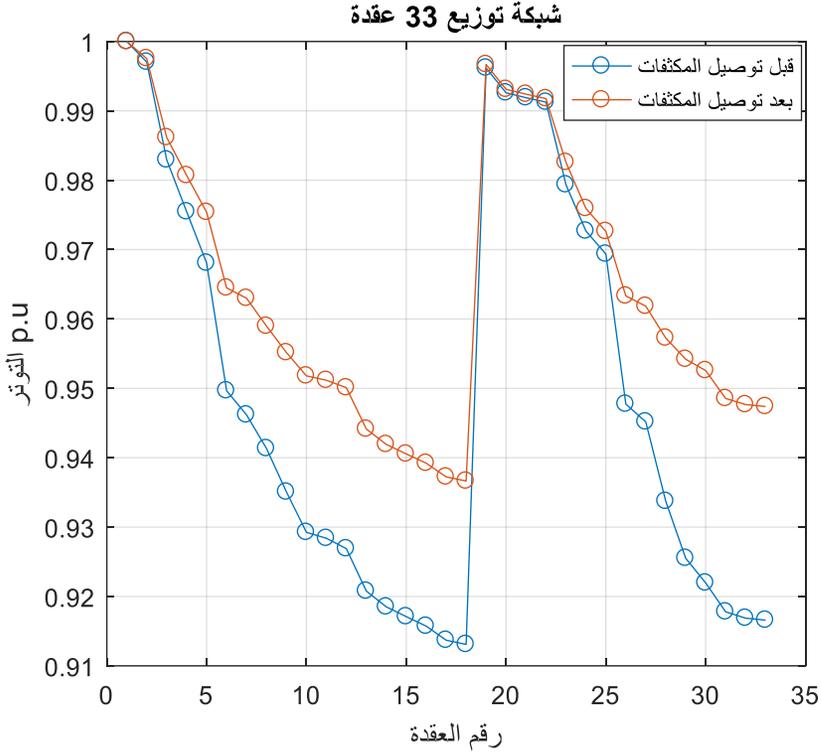
الشبكة 33 عقدة

• الحالة 2 :

استخدام مجموعتين من المكثفات في موقعين مختلفين من الشبكة:

بينت النتائج أن أفضل موقع لمجموعتي المكثفات هو عند العقدة 12 والعقدة 30 باستطاعة 480 KVAR و 1070 KVAR على التوالي، والشكل التالي يبين توترات العقد قبل وبعد توصيل مجموعتي المكثفات:

التوزيع الأمثل للمكثفات في شبكات التوزيع الكهربائية بهدف تخفيض الضياعات اعتماداً على خوارزمية أمثلية عناصر السرب



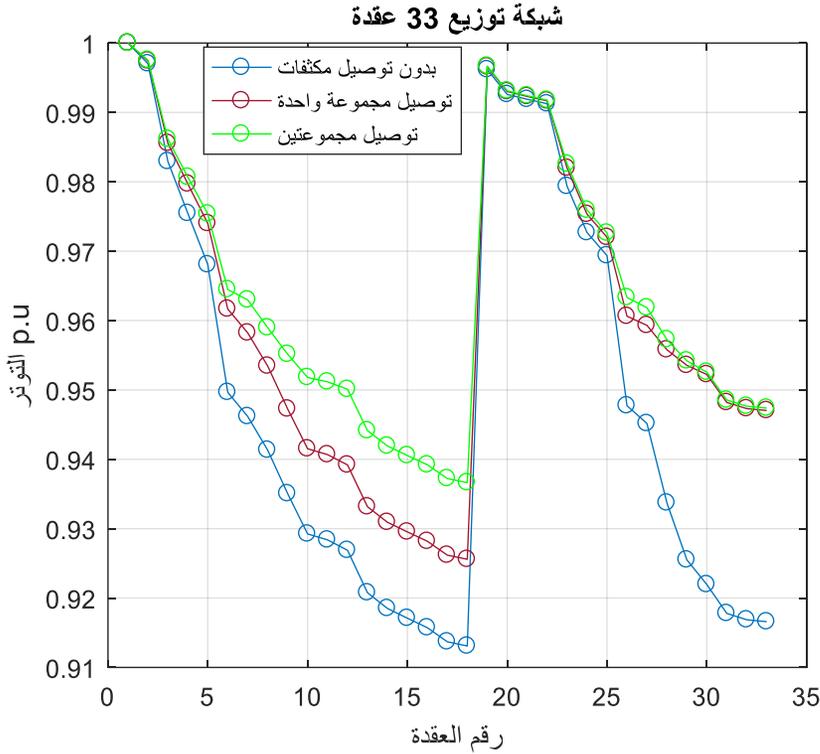
الشكل (10): توترات عقد الشبكة 33 عقدة قبل وبعد إضافة مجموعتي المكثفات

يبين الجدول التالي الضياعات قبل وبعد توصيل المكثفات:

بعد توصيل المكثفات		قبل توصيل المكثفات	الشبكة 33 عقدة
الاستطاعة المثلى	الموقع الأمثل		
480 kVAR	12		
1070 kVAR	30		
135.87		202.78	ضياعات الشبكة (kW)
0.964		0.9484	متوسط التوترات (p.u)

الجدول (6): مقارنة بين الضياعات قبل وبعد إضافة مجموعتي المكثفات إلى

الشبكة 15 عقدة



الشكل (11): توترات عقد الشبكة 33 عقدة قبل وبعد إضافة المكثفات في الحالتين 1

و 2

## 5. الاستنتاجات والتوصيات:

### 1.5. الاستنتاجات:

تم في هذا البحث تطبيق خوارزمية أمثلية عناصر السرب (PSO) بالإضافة إلى خوارزمية المسح الخلفي-الأممي للعثور على المواقع والاستطاعات المثلى للمكثفات المراد توصيلها إلى شبكات التوزيع. تم تطبيق الخوارزميتين على أنظمة توزيع قياسية 15 عقدة وكان الهدف هو تخفيض الضياعات الفعلية في الشبكة مع مراعاة القيود المفروضة من حيث التوتر المقبول وحدود استطاعة المكثفات المقبولة. أظهرت النتائج انخفاض جيد في ضياعات الشبكة بالمقارنة مع الضياعات في الحالة الأساسية، وكذلك

تحسن ملحوظ في توترات العقد، الأمر الذي يؤدي إلى تخفيض التكاليف الإجمالية وزيادة موثوقية شبكات التوزيع الكهربائية.

## 2.5. التوصيات:

دمج مصادر التوليد الموزع (محطات كهروضوئية، محطات ريفية ...) بالإضافة إلى المكثفات في شبكات التوزيع على النحو الأمثل لتخفيض الضياعات بشكل أكبر، وكذلك الاستفادة من الطاقة المتجددة في تغذية الأحمال للتخفيف من استخدام الوقود الأحفوري في المحطات الرئيسية.

## 6. المراجع:

- [1] Grainger, J.J. and Lee, S.H 1981 Optimum size and location of shunt capacitors for reduction of losses on distribution feeders, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, (3), pp.1105-1118.
- [2] Khodr, H.M., Vale, Z. and Ramos, C 2009 Notice of violation of ieee publication principles: Optimal cost-benefit for the location of capacitors in radial distribution systems, IEEE transactions on power delivery, 24(2), pp.787-796.
- [3] Baran, M. and Wu, F.F 1989 Optimal sizing of capacitors placed on a radial distribution system, IEEE Transactions on power Delivery, 4(1), pp.735-743.
- [4] Santoso, N.I. and Tan, O.T 1990 Neural-net based real-time control of capacitors installed on distribution systems, IEEE Transactions on Power Delivery, 5(1), pp.266-272.
- [5] Chin, H.C 1995 Optimal shunt capacitor allocation by fuzzy dynamic programming, Electric Power Systems Research, 35(2), pp.133-139.
- [6] Sundhararajan, S. and Pahwa, A 1994 Optimal selection of capacitors for radial distribution systems using a genetic algorithm, IEEE transactions on Power Systems, 9(3), pp.1499-1507.
- [7] Kennedy, J. and Eberhart, R 1995 Particle swarm optimization, Proceedings of ICNN'95-international conference on neural networks,(Vol. 4, pp. 1942-1948).
- [8] Madjissembaye, N., Muriithi, C.M. and Wekesa, C.W 2016 Load flow analysis for radial distribution networks using

backward/forward sweep method, Journal of Sustainable Research In Engineering, 3(3), pp.82-87.

[9] Rana, A.D., Darji, J.B. and Pandya, M 2014 Backward/forward sweep load flow algorithm for radial distribution system, International journal for scientific research and development, 2(1), pp.398-400.

[10] Krishna, B.V. and Srinivasu, N.P 2019 A Direct Method for Distribution System Load Flow Solutions, International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT), 8(6S3).

[11] Mishra, S., Das, D. and Paul, S 2014 A simple algorithm for distribution system load flow with distributed generation International Conference on Recent Advances and Innovations in Engineering, (ICRAIE-2014) (pp. 1-5). IEEE.

[12] Merzoug, Y., Abdelkrim, B. and Larbi, B 2020 Distribution network reconfiguration for loss reduction using PSO method, International Journal of Electrical and Computer Engineering, 10(5), p.5009.

[13] Vita, V. 2017. Development of a decision-making algorithm for the optimum size and placement of distributed generation units in distribution networks. Energies, 10(9), 1433.